

Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile städtischer Systeme

Von der Fakultät Architektur und Stadtplanung der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Martin Schulwitz

aus Duisburg

Hauptberichter: Prof. Dr. rer. pol. Johann Jessen

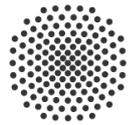
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Siedentop

2. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Jörn Birkmann

Tag der mündlichen Prüfung: 07. Dezember 2020

Städtebau-Institut der Universität Stuttgart

2020



Universität Stuttgart
Städtebau-Institut



Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile städtischer Systeme

von Martin Schulwitz

(im Juni 2020)



Stiftung Umwelt
und SchADVorsorge

ILS - Institut für Landes- und
Stadtentwicklungsforschung gGmbH **ILS**

Fotos Titelseite

eigene Aufnahmen

Hinweis

Aus Gründen des besseren Leseflusses wird zum Teil das generische Maskulinum verwendet. Dadurch ist keine Diskriminierung von Frauen, anderen Geschlechtern oder gesellschaftlichen Minderheiten beabsichtigt. Sämtliche personenbezogenen Bezeichnungen schließen alle Geschlechter ein.

Referenzen

Die Inhalte der Kapitel 1.4.4, 7.1 und 7.2 sowie Anhang A sind in ähnlicher Form bereits in folgender Publikation veröffentlicht:

Hillenbrand, Thomas; Hiessl, Harald; Niederste-Hollenberg, Jutta; Menger-Krug, Eve; Lüninck, Benedikt von; Schulwitz, Martin et al. (2016): Finanzierbare Zukunftsoptionen für die kommunale Wasserinfrastruktur in NRW: Folgen des demographischen, klimatischen und technischen Wandels für die Städte und Gemeinden in Nordrhein-Westfalen. Endbericht, Karlsruhe, Dortmund, Düsseldorf. Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Martin_Schulwitz/publication/341820680_ZUKOWIS_Finanzierbare_Zukunftsoptionen_fur_die_kommu-_nale_Wasserinfrastruktur_in_NRW_Folgen_des_demographischen_klimatischen_und_technischen_Wandels_fur_die_Stadte_und_Gemeinden_in_Nordrhein-Westfale/links/5ed5e97f45851529452807fd/ZUKOWIS-Finanzierbare-Zukunftsoptionen-fuer-die-kommu-nale-Wasserinfrastruktur-in-NRW-Folgen-des-demographischen-klimatischen-und-technischen-Wandels-fuer-die-Staedte-und-Gemeinden-in-Nordrhein-West.pdf?origin=profileFeaturedResearchPublicationItem, zuletzt geprüft am 01.06.2020.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|--------------|
| Abbildungsverzeichnis | xii |
| Tabellenverzeichnis | xvi |
| Formelverzeichnis..... | xviii |
| Abkürzungsverzeichnis..... | xviii |
| Kurzfassung | xx |
| Abstract..... | xxii |
| 1. Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Aktualität des Themas und Problemstellung | 2 |
| 1.2 Forschungsziel und Forschungsfragen | 6 |
| 1.3 Aufbau der Arbeit und Forschungskonzept | 8 |
| 1.4 Methodisches Konzept | 11 |
| 1.4.1 Literaturanalyse | 12 |
| 1.4.2 Statistische Datenanalyse | 13 |
| 1.4.3 Geodatenanalyse | 18 |
| 1.4.4 Bevölkerungsvorausberechnung | 20 |
| 1.4.5 Szenarien | 24 |
| 1.5 Begriffserläuterungen | 25 |
| Teil I – Theorie | 35 |
| 2. Städtische Systeme | 35 |
| 2.1 Die Stadt als Gesamtsystem – Zum Stadtbegriff | 35 |
| 2.2 Funktionen einer Stadt | 39 |
| 2.3 Stadt als komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Teilsysteme | 44 |
| 2.3.1 Diversität städtischer Systeme | 45 |
| 2.3.2 Exkurs: Systemtheorie und systemische Risiken | 51 |
| 2.3.3 Planung und Steuerung komplexer städtischer Systeme | 57 |
| 2.4 Erstes Beispiel: Wohnraum | 60 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 2.5 | Zweites Beispiel: Abwasserinfrastrukturen..... | 65 |
| 3. | Herausforderungen in Städten..... | 70 |
| 3.1 | Klimawandel | 72 |
| 3.1.1 | Der Klimawandel als globales Phänomen..... | 73 |
| 3.1.2 | Der Klimawandel in Deutschland..... | 81 |
| 3.1.3 | Klimafolgen und Klimagefahren in Städten | 88 |
| 3.2 | Demografischer Wandel..... | 92 |
| 3.2.1 | Demografie und die Phasen der Demografischen Transition | 93 |
| 3.2.2 | Der Demografischer Wandel in Deutschland | 96 |
| 3.2.3 | Folgen für technische Infrastrukturen..... | 103 |
| 3.2.4 | Folgen für soziale Infrastrukturen | 104 |
| 3.2.5 | Weitere Folgen des Demografischen Wandels für die Gesellschaft | 106 |
| 3.3 | Weitere Rahmenbedingungen und Herausforderungen | 108 |
| 3.3.1 | Geohazards | 109 |
| 3.3.2 | Weitere Naturgefahren | 110 |
| 3.3.3 | Wirtschaftliche Entwicklungen | 111 |
| 3.3.4 | Technologische Entwicklungen | 112 |
| 3.3.5 | Ressourcenverfügbarkeit..... | 114 |
| 3.3.6 | Politisch-institutionelle Rahmenbedingungen | 118 |
| 3.4 | Ambivalenz und Unsicherheit als Folgen der Wandelprozesse | 120 |
| 3.5 | Schnittstellen der exemplarischen Stadtsysteme mit unterschiedlichen Herausforderungen..... | 122 |
| 4. | Vulnerabilität..... | 125 |
| 4.1 | Vulnerabilitätsverständnisse unterschiedlicher Disziplinen | 127 |
| 4.2 | Praxisbeispiele von Vulnerabilitätsanalysen | 131 |
| 4.3 | Vulnerabilitätsverständnis der vorliegenden Arbeit | 135 |
| 5. | Resilienz..... | 139 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.1 | Genese des Resilienzkonzepts..... | 141 |
| 5.1.1 | Ingenieurstechnische Resilienz..... | 146 |
| 5.1.2 | Ökologische Resilienz..... | 149 |
| 5.1.3 | Sozio-ökologische Resilienz | 158 |
| 5.1.4 | Weitere Resilienzverständnisse..... | 171 |
| 5.1.5 | Literatursynthese – Reflexion der Anwendbarkeit der Resilienzverständnisse im Planungskontext | 175 |
| 5.2 | Das Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz | 185 |
| 5.2.1 | Zielsetzungen des Konzepts..... | 185 |
| 5.2.2 | Einführung in das Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz | 188 |
| 5.2.3 | Physische Dimension | 190 |
| 5.2.4 | Institutionelle Dimension | 193 |
| 5.2.5 | Soziale Dimension..... | 198 |
| 5.2.6 | Zusammenführung der Dimensionen zur urbanen Resilienz | 200 |
| 5.3 | Einordnung des Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz | 203 |
| 5.3.1 | Abgrenzung zwischen Vulnerabilität und urbaner Resilienz..... | 204 |
| 5.3.2 | Abgrenzung zwischen Nachhaltigkeit und urbaner Resilienz..... | 206 |
| 5.3.3 | Abgrenzung zwischen Klimaadaption bzw. Klimamitigation und urbaner Resilienz..... | 209 |
| 5.3.4 | Abgrenzung zwischen Risikomanagement und urbaner Resilienz..... | 211 |
| 5.3.5 | Fazit zur Einordnung urbaner Resilienz | 214 |
| 5.4 | Beispiele für den Praxistransfer der urbanen Resilienz | 215 |
| 5.4.1 | Rockefeller 100 Resilient Cities..... | 215 |
| 5.4.2 | Resilienz-Strategie von Rotterdam | 220 |
| 5.4.3 | Stresstest Stadt – Resilienztransfer in Deutschland | 223 |
| 5.4.4 | Einschätzung der Beispiele und Folgerungen..... | 225 |
| 5.5 | Operationalisierung des Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz..... | 227 |
| 5.5.1 | Diskussion zur Messbarkeit von Resilienz | 228 |

| | |
|--|------------|
| 5.5.2 Operationalisierung der physischen Dimension..... | 231 |
| 5.5.3 Operationalisierung der institutionellen Dimension | 233 |
| 5.5.4 Operationalisierung der sozialen Dimension | 234 |
| 5.6 Zwischenfazit..... | 235 |
| Teil II – Empirie | 237 |
| 6. Datengrundlage und Fallstudie | 237 |
| 6.1 Beschreibung der Datengrundlage..... | 237 |
| 6.2 Der Hagelsturm von Reutlingen | 242 |
| 6.3 Auswahl der Fallregion | 245 |
| 6.4 Beschreibung der Fallregion Reutlingen | 249 |
| 6.4.1 Demografische Merkmale | 251 |
| 6.4.2 Klimadaten..... | 253 |
| 6.4.3 Flächennutzung und Wohngebäudebestand | 254 |
| 6.4.4 Überblick über die Versicherungs- und Schadensdaten für die Fallregion | 257 |
| 7. Baustrukturtypen in der Region Reutlingen | 262 |
| 7.1 Der Bau- und Nutzungsstrukturtypenansatz..... | 263 |
| 7.2 Definition und Operationalisierung der BNT für die Fallregion | 266 |
| 7.2.1 Definition von BNT mit Wohnfunktion..... | 266 |
| 7.2.2 Definition von BNT mit Gewerbefunktion..... | 272 |
| 7.2.3 Kriterien und Kennwerte zur Abgrenzung der BNT | 275 |
| 7.2.4 Erläuterung der Kennwerte zur Modellierung der BNT | 278 |
| 7.2.5 Steckbriefe der BNT mit Kennwerten..... | 279 |
| 7.3 Zuordnung der BNT in der Fallregion Reutlingen..... | 282 |
| 7.4 Räumliche Indikatoren der BNT in der Fallregion | 288 |
| 8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie | 294 |
| 8.1 Beschreibung der Datenaufbereitung und Analyseschritte..... | 294 |
| 8.2 Auswertung der Schadensdaten für die BNT der Fallregion Reutlingen..... | 300 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 8.2.1 | Optische deskriptive Analyse der Daten | 302 |
| 8.2.2 | Schließende Analyse der Schadensdaten | 312 |
| 8.2.3 | Auswertung z-standardisierter Schadensindikatoren | 317 |
| 8.3 | Aussagekraft der Daten und Schlussfolgerungen | 319 |
| 9. | Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung | 326 |
| 9.1 | Zielsetzungen und Konzeption des Modells..... | 326 |
| 9.2 | Aufbau des Modells und Datengrundlagen..... | 330 |
| 9.2.1 | Vereinfachte Bevölkerungsvorausberechnung im Modell..... | 330 |
| 9.2.2 | Entwicklung gewerblicher Abwassermengen..... | 335 |
| 9.2.3 | Infrastrukturausstattung der Fallregion | 338 |
| 9.2.4 | Infrastrukturkostenkalkulation im Modell | 340 |
| 9.2.5 | Konfigurationsmöglichkeiten und Funktionsweise des Modells..... | 344 |
| 9.3 | Szenarien im Modell..... | 345 |
| 9.3.1 | Gesamtszenario „Wirtschaftskrise“ | 346 |
| 9.3.2 | Gesamtszenario „Familienpolitik“ | 347 |
| 9.3.3 | Gesamtszenario „Hitzewellen“ | 348 |
| 9.4 | Ergebnisauswertung..... | 349 |
| 9.4.1 | Ergebnisse im Gesamtszenario „Status quo“ | 350 |
| 9.4.2 | Ergebnisse im Gesamtszenario „Wirtschaftskrise“ | 353 |
| 9.4.3 | Ergebnisse im Gesamtszenario „Familienpolitik“ | 355 |
| 9.4.4 | Ergebnisse im Gesamtszenario „Hitzewellen“ | 357 |
| 9.4.5 | Zusammenführung und Standardisierung der Modellierungsergebnisse..... | 359 |
| 9.5 | Bewertung und Übertragbarkeit der Ergebnisse | 366 |
| 10. | Relative Vulnerabilitätsprofile | 369 |
| 10.1 | Zusammenführung der beiden empirischen Teile | 369 |
| 10.2 | Vulnerabilitätsprofile der BNT..... | 370 |
| 10.3 | Reflexion der empirischen Ergebnisse und Vulnerabilitätsprofile..... | 378 |

| | |
|--|------------|
| Teil III – Konzept | 383 |
| 11. Resilienzprofile der BNT | 383 |
| 11.1 Anpassungsmöglichkeiten von Gebäuden an Hagelereignisse..... | 384 |
| 11.2 Anpassungsmöglichkeiten von Abwasserinfrastrukturen an demografische Entwicklungen..... | 390 |
| 11.3 Baustrukturtypenbezogene Resilienzprofile – Zuordnung der Maßnahmen zu den BNT.. | 400 |
| 12. Institutionelle Resilienz | 408 |
| 12.1 Handlungsansätze in der Planung für eine adaptive Governance | 409 |
| 12.2 Potenziale einer kommunikativen Governance | 421 |
| 12.3 Adaptive Governance | 425 |
| 12.4 Exkurs: Scrum in Planungsprozessen | 427 |
| 12.4.1 Kurzvorstellung Scrum | 428 |
| 12.4.2 Ansätze zum Transfer in Planungsprozesse | 432 |
| 12.4.3 Diskussion der Integrierbarkeit von Scrum in Planungsprozesse..... | 434 |
| 13. Soziale Resilienz | 438 |
| 13.1 Bedeutung von Bewusstsein und Akzeptanz in der Gesellschaft | 439 |
| 13.2 Aspekte sozialer Resilienz | 440 |
| 13.3 Mögliche Schritte zur Stärkung sozialer Resilienz..... | 443 |
| 14. Fazit | 446 |
| 14.1 Darstellung und Einordnung zentraler Arbeitsergebnisse..... | 446 |
| 14.2 Kritische Reflexion der Arbeit..... | 452 |
| 14.3 Offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf..... | 458 |
| 15. Quellenverzeichnis | 460 |
| 15.1 Literaturverzeichnis | 460 |
| 15.2 Rechtsquellenverzeichnis | 487 |
| 15.3 Internetquellenverzeichnis..... | 487 |
| Anhang..... | I |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Abbildung 1: Forschungskonzept..... | 9 |
| Abbildung 2: Grundstruktur der Kohorten-Komponenten-Methode..... | 23 |
| Abbildung 3: Die Stadt- und Gemeindetypen des BBSR in Deutschland..... | 38 |
| Abbildung 4: Wohngebäude- und Wohnungsbestand nach Typen in Deutschland (1995 & 2018). | 63 |
| Abbildung 5: Kostenstruktur in der Abwasserbeseitigung gemäß DWA-Kommunalpanel 2014..... | 68 |
| Abbildung 6: Relevante Rahmenbedingungen einer resilienten Stadtentwicklung..... | 71 |
| Abbildung 7: Elemente des Klimasystems und Prozesse, die das Erdklima beeinflussen..... | 75 |
| Abbildung 8: Globale Ausprägungen der Klimaänderungen in den CIMP5-Modellen: Oberflächentemperatur (a), Niederschlag (b) und Meeresspiegel (c)..... | 79 |
| Abbildung 9: Anzahl der Hageltage im 1 km x 1 km-Raster für den Zeitraum 2006–2011..... | 86 |
| Abbildung 10: Vier Phasen des Demografischen Übergangs..... | 94 |
| Abbildung 11: Bevölkerungsentwicklung in Deutschland 1990–2060..... | 97 |
| Abbildung 12: Komponenten der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland (1964–2017)..... | 99 |
| Abbildung 13: Altersstruktur in Deutschland 2018, 2040 und 2060..... | 100 |
| Abbildung 14: Räumliche Heterogenität der Bevölkerungsentwicklung in Nordrhein-Westfalen. | 102 |
| Abbildung 15: Kernkomponenten des Risikos im SREX-Bericht..... | 130 |
| Abbildung 16: Vulnerabilitätskonzept aus dem Leitfaden des Umweltbundesamtes..... | 133 |
| Abbildung 17: Ereignisbezogenes Vulnerabilitätskonzept..... | 136 |
| Abbildung 18: Jährliche Zitationen mit Bezug zur Resilienz in der Umweltforschung..... | 139 |
| Abbildung 19: Co-Zitationsnetzwerk der Literatur zur urbanen Resilienz..... | 143 |
| Abbildung 20: Entwicklung der Verwendungshäufigkeit der Begriffe Sustainability und Resilience nach Veröffentlichungsjahr der Publikationen (1900–2008)..... | 144 |
| Abbildung 21: Genese des Resilienzkonzepts durch verschiedene Disziplinen..... | 145 |
| Abbildung 22: Ball-in-a-Basin-Modell der ingenieurstechnischen und der ökologischen Resilienz | 152 |
| Abbildung 23: Adaptives Resilienz-Modell als 4-Phasen-Modell und dreidimensionaler Würfel... | 161 |
| Abbildung 24: Panarchie-Modell adaptiver Zyklen..... | 167 |
| Abbildung 25: Eigene Erweiterung des Ball-in-a-Basin-Modells..... | 171 |
| Abbildung 26: Konzeptionelle Unterschiede zwischen Definitionen urbaner Resilienz..... | 181 |
| Abbildung 27: Verdeutlichung zentraler Resilienzeigenschaften anhand der eigenen Erweiterung des Ball-in-a-basin-Modells..... | 183 |
| Abbildung 28: Schema vernetzter urbaner Systemdimensionen..... | 187 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 29: Das Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz | 189 |
| Abbildung 30: Gegenüberstellung der Dimensionen urbaner Resilienz und des..... | 201 |
| Abbildung 31: Charakterisierung von Vulnerabilität, Resilienz und Nachhaltigkeit..... | 204 |
| Abbildung 32: Darstellung des City Resilience Frameworks..... | 218 |
| Abbildung 33: Bewertung der Resilienz der Stadt Rotterdam im City Resilience Framework..... | 221 |
| Abbildung 34: Exemplarischer Maßnahmensteckbrief aus der Resilienz-Strategie von Rotterdam | 222 |
| Abbildung 35: Methodisches Konzept des Stresstest Stadt | 223 |
| Abbildung 36: Exemplarische Darstellung von Resilienzmatrizen des Stresstests Stadt | 224 |
| Abbildung 37: Aggregierte Überschwemmungsschäden je km ² in Baden-Württemberg (Summe der Jahre 2010–2015)..... | 240 |
| Abbildung 38: Aggregierte Sturm- und Hagelschäden je km ² in Baden-Württemberg (Summe der Jahre 2010–2015)..... | 241 |
| Abbildung 39: Gewitterzugbahnen über Deutschland am 28.07.2013 ab 12:00 Uhr | 243 |
| Abbildung 40: Betroffenheitsgrade der Kommunen in der Region Reutlingen | 247 |
| Abbildung 41: Schadensquotienten der Kommunen in der Region Reutlingen..... | 248 |
| Abbildung 42: Lage und Kommunen der Fallregion Reutlingen | 250 |
| Abbildung 43: Gesamte Bodenflächen der Kommunen der Fallregion in ha (Stand: 2016) | 250 |
| Abbildung 44: Bevölkerung der Fallregion Reutlingen nach Altersgruppen und Geschlecht (2016) | 253 |
| Abbildung 45: Bodenflächenanteile nach Art der Nutzung in der Fallregion Reutlingen 2016 | 255 |
| Abbildung 46: Indexentwicklung des Versicherungsbestandes (Sturm- und Hagelschäden) | 258 |
| Abbildung 47: Gegen Sturm- und Hagelschäden versicherte Gebäude in der Fallregion | 259 |
| Abbildung 48: Sturm- und Hagelschäden in der Fallregion 2010–2015..... | 260 |
| Abbildung 49: Zusammenhang zwischen Einwohnerdichte und Wasserinfrastrukturaufwand | 264 |
| Abbildung 50: Eindrücke aus dem BNT "Traditionelle Blockstrukturen" | 267 |
| Abbildung 51: Eindrücke aus dem BNT "Zeilenbebauung"..... | 268 |
| Abbildung 52: Eindrücke aus dem BNT "Geschosswohnungsbau in offener Bauweise" | 268 |
| Abbildung 53: Eindrücke aus dem BNT "Mehrfamilienhäuser"..... | 269 |
| Abbildung 54: Eindrücke aus dem BNT "Dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung"..... | 269 |
| Abbildung 55: Eindrücke aus dem BNT "Lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung"..... | 270 |
| Abbildung 56: Eindrücke aus dem BNT "Dorfkern/Ortslage" | 270 |
| Abbildung 57: Eindrücke aus dem BNT "Streusiedlung" | 271 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 58: Eindrücke aus dem BNT "Innerstädtische Mischbebauung" | 271 |
| Abbildung 59: Eindrücke aus dem BNT „Industriegebiet“ | 272 |
| Abbildung 60: Eindrücke aus dem BNT "Logistikpark" | 273 |
| Abbildung 61: Eindrücke aus dem BNT "Kleinteiliges Gewerbegebiet" | 273 |
| Abbildung 62: Eindrücke aus dem BNT "Klassisches Gewerbegebiet" | 274 |
| Abbildung 63: Eindrücke aus dem BNT "Technologiapark" | 275 |
| Abbildung 64: BNT-Flächen in der Fallregion Reutlingen | 287 |
| Abbildung 65: Verknüpfung der IÖR-Indikatorwerte mit den BNT in vier Schritten | 289 |
| Abbildung 66: Boxplot der Schadensquotienten der Sturm- und Hagelschäden in der Fallregion | 301 |
| Abbildung 67: Histogramme der Siedlungsdichte und des Versiegelungsgrads | 303 |
| Abbildung 68: Histogramme der Straßendichte und der Baujahre | 304 |
| Abbildung 69: Histogramme der Schadensquotienten und der Geschossflächenschäden | 305 |
| Abbildung 70: Boxplots der Schadensquotienten nach BNT | 306 |
| Abbildung 71: Boxplots der Geschossflächenschäden nach BNT | 307 |
| Abbildung 72: Streudiagramme der Schadensquotienten bezogen auf | 309 |
| Abbildung 73: Streudiagramme der Schadensquotienten bezogen auf | 310 |
| Abbildung 74: Streudiagramme der Geschossflächenschäden bezogen auf | 311 |
| Abbildung 75: Streudiagramme der Geschossflächenschäden bezogen auf | 312 |
| Abbildung 76: Radarreflektivität und Hagelkorngößen vom 28.07.2013 | 323 |
| Abbildung 77: Maximaler Schadensgrad durch Hagel anteilig am Gesamtwert eines Gebäudes .. | 325 |
| Abbildung 78: Schematische Darstellung der Berechnung des fiktiven Abwassertarifes | 329 |
| Abbildung 79: Altersstruktur zum Jahr 2101 in den vier Szenarien sowie im Ausgangsjahr 2016 .. | 350 |
| Abbildung 80: Entwicklung der Einwohnerzahl und Abwasserkosten im Szenario "Status quo" ... | 351 |
| Abbildung 81: Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs nach BNT im Szenario "Status quo" | 352 |
| Abbildung 82: Entwicklung der Einwohnerzahl und Abwasserinfrastrukturkosten | 354 |
| Abbildung 83: Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs nach BNT im Szenario "Wirtschaftskrise" | 355 |
| Abbildung 84: Entwicklung der Einwohnerzahl und Abwasserinfrastrukturkosten | 356 |
| Abbildung 85: Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs je BNT im Szenario "Familienpolitik " | 356 |
| Abbildung 86: Entwicklung der Einwohnerzahl und Abwasserinfrastrukturkosten | 358 |
| Abbildung 87: Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs nach BNT im Szenario "Hitzewellen" | 358 |
| Abbildung 88: Vergleich der Entwicklung der fiktiven Abwassertarife in den Szenarien | 360 |
| Abbildung 89: Indexwertentwicklung des fiktiven Abwassertarifs | 361 |
| Abbildung 90: Boxplots der arithmetischen Mittelwerte aller Indexwerte (2016–2101) | 362 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 91: Schadensanteile nach Gebäudeteilen bei Hagelschäden..... | 387 |
| Abbildung 92: Hagelschutzgitter über einer Lichtkuppel (links) und Aufsparrendämmung..... | 388 |
| Abbildung 93: Watersquare Benthemplein in Rotterdam bei Trocken- und bei Regenwetter..... | 399 |
| Abbildung 94: Gegenstandsbereich der interaktionsorientierten Policy-Forschung..... | 422 |
| Abbildung 95: Schematische Darstellung des Scrum-Prozessrahmenwerks..... | 429 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Exemplarische Auflistung vernetzter städtischer Systeme und ihrer Charakteristika..... | 46 |
| Tabelle 2: Entwicklung verschiedener Altersgruppengrößen in Deutschland (1990 - 2060)..... | 105 |
| Tabelle 3: Globale Energievorkommen fossiler und nuklearer Quellen (in EJ) | 115 |
| Tabelle 4: Gegenüberstellung zentraler Aspekte der Vulnerabilitätsverständnisse in unterschiedlichen Disziplinen | 128 |
| Tabelle 5: Wesentliche Eigenschaften der drei zentralen Resilienzdefinitionsstränge..... | 177 |
| Tabelle 6: Übersicht über die Fallzahlen der zugrundeliegenden | 238 |
| Tabelle 7: Bevölkerungsstand und -entwicklung in der Fallregion Reutlingen | 252 |
| Tabelle 8: Klimakennwerte der Landkreise der Fallregion für die Dekade 2001–2010 | 254 |
| Tabelle 9: Anteile unterschiedlicher Wohngebäudetypen am gesamten Wohngebäudebestand in den Kommunen der Fallregion (2016) | 257 |
| Tabelle 10: Kommunale Verdichtungstypen nach Siedlungsdichte | 279 |
| Tabelle 11: Übersicht über zentrale Charakteristika der BNT | 280 |
| Tabelle 12: Anzahl und akkumulierte Gesamtflächen der BNT in der Fallregion..... | 285 |
| Tabelle 13: Flächengewichtete durchschnittliche Indikatorkennwerte der BNT in der Fallregion Reutlingen | 291 |
| Tabelle 14: Vergleich der für die BNT erhobenen Einwohnerzahlen und der Zensuswerte 2011 .. | 292 |
| Tabelle 15: Berechnung der Geschossfläche je Objekt in den Wohn-BNT..... | 298 |
| Tabelle 16: Berechnung der Geschossfläche je Objekt in den Gewerbe-BNT | 299 |
| Tabelle 17: Deskriptive Statistiken der analysierten Indikatoren..... | 302 |
| Tabelle 18: Korrelationen zwischen den Schadensindikatoren und den..... | 314 |
| Tabelle 19: Mittlere z-Werte der Schadensindikatoren nach BNT | 318 |
| Tabelle 20: Aufprallenergie von Hagelkörnern unterschiedlicher Durchmesser | 321 |
| Tabelle 21: Exemplarische Darstellung der Bevölkerungsfortschreibung..... | 333 |
| Tabelle 22: Angenommene Wassermenge und Schadstoffbelastung je Einwohnergleichwert | 336 |
| Tabelle 23: Angenommene tägliche EGW je ha in den Gewerbe-BNT | 337 |
| Tabelle 24: Exemplarische Berechnung der einwohnerbezogenen Flächenentwicklung in einem fiktiven Wohn-BNT | 340 |
| Tabelle 25: Kapitalkosten je Leitungsmeter und Jahr | 342 |
| Tabelle 26: Betriebskosten je Leitungsmeter und Jahr | 343 |
| Tabelle 27: Betriebskostensteigerungen bei Einwohnerrückgang | 343 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 28: Wartungs- und Instandhaltungskosten je Leitungsmeter und Jahr..... | 344 |
| Tabelle 29: Personal- und Verwaltungskosten je Leitungsmeter und Jahr | 344 |
| Tabelle 30: Mittlere Tarifentwicklungskennwerte und zugehörige z-Faktorwerte nach BNT | 364 |
| Tabelle 31: Relative Vulnerabilitätsprofile der BNT..... | 372 |
| Tabelle 32: Hagelwiderstandsklassen gemäß dem schweizerischen Hagelregister..... | 385 |
| Tabelle 33: Unterschiedliche Abwasserarten in der Stoffstromtrennung..... | 397 |
| Tabelle 34: Resilienzprofile der physischen Dimension der BNT..... | 402 |

Formelverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Formel 1: Definitive Gleichung der Kohorten-Komponenten-Methode | 23 |
| Formel 2: Berechnung der Vulnerabilität im WorldRiskIndex | 132 |
| Formel 3: Berechnung des Tarifentwicklungskennwerts | 363 |

Abkürzungsverzeichnis

In diesem Abkürzungsverzeichnis werden keine Abkürzungen aufgeführt, die im allgemeinen Sprachgebrauch üblich sind (z. B., bzw., usw.). Ebenso werden standardisierte Abkürzungen für Maßeinheiten oder chemische Verbindungen nicht angegeben. Abkürzungen von Institutionen, die ausschließlich für Quellenverweise relevant sind, werden im Literaturverzeichnis ausgeschrieben.

| | | |
|-----------|---|---|
| 100RC | = | 100 Resilient Cities-Programm (der Rockefeller Stiftung) |
| ARL | = | Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft |
| Art. | = | Artikel |
| BauGB | = | Baugesetzbuch |
| BBSR | = | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung |
| BKI | = | Baukostenindex |
| BNT | = | Bau- und Nutzungsstrukturtypen |
| BW | = | Baden-Württemberg |
| CIMP5 | = | Coupled Model Intercomparison Projekt Phase 5 (Klimamodell-Ensembles) |
| DWA | = | Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. |
| EFH | = | Einfamilienhäuser |
| EGW | = | Einwohnergleichwert |
| EZFH | = | Ein- und Zweifamilienhäuser |
| ETRS 1989 | = | Europäisches Terrestrische Referenz System 1989 (ein Koordinatensystem) |
| GDV | = | Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. |
| GIS | = | Geoinformationssystem |

| | | |
|-------|---|---|
| GG | = | Grundgesetz |
| HE | = | Hessen |
| HW | = | Hagelwiderstand (Klassifizierung im Hagelregister) |
| IPCC | = | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| IQA | = | Interquartilsabstand |
| LAEA | = | Lambert azimuthal equal-area projection (flächentreue Azimutalprojektion) |
| LK | = | Landkreis |
| NASS | = | Neuartige Sanitärsysteme |
| NRW | = | Nordrhein-Westfalen |
| NWBL | = | Nettowohnbauland |
| MFH | = | Mehrfamilienhäuser |
| MS | = | Microsoft |
| RCP | = | Representative Concentration Pathways (Klimaszenarien) |
| ROG | = | Raumordnungsgesetz |
| SuV | = | Siedlungs- und Verkehrsfläche |
| SV AG | = | SV Sparkassenversicherung Gebäudeversicherung AG |
| TEK | = | Tarifentwicklungskennwert |
| TH | = | Thüringen |
| THG | = | Treibhausgas |
| TÖB | = | Träger öffentlicher Belange |
| UBA | = | Umweltbundesamt |
| UTM | = | Universale Transversale Mercatorabbildung (ein Koordinatensystem) |
| WE | = | Wohneinheit |
| WHG | = | Wasserhaushaltsgesetz |
| WRI | = | World Risk Index |

Kurzfassung

Die vorliegende Dissertation hat zwei zentrale Ziele: Zum einen wird theoriebasiert ein Resilienzkonzept entwickelt, das den multidisziplinär geführten Resilienzdiskurs zusammenführt und gleichzeitig Ansatzpunkte für den Transfer in die Praxis bietet. Zum anderen, wird die empirische Anwendung des Konzepts demonstriert und es werden, basierend auf den Ergebnissen, Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile städtischer Systeme abgeleitet.

Zur Erfüllung der ersten Zielsetzung wird der Stand der Forschung zur Resilienz aufgearbeitet und der Kontext erläutert, in dem das Resilienzkonzept im urbanen Raum seine Bedeutung erlangt. Es wird gezeigt, dass die zahlreichen vernetzten urbanen Systeme vielfältigen und ambivalenten Herausforderungen ausgesetzt sind, die auch in Zukunft zu Unsicherheit und Komplexität in der Planung führen werden. Die komplexen Vernetzungen städtischer Systeme liefern die Erklärung dafür, dass im Resilienzdiskurs ganzheitliche Betrachtungen des Systems Stadt anzustreben sind. Auf dieser Grundlage wird das *Dimensionen Konzept urbaner Resilienz* entwickelt, das urbane Resilienz aus den drei Dimensionen physischer Resilienz, institutioneller Resilienz und sozialer Resilienz konstruiert. Die Dimensionen spiegeln zentrale Definitionsstränge des Resilienzdiskurses wider, für die entsprechende Eigenschaften als Grundlage zur Operationalisierung aufgeführt werden. Zudem stehen die Dimensionen für diverse Teilsysteme auf unterschiedlichen Skalierungsebenen einer Stadt, in denen verschiedene Akteure tätig sind. Auf der Handlungsebene des Konzeptes werden den Dimensionen übergeordnete Zielsetzung als Ansatzpunkte für den Transfer des Konzeptes in die Governance- und Planungspraxis zugeordnet.

Der empirische Teil demonstriert die Anwendung des Konzepts anhand der Analyse der Vulnerabilität städtischer Systeme als Gegenpol zur Robustheit, welche die zentrale Eigenschaft der physischen Dimension urbaner Resilienz darstellt. Für die Fallregion Reutlingen werden Hagelschäden an Gebäuden (Ereignis: Hagelsturm von Reutlingen 2013) untersucht und die Entwicklung eines fiktiven Abwassertarifs in unterschiedlichen Demografieszenarien modelliert. Die ausgewählten Herausforderungen des Klimawandels und des Demografischen Wandels spiegeln exemplarisch die Diversität der Rahmenbedingungen, denen Städte ausgesetzt sind, wider. Mit dem Ziel auf der planerisch besonders relevanten, kleinräumigen Ebene Aussagen zur Vulnerabilität und Resilienz der städtischen Systeme ableiten zu können, werden als Untersuchungsebene vergleichbare, idealtypische Bau- und Nutzungsstrukturtypen (BNT) gewählt. Grundlage dafür ist die Hypothese, dass sich zwischen den räumlichen Eigenschaften der BNT und der Hagelschadensanfälligkeit bzw. der Tarifsensitivität Korrelationen bestimmen lassen. Zwar zeigen die quantitativen Ergebnisse, dass keine statistisch [xx]

aussagekräftigen Korrelationen bestehen, doch lassen sich aus dem Vergleich der Lagemaße der untersuchten Indikatoren tendenzielle Unterschiede der Vulnerabilität der BNT erkennen. Diese werden als relationale, qualitative Vulnerabilitätsprofile der BNT zusammengeführt.

Im konzeptionellen Teil werden die qualitativen Bewertungen der Vulnerabilität der BNT in Einschätzungen der Robustheit überführt und exemplarische Handlungsansätze zugeordnet, um die Resilienzprofile der BNT zu konstruieren. Des Weiteren werden generelle Maßnahmen für die institutionelle und die soziale Dimension urbaner Resilienz beschrieben, die zur Umsetzung der übergeordneten Zielsetzungen auf der Handlungsebene des Dimensionen-Konzepts beitragen können. Dies liefert konkrete Ansatzpunkte für ein Resilience-Mainstreaming in der Governance- und Planungspraxis.

Abstract

The dissertation at hand has two central objectives: On the one hand, a resilience concept is developed, based on theory, which brings together the multidisciplinary resilience discourse and at the same time offers starting points for the transfer into practice. On the other hand, the empirical application of the concept is demonstrated and, based on the results, vulnerability and resilience profiles of urban systems are derived.

To meet the first objective, the state of research on resilience and the context in which the resilience concept attains its importance in urban areas are reviewed. It is shown that the numerous networked urban systems are exposed to diverse and ambivalent challenges, which will continue to lead to uncertainty and complexity in planning, in the future. The complex networking of urban systems provides the explanation that holistic considerations of the city as a system should be sought in the resilience discourse. On this basis, the *dimension-concept of urban resilience* is developed, which constructs urban resilience from the three dimensions of physical resilience, institutional resilience and social resilience. The dimensions reflect central strands of definition of the resilience discourse, for which corresponding properties are listed as the basis for operationalization. In addition, the dimensions stand for various subsystems on different scaling levels of a city, in which different actors are active. At the action level of the concept, overall objectives are assigned as starting points for the transfer of the concept into governance and planning practice.

The empirical part demonstrates the application of the concept based on the analysis of the vulnerability of urban systems as a counterpoint to robustness, which represents the central property of the physical dimension of urban resilience. For the Reutlingen case study region, hail damage to buildings (event: hailstorm of Reutlingen 2013) is examined and the development of a fictitious wastewater tariff is modeled in different demographic scenarios. The selected challenges of climate change and demographic change exemplarily reflect the diversity of the framing conditions to which cities are exposed. With the aim of being able to derive statements on the vulnerability and resilience of urban systems on the small-scale level, which is of particular importance for planning, comparable, ideal-typical building and usage structure types (BNT) are chosen as the level for analysis. The basis for this is the hypothesis that correlations can be determined between the spatial properties of the BNT and the susceptibility to hail damage or the sensitivity of the tariffs. Although the quantitative results show that there are no statistically meaningful correlations, a comparison of the measures of statistical location of the indicators shows the tendency for differences in the

vulnerability of BNT. These tendencies are brought together as relational, qualitative vulnerability profiles of the BNT.

In the conceptual part, the qualitative assessments of the vulnerability of the BNT are converted into assessments of the robustness and exemplary approaches are assigned to the BNT to construct the resilience profiles. Furthermore, general measures for the institutional and social dimension of urban resilience are described, which can contribute to the implementation of the overarching objectives at the action level of the dimension concept. This provides concrete starting points for resilience mainstreaming in governance and planning practice.

„At the heart of resilience thinking is a very simple notion – things change – and to ignore or resist this change is to increase our vulnerability and forego emerging opportunities. In doing so we limit our options.”

(Walker und Salt 2006: 9f.)

1. Einleitung

Das bislang schadensträchtigte Einzelereignis der deutschen Versicherungsgeschichte fand am 28. Juli 2013 statt. Beim sogenannten „Hagelsturm von Reutlingen“ entstanden innerhalb weniger Stunden Schäden in Höhe von rund 3,6 Milliarden €, wovon 2,8 Milliarden € versichert waren. Zwar gab es zuvor Einzelereignisse, die deutlich höhere Gesamtschäden verursacht haben, wie zum Beispiel die Oderflut von 2002 (rund 11,6 Milliarden €), doch fiel hierbei ein deutlich geringerer Versicherungsschaden an, als im Juli 2013 in Teilen Süddeutschlands. (vgl. Munich RE 2014: 3)

„Der Hagelsturm am 28. Juli verursachte in nur 15 Minuten [...] mehr als 70.000 Gebäude- und Autoschäden mit einem Schaden von 600 Millionen Euro bei Kunden der SV.

Das waren 40 Millionen Euro Schadenaufwand je Minute.“

(Dr. Klaus Zehner, Website SV Gebäudeversicherung; eigene Hervorhebung)

In Deutschland sind derartige Katastrophen vorwiegend auf meteorologische Ereignisse, wie etwa (Hagel-)Stürme, zurückzuführen. Daneben verursachen hydrologische Ereignisse (z. B. Überschwemmungen), gefolgt von klimatologischen Ereignissen (z. B. Temperaturextreme, Waldbrand), in zunehmender Regelmäßigkeit Schäden. So hat sich seit den 1970er Jahren die durchschnittliche, jährliche Anzahl an schadensträchtigen Naturereignissen etwa verdreifacht (vgl. Munich RE 2014: 1)

Naturkatastrophen sind aber nicht nur für die Versicherungswirtschaft mit weitreichenden Folgen verbunden, sondern vor allem für die Zivilgesellschaft der betroffenen Regionen. Neben der Gefahr für Leib und Leben können die Nutzbarkeit der eigenen Wohnung sowie städtischer Funktionen mitunter stark eingeschränkt werden. Auch Planungsakteure müssen sich in der Entscheidungsfindung auf die veränderten Rahmenbedingungen einstellen. Die Beispiele belegen, dass die Begriffe Vulnerabilität und Resilienz nicht ohne Hintergrund Eingang in den wissenschaftlichen Diskurs und die Praxis gefunden haben. Ausschlaggebend waren insbesondere die umfassenden Herausforderungen, denen das sozio-physische Mensch-Umwelt-System unterliegt. Dabei leiten sich diese Herausforderungen zumeist aus tiefgreifenden Veränderungen der Rahmenbedingungen ab, die sich von der globalen bis zur lokalen Ebene auf die menschliche Gesellschaft und die Umwelt auswirken. Betroffen von diesen Veränderungen sind, in unterschiedlicher Art und Intensität, alle Teilräume der Erde, von den ruralen Räumen in sehr peripheren Lagen, bis hin zu extrem verdichteten Lagen in den urbanen Zentren der Megacitys.

1.1 Aktualität des Themas und Problemstellung

In Deutschland ist es die Aufgabe der Raumplanung die Daseinsvorsorge der Bevölkerung sowie gleichwertige Lebensverhältnisse in allen Teilräumen sicherzustellen (vgl. § 1 II ROG). Nicht nur der Klimawandel erschwert zunehmend die Erfüllung dieser Aufgabe. Auch weitere gesamtgesellschaftliche Herausforderungen, wie beispielsweise der Demografische Wandel, der wirtschaftsstrukturelle Wandel oder angespannte Kommunalhaushalte, tragen zur Ambivalenz und Unsicherheit der künftigen Rahmenbedingungen der Stadtentwicklung bei. Auch wenn nicht alle Entwicklungen physische Schäden verursachen oder direkt zu einer Einschränkung der Daseinsvorsorge führen, so gefährden sie im Zusammenspiel doch die Umsetzung einer langfristig kosteneffizienten und nachhaltig orientierten Stadtentwicklung.

Dabei ist es vor allem der Mangel an konkreter Kalkulierbarkeit der zukünftigen Entwicklung der Rahmenbedingungen, der eine Hürde für Planungsakteure darstellt. Die Erfahrungen der Vergangenheit haben gezeigt, dass sowohl einzelne Extremereignisse als auch mittel- bis langfristige Entwicklungstrends deutlich von vorangegangenen Prognosen abweichen können und somit den menschlichen Erfahrungshorizont immer wieder überschreiten (vgl. Walker und Salt 2006: 29ff.). Um auf diese Herausforderungen angemessen reagieren zu können, ist ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit und Flexibilität der baulichen Strukturen und der Einrichtungen der Daseinsvorsorge erforderlich. Dem gegenüber stehen jedoch zumeist eine weitgehend inflexible Bausubstanz bzw. inflexible technische Infrastrukturen. Die technische Gestaltung (z. B. Systemdesign, Mindestgrößen), betriebswirtschaftlich-rechtliche Gründe (z. B. lange Abschreibungszeiträume, Mindeststandards) oder auch komplexe Eigentümerarrangements verhindern zumeist kurzfristige, tiefgreifende Veränderungen (vgl. Junkernheinrich und Micosatt 2005: 43ff.).

Bei der Planung der künftigen Stadtentwicklung müssen demzufolge Entscheidungen getroffen werden, die auf einer unsicheren Prognose der Entwicklung der künftigen Rahmenbedingungen beruhen, aber oftmals sehr langfristige und kostenintensive Investitionen zur Folge haben. Um trotzdem auf kurzfristige Veränderungen reagieren zu können, sollten die urbanen Strukturen und Systeme weitestgehend anpassungsfähig und flexibel gestaltet werden. Gleichzeitig muss aber auch der institutionelle Planungs- und Steuerungskontext ausreichend flexibel und anpassungsfähig sein, um kurzfristig auf veränderte Voraussetzungen reagieren zu können.

Sowohl in der wissenschaftlichen Debatte, als auch in der Praxis beschäftigt dieses Thema seit vielen Jahren zahlreiche Akteure. Vor allem im Kontext des Klimawandels werden unter dem Begriff Klimaadaptation regelmäßig Verfahren und Lösungsvorschläge diskutiert, die zur Minderung der

skizzierten Problematik beitragen sollen. (vgl. Brasseur et al. 2017; IPCC 2014c; Birkmann et al. 2013b) Diese Diskurse sind zumeist auch eng mit dem Leitbild der Nachhaltigkeit verbunden.

Den Maßnahmen der Klimaadaptation liegen oftmals sogenannte Vulnerabilitätsanalysen zu Grunde. Vereinfacht ausgedrückt beschreibt das Vulnerabilitätskonzept die Verletzlichkeit eines Systems gegenüber bestimmbar äußeren Einflüssen (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 49ff.; siehe Kapitel 4). Das ursprünglich aus der Klimafolgenforschung stammende Vulnerabilitätskonzept spielt auch im Planungskontext eine wichtige Rolle, da die Vulnerabilität des Siedlungsraumes nicht allein auf den rein physischen Klimastimulus zurückgeführt, sondern als komplexes „Mensch-Umwelt-Interaktionsproblem“ (ebd.: 51) verstanden wird. Ob ein potenziell gefährlicher Klimastressor also tatsächlich auch eine schadhafte Wirkung entfaltet, ist nicht primär von der Intensität des Klimastimulus abhängig, sondern ergibt sich aus dem Zusammenspiel zwischen der Naturgefahr, der Anfälligkeit sowie der Bewältigungskapazität des betroffenen gesellschaftlichen oder sozio-ökologischen Systems. Durch die Systemperspektive auf die Vulnerabilität der Raumfunktionen gegenüber dem Klimawandel ergeben sich Ansatzpunkte für formelle und insbesondere informelle Instrumente der Raumplanung. Mit Hilfe dieser veränderten Planungsgrundlagen können den unterschiedlichen Raumnutzern Handlungspotenziale zur Reduzierung der Vulnerabilität der von ihnen genutzten Raumfunktionen aufgezeigt werden. Dies ist insbesondere für Strategien und Maßnahmen von Bedeutung, die den Bestand betreffen, da formelle Planungsinstrumente aufgrund des Bestandsschutzes hier oftmals an ihre Grenzen stoßen. (vgl. ebd.: 51ff.)

Im Hinblick auf den planerischen Umgang mit der Vielfältigkeit und Unsicherheit künftiger Herausforderungen bei gleichzeitig langfristig wirksamen Entscheidungen, die die Anforderungen der Nachhaltigkeit erfüllen sollen, empfiehlt der Arbeitskreis „Klimawandel und Raumplanung“ der Akademie für Raumforschung in der Leibniz-Gemeinschaft (ARL) in seinem Forschungsbericht „die Abkehr von einem singulären Entwicklungs- bzw. Zukunftsmodell“ (ebd.: 52). Die sich immer wieder ändernden Rahmenbedingungen und Unsicherheiten erfordern ein Denken in verschiedenen Szenarien, die einen Korridor möglicher Entwicklungspfade aufspannen. Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen, dass statistisch basierte Prognosen ein Maß an Eintrittsgenauigkeit vermitteln, das sich meist nicht mit der Realität deckt. Durch unvorhersehbare Rahmenbedingungen und vielfältige Wirkungsbeziehungen in komplexen Systemen wird der menschliche Erfahrungshorizont immer wieder überschritten, sodass lineare Fortschreibungen nicht zutreffen. (vgl. ebd.; Lamker 2016: 59ff.)

1. Einleitung

Szenarien können diesbezüglich durchaus einen Mehrwert liefern, da sie meist auf einer umfassenderen Systemanalyse beruhen und so die Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Systemelementen detaillierter erfassen können, als dies in Prognosen der Fall ist. (vgl. Scholles 2008b: 380). Insofern liefern sie eine wichtige Diskussions- bzw. Planungsgrundlage und ermutigen dazu, angestammte Haltungen und Einschätzungen zu hinterfragen. In diesem Sinne empfiehlt auch der ARL-Arbeitskreis eine methodische Erweiterung der Vulnerabilitätsanalysen um die Szenariotechnik, um im Ergebnis zu „verschiedenen Vulnerabilitätsprofilen“ (Birkmann und Fleischhauer 2013: 52) kommen zu können, die eine gewisse Bandbreite möglicher Entwicklungen abdecken und so die Planungsgrundlage erweitern.

Die Erkenntnis, dass die Folgen des Klimawandels nur selten als konkret planbare, singuläre Herausforderung für die Stadtentwicklung und die Gesellschaft betrachtet werden können, hat zur Kritik an den bestehenden Vulnerabilitätskonzepten geführt, die sich in den Analysen meist auf einen physischen Störfaktor bzw. einen Klimastimulus fokussieren. (vgl. Bürkner 2010: 35ff.; Miller et al. 2010; Birkmann 2008: 14ff.; Adger 2006: 268ff.) Ebenso wie sich in komplexen Systemen durch das Zusammenspiel der Teilelemente emergente Eigenschaften ergeben, schafft das Zusammenwirken unterschiedlicher Rahmenbedingungen vielschichtige Herausforderungen, denen die räumlichen Strukturen ausgesetzt sind. Ob sich aus diesen Herausforderungen auch Gefahren ergeben ist zudem von den Eigenschaften der Strukturen bzw. des Systems selbst abhängig. Gegenseitige Beeinflussung und Rückkopplungseffekte können das Risikopotenzial deutlich erhöhen und schränken so die Aussagekraft einseitiger Vulnerabilitätsanalysen stark ein. Städtischer Hitzestress und demografiebedingte Alterung sind ein Beispiel für zwei Herausforderungen, bei denen sich das Risiko durch das Zusammenspiel potenziert. Treffen die zunehmende Anzahl an Hitzetagen und Tropennächten in Städten auf die steigende Anzahl an Hochbetagten, so ergibt sich als Folge eine erhöhte Mortalität, wie dies in Europa beispielsweise im Sommer 2003 festzustellen war (siehe Kapitel 3.1.3).

Zudem können auch systemimmanente Rückkopplungs- oder Kaskadeneffekte die negative Wirkung von externen Umwelteinflüssen verstärken oder abmildern. Derartige Wirkungsbeziehungen werden in den klassischen Vulnerabilitätsanalysen nur selten berücksichtigt, da sie sich in quantitativen Analysen nur unzureichend abbilden lassen. Dementsprechend haben einzelne Extremereignisse in der Vergangenheit immer wieder die zuvor auf Basis von Vulnerabilitätsanalysen berechneten Pufferkapazitäten und Vorsorgemaßnahmen überschritten und zu Schäden für das System und die Gesellschaft geführt. (vgl. Meadows und Wright 2008: 91ff.; Adger 2006: 275ff.)

Ausgangspunkte der Debatte zur urbanen Resilienz sind unter anderem das Bewusstsein über die Fehlbarkeit der städtischen Systeme und planerischer Prognosen sowie die allgegenwärtigen Risiken in modernen Gesellschaften (vgl. Beck 1986). Die zunehmende Verwendung des Resilienzkonzepts in der Raumforschung geht einher mit einem notwendigen Paradigmenwechsel: weg von einem linearen Planungsverständnis unter großer Technikgläubigkeit, hin zu einem kritischen, adaptiven Selbstverständnis der Planung, das Planende als partnerschaftliche Manager des Entwicklungsprozesses versteht (vgl. Lamker 2016: 114; Wiechmann 2008: 143). Festgelegte Strategien und Wertehaltungen müssen immer wieder hinterfragt und an die sich ändernden Rahmenbedingungen angepasst werden, sowohl reaktiv als auch proaktiv. Nicht zuletzt ist auch das Bewusstsein der Möglichkeit des Scheiterns ein zentraler Bestandteil des Resilienzkonzeptes. Dementsprechend sollten Strategien zur urbanen Resilienz auch immer die Frage, wie es nach dem (teilweisen) Zusammenbruch eines Systems weiter gehen kann und in welcher Art und Weise die Funktionen wieder erfüllt werden können, beantworten. (siehe Kapitel 5)

Das Resilienzkonzept wurde im 20. Jahrhundert in verschiedenen Disziplinen mit unterschiedlichen Definitionen verwendet (siehe Kapitel 5.1). Erst Ende des 20. Jahrhunderts fand es zunehmend Eingang in die raumbezogene Planungsforschung. Da die wissenschaftliche Debatte auf Basis unterschiedlicher Resilienzdefinitionen aus verschiedenen disziplinären Hintergründen geführt wurde und wird, liegt bis heute keine einheitliche Definition zur urbanen Resilienz vor. In ihrer Literaturschau zur urbanen Resilienz listen MEEROW ET AL. u. a. 25 zentrale Definitionen auf, die den Diskurs bis dato geprägt haben (vgl. Meerow et al. 2016: 41), allerdings auch deutliche Unterschiede aufweisen. Diese definitorische Unschärfe des Konzepts lässt sich mit seiner Genese begründen (siehe Kapitel 5.1) und ist auch in gewissem Maße die Voraussetzung für seine Funktion als „boundary object“ (ebd.: 39), also als gemeinsamer Diskussionsgegenstand an der Schnittstelle zwischen unterschiedlichen Disziplinen. Jedoch ist sie gleichzeitig auch ein wesentlicher Grund für die bisher mangelnde Umsetzung des Konzeptes in der Praxis. Fehlt eine eindeutige Definition, fällt es schwer den Mehrwert des Konzeptes an Praxisakteure zu vermitteln und die Ziele für die praktische Anwendung zu operationalisieren.

Genau an diesem Punkt liegt eine zentrale Forschungslücke zum Thema der Resilienz, die einer weiteren Klärung bedarf. Es gilt eine Definition zu finden, die der Breite des bislang in der einschlägigen Literatur geführten Diskurses gerecht wird, damit die Disziplinen vernetzende Funktion („boundary function“, Thorén 2014: 315f.) auch weiterhin erhalten bleibt und so möglichst viele Zugänge zum Thema möglich sind. Gleichzeitig muss die Definition auch hinreichend konkret sein, um sie in

1. Einleitung

operationalisierbare Ziele zu überführen und so der Praxis zugänglich machen zu können. Um den Mehrwert des Konzeptes zu verdeutlichen, muss eine klare Abgrenzung zu anderen Konzepten herausgearbeitet werden, die in dem aufgezeigten Themenfeld von zentraler Bedeutung sind: v. a. Vulnerabilität, Nachhaltigkeit, Klimaadaptation und -mitigation.

1.2 Forschungsziel und Forschungsfragen

Um die beschriebene Forschungslücke zu schließen, liegt das Ziel der vorliegenden Dissertationschrift im Kern in der Erarbeitung einer praxistauglichen Definition von *urbaner Resilienz* für die Raum- und Stadtplanung. Damit der Transfer in die Praxis gelingen kann, gilt es, ein Gesamtkonzept zur *urbanen Resilienz* zu erarbeiten, das Anknüpfungspunkte für zahlreiche Akteure und disziplinäre Zugänge bietet. Nur wenn es gelingt, in diesem Konzept wesentliche Aspekte des bislang breit geführten Diskurses abzubilden, kann das Konzept auch weiterhin seine *boundary function* erfüllen und so eine interdisziplinäre Zusammenarbeit unter einer gemeinsamen Handlungsmaxime ermöglichen. Dafür müssen sich aus dem Konzept hinreichend konkrete Zielsetzungen ableiten lassen, die in der Praxis in Indikatoren oder Handlungsansätze operationalisiert werden können.

Von besonderer Bedeutung erscheint auch eine deutliche Abgrenzung zum Konzept der Vulnerabilität, da die bestehenden definitorischen Unschärfen bisweilen dazu geführt haben, dass Resilienz schlicht als Gegenpol zur Vulnerabilität wahrgenommen wird (vgl. Miller et al. 2010). Wird also beispielsweise die Vulnerabilität einer Raumnutzung reduziert, so würde in gleichem Maße die Resilienz steigen. Der Mehrwert des Resilienzkonzeptes bleibt in diesem Fall fraglich. Vor allem jüngere Resilienzdefinitionen nehmen jedoch eine klare Abgrenzung zum Vulnerabilitätskonzept vor (vgl. Folke et al. 2010; Walker und Salt 2006), an die in dieser Arbeit angeknüpft werden soll. Um die definitorischen Unschärfen zu überwinden, ist es weiterhin nicht nur erforderlich, sich mit der Genese des Resilienzkonzeptes zu beschäftigen, sondern gleichzeitig auch anhand von Praxisbeispielen Operationalisierungsmöglichkeiten des Konzepts aufzuzeigen.

Nachdem das Resilienzkonzept auf theoretischer Basis entwickelt und definiert wurde, gilt es die Praxistauglichkeit zu prüfen. Da die Anwendungsorientierung bei der Entwicklung des Konzeptes stets ein wichtiger Faktor ist, soll dies durch die Anwendung des Konzepts auf reale Beispiele exemplarisch demonstriert werden. Dazu sollen unterschiedliche städtische Systeme mit verschiedenen externen Herausforderungen konfrontiert werden, um Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile exemplarisch für diese Systeme abzuleiten. Dazu muss allerdings zunächst definiert werden, was unter dem Begriff der „städtischen Systeme“ zu verstehen ist.

Soll ein Konzept auch von Planungsakteuren angewendet werden, so muss ein Bezug zur räumlichen Entwicklung in einer Stadt hergestellt werden. Gelingt es zudem, dass sich aus dem Konzept verallgemeinerbare Aussagen ableiten lassen, auf deren Basis übertragbare Handlungsstrategien entworfen werden können, so liefert das Konzept wichtige Grundlagen für eine breite Anwendung in der Praxis. Eine Methodik zur Verallgemeinerung von Siedlungsstrukturen und den damit verbundenen räumlichen Indikatoren ist der sogenannte Bau- und Nutzungsstrukturtypen (BNT) Ansatz (vgl. Sigglow 2011; Blum und Gruhler 2010; Westphal 2008; Siedentop et al. 2006). Hierbei werden homogene, idealtypische Baustrukturtypen erfasst, anhand derer sich die Vielfalt der Siedlungsstrukturen weitgehend abbilden lässt. Auf Basis der identifizierten BNT können anschließend Analysen zum Zusammenhang zwischen den räumlichen Eigenschaften der BNT und weiteren Indikatoren, die unterschiedliche Phänomene beschreiben, durchgeführt werden. Aufgrund der Zusammenfassung zu BNT sinkt einerseits der Erhebungsaufwand, während gleichzeitig die Fallzahl für die Analysen steigt. Zudem lassen sich die verallgemeinerbaren Ergebnisse besser auf großräumig heterogenen Siedlungsstrukturen übertragen und so auch in praktische Planungsprozesse integrieren. Die BNT sind damit Werkzeug zur Erfüllung der Transferfunktion zwischen dem empiriebasierten Erkenntnisgewinn in der Wissenschaft und der Anwendung in der Planungspraxis.

Die empirische Basis der vorliegenden Arbeit ist die Versicherungs- und Schadensdatenbank der SV Sparkassenversicherung Gebäudeversicherung Baden-Württemberg. In dieser Datenbank sind die gegen Sturm-/Hagelschäden und Überschwemmungsschäden versicherten Objekte sowie die entsprechenden Schadensfälle für die Jahre 2010 bis 2015 enthalten. Durch die systematische Auswertung der Datenbank im Kontext der BNT soll der statistische Zusammenhang zwischen den räumlichen Indikatoren und den Schadensfällen analysiert werden, um daraus verallgemeinerbare Aussagen zur Vulnerabilität und Resilienz der BNT ableiten zu können. Um auch Infrastrukturen als einen Teil der Stadt als Gesamtsystem zu berücksichtigen, wird die Reaktion der Abwasserinfrastrukturen auf demografische Entwicklungen exemplarisch modelliert. Hierbei wird jedoch auf idealtypische, BNT-spezifische Literaturkennwerte zurückgegriffen. Die Kombination der Analysen zur Schadensanfälligkeit von Gebäuden sowie der Reaktion von Abwasserinfrastrukturen auf unterschiedliche Herausforderungen, stellt exemplarisch die Vielfältigkeit der Wirkungsbeziehungen innerhalb eines Strukturtypen dar. Ziel der Untersuchung ist es, herauszuarbeiten, ob sich kleinräumig Muster identifizieren lassen, die einen Hinweis darauf geben, ob ein BNT mehr oder weniger stark anfällig gegenüber äußeren Einflüssen ist. Die Ergebnisse dieser Untersuchung können anschließend wichtige Erkenntnisse für die Planungspraxis liefern und in Handlungsstrategien und -maßnahmen überführt werden.

1. Einleitung

Wichtige Forschungsfragen zum Erreichen dieser Ziele sind unter anderem:

1. Welche städtischen Systeme müssen im Kontext der Resilienzdebatte Berücksichtigung finden?
2. Welche Rahmenbedingungen sind besonders relevant für die langfristige Entwicklung städtischer Systeme in Deutschland und wie wirken sie sich aus?
3. Wie ist der Begriff der urbanen Resilienz zu definieren? Wodurch grenzt er sich von ähnlichen Begrifflichkeiten aus den Themenbereichen der Stadtentwicklung und Raumplanung ab?
4. Welche räumlichen Eigenschaften beeinflussen die Vulnerabilität und Resilienz städtischer Systeme und anhand welcher Indikatoren können sie gemessen werden?
5. Lassen sich kleinräumig homogenen Siedlungsstrukturtypen unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Vulnerabilität und Resilienz gegenüber verschiedenen Herausforderungen zuordnen?
6. Wie können die Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile in der Stadt- und Raumplanung ausgestaltet und angewendet werden?
7. Welche Bedeutung hat Resilienz für die Planung einer nachhaltigen Raumentwicklung?

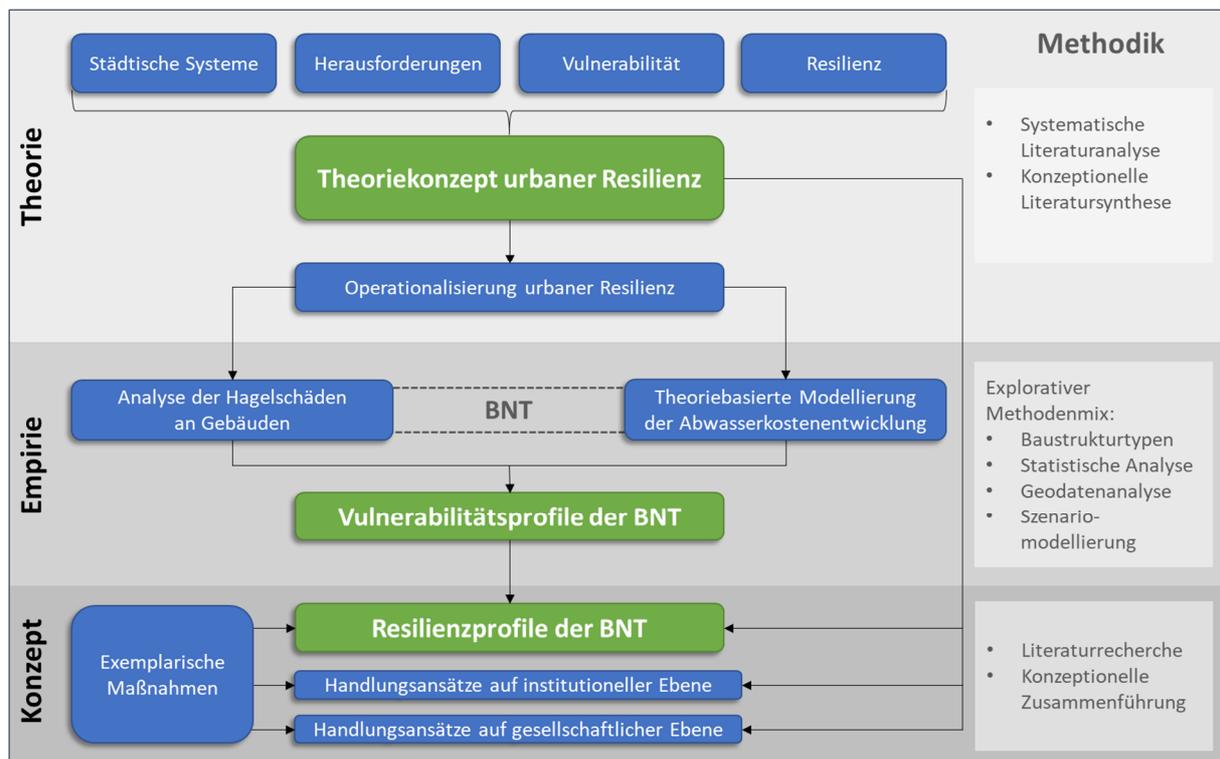
Der Fokus der Arbeit liegt auf einer theoriebasierten Fassung und planungspraktischen Definition des Konzepts der *urbanen Resilienz*. Durch die explorative Entwicklung einer Bewertungsmethodik für das aufzustellende Resilienzkonzept ist zudem dessen Anwendbarkeit exemplarisch aufzuzeigen. Insbesondere die beiden letzten Forschungsfragen schlagen eine Brücke von den Ergebnissen der empirischen Analyse hin zu konzeptionellen Schritten, die in der Planungspraxis Anwendung finden könnten. Der konzeptionelle Teil der Arbeit umfasst jedoch lediglich die Erstellung der Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile, denen exemplarische Handlungsempfehlungen zugeordnet werden. Zudem wird anhand allgemeiner Handlungsansätze aufgezeigt, wie das erstellte Resilienzkonzept Eingang in die Planung und die Gesellschaft als Ganzes erhalten könnte.

1.3 Aufbau der Arbeit und Forschungskonzept

Die Arbeit ist in drei Teile gegliedert. Der Fokus liegt auf dem Theorieteil, der zur Herleitung eines planungspraktischen Resilienzverständnisses dient. Im Empirieteil wird daran anschließend die praktische Anwendung des entwickelten Konzeptes exemplarisch demonstriert. Im konzeptionellen Teil steht dann die Überführung der empirischen Ergebnisse in Resilienzprofile und die Zuordnung von idealtypischen Maßnahmen im Vordergrund. Zudem werden auch Handlungsansätze auf institutioneller und gesellschaftlicher Ebene diskutiert.

In Abbildung 1 ist das der Arbeit zugrunde liegende Forschungskonzept dargestellt. Darin sind wichtige Arbeitsschritte und inhaltliche Ergebnisse in den blauen Kästchen dargestellt. Zentrale Ergebnisse der Arbeit, nämlich das theoretisch-konzeptionell zu entwickelnde Theoriekonzept urbaner Resilienz sowie die für diese Arbeit titelgebenden Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile sind durch die grünen Kästchen herausgestellt. Durch die Pfeile wird im Forschungskonzept verdeutlicht, wie die einzelnen Bestandteile der Arbeit aufeinander aufbauen. Die Kästchen repräsentieren überwiegend auch die Oberkapitel dieser Arbeit und damit den inhaltlichen Aufbau. Neben dem inhaltlichen Aufbau der Arbeit sind den einzelnen Teilen im Forschungskonzept auch die verwendeten Methoden zugeordnet. Die theoretischen Grundlagen dieser Methoden werden in Kapitel 1.4 beschrieben. Die konkrete Anwendung der jeweiligen Methodik wird ausführlicher im zugehörigen Kapitel erläutert, sofern dies im Sinne der Transparenz der Forschungsmethodik erforderlich scheint.

Abbildung 1: Forschungskonzept



Quelle: eigene Darstellung

Im ersten Kapitel wird in das Thema eingeleitet, das Forschungsziel bestimmt und die Forschungsfragen definiert, die für die Arbeit handlungsleitend sein sollen. Zudem wird der Aufbau der Arbeit erläutert und die verwendeten Methoden dargestellt.

Der Theorieteil dient der Schaffung der theoretischen Grundlagen, um daraus ein Konzept der urbanen Resilienz ableiten zu können. Dazu wird zunächst der Kontext dargestellt, in dem sich die Diskussion zur urbanen Resilienz bewegt: dies sind zum einen die urbanen Strukturen,

1. Einleitung

Infrastrukturen und Akteure, die in Kapitel 2 unter dem Oberbegriff der städtischen Systeme beschrieben werden. Sie sind die Bestandteile, aus denen sich Städte zusammensetzen und stellen damit die Grundlage für die weiteren Diskussionen dar. Ausgehend von den Funktionen einer Stadt erfolgt ein allgemeiner Überblick über städtische Systeme bevor in Hinführung auf die Analysen im Empirieteil die Systeme der Wohnraumversorgung und der Abwasserentsorgung eingehender dargestellt werden. Über einen Exkurs in die Systemtheorie werden die Komplexität von Systemen und die damit einhergehenden systemischen Risiken diskutiert.

Der zweite Aspekt, der aus Sicht des Autors den Kontext der Resilienzdebatte bildet, wird in Kapitel 3 beschrieben: die Herausforderungen denen Städte in Zeiten des globalen Wandels ausgesetzt sind. Daher erfolgt ein Überblick über die Vielfalt und Unterschiedlichkeit der Herausforderungen und welche besonderen Anforderungen sich dadurch für die Planung ergeben. Als exemplarische Herausforderung der empirischen Analysen werden der Klimawandel und der Demografische Wandel eingehender beschrieben. In einem weiteren Unterkapitel wird erläutert, warum die Ambivalenz und Unsicherheit der Herausforderungen für Planungsakteure besondere Herausforderungen darstellen. Abschließend werden die Schnittstellen zwischen den näher erläuterten Herausforderungen und den beiden beispielhaft ausgewählten Stadtsystemen aufgezeigt.

Das neben der Resilienz ebenfalls im Titel der Arbeit aufgeführte Vulnerabilitätskonzept wird in Kapitel 4 beschrieben. Aufgrund seiner inhaltlichen Nähe zur Resilienz erfolgt eine ausführliche Darstellung der Genese des Konzepts und unterschiedlicher Definitionsansätze. Dies dient im weiteren Verlauf der Arbeit zur Verortung der Resilienz bzw. zur klaren Abgrenzung zwischen Vulnerabilität und Resilienz. Außerdem stellt es die theoretische Grundlage der zu entwickelnden Vulnerabilitätsprofile dar. Im fünften Kapitel werden die Genese des Resilienzkonzepts sowie unterschiedliche Definitionsstränge eingehend erläutert. Diese eingehende Darstellung dient dazu, Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Definitionen in einer Literatursynthese (siehe Kapitel 5.1.5) aufzuzeigen. Unter Berücksichtigung der aufgestellten Zielsetzungen und der Schwächen bisheriger Resilienzdefinitionen wird anschließend das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* hergeleitet und erläutert (siehe Kapitel 5.2). Nach der Einordnung des Konzepts in den theoretischen Kontext werden Beispiele für die Anwendung der Resilienz in der Praxis beschrieben, um daraus Operationalisierungsansätze für die Planungspraxis abzuleiten (siehe Kapitel 5.5). Diese Operationalisierungsansätze werden dann im empirischen Teil der Arbeit aufgegriffen.

Der empirische Teil der Arbeit dient der Demonstration der Anwendung des entwickelten Resilienzkonzepts. Er besteht aus zwei Abschnitten, die exemplarisch die Unterschiedlichkeit und

Vielfältigkeit von städtischen Systemen und Herausforderungen darstellen sollen, die im komplexen System Stadt zusammentreffen. Die anschließende Zusammenführung der beiden empirischen Abschnitte zu Vulnerabilitätsprofilen repräsentiert ein generelles, holistisches Systemverständnis. In Kapitel 6 werden zunächst die verwendeten Datengrundlagen beschrieben, die Auswahl der Fallregion erläutert und diese anschließend anhand einiger Kenndaten vorgestellt. Daraufhin erfolgt in Kapitel 7 die Einführung in den Bau- und Nutzungsstrukturtypenansatz, der in dieser Arbeit als Instrument dient, um die Ergebnisse der beiden empirischen Abschnitte auf einer gemeinsamen räumlichen Ebene miteinander vergleichen zu können. Gleichzeitig erlauben die Ergebnisse auf BNT-Ebene eine Verallgemeinerung und sind somit auf den Transfer in Theorie und Praxis ausgerichtet. In Kapitel 7.4 wird beschrieben, wie für die BNT-Flächen der Fallregion kleinräumige räumliche Indikatoren erhoben wurden.

In Kapitel 8 wird die Vorgehensweise der Aufbereitung und Analyse der Hagelversicherungs- und Schadensdaten beschrieben. Anschließend werden die statistischen Ergebnisse dargestellt und erörtert. In Kapitel 9 folgt die Beschreibung des Aufbaus und der Funktionsweise des theoriebasierten Modells der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung. Die modellierten Ergebnisse werden beschrieben und ausgewertet. Abschließend folgt in Kapitel 10 die Zusammenführung der Ergebnisse der beiden empirischen Abschnitte zu Vulnerabilitätsprofilen für die unterschiedlichen BNT.

Im konzeptionellen Teil der Arbeit wird an die zuvor erstellten Vulnerabilitätsprofile angeknüpft, indem für die einzelnen BNT entsprechende Resilienzprofile abgeleitet werden (siehe Kapitel 11). Diesen Resilienzprofilen werden für die städtischen Systeme Wohnraumversorgung und Abwasserinfrastrukturen exemplarische Maßnahmen auf der physischen Dimension der Resilienz zugeordnet. Im Hinblick auf die beiden weiteren Dimensionen urbaner Resilienz werden in Kapitel 12 Handlungsansätze für die institutionelle Ebene und in Kapitel 13 für die gesellschaftliche Ebene diskutiert. Im Fazit (siehe Kapitel 14) wird dargestellt, wie die Forschungsfragen im Rahmen der Arbeit beantwortet wurden und ob das entwickelte Resilienzkonzept als planerisches Leitbild tauglich ist. Abschließend erfolgt die Reflexion der eigenen Arbeit und die Darstellung des weiteren Forschungsbedarfs.

1.4 Methodisches Konzept

Die vorliegende Arbeit weist einen stark theoriebasierten Fokus auf. Ziel ist es zunächst, den theoretischen Diskurs zur Resilienz im räumlichen Kontext zu erfassen und in ein, im Planungskontext handhabbares, Konzept der urbanen Resilienz zu überführen. Dazu ist eine ausführliche, systematische Literaturrecherche erforderlich, die den Stand der Forschung aufarbeitet und die unterschiedlichen disziplinären Zugänge zum Konzept sowie weitere wesentliche Rahmenbedingungen

1. Einleitung

beleuchtet. Diese umfassende theoretische Grundlage ist erforderlich, um das angestrebte Resilienzkonzept nachvollziehbar herleiten und bestehende Forschungslücken schließen zu können.

Im empirischen Teil der Arbeit soll die praktische Anwendbarkeit des Konzepts demonstriert werden. Da für das entwickelte Resilienzkonzept und die zugrundeliegenden Fragestellungen kein etablierter methodischer Ansatz vorliegt, geschieht dies auf Basis einer explorativen, quantitativen Datenanalyse. Insbesondere der Anspruch, im Sinne eines holistischen Resilienzverständnisses, die Resilienz unterschiedlicher städtischer Systeme unter verschiedenen Herausforderungen miteinander zu verschneiden, erfordert einen eigenständigen Ansatz im Methodenmix.

Um trotz des neuen Ansatzes die Vergleich- und Übertragbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen, wird als Analyseebene die Baustrukturtypenebene gewählt, für die in der Literatur bereits zahlreiche Ergebnisse zur Anfälligkeit städtischer Infrastrukturen gegenüber unterschiedlichen Herausforderungen vorliegen (siehe Kapitel 7). Die zur Verfügung stehenden, objektbezogenen Gebäudeversicherungs- und Schadensdaten erlauben eine Zusammenführung auf Ebene der BNT. Die Verschneidung von räumlichen Indikatoren mit den Kennwerten der Versicherungs- und Schadensdatenbank erfolgt unter Verwendung des Geoinformationssystems (GIS) ESRI ArcGIS. Zur weiteren Auswertung kommen standardisierte statistische Verfahren wie Korrelations- und Regressionsanalysen zum Einsatz.

In einem weiteren Schritt wird ein theoriebasiertes Modell erstellt, das den Einfluss des Demografischen Wandels auf die Abwasserinfrastruktur in den BNT der Modellregion simuliert. Da für die Modellregion keine kleinräumigen Realdaten vorliegen, wird auf idealtypische Literaturkennwerte zur Einwohnerdichte und Infrastrukturausstattung der einzelnen BNT zurückgegriffen. Auch die Kostenkennwerte beruhen auf Literaturdaten. In verschiedenen Szenarien kann so die (Kosten-)Reaktion der unterschiedlichen BNT auf demografische Veränderungen simuliert werden.

Der konzeptionelle Teil der Arbeit umfasst die Zusammenführung der Ergebnisse der beiden empirischen Bausteine zu Resilienzprofilen für die verschiedenen BNT. Im Hinblick auf die Überführung der Ergebnisse in planungspraktische Maßnahmen werden die Resilienzprofile durch exemplarische Maßnahmen angereichert, die aus der Literatur entnommen wurden. Neben diesen physischen Maßnahmen werden konzeptionell auch potenzielle Handlungsansätze auf Ebene der Planungsinstitutionen und der Gesamtgesellschaft diskutiert, die ebenfalls einer Literaturanalyse entstammen.

1.4.1 Literaturanalyse

Die angewandte Forschungsmethode der systematischen Literaturanalyse nach zentralen Schlüsselwörtern eignet sich als Einstieg in den Forschungsgegenstand. Das Sammeln, Aussortieren, [12]

Bewerten, Interpretieren sowie Darstellen von relevanten Veröffentlichungen zu einem ausgewählten Thema liegt im Mittelpunkt dieser Methode. Es gilt das Thema und die verwandten Themenbereiche zu erfassen, um einen ausreichenden theoretischen Hintergrund zur Beantwortung der Forschungsfragen zu erlangen. Weiterhin sollen auch die Fortschritte im Entwicklungsverlauf des Standes der Forschung zum ausgewählten Themenbereich dargestellt und offene Forschungsdesiderate ermittelt werden. (vgl. Wohlin 2014; Okoli und Schabram 2010: 4f.)

In der vorliegenden Arbeit beziehen sich die in den digitalen und analogen Medien durchgeführten Recherchen vorwiegend auf die zentralen Themen *Vulnerabilität*, *Resilienz* und *urbane Systeme* sowie die inhaltlich daran angrenzenden Themenbereiche (z. B. Herausforderungen von Städten). Nach der grundlegenden theoretischen Auseinandersetzung mittels systematischer Literaturanalyse erfolgte eine weitere Differenzierung mittels der Methode der konzentrischen Kreise (auch „Snowballing“, Wohlin 2014). Durch Auswertung der Literaturverzeichnisse zentraler Werke kann die zentrale Primärliteratur des Themenfeldes sowie inhaltlich anknüpfender Themenfelder identifiziert und somit ein tiefergehender theoretischer Hintergrund erarbeitet werden. Dies ist im Kontext der vorliegenden Arbeit von besonderem Interesse, da für ein umfassendes Verständnis des Resilienzkonzeptes und seiner Genese der Forschungsstand sehr breit und unter Berücksichtigung unterschiedlicher disziplinärer Zugänge abgebildet werden soll.

Zusätzlich weist auch der empirische Teil der Arbeit starke Bezüge zur Literatur auf. Zwar erfolgt mit der Auswertung der Schadensdatenbank eine Analyse von Primärdaten, doch basiert die Auswertung nach BNT auf der Definition dieser Baustrukturtypen in der Literatur. Bei den Kennwerten der BNT, die insbesondere im zweiten empirischen Baustein Anwendung finden, handelt es sich um Sekundärdaten, die vollständig der Fachliteratur entnommen werden. Auch die methodischen Grundlagen zur Durchführung der Korrelationsanalysen und zur Konzeption des Infrastrukturmodells entstammen der Fachliteratur sowie vergleichbaren Fallstudien. Zudem basieren die konzeptionellen Handlungsempfehlungen für die Resilienzprofile auf Literaturbeispielen sowie auf Maßnahmen, die im Rahmen einer Internetrecherche ermittelt werden.

1.4.2 Statistische Datenanalyse

Der erste Schritt einer explorativen statistischen Datenanalyse ist für gewöhnlich die deskriptive Analyse der Daten im Hinblick auf ihre Streuung und die Lagemaße. Dazu können statistische Normalverteilungstests, wie beispielsweise der Shapiro-Wilk-Test oder der Kolmogorov-Smirnoff-Test, herangezogen werden. Da dieses Tests die Daten jedoch nach sehr strengen Kriterien bewerten und gerade bei großen Stichproben die Normalverteilung sehr häufig ablehnen, bietet sich im ersten

1. Einleitung

Schritt eine optische Analyse von Abbildungen der Werteverteilungen an (siehe Kapitel 8.2.1). Die Einschätzung auf Grundlage der optischen Eindrücke kann bereits Hinweise darauf liefern, welche statistischen Verfahren erfolgversprechend oder auszuschließen sind. So setzen einige Verfahren zur Berechnung der Korrelation, wie beispielsweise der t-Test, die einfaktorielle ANOVA oder die Pearson-Korrelation eine Normalverteilung der Messdaten voraus. Derartige Verfahren werden auch als parametrische Methoden bezeichnet. Bei metrischen Variablen lässt sich die Normalverteilung optisch am einfachsten anhand von Histogrammen testen. Alternativ kann die Normalverteilung optisch auch anhand von P-P-Diagrammen überprüft werden, die eine genauere Einschätzung ermöglichen, aber schwieriger zu interpretieren sind und seltener angewendet werden (vgl. Backhaus et al. 2016: 121f.). In der vorliegenden Arbeit werden Histogramme zur Einschätzung der Normalverteilung angewendet, da diese bereits eine hinreichend genaue optische Analyse ermöglichen. Gelten die Daten als normalverteilt, so können die oben aufgeführten Verfahren auf die Daten angewendet werden. Bei nicht normalverteilten Stichproben sind sogenannte nicht-parametrische Verfahren wie der Wilcoxon-Test, der Friedmann-Test, der Kruskal-Wallis-Test oder die Spearman-Korrelation anzuwenden.

Die optische Beurteilung der Daten in der deskriptiven Statistik vermittelt zwar einen ersten Eindruck über grundsätzliche statistische Zusammenhänge, die zu überprüfen sind, ist aber nicht ausreichend, um statistisch aussagekräftige Ergebnisse zu liefern. Daher werden in der schließenden Statistik die passenden, oben aufgeführten Methoden angewendet, um die Korrelationen zwischen den Variablen zu quantifizieren und die statistische Signifikanz dieser Korrelationen zu bestimmen (siehe Kapitel 8.2.2). Daran anschließend können bei vorliegender Korrelation lineare Regressionsanalysen den Zusammenhang ggf. in Form einer Regressionsfunktion weiter ausdifferenzieren.

Zur Beschreibung der Daten werden im Rahmen dieser Arbeit als Lagemaße der Median sowie der Mittelwert (arithmetischen Mittel) verwendet. Als Streuungs-, oder auch Dispersionsmaße werden die Varianz und die Standardabweichung verwendet, wobei letztere das wohl wichtigste stochastische Dispersionsmaß darstellt. Zusätzlich kommt bei der deskriptiven Datenanalyse auch der Kennwert der Schiefe zum Einsatz. (vgl. Benning 2011: 45ff., 50ff.; 53) Als weitere Lagemaße werden an einigen Stellen auch Angaben zu den Quartilen gemacht. Die Quartile teilen einen Datensatz geordnet nach der Größe der Messwerte in vier Teile mit der gleichen Fallanzahl ein. Das zweite Quartil entspricht also dem Median. Analog dazu handelt es sich bei den Perzentilen um die Einteilung des Datensatzes nach Prozentwerten. So gibt beispielsweise das 95 %-Perzentil an, dass 95 % der Messfälle kleiner oder gleich dem angegebenen Parameterwert sind.

Soll der lineare Zusammenhang zwischen zwei metrisch skalierten Variablen bestimmt werden, so liefert der Korrelationskoeffizient das statistische Maß für diesen Zusammenhang. Im Gegensatz zur Regressionsanalyse ist bei der Korrelationsanalyse keine abhängige bzw. unabhängige Variable zu bestimmen. Der Korrelationskoeffizient ergibt sich aus dem Quotienten der Kovarianz zwischen den beiden Variablen und dem Produkt der beiden Standardabweichungen. Als dimensionsloser Wert gibt er Richtung und Intensität des Zusammenhangs zwischen den beiden Variablen an. Ein funktionaler Zusammenhang lässt sich daraus jedoch nicht ableiten. Der Korrelationskoeffizient kann zwischen -1 und +1 liegen, wobei die Extrema jeweils einen vollständig negativen bzw. vollständig positiven Zusammenhang aufzeigen. Bei einem Koeffizienten von Null besteht kein statistischer Zusammenhang zwischen den beiden Variablen. Als bivariates statistisches Verfahren sind Korrelationsanalysen auf die Analyse von zwei Variablen beschränkt. (vgl. Benning 2011: 176f.; Berekoven et al. 2002: 198f.)

Da in den Raumwissenschaften selten die Grundgesamtheit untersucht werden kann, beziehen sich die statistischen Analysen meist nur auf eine Stichprobe. Dies gilt auch für die vorliegende Arbeit. Diesbezüglich ist bei der Auswertung der statistischen Ergebnisse zu hinterfragen, inwieweit die Stichprobenergebnisse auch für die Grundgesamtheit gültig sind. In vielen statistischen Verfahren, so auch in der Regressionsanalyse, ist dazu eine Normalverteilung erforderlich. Einige Verfahren der Korrelationsanalyse können dagegen auch mit nicht-normalverteilten Datensätzen umgehen. Die Annahme der Übertragbarkeit der Ergebnisse einer Stichprobenanalyse auf die Grundgesamtheit beruht auf den Aussagen des zentralen Grenzwertsatzes, der besagt, dass das „(gewogene) Mittel von stochastisch unabhängigen Zufallsstichproben aus einer beliebigen Verteilung mit zunehmender Anzahl an Zufallsstichproben wiederum normalverteilt ist [...]“ (Albers und Skiera 1999: 5). Die Normalverteilung der Stichprobe ist damit Voraussetzung dafür, dass ein Regressionsmodell zuverlässig die Y-Werte für die i-te Beobachtung der unabhängigen Variable x prognostizieren kann. Das für diese Prüfung anzuwendende Qualitätsmaß ist die Signifikanz. In moderner Statistiksoftware (wie z. B. IBM SPSS) lässt sich die Irrtumswahrscheinlichkeit p einer Stichprobe berechnen. Diese besagt, wie wahrscheinlich es ist, dass eine Hypothese aufgrund der statistischen Ergebnisse verworfen wird, obwohl sie richtig ist (Fehler 1. Art). Gleichzeitig erhöht sich bei sinkender Irrtumswahrscheinlichkeit die Wahrscheinlichkeit eine Hypothese als bestätigt anzusehen, obwohl sie falsch ist (Fehler 2. Art). Das Signifikanzniveau (α) ist vorab festzulegen. Es handelt sich um einen Schwellenwert, der die ermittelten Ergebnisse als signifikant kennzeichnet, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit p das Signifikanzniveau unterschreitet. Signifikanz und Irrtumswahrscheinlichkeit sind demzufolge nicht gleichzusetzen. Das Signifikanzniveau kann je nach Fragestellung und Zielsetzung

1. Einleitung

frei gewählt werden. In der Regel wird unter einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($p < 0,05$) von einem signifikanten Ergebnis ausgegangen, unter 1 % gar von einem sehr signifikanten Ergebnis (vgl. Berekoven et al. 2002: 236). Von Bedeutung für die Einschätzung einer ermittelten Irrtumswahrscheinlichkeit ist, dass aufgrund der Berechnungsmethode die Irrtumswahrscheinlichkeit mit zunehmender Fallzahl deutlich abnimmt. Es werden dann schon geringfügige Korrelationen als signifikant bewertet. Bei sehr hohen Fallzahlen (> 10.000) ist daher nahezu zwangsläufig von einer niedrigen Irrtumswahrscheinlichkeit auszugehen, auch wenn mitunter in der Realität kein signifikanter Zusammenhang zwischen zwei Variablen gegeben ist. (vgl. Wolf und Best 2010b: 620f.; Albers und Skiera 1999: 208ff.)

Sollen statistische Zusammenhänge zwischen zwei oder mehr Variablen analysiert werden, kommen meist lineare Regressionsanalysen zum Einsatz. Sie gehören damit zu den am häufigsten angewendeten statistischen Verfahren. Ziel einer Regressionsanalyse ist es, die Abhängigkeit zwischen einer abhängigen Variable (auch: endogene Variable oder Regressant) und einer oder mehrerer unabhängiger Variablen (auch: exogene Variable oder Regressor) zu untersuchen. Der primäre Anwendungsbereich von Regressionsanalysen ist die Untersuchung von Kausalbeziehungen. Das bedeutet auch, dass vor Durchführung einer Regressionsanalyse eine Hypothese über den zu untersuchenden Zusammenhang aufzustellen ist. Es ist festzulegen, welche Variablen betrachtet werden sollen und welche Wirkrichtung des Kausalzusammenhangs untersucht werden soll. Ist ein linearer Zusammenhang zu erwarten, werden lineare Regressionsanalysen verwendet. Daneben gibt es auch nicht-lineare Regressionsanalysen, die beispielsweise exponentielle oder logarithmische Zusammenhänge nachweisen können. Da deren Aussagekraft aber geringer und die Interpretation schwieriger ist, werden sie seltener angewendet. (vgl. Benning 2011: 136ff.; Wolf und Best 2010b: 607ff.; Backhaus et al. 2016: 64ff.)

Das grundsätzliche Ziel einer Regressionsanalyse ist die Bestimmung der Regressionsfunktion, die den Zusammenhang zwischen den unabhängigen Variablen (x) und der abhängigen Variable (y) bestmöglich abbildet. Dazu wird aus den Werten der Stichprobe die lineare Regressionsfunktion in der Form $Y_i = a + b_i * x_i$ bestimmt (einfache Regression). Dabei ist a definiert als Konstante (Schnittpunkt der y -Achse) und b_i als Regressionskoeffizient (Steigung) der unabhängigen Variable x_i . Die Funktion kann theoretisch um beliebig viele unabhängige Variablen x mit den zugehörigen Regressionskoeffizienten b erweitert werden (multiple Regression). Dies schränkt jedoch mit zunehmender Zahl der Variablen die Aussagekraft des linearen Einflusses der einzelnen unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable ein. Eine weitere Kenngröße bei Regressionsanalysen ist die

Residualgröße. Sie beschreibt die Abweichung zwischen dem tatsächlich gemessenen Wert für die abhängige Variable y für die i -te Beobachtung von x und dem auf Grundlage der Regressionsfunktion berechnetem Wert von y für die i -te Beobachtung. Diese, auch als „Störvariable“ (Benning 2011: 136) bezeichnete, Größe beschreibt die zufällige Abweichung realer Beobachtungen von den linearen, funktionalen Beziehungen, die sich nicht mit den statistischen Methoden erklären lassen. Um größere Abweichungen proportional stärker in die Betrachtung und das Modell einfließen zu lassen, wird der Residualwert quadriert. Das Ziel der Regressionsanalyse ist, den oder die Regressionskoeffizienten so zu schätzen, dass „die Summe der quadrierten Abweichungen zwischen den tatsächlichen Werten der i -ten Beobachtung Y_i und deren geschätzten Wert \hat{y}_i , also die Summe der quadrierten Residualgrößen, minimiert wird. Dies wird auch als Methode der kleinsten Quadrate bezeichnet [...]“ (Albers und Skiera 1999: 206). Moderne Statistiksoftwares bieten die Berechnung der Regressionsfunktion als Standardfunktion an.

Mathematisch lässt sich für jedes Stichprobenergebnis mit mindestens zwei Fällen eine Regressionsfunktion bestimmen. Es wird jedoch nur selten gelingen, dass alle Stichprobenergebnisse exakt auf der Regressionsgeraden liegen. Daher muss mittels statistischer Qualitätsparameter die Aussagekraft der Regressionsfunktion bestimmt und interpretiert werden. Die Anpassungsgüte ist in der Statistik ein Qualitätsmaß, um zu beschreiben wie gut ein statistisches Modell eine bestimmte Zahl an Beobachtungen beschreiben kann. Maßzahlen der Anpassungsgüte lassen also Rückschlüsse auf die Differenz zwischen den auf Grundlage des Modells ermittelten, theoretischen Werten und den tatsächlichen Beobachtungen zu. Je nach statistischem Verfahren gibt es unterschiedliche Maße der Anpassungsgüte mit entsprechenden Testverfahren. Das Bestimmtheitsmaß R^2 stellt das Gütekriterium für lineare Regressionen dar. „Diese Maßzahl gibt an, welcher Anteil der beobachteten Varianz [...] durch das Regressionsmodell reproduziert werden kann [...]“ (Wolf und Best 2010a: 609). Das R^2 wird als Dezimalzahl zwischen 0 und 1 angegeben. Dabei würde ein R^2 von 0 bedeuten, dass kein linearer Zusammenhang zwischen den untersuchten Variablen besteht, da sich kein Messwert durch die Regressionsfunktion abbilden lässt. Andersherum würde ein R^2 von 1 bedeuten, dass alle beobachteten Werte exakt auf der Regressionsgeraden liegen und somit ein linearer Zusammenhang zwischen den Variablen anzunehmen ist. Wie hoch das R^2 ausfallen muss, damit ein Regressionsmodell als aussagekräftig angesehen werden kann, ist von der jeweiligen Disziplin und dem konkreten Forschungsdesign abhängig. In den Sozialwissenschaften, die sich mit dem menschlichen Verhalten und individuellen Handlungsmustern auseinandersetzen, werden im Allgemeinen Modelle mit deutlich niedrigeren R^2 als aussagekräftig anerkannt, als beispielsweise in der Physik, in der Untersuchungen unter Laborbedingungen stattfinden können. In den Raumwissenschaften gelten

1. Einleitung

Regressionsfunktionen mit niedrigen R^2 ebenfalls als aussagekräftig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Untersuchungen zu räumlichen Zusammenhängen kaum unter isolierten Bedingungen durchgeführt werden können und daher immer zufällige Störgrößen die Messergebnisse beeinflussen. Für die spezifische Fragestellung der Analyse genereller Zusammenhänge zwischen raumbezogenen Variablen wird in der vorliegenden Arbeit ein relativ niedriger Schwellenwert von 0,1 als notwendiges Bestimmtheitsmaß für eine aussagekräftige Regressionsfunktion festgelegt. (vgl. Backhaus et al. 2016: 81ff.; Wolf und Best 2010b: 609ff.; Albers und Skiera 1999: 207f.)

Es sei an dieser Stelle herausgestellt, dass das Bestimmtheitsmaß R^2 alleine noch kein hinreichendes Maß für die Qualität eines Regressionsmodells ist. Zunächst sollten die oben schon erläuterten Grundvoraussetzungen einer Regressionsanalyse geprüft werden. Weiterhin ist auch das Bestimmtheitsmaß R^2 selbst fehleranfällig, da es die Anzahl der Messfälle nicht berücksichtigt. Eine Regressionsgerade, die aus zwei Beobachtungen bestimmt wird, würde demzufolge immer ein R^2 von 1 aufweisen. Darauf aufbauend von einem vollständig linearen Zusammenhang der Variablen auszugehen, der sich so auch prognostizieren lässt, ist fehleranfällig. Des Weiteren liefern komplexere Modelle mit mehreren Variablen nicht unbedingt genauere Schätzwerte, weshalb hierbei das R^2 geringer ausfallen kann, obwohl die Aussagekraft durch die Einbeziehung relevanter Variablen mitunter erhöht wird. Für derart komplexere Modelle liefert das korrigierte Bestimmtheitsmaß R^2_{kor} eine genauere Einschätzung der Anpassungsgüte des Modells. Beim korrigierten Bestimmtheitsmaß wird das einfache Bestimmtheitsmaß um einen Korrekturfaktor reduziert, der umso größer ausfällt, je größer die Zahl der Regressoren ist. Somit ist das korrigierte Bestimmtheitsmaß immer kleiner, als das einfache Bestimmtheitsmaß und kann sogar negativ ausfallen. (vgl. Backhaus et al. 2016: 85f.)

1.4.3 Geodatenanalyse

In den Raumwissenschaften erfolgt überwiegend eine Auseinandersetzung mit raumbezogenen Informationen. Im Gegensatz zu anderen Disziplinen sind die untersuchten Aspekte und Daten selten auf einer abstrakten Ebene ohne Raumbezug angesiedelt. Und selbst in Disziplinen in denen der Raumbezug bislang nur eine untergeordnete Rolle spielte, setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass der überwiegende Teil der Informationen einen direkten oder indirekten Raumbezug besitzt und die Informationsgewinnung dadurch angereichert werden kann. In Zeiten digitaler Datenbestände hat sich der Aufwand der Verknüpfung sachlich-statistischer Daten mit ihrem Raumbezug deutlich verringert und Einzug in alle Bereiche der Gesellschaft erhalten: Zensusdaten, Gesundheitsdaten, Schuleinzugsbereiche, Nahverkehrsfahrpläne und die individuelle

Fahrzeugnavigation sind nur einige Alltagsbeispiele. Für die Datenhaltung und -weiterverarbeitung werden sogenannte Geoinformationssysteme (GIS) eingesetzt. (vgl. Liebig und Mummmenthey 2005: 3ff.)

„Ein GIS ist ein System aus Hardware, Software und Anwendungen mit dem raumbezogene Daten erfasst, verwaltet, analysiert und präsentiert (EVAP) werden können. Durch den Raumbezug der Daten unterscheidet sich ein GIS in seinen Bearbeitungsmethoden wesentlich von anderen Informationssystemen“ (vgl. ebd.: 7; Hervorhebungen im Original). In GIS werden Objekte der realen Umwelt als Geometrien dargestellt, denen Sachdaten (Attribute) zugeordnet werden können. Jedes Objekt weist einen konkreten Raumbezug auf, der in standardisierten Koordinatensystemen definiert wird und so eindeutig auf der Erdoberfläche verortet werden kann. Im Vergleich zu klassischer Kartographie ermöglicht dies die flexible Verwendung der Geodaten in unterschiedlichen Kontexten oder auf verschiedenen Maßstabsebenen. Durch den gegebenen Raumbezug können unterschiedliche Datensätze in ihrem räumlichen Bezug zueinander analysiert und dargestellt werden. Dazu werden im GIS die Geometrien im Schichtprinzip übereinanderliegend dargestellt und können so miteinander verschnitten oder auf Basis ihrer räumlichen Eigenschaften (zueinander) analysiert werden. Dies ermöglicht beispielsweise die Berechnung neuer Parameter (z. B. Dichtemaße, Versorgungsqualitäten), die dynamische Modellierung der Verteilung von Stoffen oder Personen im Raum (z. B. hydraulische Modelle, Verkehrsmodelle) oder die Darstellung der Entwicklung bestimmter Räume im Zeitverlauf. (vgl. Fotheringham und Rogerson 2009: 1ff; Liebig und Mummmenthey 2005: 8ff.) Dadurch dass verschiedene Datentypen (z. B. Vektordaten, Rasterdaten, Sachdaten) mittels unterschiedlicher räumlicher und statistischer Werkzeuge analysiert werden können, ergibt sich eine große Vielfalt an Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten im Hinblick auf unterschiedlichste Fragestellungen (vgl. Liebig und Mummmenthey 2005: 10ff., 19ff.).

In der vorliegenden Arbeit wird für die räumlichen Analysen die Software ArcGIS 10.5 der Firma ESRI verwendet, die eine breite Palette an Analysewerkzeugen bietet (vgl. GI Geoinformatik GmbH 2011). Die Daten werden in sogenannten „Geodatabases“ (vgl. ebd.: 71) angelegt und organisiert, die die Weitergabe der Analysedatei einschließlich aller notwendigen Sub-Dateien („Shapefiles“, vgl. ebd.) an andere Nutzer vereinfachen (siehe Anhang B). Als Koordinatensystem, das zur Georeferenzierung allen Geodaten zugrunde liegt, wurde das europäische Terrestrische Referenz System 1989 (ETRS 1989 LAEA) gewählt. Es handelt sich dabei um ein dreidimensionales geodätisches Referenzsystem, das zusammen mit der Universalen Transversalen Mercatorabbildung (UTM) als

1. Einleitung

Gebrauchskoordinatensystem, bereits 1991 als Standardreferenzsystem für die Bundesrepublik Deutschland festgelegt wurde (vgl. ebd.: 499).

Die im Rahmen dieser Arbeit durchzuführenden Geodatenanalysen umfassen überwiegend den Rahmen der räumlichen Analysen und beziehen sich dementsprechend auf die ArcGIS-Werkzeugkästen „Analysis“ und „Spatial Analyst“ (vgl. ebd.: 357ff.). Die Baustrukturtypenflächen und die zugehörigen Attribute werden mit Hilfe des integrierten *Editors* händisch angelegt bzw. nachgezeichnet (vgl. ebd.: 161ff.). Die Parameter, die durch die Geodatenanalysen bestimmt werden, werden zum Teil aus der GIS-Software exportiert und in Statistiksoftware wie IBM SPSS oder Microsoft (MS) Excel für die weiteren statistischen Analysen (siehe Kapitel 1.4.2) importiert. Auch zur Ergebnisdarstellung in Kartenabbildungen wird ArcGIS verwendet.

1.4.4 Bevölkerungsvorausberechnung

Für die Vorausberechnung der Bevölkerungsentwicklung einer Kommune oder Region steht eine ganze Reihe an Methoden zur Verfügung. Subjektive Ansätze, wie beispielsweise Szenarien, können auf einem scheinbar unsystematischen Vorgehen ohne nachvollziehbarem Analyseprozess beruhen oder verwenden feste Parameter und erlauben nicht immer eine Reproduktion der Ergebnisse. Da die künftige Bevölkerungsentwicklung eine wesentliche Planungsgrundlage darstellt, die entsprechend nachvollziehbar erhoben werden sollte, werden für Bevölkerungsprognosen vornehmlich objektive Ansätze verwendet. (vgl. Scholles 2008a: 358ff.) Diese quantitativen Formen der Bevölkerungsfortschreibung zeichnen sich durch einen fest definierten Analyseprozess und transparente, nachvollziehbare Annahmen aus, anhand derer die künftige Bevölkerungsentwicklung berechnet wird. Allerdings sind auch hierbei oft einige subjektive Annahmen nötig, wie beispielsweise die Auswahl der Datengrundlage, der zeitliche Fortschreibungshorizont oder Annahmen zur Entwicklung der Prognoseparameter. Die objektiven Ansätze lassen sich in die Methoden der Trendextrapolationen, Strukturmodelle sowie die Kohorten-Komponenten-Methode unterteilen (vgl. Bowles und Zuchandke 2012: 4f.; Scholles 2008a: 359ff.; Bretz 2000: 643ff.).

Trendextrapolationen stellen als einfache statistische Verfahren nur geringe Anforderungen an die Datengrundlage und sind daher schnell und einfach durchführbar. Es handelt sich um eine statistische Fortschreibung der beobachteten Bevölkerungsentwicklung der Vergangenheit (Basiszeitraum) in die Zukunft auf Basis von linearen, exponentiellen oder logarithmischen Funktionen. Aufgrund der kaum differenzierten Datengrundlage lassen Trendexplorationen jedoch meist lediglich allgemeine Aussagen zur Entwicklung der Gesamtbevölkerung zu. Zudem basieren sie auf der Annahme, dass sich die Entwicklungen der Vergangenheit grundsätzlich in vergleichbarer Weise auch

in die Zukunft fortsetzen. Einflüsse der Altersstruktur oder sich verändernde Migrationsbewegungen werden nicht berücksichtigt. (vgl. Macharzina und Wolf 2008: 841f.) Die Stärke von Trendexplorationen liegt vornehmlich in der Prognose kurzer Zeiträume unter geringem Aufwand, wohingegen die Genauigkeit und Eintrittswahrscheinlichkeit der Prognoseergebnisse mit wachsenden Prognosezeiträumen deutlich abnehmen. (vgl. Scholles 2008a: 363f.; Bretz 2000: 644ff.)

Die Kohorten-Komponenten-Methode stellt dagegen weitaus höhere Ansprüche an die Datengrundlage und den Aufwand für die Umsetzung der Methodik. Für den Basiszeitraum, der die Grundlage für die Zukunftsprojektion darstellt, werden die vier Determinanten der Bevölkerungsentwicklung (Geburten, Sterbefälle, Zu- und Abwanderungen) getrennt und differenziert nach Altersjahren und Geschlecht ausgewertet und die ermittelten Raten anschließend auf die Bevölkerungsstruktur nach Alter und Geschlecht angewendet. Dies ermöglicht es, die Effekte der Altersstruktur in die Prognose der Bevölkerungsentwicklung einfließen zu lassen. Auch können altersgruppenspezifische Entwicklungstrends oder Szenarien im Modell abgebildet werden, wie zum Beispiel zunehmende Sterbezahlen aufgrund der zunehmenden Alterung oder steigende Geburtenzahlen im Falle einer verstärkten Zuwanderung von 20- bis 40-Jährigen Frauen. (vgl. Ahmed 2015: 127ff.)

Die Strukturmodelle beziehen als Determinanten der Bevölkerungsentwicklung neben der Fertilität, Mortalität und Migration auch solche Faktoren ein, die sich auf ebendiese Komponenten auswirken. Dabei kann es sich beispielsweise um ökonomische Rahmenbedingungen wie das Arbeitsplatzangebot, Infrastrukturangebote oder natürliche Umweltfaktoren handeln. Die komplexe Vernetzung der unterschiedlichen Determinanten in Strukturmodellen resultiert jedoch in hohen Anforderungen an die Datengrundlage. Außerdem erfordern sie umfangreiches methodisches und inhaltliches Fachwissen der Prognoseerstellenden, die die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Determinanten realitätsnah einschätzen und quantifizieren müssen. Korrekt angewendet, lassen sich damit jedoch Ergebnisse mit einer sehr hohen Eintrittswahrscheinlichkeit berechnen (vgl. Bowles und Zuchandke 2012: 4f.)

Ausschlaggebend für die Auswahl der passenden Methodik sind daher die Anforderungen an die Prognoseergebnisse, die Datenverfügbarkeit für den Untersuchungsraum sowie die verfügbaren Ressourcen und Methodenkenntnisse, die für die Erstellung der Prognose zur Verfügung stehen. Unter Berücksichtigung der Zielsetzung, den Einfluss demografischer Entwicklungen auf die Abwasserinfrastrukturkosten abzubilden und auf Grundlage der verfügbaren Daten, ist die Kohorten-Komponenten-Methode für den Rahmen dieser Arbeit die geeignete Methode der Bevölkerungsvorausberechnung. Sie liefert unter vertretbarem Aufwand differenzierte Ergebnisse zur

1. Einleitung

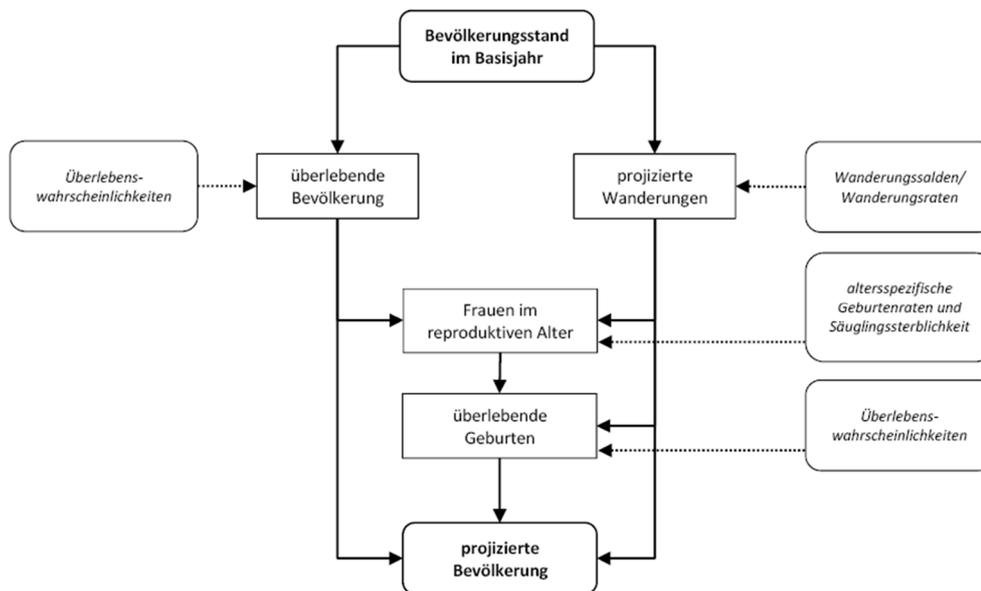
Bevölkerungsentwicklung und lässt die Berechnung unterschiedlicher, altersgruppenspezifischer Szenarien der Bevölkerungsentwicklung zu. Die Kohorten-Komponenten-Methode, die auch als Methode der jahrgangsweisen Fortschreibung, Kohorten-Überlebens-Methode oder biologische Methode bezeichnet wird, ist ein deterministischer Ansatz, der sich zur Prognose von Bevölkerungsentwicklungen in den Bevölkerungswissenschaften etabliert hat. So nutzen auch in Deutschland führende, mit der Demografie-Forschung befasste Einrichtungen, wie beispielsweise das Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, das Statistische Bundesamt, das Max-Planck-Institut für demografische Forschung oder die Bertelsmann Stiftung sowie auch zahlreiche Institutionen in anderen Industrienationen, die Kohorten-Komponenten-Methode zur Erstellung ihrer Bevölkerungsprognosen (vgl. Ahmed 2015: 127).

Die Methode ist als deterministisch zu bezeichnen, da die berechneten Prognosen auf der Hypothese beruhen, dass zufällige Veränderungen der Determinanten oder der Bevölkerungsstruktur ausgeschlossen sind und sichere Erwartungen über die Entwicklung der Determinanten für die Zukunft bestehen (vgl. Steinberg und Doblhammer-Reiter 2010: 393f.). Grundsätzlich beruht die Kohorten-Komponenten-Methode auf der jährlichen Fortschreibung der nach Geschlecht differenzierten Geburtsjahrgänge (Kohorten) entsprechend ihrer Überlebenswahrscheinlichkeit. Für jede Kohorte liegen in sogenannten Sterbetafeln spezifische Sterberaten vor, die auf den Bevölkerungsbesatz der Kohorten angewendet werden, um die wahrscheinlichen Sterbefälle zu berechnen und die Kohortengröße entsprechend zu verringern. Zusätzlich wird die Größe der Kohorten entsprechend der spezifischen Zu- und Abwanderungsquoten angepasst. So ergibt sich der Besatz der um ein Jahr gealterten Kohorte im Folgejahr.

Wie auch in Abbildung 2 dargestellt, wird die jährliche Zahl der überlebenden Neugeborenen anhand der Geburtenquote nach Alter der Mutter berechnet. Die für das Betrachtungsjahr berechneten Neugeborenen stellen im Folgejahr die Kohorte der unter 1-Jährigen dar. Durch beliebig häufige Iteration dieser Rechenschritte kann die Bevölkerungsentwicklung langfristig in die Zukunft fortgeschrieben werden. Hierbei ermöglicht die Kohorten-Komponenten-Methode durch Einbeziehung der Altersstruktur und altersspezifischer Entwicklungsraten, die Effekte der Veränderung der Altersstruktur auf die Geburten-, Sterbe- und Wanderungszahlen in der Bevölkerungsvorausberechnung abzubilden. Gleichzeitig können durch Variationen der Komponenten auf vergleichsweise einfache Weise unterschiedliche Szenarien der Bevölkerungsentwicklung berechnet werden, um so neben der statischen Fortschreibung der Komponenten der Bevölkerungsentwicklung auch die

Berücksichtigung qualitativ hergeleiteter Szenarien, wie z. B. ein verändertes Migrationsverhalten oder zunehmende Fertilität, zu ermöglichen. (vgl. Bowles und Zuchandke 2012: 6)

Abbildung 2: Grundstruktur der Kohorten-Komponenten-Methode



Quelle: Bowles und Zuchandke 2012: 6

Die Berechnungen der Bevölkerungsentwicklung in der Kohorten-Komponenten-Methode basiert auf den nach Einzelaltersjahren und Geschlecht gegliederten Bevölkerungszahlen des betrachteten Untersuchungsraumes zum Zeitpunkt t-1 (vgl. Ahmed 2015: 127ff.). Die nachfolgende Formel zeigt, wie die Berechnung der Bevölkerung mit dem Geschlecht g und dem Alter x (mit $x > 0$) zum 31.12. des Folgejahres t erfolgt.

Formel 1: Definitivische Gleichung der Kohorten-Komponenten-Methode

$$B_{x,t}^{(g)} = p_{x-1,t-1}^{(g)} \cdot B_{x-1,t-1}^{(g)} + \left(1 + \frac{p_{x-1,t-1}^{(g)}}{2} \right) \cdot W_{x,t}^{(g)}$$

mit

- $B_{x,t}^{(g)}$ Anzahl Personen mit dem Geschlecht g und dem Alter x zum 31.12. des Jahres t
 $B_{x-1,t-1}^{(g)}$ Anzahl Personen mit dem Geschlecht g und dem Alter $x - 1$ zum 31.12. des Vorjahres
 $p_{x-1,t-1}^{(g)}$ Wahrscheinlichkeit, dass eine Person, die am 31.12.t-1 $x - 1$ -Jahre alt war, den 31.12.t erlebt
 $W_{x,t}^{(g)}$ Außenwanderungssaldo nach Alter x und Geschlecht g in Jahr t

Quelle: Bowles und Zuchandke 2012: 7

Grundlage dieser Funktion sind deterministische Annahmen zu den Komponenten der Bevölkerungsentwicklung: Mortalität, Fertilität und Migration. Diese Annahmen können auf empirischen Erhebungen wie den laufenden Geburten- und Sterbestatistiken oder dem Mikrozensus beruhen. So können Trendfortschreibungen längerfristiger Erhebungen oder Durchschnittswerte eines

1. Einleitung

kürzeren Zeitraums eingesetzt werden. Alternativ können aber auch Annahmen zur Entwicklung der Komponenten in der Zukunft verwendet werden. Die koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes basiert beispielsweise auf zahlreichen begründeten Annahmen zur künftigen Entwicklung der Komponenten, aus denen in der aktuellen Version der Bevölkerungsvorausberechnung insgesamt 30 Szenarien der künftigen Bevölkerungsentwicklung berechnet werden (vgl. Statistisches Bundesamt 2019: 13ff.). In der vorliegenden Arbeit wird eine auf die Aufgabenstellung angepasste Version der Kohorten-Komponenten-Methode angewendet (siehe Kapitel 9.2.1), die anhand von Szenarioannahmen zur Entwicklung der Determinanten der Bevölkerungsentwicklung unterschiedliche Varianten der möglichen Bevölkerungsentwicklung in der Fallregion für die weiteren Analysen zur Verfügung stellt.

1.4.5 Szenarien

Die Szenariotechnik ist ursprünglich eine Methode aus der Zukunftsforschung und wurde in den 1950er und 1960er Jahren in den USA entwickelt. Inzwischen werden Szenarien aber auch zunehmend im Planungskontext verwendet und dienen immer mehr als Entscheidungshilfe anstatt der genauen Zukunftsvorhersage.

„Mit der Szenariotechnik sollen realistische Entwicklungsmöglichkeiten bzw. -korridore in vergleichsweise ferner Zukunft und bei relativ großer Unsicherheit innerhalb eines bestimmten Rahmens und unter bestimmten Annahmen systematisch aufgezeigt werden“

(Scholles 2008: 380; eigene Hervorhebung).

Im Gegensatz zu Prognosen geht es also nicht darum, die zukünftige Entwicklung mit einem möglichst hohen Maß an Eintrittsgenauigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit vorauszusagen, „sondern das Spektrum der realistischen Möglichkeiten sowie das Wirken von und die Zusammenhänge zwischen Unsicherheiten aufzuzeigen und Planungen oder andere Entscheidungen auf ihre Anpassungsfähigkeit in verschiedenen möglichen Zukunftsentwicklungen zu prüfen“ (ebd.: 381). Szenarien sind also insbesondere dann geeignet, wenn quantitative Prognosemethoden aufgrund einer langen Zeitspanne oder großer Unsicherheiten an ihre Grenzen stoßen. Sie basieren daher überwiegend auf qualitativen Informationen und beinhalten sowohl analytische als auch kreative methodische Elemente.

Je nach Anspruch und Aufgabenstellung können Szenarien in verschiedenen Formen und mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad verfasst werden. Sie können zur Analyse von Systemstrukturen und

zum Aufzeigen von Wirkungsketten eingesetzt werden, woraus sich Ansatzpunkte für planerische Maßnahmen ableiten lassen. Für derartige Fragestellungen werden überwiegend projektive, explorative Szenarien eingesetzt, die von der Gegenwart ausgehend im Forecasting-Verfahren in die Zukunft fortschreiben. Alternativ können retroprojektive, normative Szenarien erstellt werden, die von einer erstrebens- oder vermeidenswerten, hypothetischen Zukunftssituation per Backcasting-Verfahren den Entwicklungspfad zum Status-quo skizzieren. (vgl. Steinmüller 2012: 112ff.; Scholles 2008b: 384ff.) Derartige Szenarien sind mit einem hohen Zeitaufwand verbunden, da Systemstrukturen analysiert werden müssen, um die Wirkungsketten aufzudecken. Auch werden die Ergebnisse meist ausführlich in quantitativer oder qualitativer Form (z. B. Statistiken, Kartoszenarien oder Narrative) dargestellt (vgl. Steinmüller 2012: 129).

Für andere Zielsetzungen können Szenarien aber auch in deutlich vereinfachter Form aus subjektiv hergeleiteten Annahmen erstellt werden, beispielsweise als Ergebnis einer Expertenbefragung oder wenn die Annahmen einen bestimmten Korridor möglicher Entwicklungen abdecken sollen (z. B. Best-Case bis Worst-Case). Als Grundlage für die Erstellung unterschiedlicher Varianten der Modellierung der fiktiven Abwasserkostenentwicklung in Kapitel 9 reicht eine vereinfachte Anwendung der Szenariotechnik aus. Es ist nicht das Ziel, durch die Szenarien selbst Wirkungsketten in den betrachteten Systemen zu analysieren. Vielmehr sollen unterschiedliche Varianten der Bevölkerungs- und Infrastrukturentwicklung modelliert werden. Diese Varianten stellen unterschiedliche Szenarien dar, die sich aus den in Kapitel 9.3 dargestellten Annahmen ergeben, die auf Grundlage subjektiver, hypothetischer Einschätzungen durch den Autor dieser Arbeit getroffen wurden. Sie basieren auf keiner qualitativen oder quantitativen Analyse. Ziel war es lediglich, durch extreme Annahmen einen möglichst breiten Szenariokorridor in der Modellierung abzubilden, um so die Abwasserinfrastrukturen im Modell extremen Herausforderungen auszusetzen. Demzufolge handelt es sich um explorative Szenarien, da ausgehend von den Szenarioannahmen die Entwicklungen in die Zukunft im Forecasting-Verfahren modelliert werden.

1.5 Begriffserläuterungen

Zur Erläuterung der Themen und Konzepte, die in dieser Arbeit im Fokus stehen, greift der Autor auf verschiedene Begrifflichkeiten und Konzepte zurück, deren grundsätzliche Bedeutungen den meisten Leserinnen und Lesern bekannt sein sollten. Die Begriffe haben jeweils eine eigene Genese mit unterschiedlichen Definitionsansätzen durchlaufen. Zum Teil kann allerdings die exakte Bedeutung der Begriffe zum besseren Verständnis der Ausführungen entscheiden sein. In diesem Kapitel werden die Begriffe daher definiert, um ein gemeinsames Begriffsverständnis als Grundlage für die

1. Einleitung

weitere Arbeit zu schaffen. Teilweise wird auch der Hintergrund des Konzeptes knapp beschrieben, da dies zum besseren Verständnis des Kontextes beitragen kann. Die Begriffe sind nicht alphabetisch, sondern – nach Möglichkeit – in logischer Abfolge angeordnet. Dies erleichtert auch fachfremden Lesern einen besseren Zugang zum Thema.

Naturereignis

Ausgangspunkt der Überlegungen zur Vulnerabilität von Siedlungsräumen sind meist Naturereignisse, wie beispielsweise Erdbeben, Klimaereignisse oder langfristige Folgen des Klimawandels (siehe Kapitel 3). Es handelt sich um Abweichungen vom Normal- oder Ausgangszustand der Rahmenbedingungen (z. B. Klimaparameter). Bei Naturereignissen kann es sich um einmalige, kurzfristige Extremereignisse handeln (z. B. Erdbeben, Hagelschauer, Überschwemmungen) oder um langfristige, mitunter schleichende Veränderungen (z. B. Temperaturanstieg, Meeresspiegelanstieg). (vgl. Birkmann 2008: 6, 17) Im Kontext von Naturereignissen wird auch oftmals der Begriff der „Naturgefahr“ verwendet. Siehe dazu die Erläuterung des Begriffes „Gefahr“ weiter unten.

Exposition

Soll ein Objekt, ein Individuum, ein Kollektiv oder ein Raum (vereinfacht im Folgenden als System zusammengefasst) auf seine Vulnerabilität gegenüber einer bestimmten Naturgefahr untersucht werden, stellt sich zunächst die Frage, ob das zu betrachtende System überhaupt im Einflussbereich der Naturgefahr liegt. So treten Klimaphänomene und Naturereignisse räumlich sehr differenziert auf (siehe Kapitel 3.1). Ob ein System aufgrund seiner räumlichen Lage von einem Naturereignis oder einer Klimawirkung potenziell betroffen sein kann, wird mit dem Begriff der *Exposition* beschrieben. Somit ist „die Exposition ein Bindeglied zwischen der räumlichen und zeitlichen Ausprägung der Naturgefahr einerseits und der räumlichen und zeitlichen Verteilung von Menschen, Raumnutzungen und Infrastrukturen andererseits“ (Birkmann et al. 2013a: 8). (vgl. Birkmann et al. 2013a: 7f.; Cardona et al. 2012: 69)

Anfälligkeit

Durch die Exposition allein lässt sich jedoch noch nicht hinreichend darauf schließen, welche potenziellen Auswirkungen die Naturgefahr auf das betrachtete System haben kann. Hierzu muss berücksichtigt werden, wie hoch die Anfälligkeit (auch Sensitivität) des jeweiligen Systems gegenüber einem bestimmten Naturereignis ist. Systeme mit besonders hoher Sensitivität können bereits bei geringer Exposition hohen Schaden nehmen, wohingegen Systeme mit geringer Anfälligkeit auch stärkere Ereignisse schadlos überstehen können. (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 49f.) Ein

Sturm gleicher Stärke verursacht in einer Siedlung mit freistehenden Holzhäusern voraussichtlich höhere Schäden als in einer kompakten Siedlung mit gemauerten Massivhäusern.

Bewältigungskapazität

Ist ein System exponiert und auch potenziell anfällig für eine Naturgefahr, ist zu hinterfragen, welche Bewältigungskapazitäten es besitzt, um Schaden und negative Folgen abzuwenden oder zu minimieren. Dabei geht es um die Maßnahmen, die direkt vor, während oder nach einem Ereignis ergriffen werden können (kurzfristige bauliche, organisatorische oder humane Ressourcen und Kapazitäten). Der Begriff beschreibt „die Fähigkeit, mit den Einwirkungen des Ereignisses für eine kurze Zeit umgehen zu können oder nach dem Ereignis eine schnelle Wiederherstellung des Ausgangszustandes zu erreichen“ (Birkmann et al. 2013a: 3).

Anpassungsfähigkeit & Adaption

Die generelle Fähigkeit zum langfristigen Umgang mit veränderten Rahmenbedingungen oder Naturgefahren durch Anpassungsprozesse wird dagegen unter dem Begriff der Anpassungsfähigkeit (Adaptivität) zusammengefasst. Hierbei liegt der Fokus auf der Fähigkeit, das betrachtete System an tatsächliche oder zu erwartende Folgen anzupassen und mögliche Handlungsfenster zum Vorteil nutzen zu können. Im Gegensatz zur Bewältigungskapazität stehen weniger die vorhandenen Ressourcen und die Rückkehr zum Ausgangszustand im Vordergrund, sondern viel mehr die Fähigkeit eine langfristige strategische Perspektive zu entwickeln und vorhandene Strukturen und Systeme einem Wandel zu unterziehen. Dafür sind neben institutionellen Voraussetzungen bei den Akteuren vor allem Lernfähigkeit, Flexibilität und Kreativität erforderlich. Im Gegensatz zur eher generellen Anpassungsfähigkeit, die auch auf unbekannte Herausforderungen ausgerichtet ist, bezieht sich der Begriff Adaption auf konkrete Maßnahmen oder Strategien, die der Anpassung des Systems an eine oder mehrere konkrete Herausforderungen dienen. Je nachdem ob sich die ergriffenen Maßnahmen auf schon vorhandene oder zukünftig zu erwartende Herausforderungen beziehen, werden sie als reaktiv (tatsächliche Veränderungen) oder proaktiv (zu erwartende Veränderungen) bezeichnet. (vgl. Birkmann et al. 2013a: 2; Birkmann und Fleischhauer 2013: 52-55)

Risiko & Gefahr

Zwei weitere Begrifflichkeiten, die im Kontext der Vulnerabilität von Bedeutung sind und nicht verwechselt werden sollten, sind die Begriffe Risiko und Gefahr. Als Gefahren (engl. „hazards“) werden Ereignisse bezeichnet, die „eine potenziell schadensauslösende Einwirkung“ (Birkmann et al. 2013a: 9; Hervorhebung im Original) auf bestimmte Schutzgüter haben können. Dabei können Gefahren von physischen Naturereignissen ausgehen, aber auch durch das Zusammenspiel unterschiedlicher

1. Einleitung

Komponenten in einem System oder durch menschliches Handeln entstehen. Sie wirken jedoch vorwiegend von externer Seite auf das Schutzgut ein. Gefahren können mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit kurzfristig auftreten oder aber sich allmählich entwickeln. Da negative Auswirkungen einer Gefahr auf die Schutzgüter wie Sachgüter, Gesundheit und Leben oder Umweltfunktionen zu erwarten sind, entsteht aus einer Gefahr meist auch ein gewisser Handlungsbedarf. (vgl. Birkmann et al. 2013a:9; Birkmann und Fleischhauer 2013: 45f.; Füssel 2005: 5-7)

Der Risikobegriff beruht auf einer komplexeren Definition, die sich aus dem Zusammentreffen einiger zuvor erläuterter Begrifflichkeiten konstruiert und sich disziplinär unterscheidet. Dieser Arbeit soll die Risikodefinition der Internationalen Strategie zur Katastrophenvorsorge der Vereinten Nationen (vgl. UN/ISDR - United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction 2004) zugrunde gelegt werden, auf die sich unter anderem auch die ARL und der *Weltklimarat* Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) beziehen (vgl. Birkmann et al. 2013a: 19; Field et al. 2012: 4f.). Risiko beschreibt demnach „die Wahrscheinlichkeit negativer Konsequenzen oder erwarteter Verluste (Todesfälle, Verletzungen, Eigentum, Existenzgrundlagen,...), die aus der Interaktion von natürlichen sowie anthropogen verursachten Gefahren und vulnerablen Gegebenheiten resultieren“ (UN/ISDR - United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction 2004: 6; eigene Übersetzung). Neben dem Aspekt der Exposition der Schutzgüter gegenüber den Gefahren bezieht sich das Konzept also vor allem auch auf zu erwartende, negative Konsequenzen dieser Gefahren. Damit beinhaltet das Risikokonzept eine normative Komponente, da durch eine spezifische Definition oder allgemeine gesellschaftliche Werte zunächst näher zu bestimmen ist, welche möglichen Folgen negativ wahrgenommen werden. Dies kann sich je nach Kontext, Region oder Kulturkreis durchaus unterscheiden. Das Risikokonzept ermöglicht Entscheidungsträgern so unterschiedliche Bedrohungsgrad für verschiedene Schutzgüter mental besser zu ordnen, um entsprechende Maßnahmen priorisieren zu können. (vgl. Birkmann et al. 2013a: 19) Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der angeführten Risikodefinition ist die Vulnerabilität der betroffenen Schutzgüter, die überhaupt erst dazu führt, dass Individuen, Gegenstände oder Raumfunktionen in exponierter Lage anfällig für die negativen Folgen der Gefahren sind. Das Vulnerabilitätskonzept wird in Kapitel 4 ausführlicher erläutert.

Persistenz & Robustheit

Persistenz ist eine Systemeigenschaft, die den Resilienzdiskurs mitgeprägt hat (vgl. Holling 1973: 2ff.). HOLLING verknüpft die *Persistenz* eng mit dem Begriff der Resilienz und beschreibt sie als ein Maß der Fähigkeit von Systemen äußere Störungen zu absorbieren und dabei die

Systemeigenschaften sowie die Beziehungen zwischen den Zustandsvariablen zu erhalten (vgl. ebd.: 14). In engem Zusammenhang zur Persistenz steht auch der Begriff der *Robustheit*. FOLKE verwendet beispielsweise beide Begrifflichkeiten zur Beschreibung, auf welche Eigenschaften sich die *ökologische Resilienz* fokussiert (vgl. Folke 2006: 259). Die Begriffe sind jedoch voneinander abzugrenzen. Robustheit beschreibt die Fähigkeit eines Systems, unter unterschiedlichen und unbekanntem Einflüssen, die Leistungsfähigkeit des Systems in möglichst gleichem Maße aufrecht zu erhalten (vgl. Anderies et al. 2013; Birkmann et al. 2013a: 19f.). Systemtheoretisch ausgedrückt geht es darum, dass sich der Output eines Systems gegenüber sich verändernden Inputvariablen unempfindlich verhält. Während *Persistenz* also den langfristigen Erhalt der Systemstrukturen und -funktionen auch unter widrigen Voraussetzungen adressiert und dabei zeitweilige Schwankungen in der Systemleistung akzeptabel sind, meint *Robustheit* die Fähigkeit Störungen abpuffern und bewältigen zu können, um die Leistungsfähigkeit des Systems möglichst unverändert aufrechtzuerhalten (vgl. Krupa et al. 2014). Da sich das Verhältnis von Input- zu Outputvariablen mathematisch bestimmen lässt, gilt *Robustheit* auch als messbares Konzept, das sich für die Operationalisierung in der Praxis anbietet (vgl. Krupa et al. 2014; Anderies et al. 2013), so beispielsweise in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, in der die Bundesregierung die Entwicklung robuster Raumstrukturen als Zielsetzung aufstellt (vgl. Birkmann et al. 2013a: 19f.; Die Bundesregierung 2008: 42ff.).

Lernfähigkeit

Lernfähigkeit stellt eine wichtige Eigenschaft sozio-ökologisch resilienter Systeme (siehe Kapitel 5.1.3) dar. Die Fähigkeit aus vergangenen Erfahrungen die richtigen Schlüsse zu ziehen und diese zur Verbesserung des Systems zu nutzen, wird als langfristig essentiell für eine resiliente Systementwicklung angesehen. Die *Lernfähigkeit* des Systems bzw. seiner Akteure ermöglicht ein wachsendes Verständnis über die Systemprozesse und eine darauf basierende, innovative Anpassung der Systemstrukturen an veränderte Rahmenbedingungen. In lernfähigen Systemen können Erfahrungen zwischen unterschiedlichen Akteuren verschiedener Generationen weitergegeben werden. Die Systemstrukturen sind immer auch Abbild des akkumulierten Erfahrungswissens und der Lernfähigkeit vorangegangener Systemgenerationen. Ohne *Lernfähigkeit* könnte ein System zwar an spezifische Herausforderungen adaptiert werden, allerdings ohne sich dabei auf künftige Herausforderungen vorzubereiten. Lernfähigkeit ist damit auch eine Voraussetzung für die Fähigkeit zur Selbstorganisation. (vgl. Chelleri und Olazabal D.L. 2012: 13; Pisano 2012: 25ff.; Folke et al. 2010; Walker und Salt 2006: 147f.)

Transformativität

Die Transformativität ist eine Eigenschaft, die ausschließlich der *sozio-ökologischen Resilienz* zugeschrieben wird (siehe Kapitel 5.1.3). Sie leitet sich aus der Erkenntnis ab, dass nicht alle Herausforderungen, denen urbane Systeme in Zukunft ausgesetzt sein werden, von den vorhandenen Systemen zu bewältigen sein werden. Zwar sollte bei Überwindung der Systemgrenzen primär die Adaption der Systeme an veränderte Rahmenbedingungen angestrebt werden, doch können sich auch Situationen ergeben, in denen aufgrund der Systemeigenschaften keine Anpassung mehr möglich ist. Gelingt die Reorganisation der gegebenen Systemstrukturen mit den bekannten Schlüsselvariablen nicht, also reichen inkrementelle Adaptionen der Systemstrukturen nicht aus, so kann die Systemfunktion nur durch eine radikale Transformation sichergestellt werden. Das bedeutet, dass Systemstrukturen und -eigenschaften tiefgreifend verändert werden und mitunter neue Schlüsselvariablen sowie neue Akteure die künftige Systementwicklung beeinflussen. Die Fähigkeit, die Notwendigkeit eines solchen Umbruchs zu erkennen und ihn einzuleiten und durchzuführen, bevor die Systemfunktion nachhaltig eingeschränkt wird, bezeichnet man als *Transformativität* des Systems bzw. seiner handelnden Akteure. Ebenso wie für die Adaptivität sind dafür personelle und finanzielle Kapazitäten sowie Ressourcen und institutionelle Strukturen erforderlich, um den Prozess zu steuern. (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 8, 38; Folke et al. 2010)

Nachhaltigkeit

Der Ursprung heutiger Nachhaltigkeitsverständnisse liegt wohl im Zukunftsbericht „Our Common Future“ (World Commission on Environment and Development 1987), der 1987 als Abschlussbericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung veröffentlicht wurde und unter dem Namen der damaligen Vorsitzenden der Kommission als *Brundlandt-Bericht* internationale Bekanntheit erlangt hat.

„Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. The concept of sustainable development does imply limits - not absolute limits but limitations imposed by the present state of technology and social organization on environmental resources and by the ability of the biosphere to absorb the effects of human activities.“

(World Commission on Environment and Development 1987: 15; eigene Hervorhebung)

Der Bericht hat in der globalen Debatte um die Umwelt- und Entwicklungspolitik in den darauffolgenden Jahren eine so zentrale Rolle eingenommen, da er erstmals ein Leitbild für nachhaltige Entwicklung proklamiert hat. Dieses Nachhaltigkeitsverständnis beinhaltet die Aspekte der Generationengerechtigkeit sowie der Vereinbarkeit von menschlichen Aktivitäten und ökologischen Belangen. Im Gegensatz zu reinen Umweltschutzpolitiken werden also auch die Ansprüche derzeitiger und zukünftiger menschlicher Generationen einbezogen, da erkannt wurde, dass eine zu hohe Priorisierung des Umweltschutzes langfristig zu einem deutlichen Absinken des Wohlstandes führen kann, was in der Folge soziale und Umweltschutz-Probleme nach sich zieht. Im komplexen Mensch-Umwelt-System sind jedoch alle drei Dimensionen zu fördern: Ökologie, Ökonomie und Soziales. Diese Multidimensionalität wird heute als Ursprung des Drei-Säulen-Modells der Nachhaltigkeit gesehen (vgl. Christmann et al. 2011: 10). Jedoch hat sich dieses Nachhaltigkeitsverständnis erst im Zuge der folgenden internationalen Debatte in dieser Konkretisierung ausdifferenziert.

Mit der sogenannten Agenda 2030 haben die Vereinten Nationen im Jahr 2015 das Leitbild der Nachhaltigkeit noch einmal erweitert und an die aktuellen Herausforderungen angepasst. Es wurden 17 Zielsetzungen zur nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development Goals) definiert, denen fünf Kernprinzipien der nachhaltigen Entwicklung vorangestellt wurden: Mensch, Planet, Wohlstand, Frieden und Partnerschaft. Den 17 Zielsetzungen sind jeweils mehrere, konkrete Unterziele zugeordnet. Diese operationalisieren die Oberziele anhand von quantifizierbaren Kriterien und geben jeweils einen festen Zeitrahmen zur Zielerreichung vor. Die Ziele werden als untrennbar miteinander verbunden betrachtet, sodass kein Ziel zu Gunsten eines anderen vernachlässigt werden sollte. Mit der Aktualisierung der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie wurden die Sustainable Development Goals in Deutschland im Jahr 2018 in eine nationale Strategie überführt. (vgl. United Nations General Assembly 2015)

Klimaadaption & Klimamitigation

Der Begriff Klimaadaption umfasst Strategien und Maßnahmen, um die Mensch-Umweltsysteme an die Klimabedingungen und neuen Herausforderungen anzupassen, die sich durch den Klimawandel verändern. Im deutschsprachigen Raum wird daher synonym auch der Begriff der Klimaanpassung verwendet. Dabei geht es darum, die anthropogenen Strukturen und Systeme an bereits eingetretene sowie zukünftig zu erwartende Klimaänderungen anzupassen (vgl. Die Bundesregierung 2008: 8ff.; 58ff.). Auch die natürliche Umwelt kann Teil dieser Konzepte sein. Erfahrungswissen und Forschungsergebnisse sollen genutzt werden, um Maßnahmen zu entwickeln, die der Gesellschaft einen besseren Umgang mit den kurz- und langfristigen Klimafolgen ermöglichen. Diese Maßnahmen

1. Einleitung

umfassen nicht nur die bauliche Anpassung urbaner und ruraler Strukturen (objektbezogene Klimaadaptation), sondern auch institutionelle Schritte zur Anpassung von Planungs- und Steuerungsprozessen an die veränderten Herausforderungen (prozessbezogene Klimaadaptation). Nicht zuletzt sind auch die handelnden Akteure in die Klimaanpassungsstrategien und -maßnahmen einzubeziehen (subjektbezogene Klimaadaptation), da ihr Handeln und Verhalten maßgeblich zur Vermeidung negativer Konsequenzen beitragen kann. Ein Konzept zur Umsetzung der Klimaanpassung in der räumlichen Planung ist das sogenannte „Climate Proofing“ (Birkmann und Fleischhauer 2009: 116). Dabei handelt es sich um Instrumente und Methoden die darauf ausgerichtet sind, die konsequente Berücksichtigung der aktuellen und künftigen Auswirkungen des Klimawandels in Planungsprozessen sicherzustellen. Dabei sind Maßnahmen und damit verbundene Investitionen so auszugestalten, dass sie anpassungsfähig gehalten werden, aber auch den Anforderungen des Klimaschutzes gerecht werden. Gemäß der deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel sind Konflikte zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz zu vermeiden und Synergien nach Möglichkeit zu nutzen. (vgl. Die Bundesregierung 2008: 49; Birkmann und Fleischhauer 2009; Matthews 2011: 6ff.; Birkmann et al. 2012)

Klimaschutz umfasst Strategien und Maßnahmen, die für das Klima schädlichen Auswirkungen des anthropogenen Handelns zu verringern, um das Fortschreiten des Klimawandels einzuschränken. In der internationalen Debatte werden in diesem Kontext auch die Bezeichnungen Klimamitigation oder „mitigation of climate change“ (IPCC 2014a: 114) verwendet. Im planerischen Kontext kann Klimaschutz auch als Schutz der lokalen (bio-)klimatischen Funktionen verstanden werden, im Sinne des Klimas als lokales Schutzgut, das in einer Umweltverträglichkeitsprüfung oder einer Strategischen Umweltprüfung zu bewerten ist (vgl. Birkmann et al. 2013a: 13f.). Das sogenannte Paris-Abkommen der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2015 ist wohl eines der bekanntesten Beispiele für eine politisch legitimierte Strategie zur Mitigation des Klimawandels (vgl. United Nations 2015). Klimamitigation umfasst demnach die menschlichen Bestrebungen, klimawirksame Emissionen zu kontrollieren und zu reduzieren, um deren Auswirkungen auf das Klimasystem zu verringern. Dabei stehen nicht nur die Beschränkung der Emissionen im Fokus, sondern ebenso die Reduzierung der in der Atmosphäre akkumulierten Treibhausgase und Schadstoffe. (vgl. IPCC 2014a; Birkmann et al. 2013a: 1, 13f.; Howard 2009: 23ff.; Rüdiger et al. 2009: 47ff.)

Leitbild

SCHOLLES UND PUTSCHKY definieren Leitbilder in der Raumplanung als „Instrument zur Charakterisierung eines anzustrebenden Zustand des Planungsraums“ (Scholles und Putschky 2008: 288).

Leitbilder sind damit normativ. Sie basieren auf gesellschaftlichen Oberzielen, die im Leitbild operationalisiert und priorisiert werden können. Die in einem Leitbild enthaltenen strategischen Zielsetzungen werden oftmals bildhaft dargestellt (z. B. Fingerplan von Kopenhagen). Zwischen dem gegenwärtigen Zustand und dem im Leitbild angestrebten Zustand besteht meist eine deutliche Differenz, die es durch zielorientierte Maßnahmenentwicklung zu überwinden gilt. (vgl. ebd.: 285ff.)

1. Einleitung

Teil I – Theorie

2. Städtische Systeme

Vulnerabilitäten in Städten ergeben sich nicht nur aus den Herausforderungen, denen Städte ausgesetzt sind (siehe Kapitel 3), sondern auch aus den exponierten städtischen Systemen, die Schnittstellen zu ebendiesen Herausforderungen aufweisen. Naturgefahren haben erst dann einen wirklich negativen Effekt für Menschen, wenn durch sie urbane Systeme in ihrer Funktionalität und damit auch das städtische Zusammenleben eingeschränkt wird. Dementsprechend fokussiert die erste Forschungsfrage auch auf die, im Titel dieser Arbeit angeführten, städtischen Systeme. Vulnerabilität und Resilienz beziehen sich nicht nur auf externe Ereignisse, die unmittelbar und unabwendbar ein Risiko für den Menschen darstellen, sondern auch auf die Rolle des Menschen und der anthropogenen Strukturen in der Risikoentstehung. Es gilt daher zu klären, welche städtischen Systeme im Kontext der Resilienzdebatte berücksichtigt werden müssen.

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage ist zunächst aufzuzeigen, wie *Stadt* überhaupt definiert wird und welche Funktionen Städte bzw. urbane Siedlungen erfüllen müssen, um lebenswerte Bedingungen für eine Gesellschaft zu bieten. Anschließend wird dargestellt, welche verschiedenartigen Systeme in einer Stadt zusammenwirken und welche Herausforderungen sich in diesem komplexen Zusammenspiel ergeben können. Hier werden die theoretischen Bezüge zur System- und Komplexitätstheorie dargestellt. In Hinführung auf den empirischen Teil der Arbeit werden im Anschluss die Wohnraumversorgung sowie das Abwassersystem als Beispiele für urbane Systeme konkreter dargestellt und deren zentrale Charakteristika, Funktionen sowie die Einbettung in das *Gesamtsystem Stadt* beschrieben. Zur Eingrenzung der Ausführungen zu den beiden Beispielsystemen werden lediglich Charakteristika des Wohnens und der Abwasserentsorgung in Deutschland im Allgemeinen beschrieben. Ein Abgleich mit internationalen Trends und Besonderheiten sowie eine Differenzierung regionaler Unterschiede erfolgt nicht.

2.1 Die Stadt als Gesamtsystem – Zum Stadtbegriff

Bevor näher auf städtische Systeme als Bestandteile einer Stadt eingegangen wird, ist zunächst zu definieren, was im Kontext dieser Arbeit überhaupt unter dem Begriff „Stadt“ verstanden wird. Da es sich bei Städten um physisch-soziale Konstrukte handelt, ist die Definition einer Stadt auch immer vom gesellschaftlichen Kontext abhängig. So hat sich das Verständnis von Stadt in der

2. Städtische Systeme

zeitgeschichtlichen Entwicklung mehrfach verändert. (vgl. Wolf 2005: 1048) Von einfachen antiken Siedlungen über mittelalterliche Städte mit Stadtrecht bis zu modernen Städten in Industrienationen liefert BENEVOLO in seinem umfassenden Werk einen Abriss über die historische Entwicklung von Städten, deren gesellschaftliche Funktionen und rechtliche Zuschreibungen (vgl. Benevolo 2007). Für den Rahmen dieser Arbeit genügt jedoch die Betrachtung aktueller Stadtverständnisse mit einem räumlichen Schwerpunkt auf Deutschland.

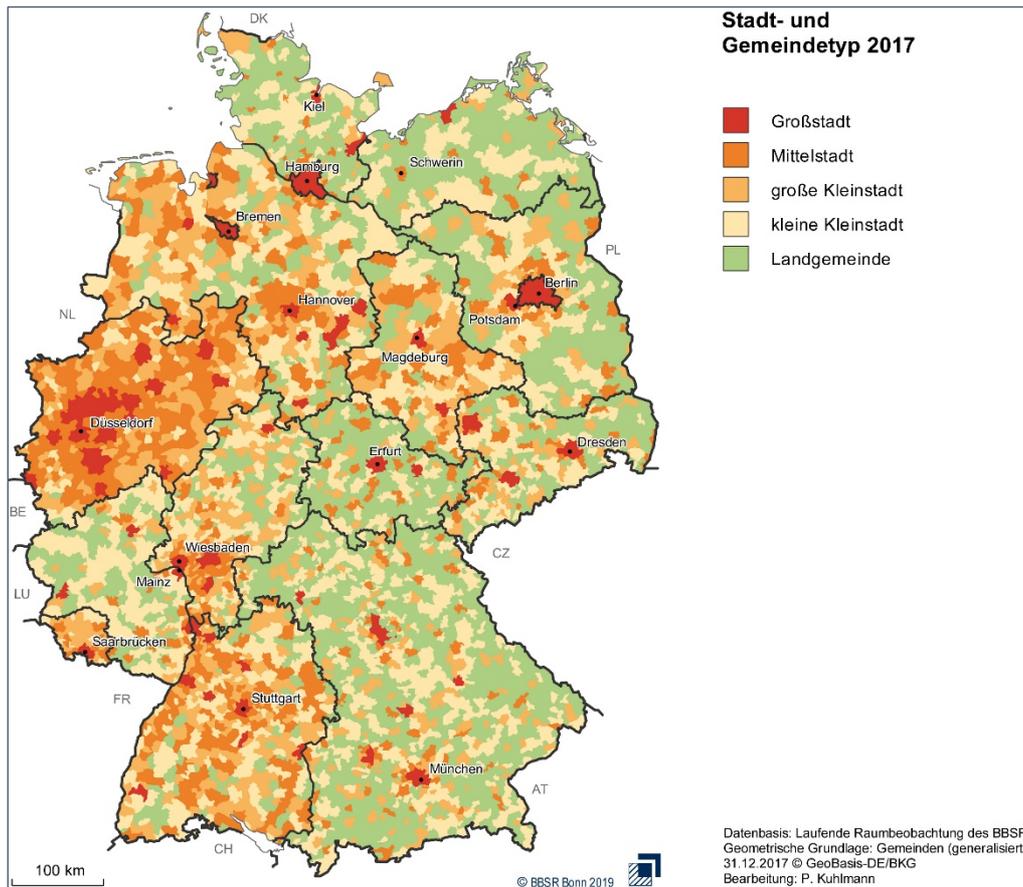
In Anbetracht ihrer historischen Entwicklung ist eine funktionale Abgrenzung von Städten gegenüber anderen Siedlungsformen naheliegend. Seit jeher und noch heute erfüllen Städte andere Funktionen als beispielsweise der ländliche oder suburbane Raum. Als Siedlungsmittelpunkte einer Region kommen ihnen zentrale Aufgaben der Grundbedürfnisbefriedigung und Daseinsvorsorge zu. Sie tragen somit zur Wohlstandsentwicklung der Bevölkerung bei. Schon Karl Marx beschrieb den Antagonismus zwischen Stadt und Land und hob die Bedeutung der Städte als den Pol hervor, der die Geschichte vorantreibt (vgl. Häußermann und Siebel 2004: 90). Das wohl bekannteste Konzept der funktionalen Abgrenzung unterschiedlicher Siedlungstypen ist in Deutschland das Konzept der zentralen Orte, das in den 1930er-Jahren von WALTER CHRISTALLER entwickelt wurden und über viele Jahre die Raumplanung und Raumordnung in Deutschland geprägt hat. In seiner Theorie, die ursprünglich für süddeutsche Städte entwickelt wurde, grenzt CHRISTALLER drei Stadttypen anhand von drei Prinzipien ab: dem Versorgungs- und Marktprinzip, dem Verkehrsprinzip und dem Verwaltungsprinzip. Alle drei Prinzipien zielen auf die Definition von Einzugsbereichen ab, um die Verteilung und hierarchische Organisation von Siedlungen im Raum zu strukturieren und so die Versorgung der Bevölkerung mit Gütern, Verkehrsangeboten und Verwaltungsleistungen zu optimieren. Die Einteilung der Siedlungen erfolgt in Unter- (oder Grund-), Mittel- und Oberzentren. Bezogen auf das wohl am meisten angewendete Markt- und Versorgungsprinzip bedeutet dies, dass in Unterzentren Güter angeboten werden, die der Grundversorgung zur Befriedigung täglichen Bedarfs dienen. In Mittelzentren werden zusätzlich Güter des gehobenen Bedarfs angeboten, die periodisch nachgefragt werden. In Oberzentren ergänzend Güter des langfristigen und spezialisierten Bedarfs, die nur episodisch nachgefragt werden, das Angebot. Diese Einteilung ist nicht nur auf Konsumgüter zu beziehen, sondern wird auch auf andere Bereiche der Daseinsvorsorge, wie die medizinische Versorgung, Bildungseinrichtungen oder Kultur- und Freizeitangebote übertragen. Das Konzept hat sich in der Praxis so weit etabliert, dass es auch im aktuellen deutschen Raumordnungsbericht noch als „siedlungsstrukturelles Grundgerüst für die [...] räumliche Organisation der Daseinsvorsorge“ (Zarth 2018: 34) zugrunde gelegt wird. (vgl. Portugali 2011: 23ff.; Christaller 1933)

Eine Abgrenzung zwischen unterschiedlichen Siedlungstypen ließe sich auch anhand der Einwohnerzahl treffen. Diesbezüglich werden in der Literatur häufig Werte zwischen 2.000 und 5.000 Einwohnern als Untergrenze einer Siedlung, die dann als *Stadt* zu bezeichnen wäre, genannt (vgl. Wolf 2005: 1048). Ein Blick auf die 2061 deutschen Städte zeigt jedoch, dass 67 deutsche Städte die Untergrenze von 2.000 Einwohnern noch unterschreiten (Stand: 31.12.2017). Die auf einer Halbinsel in Schleswig-Holstein gelegene Stadt Arnis war Ende 2017 mit nur 280 Einwohnern und einer Fläche von 0,45 km² die kleinste Stadt Deutschlands. Im Gegensatz dazu hatte Berlin als bevölkerungsreichste Stadt in Deutschland rund 3,6 Millionen Einwohner auf einer Fläche von 891 km². Insgesamt leben derzeit etwa drei von vier Deutschen in Städten. (vgl. Website Destatis 1) Das Beispiel der Stadt Arnis zeigt, dass eine quantitative Abgrenzung von Städten allein auf Basis der Bevölkerungszahl zu Fehleinschätzungen führen kann. Mitunter haben Städte bereits im Mittelalter das Stadtrecht aufgrund ihrer damaligen Bedeutung oder im weiteren Geschichtsverlauf aus rechtlichen oder politischen Gründen erhalten. Dies spiegelt sich heutzutage nicht immer in einer entsprechend hohen Einwohnerzahl wider. Demgegenüber steht die Eindeutigkeit, die mit einer quantitativen Abgrenzung von Städten anhand der Bevölkerungszahl verbunden ist.

Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) kombiniert in seiner Einteilung der Stadt- und Gemeindetypen in Deutschland die quantitative Abgrenzung von Städten anhand der Einwohnerzahl mit einer funktionalen Abgrenzung anhand zentralörtlicher Funktionen. Grundsätzlich teilt das BBSR urbane Siedlungen in Deutschland in vier Hauptkategorien ein (vgl. Website BBSR): Großstädte (mind. 100.000 Einwohner, oberzentrale Funktionen), Mittelstädte (20.000 bis unter 100.000 Einwohner, mittelzentrale Funktionen), Kleinstädte (5.000 bis unter 20.000 Einwohner, grundzentrale Funktionen) und Landgemeinden (alle sonstigen Gemeinden). Wie auch in Abbildung 3 zu erkennen ist, werden die Hauptkategorien je nach Einsatzzweck noch weiter unterteilt; beispielsweise in kleinere und große Großstädte (mind. 500.000 Einwohner) oder große und kleine Kleinstädte (10.000 bis unter 20.000 Einwohner bzw. 5.000 bis unter 10.000 Einwohner). Wenn gleich sich auch diese Abgrenzungsmethodik nicht vollständig fehlerfrei auf alle deutschen Siedlungen mit Stadtrecht anwenden lässt (siehe z. B. Arnis), so hat sie sich dennoch in Wissenschaft und Praxis etabliert und wird daher auch dieser Arbeit zugrunde gelegt.

Städte können als räumliche Konzentrationspunkte der Bevölkerung sowie der zentralen Versorgungs-, Verkehrs- und Verwaltungsangebote definiert werden. Die hohe Akkumulation von Einwohnern, Infrastrukturen und unterschiedlichen Funktionen führt dazu, dass sich das Stadtleben im Charakter deutlich vom Leben im ländlichen Raum unterscheidet.

Abbildung 3: Die Stadt- und Gemeindetypen des BBSR in Deutschland



Quelle: Website BBSR

In der Stadtsoziologie werden eine relativ große Siedlungsgröße mit hoher Siedlungsdichte und die Heterogenität der Bevölkerung als typische Merkmale einer Stadt herausgestellt, da der Lebensalltag der Stadtbewohner maßgeblich durch diese Eigenschaften beeinflusst wird. Die hohe räumliche Konzentration der Bevölkerung und das Aufeinandertreffen unterschiedlicher Kulturen und Lebensstile führen dazu, dass soziale Beziehungen und gesellschaftliche Gefüge deutlich anders ausgeprägt sind, als im ländlichen Raum. Tendenziell stehen in der Stadt die Vielfalt und Vielzahl der Beziehungen über der Intensität der einzelnen Beziehungen. (vgl. Häußermann und Siebel 2004: 93ff.) Dies kann von Bedeutung sein, wenn es um Partizipation und Beteiligungsbereitschaft in der Planung sowie um soziale Netzwerke und gegenseitige Unterstützung in Krisensituationen geht.

Ergänzt man die quantitativen Abgrenzungen städtischer Räume um soziologische, sozialpsychologische oder politische Abgrenzungen, so nähert man sich dem Konzept der Urbanität. Dieses umfasst laut SIEBEL mehr als die reine Addition von Bevölkerung, Infrastrukturen und Bauwerken. Es geht auch um die soziale Sphäre des städtischen Gesamtsystems. SIEBEL charakterisiert Urbanität aus fünf fachlichen Perspektiven: städtebaulich, sozialökologisch, sozialpsychologisch, politisch und zivilisationsgeschichtlich. (vgl. Siebel 1994: 5ff.) Städtebaulich steht die Erfüllung der vier urbanen

Grundfunktionen Wohnen, Arbeit, Erholung und Verkehr im Vordergrund (siehe auch Kapitel 2.2). Die sozialökologische Perspektive bezieht sich auf die schon genannten Merkmale Größe, Dichte und Bevölkerungsheterogenität, wohingegen die sozialpsychologische Perspektive die besonders ausgeprägte Polarität von Öffentlichkeit und Privatheit im Urbanen hervorhebt. Politisch zeichnen sich urbane Räume durch die Bedeutung der Tugenden Bildung und Leistung zur bürgerlichen Selbstbestimmung sowie durch die Möglichkeit zur politischen Beteiligung aus. Zivilisationsgeschichtlich ist das Urbane der Ort der Emanzipation des Städters von Naturzwängen, also dem täglichen Überlebenskampf aufgrund natürlicher Gegebenheiten. Der Städter ist nicht schutzlos dem Wetter ausgeliefert, er hat stets Zugriff auf umfangreiche Versorgungsangebote und ist nicht an den natürlichen Tagesrhythmus gebunden. (vgl. ebd.)

Die Mannigfaltigkeit der Abgrenzungsmerkmale von städtischen Räumen gegenüber dem Land und die unterschiedlichen Perspektiven auf Urbanität unterstreichen die Komplexität des Zusammenspiels unterschiedlicher Elemente einer Stadt. Der städtische Charakter kann nicht auf einzelne Elemente oder Teilsysteme reduziert werden, sondern entfaltet sich erst im Zusammenspiel von Bau- und Infrastrukturen, der Erfüllung städtischer Funktionen, institutionellen Strukturen sowie der Stadtgesellschaft als soziale Sphäre, die das Zusammenleben und den Alltag in einer Stadt prägt. Insofern lassen sich auch keine Elemente oder Teilsysteme einer Stadt identifizieren, die in besonders hohem oder besonders geringem Maße für eine Stadt in ihrer charakteristischen Aufgabenerfüllung von Bedeutung sind. Da Wirkungsketten in komplexen Systemen nicht immer direkt kausal nachvollziehbar sind, sollte die Bedeutung einzelner städtischer Systeme für das Funktionieren des Gesamtsystems nicht unterschätzt werden. Vor allem wenn neuere, sozio-ökologische Resilienzverständnisse zugrunde gelegt werden, gebietet die, diesen Konzepten innewohnende, gesamtsystemische Perspektive (siehe Kapitel 5.1.3) zumindest in der Theorie eine ganzheitliche Betrachtung der Stadt als komplexes System.

2.2 Funktionen einer Stadt

In der Literatur zeigt sich ein Mangel an Publikationen, die kommunale Aufgaben bzw. städtische Funktionen konkret definieren (vgl. Seckelmann 2008: 268). Dies ist jedoch nicht weiter verwunderlich, da sich die Funktionen von Städten in der Historie mehrfach verändert haben und sich auch heute noch stetig wandeln. Der technische Fortschritt sowie sich verändernde institutionelle und gesellschaftliche Rahmenbedingungen führen dazu, dass sich kommunale Aufgaben verändern und neue Funktionen hinzukommen bzw. andere Funktionen wegfallen. Würde man die Funktionen einer Stadt aus dem Jahr 1820 mit denen einer Stadt aus dem Jahr 2020 vergleichen, so würden sich

2. Städtische Systeme

deutliche Unterschiede zeigen. Und selbst innerhalb der gleichen Zeitepoche erfüllen Städte in unterschiedlichen Regionen verschiedene Funktionen. Eine absolute und zeitlich endgültige Definition städtischer Funktionen ist daher nicht möglich. Es lassen sich lediglich Rückschlüsse aus dem Abgleich historisch gewachsener städtischer Funktionen ziehen, wenngleich dies das Risiko eines naturalistischen Fehlschlusses mit sich bringt – also dem fälschlichen Schließen vom Sein auf das Sollen (vgl. ebd.: 271).

Zunächst wird an dieser Stelle der Unterschied zwischen kommunalen Aufgaben und städtischen Funktionen erläutert: bei kommunalen Aufgaben handelt es sich um technische Einrichtungen oder Dienst- und Sozialleistungen, die durch kommunale Vertreter oder im Auftrag einer Kommune zur Bedürfnisbefriedigung der Bevölkerung zur Verfügung gestellt werden. Zur Vereinfachung wird hier nicht zwischen Aufgaben unterschieden, die unterschiedlichen administrativen Ebenen zugeordnet sind, aber auf lokaler Ebene in den Kommunen erfüllt werden. Ein Beispiel dafür ist das Bildungswesen, das zwar organisatorisch den Landesverwaltungen zugeordnet ist, aber vor Ort in den Kommunen umgesetzt wird. Im Alltag der Bewohner spielt sicherlich das lokale Angebot an Bildungseinrichtungen eine größere Rolle als die landesweite Qualität des Bildungswesens. Städtische Funktionen gehen über das Angebot der öffentlichen Aufgabenträger hinaus und umfassen zusätzlich Leistungen und Prozesse, die weitgehend auch ohne die Beteiligung von Akteuren der öffentlichen Verwaltung ablaufen können, Genehmigungen und Kontrollen ausgenommen. Zudem ergeben sich manche Funktionen einer Stadt auch inhärent durch die urbane Verdichtung und Diversität sowie durch das gesellschaftliche Zusammenleben. (vgl. ebd.: 271ff.; Häußermann und Siebel 2004: 93ff., 122ff.)

Historisch gehen die Ursprünge der Stadt auf den vorderen Orient zurück. Dort entstanden Siedlungen, die über die dörfliche Ansammlung einiger Gebäude hinausgingen. Charakteristisches Merkmal dieser Siedlungen war, dass aufgrund der zunehmenden Überschüsse in der landwirtschaftlichen Produktion nicht mehr alle Bewohner Feldarbeit leisten mussten und sich so auf andere Aufgaben spezialisieren konnten. Durch diese Arbeitsteilung wurden Weiterentwicklungen im Handwerk und anderen Gewerben begünstigt, die bessere Produkte und Dienstleistungen ermöglichten und so auch der Landwirtschaft zugutekamen. Die städtischen Siedlungen fungierten somit als Motor gesellschaftlicher Entwicklungen, die eine schnellere Entwicklung gegenüber den Dörfern im ländlichen Raum ermöglichten. Zudem bildeten sich durch die Arbeitsteilung unterschiedliche soziale Gruppen und Machtstrukturen heraus. (vgl. Benevolo 2007: 19ff.)

Im weiteren Verlauf der Geschichte kamen immer mehr städtische Funktionen hinzu, die über die bloße Arbeitsteilung hinausgingen. Meist übernahmen Städte Funktionen für ihr Umfeld oder ganze

Regionen. So wurden Städte kulturelle und religiöse Zentren (vgl. ebd.: 22ff.), dienten als Orte des Handels mit Gütern oder Dienstleistungen (vgl. ebd.) oder boten den Bewohnern der umliegenden Ländereien Schutz im Falle eines feindlichen Angriffs (vgl. ebd.: 92ff., 327ff.). Mit zunehmendem Wachstum der Städte bildeten sich auch immer mehr organisatorische Strukturen heraus, die mit unterschiedlichen Machtverhältnissen einhergingen und politische Steuerung sowie eine zentrale Verwaltung des gesellschaftlichen Zusammenlebens erforderten. Dazu gehörte auch die Planung der räumlichen Entwicklung der Städte und Siedlungen selbst (vgl. ebd.: 91ff.). Abgesehen von diesen Obrigkeitfunktionen waren und sind Städte auch immer Orte der Erfüllung menschlicher Grundbedürfnisse: sie boten ihren Bewohnern Wasser, Nahrung, Unterkunft, Arbeit und ein soziales Umfeld. Später kamen auch weitergehende Ver- und Entsorgungsangebote sowie individuelle Entfaltung und Teilhabe hinzu (vgl. ebd.: 781ff.; 945ff.).

Die Funktionsvielfalt einer modernen Stadt lässt sich kaum abschließend eingrenzen. Nichtsdestotrotz gab es in der Geschichte der Stadtplanung und des Städtebaus einige zentrale Leitbilder und Konzepte, die sich mit den Funktionen einer Stadt auseinandergesetzt und das heutige Erscheinungsbild europäischer Städte geprägt haben. Eines dieser prägenden Manifeste war sicherlich die sogenannte *Charta von Athen*, die unter Federführung des bedeutenden Architekten und Städtebauers Le Corbusier entstanden ist und 1933 vom internationalen Kongress moderner Architektur verabschiedet wurde. In ihr werden der europäischen Stadt, neben einigen architektonischen Anforderungen, verschiedene Funktionen zugeschrieben. Als Hauptfunktionen der Stadt werden Wohnen, Arbeiten, Erholen und Bewegen aufgeführt. Dabei solle das Wohnen im Zentrum aller städtebaulichen Bemühungen stehen. Zudem solle die Stadt die Entwicklung des Gemeinwohls unter Wahrung der individuellen Freiheit fördern und als funktionale Einheit geplant und weiterentwickelt werden. Dabei sind die Stadtfunktionen räumlich voneinander zu trennen, die Entfernungen zwischen Wohn- und Arbeitsplatz jedoch möglichst gering zu halten. Neben der Bedeutung von Freiflächen für die Erholung, wird auch die Rolle des Verkehrs zur Verbindung der räumlich getrennten Hauptfunktionen hervorgehoben. (vgl. Hilpert 1984) Der europäische Rat der Stadtplaner hat die Charta inzwischen 1998 erneuert und 2003 weiterentwickelt. „Die Neue Charta von Athen 2003“ (European Council of Town Planners 2003) stellt in ihrer Vision moderne Städte als Systeme dar, die auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Ebenen vernetzt sind. Dies beinhaltet die Möglichkeit individueller Entfaltung in einer vernetzten, multi-kulturellen Gesellschaft. Dazu muss die Grundversorgung sichergestellt werden. „Mehr Wohnungen zu bezahlbaren Preisen wird es zusätzlich zu Bildungs-, Handels-, Kultur- und Erholungsstätten sowie Dienstleistungen geben“ (ebd.: 8). Auch die wirtschaftliche Vernetzung der Stadt im globalen Wettbewerb unter Nutzung lokaler

2. Städtische Systeme

Wettbewerbsvorteile und wirtschaftlicher Vielfalt, wird als eine Funktion einer modernen Stadt beschrieben. Ebenso sollen Städte dazu beitragen die Umwelt als natürlichen Lebensraum zu bewahren, Ressourcen zu sparen und somit langfristig ein gesundes Lebensumfeld sicherzustellen. (vgl. ebd.) Auch das schon in Kapitel 2.1 beschriebene Konzept der Zentralen Orte nach CHRISTALLER ist ein wichtiges Leitbild städtischer Entwicklung und weist Städten unterschiedliche Funktionen zu (vgl. Portugali 2011: 23ff.; Christaller 1933).

Im Jahr 2007 haben die für die Stadtentwicklung zuständigen Minister der damals 27 europäischen Mitgliedsstaaten die Leipzig Charta zur nachhaltigen europäischen Stadt verabschiedet. Darin werden zahlreiche Funktionen einer Stadt beschrieben, die sich in einigen Aspekten auch mit der Neuen Charta von Athen 2003 überschneiden. So wird beispielsweise die Vernetzung der städtischen Akteure im Rahmen einer integrierten Stadtentwicklungspolitik gefordert (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2007: 2ff.) und ein sparsamer Umgang mit Ressourcen als wichtige Aufgabe herausgestellt (vgl. ebd.: 4f.). Zudem wird die Funktion qualitätvoller öffentlicher Räume für das städtische Zusammenleben und als wirtschaftlicher Standortfaktor herausgestellt (vgl. ebd.: 3f.). Bildung und Innovationsschaffung werden ebenso als städtische Funktionen angesehen wie eine gebietsbezogene Wirtschaft mit einem lokalen Arbeitsmarkt (vgl. ebd.: 5f.). Nicht zuletzt wird auch dem Stadtverkehr eine wichtige vernetzende Funktion zugeschrieben (vgl. ebd.: 7).

Eine weitere Herangehensweise, um städtische Funktionen zu definieren ist, diese aus den lebensnotwendigen Bedingungen für zivilisiertes Leben in einem Sozialstaat abzuleiten. Ein Konzept, das einen solchen Ansatz bietet, ist das Prinzip der Daseinsvorsorge. Der Begriff wurde bereits 1938 vom Staatsrechtler FORSTHOFF geprägt und umfasst als lebensnotwendige Leistungen des Staates gegenüber seinen Bürgern die Versorgung mit Wasser, Elektrizität und Gas sowie die Telekommunikation, das Postwesen und den öffentlichen Verkehr. Auch gehöre eine ausreichende Vorsorge im Falle von Krankheit, Alter, Invalidität und Arbeitslosigkeit zur Daseinsvorsorge (vgl. Forsthoff 1938: 7, 12, 42ff.). HÄUßERMANN UND SIEBEL nennen im Kontext der öffentlichen Daseinsvorsorge die gleichen Stadtfunktionen und ergänzen diese um die Kanalisation, Straßenbeleuchtung, Jugendfürsorge, Kindergärten und Freizeiteinrichtungen. Für sie haben sich Städte „zu einer hochkomplexen Maschine zur Versorgung der privaten Haushalte mit allem Lebensnotwendigen“ (Häußermann und Siebel 2004: 68) entwickelt. Daseinsvorsorge bezieht sich demzufolge im Kern auf die durch technische Infrastrukturen bereitgestellten Leistungen sowie soziale Dienstleistungen und sozialstaatliche Sicherungssysteme. (vgl. Neu 2009: 9ff.)

Neben den städtischen Funktionen, die als technische Leistungen oder Dienstleistungen erbracht werden, erfüllt eine Stadt aus stadtsoziologischer Perspektive weitere Funktionen, die sich aus dem gesellschaftlichen Zusammenleben ergeben. Die für Städte charakteristische Polarität von Öffentlichkeit und Privatheit führt zur Diversifizierung individueller Entfaltungsmöglichkeiten. Die räumliche Konzentration der Vielzahl von Akteuren und sozialen Gruppen führt dazu, dass individuell mehr Kontakte wahrgenommen werden können und sich durch die Integration in verschiedene soziale Arrangements die Zahl der Möglichkeiten erweitert. Gleichzeitig bietet die Anonymität einer Stadt die Möglichkeit des Rückzugs in die Privatsphäre, da im Gegensatz zu dörflichen Nachbarschaften, weniger Verpflichtungen und Einbindungen bestehen. Es werden Netzwerke anstelle von Nachbarschaften gepflegt. Zudem vereinfacht die Anonymität einer Stadt einen individuellen Neuanfang, ohne dass dieser zwingend von den sozialen Beziehungen der Vergangenheit belastet wird. Dies erweitert die Möglichkeiten der individuellen Entfaltung und Reorientierung. (vgl. Häußermann und Siebel 2004: 55ff.; 112ff.)

Im Hinblick auf die kommunalen Aufgaben stellt sich die Frage, welche der städtischen Funktionen durch öffentliche Aufgabenträger zu erfüllen sind. Dies ist auch abhängig von der Frage, welche Rolle Stadt und Staat in der Wahrung und Maximierung des Gemeinwohls einnehmen wollen. Ein Blick in die Stadtgeschichte zeigt, dass auch kommunale Aufgaben dem historischen Wandel unterliegen und von technischen Entwicklungen und institutionellen Rahmenbedingungen abhängig sind. Ging es mit der Stein'schen Städteordnung von 1808 noch vorwiegend darum, die Selbstverwaltung rechtlich zu ermöglichen und so die Staatsgewalt lokal zu sichern, kamen im Rahmen der Industrialisierung auch polizeiliche Aufgaben der Gesundheitsvorsorge und des Brandschutzes hinzu (vgl. Seckelmann 2008: 272ff.). Nach der Kommunalisierung von Verwaltungs- und Versorgungsaufgaben lässt sich um den Jahrtausendwechsel eine Entkommunalisierung der Aufgaben beobachten, die neben der Erfüllung kommunaler Aufgaben durch Private in Teilen auch die materielle Privatisierung kommunaler Anlagen beinhaltet (vgl. ebd.: 277f.). Es zeigt sich also eine „Umwandlung der kommunalen Verantwortung von einer Erfüllungs- zu einer Gewährleistungsverantwortung“ (ebd.: 277), die nur noch die Kontrolle der kommunalen Aufgabenerfüllung beinhaltet. Trotz veränderter Aufteilung der Zuständigkeiten für die Aufgabenerfüllung hat sich im Kern an den kommunalen Aufgaben in den letzten Jahrzehnten nicht viel verändert. Gleicht man die bereits 1976 vom Staatsrechtsprofessor BLÜMEL vorgetragene Auflistung kommunaler Aufgaben (vgl. Blümel 1976: 194f.) mit den kommunalen Aufgaben ab, die auf der Website der Landeszentrale für politische Bildung des Landes Baden-Württemberg aufgeführt sind, so sind diese nahezu deckungsgleich: Umweltschutz, kulturelle Angelegenheiten, Sportanlagen und Schwimmbäder, Bewirtschaftung von Grünanlagen,

2. Städtische Systeme

Gemeindewahlen, Abwasserbeseitigung, Versorgungseinrichtungen, Verkehr, soziale Angelegenheiten, Feuerwehr, allgemeinbildende Schulen, Bauleitplanung sowie Weisungsaufgaben wie Parlamentswahlen, ortspolizeiliche Aufgaben, Melde- und Standeswesen, Gewerbe- und Gaststättenrecht, Baurecht, Aufgaben der unteren Verwaltungsbehörde und Sozialhilfe (vgl. Website LPB).

Im Abgleich der unterschiedlichen Ansätze und Auflistungen lässt sich feststellen, dass es zahlreiche Überschneidungspunkte gibt, was städtische Funktionen und kommunale Aufgaben betrifft. Ebenso ist festzuhalten, dass es wohl keine Liste geben kann, die zeitlich und kontextual abschließend eine konkrete Funktionsauflistung liefern könnte. Im Hinblick auf die Beantwortung der ersten Forschungsfrage sollen im weiteren Verlauf der Arbeit die städtischen Funktionen in den Fokus gerückt werden, da sie neben den hoheitlichen Aufgaben eben auch die lebensweltlichen Funktionen einer Stadt beinhalten und so eine ganzheitlichere Perspektive auf die Stadt als sozio-technisches System ermöglichen. Eine Stadt, in der zwar rechtlich alle kommunalen Aufgaben erfüllt werden, die aber kein ansprechendes gesellschaftliches Zusammenleben bietet, wäre wohl kaum lebenswert. Unternimmt man, unter Berücksichtigung der aufgeführten Einschränkungen, den Versuch, die kommunalen Funktionen aufzulisten, so müsste die Liste wohl folgende Punkte beinhalten: Wohnen, Versorgung mit Nahrungsmitteln und Gütern, Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallbeseitigung, Elektrizität, Gas, Personen- und Güterverkehr, Kommunikation und Information, Gesundheitsversorgung, Bildung, soziale Versorgung junger, alter und gesundheitlich sowie ökonomisch benachteiligter Menschen, Erholung, Kultur-, Sport- und Freizeitstätten, Arbeitsmarkt, Finanzwesen, Rettungsdienste und Katastrophenschutz, Schutz der Unversehrtheit, Verwaltungsangelegenheiten, Umweltschutz, nachfrageorientierter und ressourcenschonender Städtebau, soziale und politische Teilhabe und Vernetzung sowie die Ermöglichung der individuellen Entfaltung unter Wahrung der kommunalen Entwicklungsmöglichkeiten im Sinne des Gemeinwohls. (vgl. ebd.; Wolf 2005: 1048ff.; Blümel 1976: 194ff.)

2.3 Stadt als komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Teilsysteme

Städte sind komplexe sozio-technische Systeme, die sich aus vernetzten Teilsystemen konstruieren. Da die Teilsysteme jeweils eigene Handlungslogiken und Abläufe aufweisen, ergeben sich komplexe Wirkweisen und Reaktionsketten zwischen den Teilsystemen, die die Planung und Steuerung mitunter erschweren. Menschen agieren im Gesamtsystem Stadt als handelnde Akteure, als Profiteure der Systemleistungen, aber auch als Systemgestalter. Dementsprechend umfassen die städtischen Systeme im Verständnis dieser Arbeit nicht nur bauliche Strukturen, insbesondere Infrastrukturen, sondern auch soziale und institutionelle Systeme. Die Abgrenzung der städtischen Systeme

unterliegt ähnlichen Einschränkungen, wie die Abgrenzung städtischer Funktionen im vorangegangenen Kapitel. Die Vielzahl der Teilsysteme, die sich auch in der historischen Entwicklung stetig weiterentwickelt und verändert haben, machen eine abschließende Auflistung nahezu unmöglich. Für das Verständnis von Stadt als komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Teilsysteme und den sich daraus ergebenden planerischen Herausforderungen, reicht jedoch auch eine unvollständige Auflistung städtischer Systeme aus, die die Unterschiedlichkeit der Teilsysteme widerspiegelt.

2.3.1 Diversität städtischer Systeme

Die vielfältigen städtischen Systeme dienen der Erfüllung der verschiedenen, zuvor beschriebenen, städtischen Funktionen. Damit werden physische und soziale (Grund-)Bedürfnisse der Bewohner befriedigt. In Tabelle 1 sind exemplarisch fünf städtische Systeme aufgeführt, für die in Stichwortform aufgeführt wird, welche Bedürfnisse sie befriedigen, um welche Art von System es sich handelt, welche wesentlichen Vernetzungen zu anderen Stadtsystemen bestehen und welche Akteure oder Institutionen die Systeme betreiben. Damit soll die Diversität der Systeme und der beteiligten Akteure, die Unterschiedlichkeit der Bedürfnisse der Bewohner sowie die Komplexität der Vernetzungen¹ dargestellt werden. Dies kann an dieser Stelle nur exemplarisch aufgeführt werden und umfasst daher nicht alle Stadtsysteme, Akteure und Vernetzungen. Für die beiden Beispielsysteme in den Kapiteln 2.4 und 2.5 werden Vernetzungen und Charakteristika aber detaillierter beschrieben.

In der Tabelle werden kommunale Planungsakteure oder öffentliche Kontrollinstanzen nicht unter den beteiligten Akteuren aufgeführt, da sie im Kern nicht am Betrieb der Systeme beteiligt sind. Auch wenn Städte sowohl räumlich als auch administrativ über die kommunale Ebene hinaus vernetzt sind, wird im Sinne der Eingrenzung die kommunale Ebene als obere räumliche und administrative Grenze angewendet.

Da die in Tabelle 1 aufgelisteten städtischen Systeme nicht differenzierter erläutert werden, werden an dieser Stelle zumindest einige zentrale Charakteristika unterschiedlicher Systemarten dargestellt. Dies vermittelt einen grundsätzlichen Eindruck vom Aufbau und Charakter der jeweiligen Systeme sowie von deren Unterschiedlichkeit. Gleichwohl können die Ausführungen den spezifischen Eigenheiten der unterschiedlichen Systeme nicht gerecht werden.

¹ Vernetzungen ergeben sich sowohl dann, wenn Systeme auf den Leistungen anderer Stadtsysteme basieren, als auch wenn sie selbst Voraussetzung für das Funktionieren anderer städtischer Systeme sind.

Tabelle 1: Exemplarische Auflistung vernetzter städtischer Systeme und ihrer Charakteristika

| Städtisches System | Erfüllte Bedürfnisse (physisch/sozial) | Art des Systems | Wichtige Vernetzungen zu anderen Stadtsystemen | Betrieb/Erfüllung durch... |
|--------------------------|---|---|---|--|
| Wohnraum | Schutz gegen Natur / Lebensmittelpunkt; Selbstverwirklichung; privater Rückzugsort (Privatsphäre) | Bauliche Strukturen | Elektrizität; Trinkwasser/Abwasser; Verkehr | Überwiegend privater Wohnungsmarkt sowie kommunale oder wohlfahrtsorientierte Akteure |
| Abwassersystem | Hygiene; Gesundheit / Sauberkeit; Wohlbefinden | Technische Leitungsinfrastruktur; Punktinfrastrukturen | Trinkwasser; Elektrizität; Wohnraum; Wirtschaft | Kommunale Ver- & Entsorgungsbetriebe; Abwasser(zweck)verbände |
| Wärmeversorgung | Sicherung angemessener Raumtemperatur / Wohlbefinden | Diverse Arten: meist Leitungsinfrastruktur; Punktinfrastuktur; technische Anlagen | Wohnraum; Gasnetz; Elektrizitätsnetz; Fernwärmenetz | Kommunale Ver- & Entsorgungsbetriebe; private Versorgungsbetriebe |
| Gesundheitssystem | Wahrung der Gesundheit (Public Health) / individuelles Wohlergehen; sozialstaatliche Gesundheitsvorsorge | Diverse Arten: Punktinfrastrukturen; Fahrzeuge (Rettungsdienst); soziale Infrastrukturen; Informationssysteme | Elektrizität; Trinkwasser/Abwasser; Verkehrssystem; Kommunikationssysteme | Öffentliche, genossenschaftliche und private Kliniken; Rettungsdienste; Ärzte; Apotheken; sonst. Gesundheitseinrichtungen; Bildungsangebote |
| Bildungssystem | Bildung der Bevölkerung, insb. Jugendliche; Voraussetzung zur Teilnahme am Arbeitsmarkt; soziale Teilhabe; Selbstverwirklichung | Soziale Infrastruktur; Bauliche Strukturen; Kommunikationsinfrastrukturen | Elektrizität; Kommunikationssystem; Wirtschaftssystem | Öffentliche und private Bildungsträger: Schulen; Universitäten; Volkshochschulen; weitere Bildungsangebote (z. B. Musikschulen, online-Angebote) |

Quelle: eigene Darstellung; *Anmerkung: bei der Auflistung handelt es sich um eine vereinfachte Darstellung. Als Vernetzungen zu anderen Stadtsystemen sind lediglich besonders zentrale Vernetzungen aufgeführt.

Versucht man städtische Systeme zu strukturieren, wird man sich zwangsläufig mit dem Begriff der Infrastrukturen auseinandersetzen müssen, da die Mehrzahl städtischer Systeme entweder den urbanen Infrastrukturen entsprechen, sich aus mehreren Infrastrukturen zusammensetzen oder zumindest auf Infrastrukturleistungen basieren. Der Begriff Infrastruktur setzt sich aus den lateinischen Wörtern „infra“ (dt. unterhalb) und „structura“ (dt. Zusammenfügung) zusammen und beschreibt im heutigen Gebrauch öffentliches Kapital in Form von Anlagen und Einrichtungen, die der Erfüllung städtischer Funktionen für die Stadtgemeinschaft (Bürger, Wirtschaft, öffentliche Akteure) dienen. Als typische Merkmale von technischen Infrastrukturen können die lange Lebensdauer, die Unteilbarkeit der Anlagen (große Mindestgrößen) sowie der überwiegende Netzcharakter (z. B. in den Bereichen Wasser, Energie, Verkehr und Telekommunikation) angeführt werden. Zudem dienen Infrastrukturleistungen im Wirtschaftssystem meist als wichtiger Produktionsinput in der Herstellung von Investitions- und Konsumgütern. (vgl. Frey 2005: 469f.) Eine bedeutende und sehr weite Infrastrukturdefinition wurde 1966 von JOCHIMSEN veröffentlicht, der Infrastruktur als „die Gesamtheit der materiellen, institutionellen und personalen Anlagen, Einrichtungen und Gegebenheiten, die den Wirtschaftseinheiten im Rahmen einer arbeitsteiligen Wirtschaft zur Verfügung stehen“ (Jochimsen 1966: 145) beschrieb. Die Strukturierung in materielle, institutionelle und personelle Infrastrukturen lässt sich auch auf urbane Systeme übertragen.

Technische Leitungsinfrastrukturen machen einen erheblichen Teil der materiellen, städtischen Systeme aus. Dazu gehören technische Leitungen unterschiedlicher Art, die überwiegend in Netzstrukturen angelegt sind, wie beispielsweise beim Trink- und Abwassernetz, beim Elektrizitäts- und Gasnetz oder auch Telefon- und Internetleitungen. Derartige Leitungsinfrastrukturen sind in Deutschland überwiegend unterirdisch im öffentlichen Straßenraum verlegt, wodurch sich ihre physische Ortsgebundenheit ergibt. Technische Leitungsinfrastrukturen können nicht nur als Netz-, sondern auch als Bandinfrastrukturen angelegt sein, bei denen sich die Infrastrukturelemente entlang einer Versorgungsachse konzentrieren und so eine Verbindung zwischen verschiedenen Siedlungsbereichen herstellen. Beispiele hierfür sind im Verkehrssystem größere Straßen oder Autobahnen, im Abwassernetz die sogenannten Hauptsammler oder im Elektrizitätsnetz die Hochspannungsleitungen. Zur konkreten Verteilung der transportierten Ressource an den Bestimmungsort schließen sich an Bandinfrastrukturen meist Netzinfrastrukturen an, die weiter verzweigt die Verteilung im Raum ermöglichen (z. B. Erschließungsstraßen, einfache Kanalleitungen und Stromleitungen). Aufgrund meist hoher Materialkosten und dem erheblichen Errichtungsaufwand gehen technische Leitungsinfrastrukturen mit hohen Investitionskosten einher, die neben der Ortsgebundenheit der Infrastrukturen zu einem hohen Maß an Pfadabhängigkeit bzw. Inflexibilität führen. Technische

2. Städtische Systeme

Leitungsinfrastrukturen ermöglichen den Transport von Ressourcen, Energie und Daten zwischen zentralen Punktinfrastrukturen sowie die Verteilung in der Fläche zu den Endverbrauchern. Als eine Form von Band- und Netzinfrastrukturen werden Verkehrswege in dieser Arbeit den technischen Leitungsinfrastrukturen zugeordnet, auch wenn es sich nicht um Leitungen im engeren Sinne handelt. (vgl. Tietz 2011: 5ff.; Buhr 2009: 12ff.; Frey 2005: 469ff.; Buhr 2003: 8ff.)

Bestandteil technischer Infrastruktursysteme sind meist auch **Punktinfrastrukturen**, die in die Netz- oder Bandstrukturen eingebunden sind. Punktinfrastrukturen sind für den Betrieb von Leitungsnetzen oder anderen technischen Infrastruktursystemen notwendig, da sie die transportierten Ressourcen, Daten oder die Energie erzeugen, für den Transport aufbereiten, zum Transport beitragen oder weiterverarbeiten. Beispiele sind Kraft- und Umspannwerke, Kläranlagen, Pumpwerke, Sendemasten und Richtfunkanlagen oder Recyclinganlagen. Bei Punktinfrastrukturen handelt es sich um oberirdische Bauwerke, die charakteristischerweise ihre Leistung an einem konkreten Ort erbringen, meist an ein Infrastrukturnetz angebunden sind und in unterschiedlicher Form eine technische Verarbeitung der im Netz transportierten Ressource vornehmen. Zum Teil werden auch soziale Infrastruktureinrichtungen wie Krankenhäuser oder Schulen als Punktinfrastrukturen klassifiziert. Zur Differenzierung wird in dieser Arbeit allerdings zwischen den baulichen Strukturen als physischer Rahmen für soziale Infrastrukturen und den Dienstleistungen selbst unterschieden. Punktinfrastrukturen werden dagegen als Bestandteile technischer Systeme verstanden. (vgl. Tietz 2011: 6ff.; Buhr 2009: 13ff.)

Bauliche Strukturen wie Wohngebäude, Krankenhäuser oder Schulen werden zur Erfüllung städtischer Funktionen errichtet. Im Gegensatz zu Punktinfrastrukturen sind sie nicht als zentrale Elemente in ein technisches Infrastrukturnetz eingebunden, sondern erfüllen ihre Funktion in der Regel vollständig am Ort ihrer Errichtung. Gleichwohl können sie Bestandteil eines größeren (organisatorischen) Gesamtsystems sein (z. B. Gesundheitssystem, Bildungssystem). Auch sind bauliche Strukturen durchaus mit anderen städtischen Systemen vernetzt und darauf angewiesen, wie z. B. Elektrizität, Wasser oder Verkehr. (vgl. Buhr 2007: 14ff., 36ff.)

Blau-Grüne Infrastrukturen tragen zur städtischen Erholungsfunktion und zum Umweltschutz bei. Parks, Grünflächen, Freiluftschneisen sowie Wasserflächen erfüllen vielfältige Funktionen in einer Stadt. Aus ästhetischen Gründen sowie als Freizeit- und Erholungsort können sie das Wohlbefinden der Bewohner steigern. Zudem tragen sie als Ökosysteme auch zum Umweltschutz bei, da sie einen Lebensraum für Tiere und Pflanzen bieten, die Luftqualität und auch das Mikroklima verbessern

können. Teile der blauen Infrastruktur leisten als Wasserverkehrswege zudem einen Beitrag im Verkehrssystem. (vgl. Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2017)

Soziale Infrastrukturen sind diejenigen Anlagen, Einrichtungen, Dienste und deren Personal, die den Menschen in der Stadtgesellschaft die Teilhabe sowie individuelle Entwicklung und Entfaltung ermöglichen sollen. Dazu zählen beispielsweise Gemeinbedarfseinrichtungen zur Kinderbetreuung, Bildung, Behinderten- und Altenpflege sowie Verwaltung und kulturelle Einrichtungen. Daneben werden auch Erholungs-, Frei- und Spielflächen wie Sport- und Spielplätze, öffentliche Parks, Kleingärten sowie Friedhöfe zu den sozialen Infrastrukturen gezählt. Charakteristisch ist, dass die Funktionen, die soziale Infrastrukturen erfüllen, überwiegend durch das Personal erbracht werden. Zwar werden teilweise auch technische Gerätschaften zur Leistungserbringung eingesetzt (z. B. medizinische Geräte), doch haben diese eher unterstützenden Charakter. Bauliche Strukturen können den physischen Rahmen für soziale Infrastrukturen bilden. (vgl. Buhr 2009: 11; Buhr 2007: 14ff.; Siedentop et al. 2006: 35ff.)

Die **institutionellen Systeme** einer Stadt umfassen neben der kommunalen Verwaltung auch die Kommunalpolitik sowie weitere Organisationsstrukturen. Aufgabe dieser Systeme ist es, das gesellschaftliche Zusammenleben innerhalb einer Stadt zu organisieren, zu steuern und zu regulieren. Zentrales Element der institutionellen Systeme sind menschliche Akteure, die in verschiedenen Organisationsformen zusammenarbeiten und unter Wahrung des rechtlichen Rahmens die Bevölkerungs- und Stadtentwicklung verwalten, steuern und planen. Der Verwaltung kommen dabei die formal-administrativen Aufgaben zu, das politische System sichert die politische Teilhabe der Bürger und weitere institutionelle Strukturen organisieren das gesellschaftliche Zusammenleben außerhalb der öffentlich-rechtlichen Verwaltung oder an der Schnittstelle zwischen staatlichen Organen und privaten Akteuren. (vgl. Buhr 2009: 18ff.; Buhr 2003: 4ff.)

Das **Wirtschaftssystem** in einer Stadt trägt einerseits zur Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln und Gütern bei. Andererseits bietet es einen Arbeitsmarkt, der den Bewohnern das Grundbedürfnis nach einer Arbeitsstelle erfüllt. Damit werden wichtige Voraussetzungen für die gesellschaftliche und ökonomische Teilhabe geschaffen. Nicht nur für die Bewohner, sondern auch für die Entwicklung der Stadt selbst ist die kommunale Wirtschaft eine wichtige Triebfeder: Gewerbesteuererinnahmen erhöhen den finanziellen Spielraum der Kommune, Wirtschaftsunternehmen sind wichtige Nachfrager kommunaler Infrastrukturleistungen und eine erfolgreiche Wirtschaftsstruktur erhöht die Attraktivität einer Stadt für weitere Unternehmen und Bürger. Auch kann die Wirtschaft Treiber für Innovationen und Fortschritt sein (siehe Kapitel 2.2). Charakteristisch ist, dass das

2. Städtische Systeme

Wirtschaftssystem aus privatwirtschaftlich handelnden Akteuren besteht, die vorwiegend nach betrieblichen Eigeninteressen handeln. Zudem können sich Wirtschaftsstrukturen und -interessen im Zuge konjunktureller Entwicklungen deutlich wandeln. Daher ist die Regulierung der Wirtschaftsentwicklung durch die Kommunen, aber im Bedarfsfall auch die Wirtschaftsförderung, im Sinne des Gemeinwohls notwendig. (vgl. Maly 1991: 1ff.)

Die **Sozialen Systeme** einer Stadt prägen das gesellschaftliche Zusammenleben der Stadtgesellschaft. Sie können formal organisiert sein (z. B. Vereine, Gesellschaften), entwickeln sich jedoch oftmals auch informell im Rahmen bestimmter (nachbarschaftlicher) Netzwerke oder zwischen einzelnen Personen. Durch die hohe Einwohnerdichte begünstigt die Stadt das Entstehen unterschiedlicher Netzwerke und sozialer Systeme, wohingegen in dünner besiedelten Räumen die Intensität der Netzwerke und sozialen Systeme in der Regel stärker ausfällt. Zur Entstehung, Pflege und Fortentwicklung sozialer Systeme bedarf es der Initiative zumindest einzelner Akteure und der generellen Mitwirkungsbereitschaft und Offenheit der anderen Akteure. Zudem stellen die Akteure in einem sozialen System ihr Handeln meist unter eine gemeinsame Zielsetzung, die unterschiedlich ausgeprägt sein kann. (Häußermann und Siebel 2004: 103ff.)

Eine weitere Infrastrukturkategorie, die zwar technisch-physisch keine eigene Infrastrukturart umfasst, aber im Kontext urbaner Herausforderung und Resilienz in zahlreichen Veröffentlichungen (Monstadt und Schmidt 2019; Birkmann 2013b: 36ff.; Field et al. 2012: 87ff.; Lützen 2012: 55f.) als relevante In-frastrukturkategorie aufgeführt wird, ist die Kategorie der **kritischen Infrastrukturen**. Gemäß der Begriffsdefinition der zugehörigen europäischen Richtlinie handelt es sich bei einer kritischen Infrastruktur um eine „Anlage, ein System oder einen Teil davon, die von wesentlicher Bedeutung für die Aufrechterhaltung wichtiger gesellschaftlicher Funktionen der Gesundheit, der Sicherheit und des wirtschaftlichen und sozialen Wohlergehens der Bevölkerung sind und deren Störung oder Zerstörung erhebliche Auswirkungen auf einen Mitgliedsstaat hätte, da diese Funktionen nicht aufrechterhalten werden könnten“ (Rat der Europäischen Union 08.12.2008: Art. 2 a). In Deutschland werden von den technischen Infrastrukturen die Wasser- und Energieversorgung, Transport und Verkehr sowie Informationstechnik und Telekommunikation dazugezählt. Von den sozialen und institutionellen Infrastrukturen werden als kritisch bewertet: Gesundheitswesen, Notfall- und Rettungswesen, Katastrophenschutz, Parlament, Regierung, öffentliche Verwaltung und Justiz, Finanz- und Versicherungswesen sowie Medien- und Kulturgüter (vgl. Bundesministerium des Inneren 2009: 5). Es handelt sich bei den technischen, kritischen Infrastrukturen also um diejenigen städtischen Systeme, die sich auch in Tabelle 1 durch einen hohen Grad an Vernetzung auszeichnen.

In Erweiterung der Kategorisierung werden in der europäischen Richtlinie solche Infrastrukturen als *europäische kritische Infrastrukturen* bezeichnet, deren Ausfall oder Störung in mindestens zwei weiteren Mitgliedsstaaten erhebliche Auswirkungen zu Folge hätte. (vgl. Bundesministerium des Inneren 2009: 3–6; Rat der Europäischen Union 08.12.2008: Art. 2)

Das Kapitel hat die Vielfältigkeit städtischer Systeme aufgezeigt. Da die aufgeführten städtischen Systeme zur Erfüllung der im vorangegangenen Kapitel dargestellten städtischen Funktionen notwendig sind, ist die Funktionalität der einzelnen Systeme Voraussetzung für das Funktionieren einer Stadt als Gesamtsystem. Auch wurden in Tabelle 1 die zahlreichen Vernetzungen der städtischen Systeme untereinander aufgezeigt. Daraus lässt sich neben der gegenseitigen Abhängigkeit auch auf die Komplexität des Zusammenspiels der städtischen Systeme schließen, die eine Herausforderung in der Planung darstellt. Um die Aussagen zur Komplexität urbaner Systeme theoretisch zu unterlegen, folgt im folgenden Unterkapitel ein kurzer Exkurs in die Systemtheorie für ein allgemein umfassenderes Systemverständnis und anschließend die Erläuterung systemischer Risiken, die die Planung und das Management von komplexen Systemen erschweren.

2.3.2 Exkurs: Systemtheorie und systemische Risiken

Da sich diese Arbeit im Kontext der Resilienz mit dem Verhalten und der Entwicklung städtischer Systeme auseinandersetzt, ist es notwendig, nicht nur die städtischen Systeme selbst zu definieren, sondern auch theoretische Grundlagen zum Systemverhalten darzustellen. Daher erfolgt in diesem Kapitel ein Exkurs in die Systemtheorie und die systemischen Risiken. Die dargestellten theoretischen Grundlagen liefern einen Beitrag zum Verständnis komplexer Systeme und zur besseren Einordnung der theoriebasierten und empirischen Erkenntnisse.

Systemtheorie wird in der Raumforschung schon seit vielen Jahren zum Verständnis und zur Erklärung von städtischen Entwicklungsprozessen herangezogen. Dabei gibt es nicht die eine, universale, interdisziplinäre Systemtheorie. Systemtheoretische Ansätze sind immer auch durch ihre Kontextualität geprägt, was sich sowohl auf die Systeme bezieht, die durch die jeweilige Theorie erklärt werden sollen, als auch auf die disziplinären Hintergründe, unter denen die Theorien entstanden sind (vgl. Barben 1996: 25f.) Im deutschsprachigen Raum haben die Beiträge von Niklas Luhmann zur Planungstheorie zum Verständnis sozialer Entwicklungen in der Stadtgesellschaft sowie institutioneller Kommunikation in der Planung beigetragen. Luhmann widmet sich in seinen Werken der Entwicklung einer allgemeinen Theorie sozialer Systeme, die die Welt selbst als soziales System und somit als größtmöglichen Bezugsmaßstab versteht. Dieses Grundverständnis ist die Voraussetzung für die von Luhmann als zentrales Prinzip der Systembildung erachteten selbstreferentiellen

2. Städtische Systeme

Autopoiesis, die den Prozess der Selbsterschaffung und des Selbsterhalts eines Systems beschreibt. (vgl. ebd.: 32ff.; 60ff.) Für ein tiefergehendes Verständnis der allgemeinen Theorie sozialer Systeme nach Niklas Luhmann sei auf seine Publikationen verwiesen sowie auf den intensiv geführten Diskurs mit Jürgen Habermas zu den beiden konträren Verständnissen von Systemtheorie und der Rolle der Soziologie (vgl. Luhmann 1994; Habermas und Luhmann 1971).

Insbesondere in der Nachkriegszeit des 20. Jahrhunderts haben sich im Zuge der 1962 von Thomas Kuhn proklamierten wissenschaftlichen Revolution in zahlreichen Wissenschaftsdisziplinen neue Paradigmen hervorgerufen. Ob Systemtheorie, Kybernetik, Chaostheorie, Kommunikationstheorie oder Komplexitätstheorie – sie alle haben einen Wandel der Forschungsperspektive gemein. Statt geradliniger, kausaler Ursache-Wirkungs-Beziehungen stehen komplexere Erklärungsansätze für die beobachteten Phänomene im Fokus. So wird die Kausalität konzeptionell ausgeweitet. In der Systemtheorie zielt das neue Kausalitätsverständnis darauf, dass bestimmte Phänomene oder Verhaltensweisen sich nicht auf einzelne Objekte zurückführen lassen, sondern immer das System als ganzheitliche Einheit zusammengesetzter Elemente betrachtet werden muss. Auch lassen sich die Systemeigenschaften nicht aus der Addition der Elemente ableiten, da Rückkopplungsprozesse innerhalb des Systems emergente Eigenschaften und Verhaltensweisen hervorbringen. Komplexe, dynamische Systeme zeichnen sich durch zirkuläre Organisationsformen der Prozesse aus, die selbstreferenziell ihre Wirkung entfalten. Die Ursache für ein Phänomen kann somit nicht isoliert werden, da immer auch die weiteren Systembedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt dazu beigetragen haben, dass das Phänomen in dieser Form entstehen konnte. (vgl. Simon 2017: 12ff.)

Ähnlich beschreiben auch MEADOWS UND WRIGHT (vgl. Meadows und Wright 2008) in ihrem relativ allgemeinen Zugang zur Systemtheorie, dass Systeme nicht nur aus den einzelnen Systemelementen, sondern auch aus den Verbindungen zwischen den Elementen sowie dem Zweck (anthropogene Systeme) oder der Funktion (nicht-anthropogene Systeme) des Systems bestehen. Die Verbindungen zwischen den Systemelementen umfassen dabei nicht nur soziale Beziehungen oder Ströme von Ressourcen oder Daten, sondern auch die rechtlich-institutionellen Rahmenbedingungen, die die Interaktion verschiedener Systemelemente regulieren. Zudem schreiben die beiden Autorinnen Systemen, ähnlich wie auch Luhmanns Autopoiesis (vgl. Simon 2017: 31ff.; Barben 1996: 32ff.), die Fähigkeiten zur Selbstorganisation und zum Selbstschutz zu, die zur Adaption und Evolution eines Systems führen können. (vgl. Meadows und Wright 2008: 11ff.)

Diese theoretische Grundlage vorausgesetzt, lassen sich systemische Prozesse aller Art auf das Zusammenspiel von drei wesentlichen Systembestandteilen reduzieren: Bestände bestimmter

Ressourcen, Ströme von Ressourcen zwischen den Beständen und Rückkopplungskreisläufe, die die Ressourcenströme regulieren. Dabei wird ein erweitertes Ressourcenverständnis zugrunde gelegt, sodass nicht nur Ressourcen in Form von Rohstoffen inkludiert sind, sondern grundsätzlich alle Elemente, die in einer Stadtgesellschaft als Bestände gespeichert und durch weitere Ressourcenströme verändert werden können, wie Energie, Daten, Informationen, bauliche oder institutionelle Strukturen. Das Verhalten eines Systems ergibt sich aus dem dynamischen Zusammenspiel seiner Bestände und Ressourcenströme. In der Systemtheorie wird davon ausgegangen, dass Systeme grundsätzlich danach streben, ein „dynamisches Gleichgewicht“ (Meadows und Wright 2008: 22; eigene Übersetzung) zwischen Beständen und Ressourcenströmen zu erreichen. Komplexität erhalten systemische Prozesse dadurch, dass sich die Ströme relativ schnell verändern können, die Bestände sich aber grundsätzlich langsamer verändern als die Ströme, da sie eben auf die Ströme reagieren. Zu- und Abflüsse können so unabhängig voneinander verlaufen und zeitweise auch völlig aus dem Gleichgewicht geraten, da die Bestände den Funktionsverlust des Systems verzögern. (vgl. ebd.: 17ff.)

Je nach Zweck bzw. Funktion streben Systeme danach, die Ströme zu einem Gleichgewichtszustand auszugleichen, sodass der Bestand stabil bleibt oder aber die Bestände zu erhöhen oder abzusenken. Die Kontrollmechanismen, die diese Prozesse steuern, sind die Rückkopplungskreisläufe. Diese Rückkopplungskreisläufe sind überwiegend informationsgetrieben. Informationen über die Bestände und Ströme beeinflussen dann Handlungen und Prozesse innerhalb eines Systems, insbesondere Veränderungen der Ströme. Es gibt ausgleichende (z. B. Temperatenausgleich zwischen zwei Räumen) und verstärkende Rückkopplungskreisläufe (z. B. exponentielles Bevölkerungswachstum). Die zentrale Erkenntnis, die sich aus der Betrachtung unterschiedlicher Rückkopplungskreisläufe für die Systemtheorie ergibt ist, dass sich die Elemente eines Systems über die Rückkopplungskreisläufe dynamisch gegenseitig beeinflussen und es keine einfachen, linear-kausalen Zusammenhänge gibt, die eine umfassende und abschließende Erklärung eines Phänomens zulassen. (vgl. ebd.: 25ff.)

Zumeist sind Systeme in größere, komplexe Systeme mit jeweils eigenen Rückkopplungskreisläufen eingebunden oder mit anderen Systemen vernetzt, die wiederum Einfluss auf die Prozesse innerhalb des jeweils betrachteten Systems nehmen. Das hat zur Folge, dass nur unzureichende Informationen über alle relevanten Zustandsbedingungen und Verknüpfungen in einem System zur Verfügung stehen. Da insbesondere in anthropogenen Systemen alle Handlungen informationsbasiert sind (vgl. ebd.: 25), kann es selbst bei vollständig rationalem Handeln zu Fehleinschätzungen kommen, die Rückkopplungskreisläufe in Gang setzen, die nicht zum angestrebten Ziel führen. Der Ökonom

2. Städtische Systeme

Herbert Simon definierte dieses Dilemma als „bounded rationality“ (ebd.: 106). Fehlende Informationen oder Verzögerungen in Rückkopplungskreisläufen haben oftmals zur Folge, dass Anpassungen der Ströme zu stark oder zu schwach erfolgen, sodass nur sukzessive das erstrebenswerte Gleichgewicht erreicht wird. In den Wirtschaftswissenschaften ist dieses Phänomen im Modell des sogenannten *Schweinezyklus* wiederzufinden, das die periodischen Schwankungen von Angebotsmenge und Marktpreis eines Gutes erklären soll. Zusätzliche Komplexität erhalten Systemprozesse, wenn Bestände durch mehr als einen Rückkopplungsprozess beeinflusst werden (Einbindung in mehrere Systeme) oder Ströme Begrenzungen unterliegen (z. B. rechtlich, kapazitativ oder aufgrund der Ressourcenverfügbarkeit). Dann ist es wahrscheinlich, dass das betroffene System länger dynamisch um seinen Zielzustand herum oszilliert. (vgl. ebd.: 51ff.)

Auf Basis dieses Systemverständnisses identifizieren MEADOWS UND WRIGHT drei zentrale Eigenschaften, die besonders leistungsfähige Systeme kennzeichnen: Resiliente Systeme zeichnen sich durch mehrere, leistungsfähige, ausgleichende Rückkopplungskreisläufe aus, die das System trotz kurz- und langfristiger Schwankungen der Variablen immer wieder dynamisch zum Gleichgewichtszustand zurückführen. Um sich diese Fähigkeit zu erhalten, muss ein System selbstorganisierend sein, sich also stetig weiterentwickeln, die Strukturen an neue Entwicklungen anpassen und aus den Erfahrungen lernen. Als dritte Eigenschaft tragen Hierarchien innerhalb eines Systems zu dessen Stabilität bei. Ist ein System hierarchisch in mehrere Subsysteme aufgeteilt, wirkt sich das positiv auf die Informationsflüsse innerhalb und die Vernetzung zwischen den Elementen eines Subsystems aus. Die Menge der Informationen ist überschaubar und so sind Subsysteme organisatorisch besser handhabbar als das Gesamtsystem. Durch die hierarchische Vernetzung wird der Bezug zu den anderen Subsystemen trotzdem gewahrt und das System wird insgesamt effizienter und stabiler. Hinzu kommt, dass durch die Einteilung in Subsysteme die Gesamtstruktur des Systems stabiler wird, da sich die einzelnen Subsysteme gesondert weiterentwickeln, ausgetauscht oder substituiert werden können, ohne dass sich die Gesamtstruktur des Systems zwingend verändern muss. (vgl. ebd.: 75ff.)

Vor allem in komplexen, dynamischen Systemen, wie beispielsweise in Städten, können externe Herausforderungen weitreichende Konsequenzen nach sich ziehen, die mitunter nicht absehbar sind und sich in ihrer Wirkung im System verstärken können. In der Literatur wird dies auch als „systemische Risiken“ (vgl. Renn et al. 2007) bezeichnet.

Zum Verständnis der systemischen Risiken muss als theoretischer Hintergrund erläutert werden, dass sich die Wahrnehmung von Risiko und die Risikoarten in modernen Gesellschaften verändert

haben. BECK hat diese Veränderungen als Wandel zur „Risikogesellschaft“ (Beck 1986) bezeichnet, die auf vier zentrale Erklärungsfaktoren zurückzuführen sind:

1. Anthropogene Gesellschaften haben sich schon immer vor externen Gefahren zu schützen versucht. Dafür stand aber nur beschränktes antizipatorisches Wissen zur Verfügung, sodass die Gesellschaft trotz aller Vorbereitung von unvorhersehbaren, externen Gefahren überrascht wurde, auch wenn die Ursachen mitunter selbstverschuldet und absehbar waren. Spätestens mit Luhmanns systemtheoretischem Verständnis sozialer Gesellschaften als ganzheitliche Systeme ist ein Umdenken zur Anerkennung der Eigenverantwortung für gesellschaftliche Phänomene zu erkennen, die die Internalisierung der Gefahren und damit den Wandel von der externen Gefahr zum internen Risiko (siehe Kapitel 1.5) zur Folge hat. Diese veränderte Zuschreibung der Verantwortung für Risiken vom Zufall zur Gesellschaft bewirkte eine Veränderung der moralischen und sozialen Anspruchshaltung im Hinblick auf die Risikovorsorge.
2. Der technologische Fortschritt hat dazu geführt, dass natürliche Gefahren besser bewältigt bzw. negative Wirkungen abgewendet werden können. Gleichzeitig erzeugt er neue Gefahren, die als zivilisatorische Risiken (z. B. Unfälle, Ausfall technischer Systeme, anthropogen bedingte Umwelteinflüsse) Gesundheit und Wohlbefinden der Bevölkerung schädigen können.
3. Der technische und zivilisatorische Fortschritt haben zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit von negativen Ereignissen beigetragen, jedoch haben sich im gleichen Zuge die Katastrophenpotenziale erhöht, da im Katastrophenfall aufgrund der allgemein steigenden Siedlungsdichte mehr Menschen und Anlagegüter Ereignissen mit größerer Reichweite ausgesetzt sind. Die Reduzierung individueller Schadenswahrscheinlichkeit und das Streben nach wirtschaftlichen Vorteilen durch Skaleneffekte erhöht also das Risiko größerer Schadensereignisse, die in der Gesellschaft stärker wahrgenommen werden.
4. In Zeiten von Wohlstand und wirtschaftlicher Prosperität haben die individuelle Gesundheit, Wohlbefinden und Umweltschutz einen höheren Grenznutzen als materielle Güter. Demzufolge werden Risiken und Umweltschäden in der Gesellschaft intensiver wahrgenommen und höher bewertet. (vgl. Renn et al. 2007: 157ff.)

Das Konzept der systemischen Risiken geht auf die Zukunftsforschung der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung zurück (vgl. OECD 2003) und erlaubt ein differenzierteres Verständnis der besonderen Risiken von modernen, komplexen Gesellschaften in Zeiten der Globalisierung und zunehmenden internationalen Vernetzung. „Systemische Risiken beziehen sich auf *hochgradig vernetzte Problemzusammenhänge mit schwer abschätzbaren Wirkungen*

2. Städtische Systeme

hinsichtlich Umfang, Tiefe und Zeithorizont, deren Bewältigung aufgrund der Wirkungskomplexität, Ungewissheit und Ambiguität mit erheblichen Wissens- und Bewertungsproblemen verbunden ist“ (Renn et al. 2007: 161; Hervorhebungen im Original). Derartige Risiken stellen eine besondere Herausforderung dar, da nicht nur die Entstehungsursachen zeitlich und räumlich entgrenzt sind, sondern auch weil die Wirkungen über physisch-materielle, verortbare Schäden hinausgehen können. In transnational vernetzten Gesellschaftssystemen können lokale Schäden zu negativen Auswirkungen an weit entfernten Orten führen und sich die Schadenspotenziale gegenseitig verstärken (siehe auch *verstärkende Rückkopplungskreisläufe*). Hinzu kommt, dass es durch die veränderte Risikowahrnehmung in modernen Gesellschaften zu einer gesellschaftlichen Verstärkung der Risiken kommt, da die Risiken Reaktionen auf sozialer und institutioneller Ebene hervorrufen. Die durch systemische Vernetzung oder Risikowahrnehmung erzeugten Risiken bezeichnet man auch als Risiken zweiter Ordnung oder sekundäre Risiken. Die Einteilung der Risikofolgen in primäre und sekundäre Folgen ist eines der Hauptcharakteristika des Ansatzes der systemischen Risiken. Vor allem die sekundären Risiken erfordern im institutionellen Handeln neue methodische Ansätze und Instrumente zur Risikoeinschätzung und Risikoanalyse. Einfache Einschätzungen der lokalen, physischen Schadenswirkungen reichen nicht aus, um das gesamte Schadenspotenzial abzuschätzen, das sich über Rückkopplungsprozesse in der Gesellschaft entfalten kann. (vgl. ebd.: 161ff.; OECD 2003: 32ff.)

Ursächlich für die großen Herausforderungen, die mit systemischen Risiken einhergehen, sind, laut RENN, drei Charakteristika moderner gesellschaftlicher Systeme und deren Risiken, die er auch als die drei Dimensionen des Risikokonzepts bezeichnet: Komplexität, Ungewissheit und Ambiguität (vgl. Renn et al. 2007: 170ff.). Komplexität bezieht sich auf die vielfältigen Vernetzungen der Systemelemente, die zahlreiche Interaktionseffekte nach sich ziehen. Daher stehen zwischen Ursache und Wirkung zahlreiche intervenierende Größen, die kaum die Herstellung und den Nachweis einer kausalen Ursache-Wirkungs-Beziehung zulassen. Aus der Komplexität ergibt sich eine Unbestimmtheit der systemischen Prozesse, die für die Planung und das Management von Systemen eine Herausforderung darstellt, der oftmals mit hypothetischen Modellierungen begegnet wird. (vgl. ebd.)

Die Unsicherheit in systemischen Prozessen ergibt sich daraus, dass sich Naturgefahren und die daraus entstehenden Risiken selten deterministisch bestimmen lassen. Die gleichen Herausforderungen rufen bei unterschiedlichen Individuen abweichende Reaktionen hervor. In der Risikobestimmung können zudem Messfehler oder fehlendes Wissen zu einem hohen Maß an Unsicherheit beitragen. Auch müssen, um systemische Wirkungsprozesse überhaupt kognitiv erfassen zu können, Systemgrenzen festgelegt werden, die den Betrachtungshorizont räumlich und zeitlich

einschränken. Dies erhöht zusätzlich das Maß der Unsicherheit, da die Systemgrenzen, zumindest derzeit, die realen Wirkungsketten nicht allumfänglich abdecken können. (vgl. ebd.)

Als dritte Eigenschaft bezieht sich die Ambiguität darauf, dass die möglichen Konsequenzen eines Risikos von unterschiedlichen Gruppen verschieden gedeutet werden können. Das kann sich einerseits auf die Einschätzung der Erhebungsmethodik und die Interpretation der Ergebnisse beziehen (oftmals in wissenschaftlichen Debatten) oder auf die normative Bewertung der identifizierten Risiken (oftmals in politisch-gesellschaftlichen Debatten). Es hängt von der individuellen Bewertung des Schutzgutes ab, ob ein identifiziertes Risiko ein zu vermeidendes Schadenspotenzial erzeugt. Das kann von unterschiedlichen Akteuren unterschiedlich gedeutet werden und entsprechend abweichende, legitime Reaktionen hervorrufen. (vgl. ebd.)

Komplexität in Systemen sowie die systemischen Risiken führen demzufolge dazu, dass Strukturen und Prozesse in Systemen selten vollständig erfasst werden können und kaum vorhersehbare Reaktionen des Systems und der handelnden Akteure hervorrufen. Die Komplexität urbaner Systeme erschwert demzufolge auch Planungsprozesse, da Komplexität bedeutet, dass Planungsentscheidungen auf unzureichenden Informationen und unsicheren Annahmen über künftige Entwicklungen beruhen.

2.3.3 Planung und Steuerung komplexer städtischer Systeme

In der theoretischen Informatik gehört die Komplexitätstheorie zu den wichtigsten Teilgebieten. Sie zielt darauf ab, den Zeit- und Ressourcenaufwand verschiedener Algorithmen zur Berechnung komplexer Probleme zu bestimmen (vgl. Wegener 2003: 13ff.). Problemstellungen realer urbaner Systeme sind dagegen selten mittels Algorithmen zu lösen, da nicht alle Systembestandteile mathematisch erfassbar sind. Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, bestehen urbane Systeme aus vielfältigen Elementen von den physischen Strukturen über Institutionen bis hin zu den sozialen Systemen. Die Vernetzung unterschiedlicher Entwicklungspfade, die als „Bifurkation“ (Portugali 2011: 10; eigene Übersetzung) bezeichnet wird, ist eine charakteristische Eigenschaft komplexer Systeme, die zu unvorhersehbarem, scheinbar chaotischem Systemverhalten führen kann. Komplexität wird in der Planung daher differenzierter betrachtet und erfordert umfassendere Lösungsansätze. Im planungstheoretischen Diskurs setzen sich zahlreiche Publikationen mit Planungs- und Entscheidungsprozessen in Städten unter komplexen und unsicheren Rahmenbedingungen auseinander (siehe z. B. Lamker 2016; Davoudi 2012; Roo et al. 2012; Portugali 2011; Healey 2007; Liu et al. 2007; Schimank 2005; Holling 2004). Die umfassende Breite des Diskurses mit seiner Vielzahl an Implikationen und Handlungsansätzen kann an dieser Stelle lediglich in Ansätzen dargestellt werden.

2. Städtische Systeme

Anstelle geordneter, linearer und steuerbarer Systeme, wie sie von Ingenieuren geplant werden, werden Systeme im urbanen Raum oft als komplex, nicht-linear sowie selbst-organisierend wahrgenommen und sind geprägt von Unsicherheiten und Diskontinuitäten. Ein gerade noch scheinbar stabiler Systemzustand kann sich plötzlich wandeln und tiefgreifende Veränderungen der Systemeigenschaften nach sich ziehen. Die Unvorhersehbarkeit der Rahmenbedingungen resultiert nicht nur aus der Unsicherheit über die künftige Entwicklung der Rahmenbedingungen, sondern auch aus der Komplexität der Vernetzungen, sodass mitunter nicht ersichtlich ist, welche Rahmenbedingungen ein System direkt oder indirekt beeinflussen können und welche Konsequenzen sich daraus ergeben.

Prozesse in komplexen Systemen sind schwer nachvollziehbar. Gleichzeitig wächst mit zunehmendem zivilisatorischem Fortschritt und funktionaler Differenzierung sowie Optionsvielfalt auch die Notwendigkeit Entscheidungen zu treffen. Insbesondere öffentliche Entscheidungsträger unterliegen dem gesellschaftlichen Anspruch, rationale Entscheidungen zur Abwendung von Risiken und zur Sicherung des Wohlstands unter komplexen Rahmenbedingungen treffen zu müssen. SCHIMANK definiert dieses Dilemma auch als Charakteristikum der „Entscheidungsgesellschaft“ (Schimank 2005: 11) und teilt die Komplexität von Entscheidungssituationen in drei analytische Dimensionen auf: die soziale Dimension, die Sachdimension und die zeitliche Dimension (vgl. ebd.: 121ff.). Stadtgesellschaften sind soziale Systeme, in denen individuelle Akteure nach eigenen Interessen und teils im Kollektiv handeln. Die Entscheidungen eines Akteurs können ihre Wirkung also nicht völlig isoliert entfalten. Sie stehen immer im Kontext zu Entscheidungen anderer Akteure oder auch eigener Entscheidungen, die früher getroffen wurden. Die möglichen Interdependenzen von Entscheidungen sind bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen und zu bewältigen. Eine verabschiedete politische Agenda wird sowohl die künftigen Entscheidungen der Regierung (zeitliche Interdependenz mit sich selbst), als auch die Entscheidungen anderer Akteure beeinflussen. Komplexität entsteht bei der Interdependenzbewältigung durch Konflikte zwischen Akteuren, wenn ein Entscheidungsakteur für seine Zielerreichung auf ein bestimmtes Handeln eines anderen Akteurs angewiesen ist, dieser aber nicht entsprechend kooperiert, oder wenn der Entscheidungsakteur durch ein bestimmtes Handeln anderer Akteure in seiner Entscheidungsfreiheit eingeschränkt wird. Ein weiterer Grund für Komplexität in der sozialen Dimension ist mangelnde Erwartungssicherheit. Wenn der Entscheidungsträger sich unsicher ist, welche Entscheidung(en) andere relevante Akteure auf Basis unbekannter Zielsetzungen treffen, erschwert das seine eigene Entscheidungsfindung aufgrund der

sozialen Komplexität. Ein Beispiel für Komplexität durch Entscheidungsinterdependenzen ist das aus der Spieltheorie bekannte Gefangenendilemma². (vgl. ebd.: 121ff.)

In der Sachdimension entsteht die Komplexität von Entscheidungssituationen aus der Unvollständigkeit der Informationen. Da die für eine rationale Entscheidung notwendigen Informationen keine objektiv gegebenen Daten sind, müssen Entscheidungsträger in der Lage sein, sich die notwendigen Informationen zu beschaffen. Dies ist jedoch nur in einem begrenzten Maße möglich, da bestimmte Daten entweder nicht erhoben werden können oder kein Bewusstsein für die Notwendigkeit der Daten besteht. Selbst wenn die notwendigen Daten perfekt und vollständig vorliegen würden, ist die Verarbeitungskapazität von Entscheidungsträgern rein kognitiv eingeschränkt. Die vielfältigen Vernetzungen und Interdependenzen können also nur partiell erfasst werden. So bleiben die für die Entscheidungsfindung verfügbaren Informationen stets unvollständig. (siehe „bounded rationality“; vgl. ebd.: 155ff.) Hinzu kommt die zeitliche Dimension, die durch Zeitknappheit die Komplexität von Entscheidungssituationen zusätzlich verschärft. Entscheidungen müssen stets in einem begrenzten Zeitraum getroffen werden. Zeitknappheit kann in Form von Fristen und Terminen künstlich gesetzt sein oder sich plötzlich durch Ereignisse ergeben, die umgehendes Handeln erfordern, um negative Langzeitfolgen zu vermeiden. Auch können bestimmte Entwicklungsdynamiken zeitlich begrenzte Entscheidungssituationen erzeugen, wenn negative Entwicklungstrends abgewendet werden sollen. Ebenso steht die Welt für den Zeitraum eines Entscheidungsprozesses nicht still und die Rahmenbedingungen der Entscheidung verändern sich. Egal welcher Art die Zeitknappheit ist, sie verstärkt die Komplexität der beiden erstgenannten Dimensionen: Es steht weniger Zeit zur Verfügung, um über Konflikte mit anderen Entscheidungsträgern zu verhandeln oder die Erwartungssicherheit zu erhöhen. Auch steht immer nur ein begrenztes Maß an Zeit zur Verfügung, um Daten zu sammeln und Informationen auszuwerten zu können. „Anders gesagt: Hätte man unendlich viel Zeit, wäre die Welt auch sachlich und sozial nicht komplex“ (ebd.: 167). In modernen Gesellschaften mit dynamischen Systemen nimmt also die Komplexität der Entscheidungssituationen aufgrund der Komplexitätssteigerungen in den drei beschriebenen Dimensionen stetig zu. (vgl. ebd.: 165ff.)

Komplexität birgt für Entscheidungsträger (öffentlich und privat) die Gefahr, dass Entscheidungen getroffen werden, die kurz-, mittel- und langfristig nicht zur erstrebenswerten Entwicklung des

² Eine hypothetische Situation in der zwei Gefangene verdächtigt werden, gemeinsam eine Straftat begangen zu haben. Sie werden getrennt dazu verhört, ohne miteinander kommunizieren zu können. Leugnen beide die Tat, erhalten sie eine niedrige Strafe. Gestehen beide, erhalten sie eine höhere Strafe. Ist nur einer geständig, geht er als Kronzeuge straffrei aus und der ungeständige Gefangene erhält die Höchststrafe. Die individuelle Strafe beider Gefangenen ist also sowohl von der eigenen Aussage, als auch von der Aussage des jeweils anderen abhängig.

2. Städtische Systeme

jeweiligen städtischen Systems beitragen oder gar negative Folgen nach sich ziehen, weil die Ursache-Wirkungs-Beziehungen nicht vollständig erfasst wurden. Andererseits kann auch Nicht-Handeln eine negative Folge von Komplexität sein, wenn Handlungsnotwendigkeiten oder mögliche Handlungsfenster nicht (rechtzeitig) erkannt werden. (vgl. Christensen 2012: 85ff.) Vor dem Hintergrund der skizzierten Komplexität urbaner Entwicklungsprozesse und planerischer Entscheidungssituationen stellt sich die Frage, wie im Planungsprozess damit umgegangen werden kann. Hierzu finden sich in der Literatur unterschiedliche Ansätze, die sich überwiegend auf ein neues Planungsselbstverständnis und veränderte Governancestrukturen beziehen. Die Maßnahmen reichen von nicht-linearen Planungsansätzen (vgl. Roo 2012: 141ff.) bis zur stärkeren Einbindung der Stadtgesellschaft in den formalen Planungsprozess, um lokales Wissen und lokale Potenziale zu mobilisieren (vgl. Healey 2007: 265ff.). Sie überschreiten in ihrer Vielfalt den Rahmen dieser Arbeit. Jedoch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass auch das Resilienzkonzept als ein theoretischer Ansatz zum Umgang mit Komplexität im Planungsprozess gesehen wird (siehe z. B. Davoudi 2012; Holling 2004). Insbesondere HOLLINGS Verständnis von sozio-ökologischen Systemen als Panarchien adaptiv vernetzter Zyklen (siehe Kapitel 5.1.3) weist einen besonders starken Bezug zu den Herausforderungen auf, die sich aus systemischer Komplexität ergeben. Er liefert mit dem Panarchie-Modell und seinem Resilienzverständnis einen Ansatz zur besseren Nachvollziehbarkeit und Steuerung komplexer, dynamischer Systeme (vgl. Holling 2004).

Die erläuterte Komplexität des Zusammenspiels der diversen urbanen Systeme stellt das zentrale Argument dar, warum im Hinblick auf die Beantwortung der ersten Forschungsfrage keine abschließende Eingrenzung der zu berücksichtigenden städtischen Systeme erfolgen kann. Solange die Wirkungsketten im Gesamtsystem Stadt nicht abschließend erfasst werden können, bedeutet eine Auswahl bestimmter Stadtsysteme immer auch den Ausschluss anderer Systeme und damit potenziell relevanter Einflussfaktoren in der Entwicklung vernetzter Systeme. Zweifellos ist es für die Operationalisierung in der Praxis notwendig, den Betrachtungshorizont auf eine Auswahl bestimmter Systeme zu reduzieren. Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte dann aber die Vernetzung mit weiteren Systemen Berücksichtigung finden.

2.4 Erstes Beispiel: Wohnraum

Die Wohnraumversorgung als ein Beispiel städtischer Systeme weist im Vergleich zu anderen städtischen Systemen einige Besonderheiten auf: es handelt sich um ein Gut, das ein menschliches Grundbedürfnis befriedigt und durch andere Güter nur unzureichend substituiert werden kann. Obwohl es sich um ein Grundbedürfnis handelt, gibt es beim Wohnen, anders als beispielsweise beim

Trinkwasser oder der Elektrizität, auch in Deutschland erhebliche qualitative Unterschiede. Gleichzeitig ist Wohnraum aber auch ein ökonomisches Gut, das auf dem Wohnungsmarkt gehandelt wird. Zwar setzt das in Deutschland vorherrschende Wirtschaftsprinzip der sozialen Marktwirtschaft hierbei auch gewisse Schranken, um die Sicherung der Gemeinwohlinteressen und des sozialen Fortschritts zu gewährleisten, jedoch handelt es sich grundsätzlich um einen Wettbewerbsmarkt, bei dem der Preis durch Angebot und Nachfrage getrieben wird. Die Nachfrage ist quantitativ und qualitativ von den Haushaltseinkommen abhängig. Es lässt sich feststellen, dass Haushalte mit höherem Einkommen tendenziell höhere Mieten und mehr Nebenkosten bezahlen, also mehr Wohnfläche und qualitativ hochwertigeren Wohnraum (Lage, Bausubstanz, Ausstattung) nachfragen. (vgl. Just 2009: 43ff.) Hinzu kommt, dass die Wohnraumversorgung seit jeher wohl die zentralste städtische Funktion darstellt (siehe Kapitel 2.2).

Wohnraum als städtisches System ist durch ein komplexes Geflecht aus physischen Strukturen, Akteuren, institutionellen Strukturen und wirtschaftlichen Zusammenhängen geprägt. Zusammengeführt werden diese einzelnen Elemente überwiegend auf dem Wohnungs- bzw. Wohnimmobilienmarkt. Dort treffen Käufer bzw. Mieter auf Verkäufer bzw. Vermieter und öffentliche Akteure als regulierende Organe. Auf diesem Markt werden die physischen Strukturen unter Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen marktwirtschaftlich gehandelt. Im Falle von Neubauten sind dem Wohnungsmarkt der Boden- und der Baumarkt mit ihren entsprechenden Akteuren und institutionellen Rahmenbedingungen vorgeordnet (vgl. Kofner 2004: 39ff.). Bei Verkäufen kann zudem eine Verknüpfung mit dem Finanzmarkt hergestellt werden (vgl. ebd.: 53ff.). Der Staat sowie hoheitliche Aufgabenträger und Verwaltungsorgane kontrollieren die Einhaltung rechtlicher Vorgaben am Wohnungsmarkt sowie im Hinblick auf die physischen Strukturen und regulieren die städtebauliche Entwicklung der Wohngebäude. Zudem können durch staatliche Investitionen Impulse auf dem Wohnungsmarkt gesetzt und durch die Mietpreispolitik oder Förderung der Wohneigentumsbildung die Wohnraumnachfrage beeinflusst werden. Der soziale Wohnungsbau dient der Erfüllung der sozialstaatlichen Verpflichtung einer Grundversorgung aller Mitglieder der Gesellschaft und wird daher vielfach auch als soziale Infrastruktur angesehen. (vgl. ebd.: 7f.; 108ff.)

Bei Wohngebäuden handelt es sich um langfristige Investitionsgüter, die räumlich gebunden und baulich nur in begrenztem Maße an eine veränderte Nachfrage anpassbar sind. Sie zeichnen sich überwiegend also durch ein hohes Maß an Inflexibilität aus. Diese Inflexibilität kann eine Herausforderung darstellen, wenn sich die Rahmenbedingungen verändern. Im Zuge des Demografischen Wandels ist beispielsweise zu erwarten, dass sich die Wohnraumnachfrage nicht nur quantitativ,

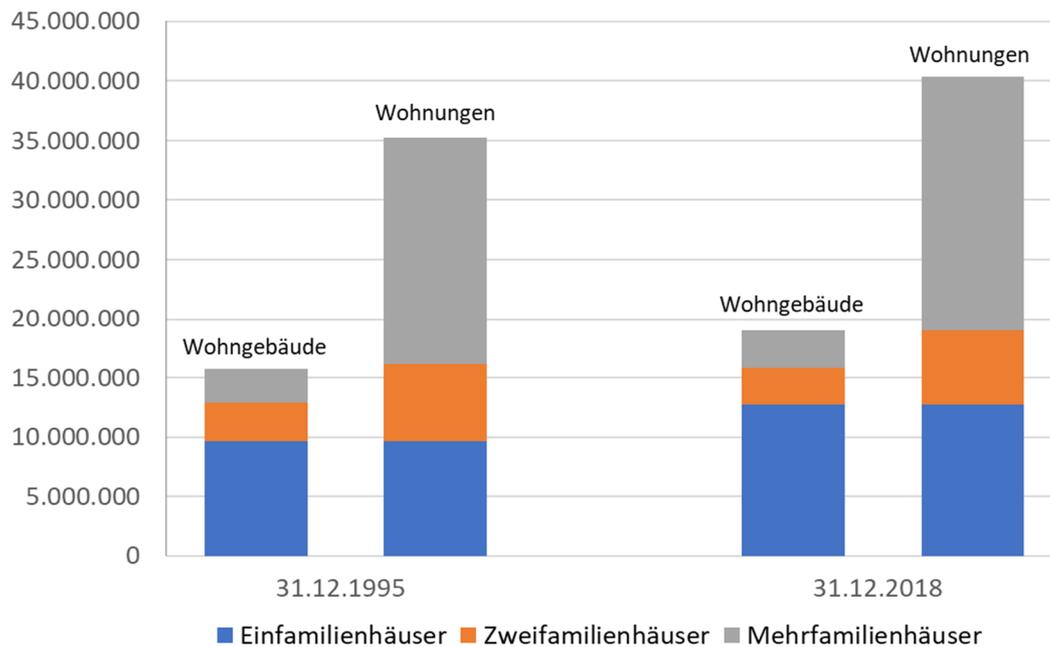
2. Städtische Systeme

sondern auch qualitativ aufgrund sich wandelnder Bevölkerungs- und Haushaltsstrukturen verändern wird (vgl. Just 2009: 64ff., 80ff.; siehe Kapitel 3.5). Auch wirtschaftliche Entwicklungen oder klimatische Veränderungen können sich positiv oder negativ auf den Wohnungsmarkt und damit auf das Wohnen als städtisches System auswirken.

NOLL UND WEICK charakterisieren das Wohnen in Deutschland als „teuer, komfortabel und meist zur Miete“ (Noll und Weick 2009: 1). Dies ist zwar sehr verallgemeinert, stellt aber die durchschnittliche Wohnsituation in Deutschland dar. Im historischen Verlauf ist jedoch festzustellen, dass sich die allgemeine Wohnsituation in Deutschland in den letzten Jahrzehnten qualitativ deutlich verbessert hat. Der Anteil der Haushalte ohne Wohn-Standardausstattung ist von rund 90 % im Jahr 1960 auf etwa 5 % im Jahr 2008 zurückgegangen. Die Mindestanforderungen an eine Wohnung sind im Landesbaurecht geregelt und daher bundesweit nicht einheitlich. Nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ hat sich die durchschnittliche Wohnsituation in Deutschland verbessert. So standen 2006 pro Kopf durchschnittlich 40 m² Wohnraum zur Verfügung. Im Jahr 1960 war es nur die Hälfte davon. Der Wohnflächenzuwachs pro Kopf und die qualitative Verbesserung des Wohnraumangebots haben allerdings zur Folge, dass Wohnen in Deutschland im internationalen Vergleich ein relativ teures Gut ist. Gerade der Immobilienerwerb stellt für viele Haushalte eine erhebliche finanzielle Belastung dar. Daraus folgt eine Wohneigentumsquote von 43 % - die mit Abstand niedrigste im europäischen Vergleich. In allen anderen EU-Staaten leben mehr Haushalte in Wohneigentum als zur Miete (EU 15-Durchschnitt ohne Deutschland: 68 %, Höchstwert: Litauen mit 90 %; Stand: 2006). (vgl. ebd.: 1ff.)

Die in Abbildung 4 dargestellte Entwicklung der Wohngebäude- und Wohnungsbestände in Deutschland zeigt, dass die Zahl der Wohnungen zwischen 1995 und 2018 von 35,3 Millionen Wohnungen auf 40,8 Millionen Wohnungen angestiegen ist. Gleichzeitig stieg die Zahl der Wohngebäude von 15,7 Millionen auf rund 19 Millionen an. Waren 1995 noch 61,6 % der Wohngebäude Einfamilienhäuser (27,5 % der Wohnungen), ist der Anteil der Einfamilienhäuser am Wohngebäudebestand bis 2018 auf 66,7 % (31,1 % der Wohnungen) angestiegen. Dementsprechend gingen die Anteile der Zwei- und Mehrfamilienhäuser am Gesamtwohnungsbestand zurück. 1995 waren noch 20,4 % der Wohngebäude Zweifamilienhäuser (18,2 % der Wohnungen) und 18 % der Wohngebäude Mehrfamilienhäuser, die 54,3 % der Wohnungsbestandes beinhalteten. Ende 2018 waren dagegen nur noch 16,4 % der Wohngebäude Zweifamilienhäuser (15,3 % der Wohnungen) und 16,8 % waren Mehrfamilienhäuser (52,3 % der Wohnungen).

Abbildung 4: Wohngebäude- und Wohnungsbestand nach Typen in Deutschland (1995 & 2018)



Quelle: eigene Darstellung; Datenbasis: Website Destatis 2; ohne Berücksichtigung von Wohnungen in Wohnheimen

Beachtet werden muss bei den zuvor dargestellten Werten im Hinblick auf den Wohnraum als städtisches System sicherlich, dass sich die Anteile der Wohngebäudetypen am gesamten Wohnungsbestand zwischen Stadt und Land unterscheiden (vgl. Website Regionalstatistik 1). Aufgrund der höheren Siedlungsdichte ist in Städten ein überdurchschnittlich hoher Anteil an Mehrfamilienhäusern zu beobachten. Grundstücksflächen für Ein- und Zweifamilienhäuser sind begrenzt und auf dem Immobilienmarkt entsprechend teuer. Hierbei gibt es aber auch regionale Unterschiede sowie Unterschiede zwischen verschiedenen Städten, abhängig von der Stadtgröße. Im Bundesland Baden-Württemberg waren 2016 beispielsweise rund 61 % der Wohngebäude Einfamilienhäuser, 21 % Zweifamilienhäuser und rund 18 % Mehrfamilienhäuser (siehe Tabelle 9, S. 257). Dagegen waren in der Landeshauptstadt Stuttgart nur 35 % der Wohngebäude Einfamilienhäuser, aber knapp 50 % Mehrfamilienhäuser (vgl. Website Regionalstatistik 1).

Ebenso müsste bei einer näheren Betrachtung des Wohnraumangebots beachtet werden, dass sich die Wohngebäudetypen über die hier aufgeführten drei Kategorien noch weiter ausdifferenzieren lassen. Einfamilienhaus ist nicht gleich Einfamilienhaus. So können sie beispielsweise als freistehende Einfamilienhäuser oder als Reihenhaus errichtet sein. Und sowohl bei städtischer Blockrandbebauung, als auch bei Zeilenbauten, Hochhäusern oder Wohngebäuden industrieller Bauweise in Großwohnsiedlungen handelt es sich um unterschiedliche Ausprägungsformen von

2. Städtische Systeme

Mehrfamilienhäusern. Diese unterschiedlichen Wohngebäudetypen gehen jeweils mit spezifischen Charakteristika und Eigenschaften einher, die je nach Fragestellung von Bedeutung sein können, so zum Beispiel im Hinblick auf Angebot und Nachfrage auf dem Wohnungsmarkt. (vgl. Westphal 2008: 53ff.; Siedentop et al. 2006: 42ff.)

Der steigende Anteil an Einfamilienhäusern am Wohngebäudebestand schlägt sich in einem Anstieg der durchschnittlichen Wohnfläche je Wohnung nieder. Im Durchschnitt über alle Wohngebäudetypen ist die Wohnfläche je Wohneinheit von 83,5 m² im Jahr 1995 auf 91,9 m² im Jahr 2018 angestiegen. Im Jahr 2018 wiesen Wohnungen in Einfamilienhäusern durchschnittlich 129 m² Wohnfläche (1995: 117 m²), Wohnungen in Zweifamilienhäusern 96 m² (1995: 86 m²) und Wohnungen in Mehrfamilienhäusern rund 70 m² (1995: 66 m²) Wohnfläche auf (vgl. Website Destatis 2). Der Wohnflächenanstieg ist allerdings nicht nur auf den steigenden Anteil an Einfamilienhäusern zurückzuführen (s. o.), sondern auch auf den generell höheren Wohnflächenbedarf pro Kopf (vgl. Noll und Weick 2009: 2).

Hinsichtlich der Einbindung des Wohnens in das Gesamtsystem Stadt sind vielfältige Vernetzungen des Wohnraums zu anderen städtischen Systemen zu beachten (siehe auch Tabelle 1, S. 46). Da die Wohnungen einen der Hauptaufenthaltsorte der Bürger einer Stadt darstellen, werden dort viele städtische Funktionen erfüllt und entsprechend umfangreich ist auch die Vernetzung zu zentralen Stadtsystemen wie Elektrizität, Gas, Wasser und Abwasser. Des Weiteren bestehen Verknüpfungen zu den Telekommunikationsnetzen, zum Versorgungs- und zum Verkehrsnetz sowie zur lokalen medizinischen Versorgung (Ärzte, Apotheken). Als weiche Standortfaktoren können Freizeit- Kultur- und Erholungsangebote die Wohnraumnachfrage beeinflussen, ebenso wie die Verfügbarkeit von Arbeitsplätzen. Nicht zuletzt sind auch die Vernetzungen mit den institutionellen Verwaltungssystemen zu berücksichtigen, die den Wohnungsmarkt regulieren oder über Förderinstrumente beeinflussen können. Diese verkürzte Aufzählung zeigt die komplexe Vernetzung des Wohnraumsystems mit anderen städtischen Systemen auf. Dabei erzeugt Wohnraum eine Nachfrage nach Leistungen anderer Stadtsysteme, gleichzeitig wird die Wohnungsnachfrage bzw. die Qualität des Wohnens durch die Leistungen anderer Stadtsysteme maßgeblich beeinflusst. Systemtheoretisch bestehen zwischen dem Wohnraum und anderen Stadtsystemen also dynamische Rückkopplungsprozesse. Die Gentrifizierung von Stadtquartieren ist ein Beispiel für derartige dynamische Rückkopplungsprozesse (vgl. Adam und Sturm 2014: 270ff.). Durch die Nachfrage auf dem Wohnungsmarkt verändert sich lokal die Nachfrage nach anderen städtischen Funktionen wie Versorgung, Freizeit und Kultur. Ein verbessertes Angebot in diesen städtischen Systemen führt wiederum zu einer qualitativen

Verbesserung des Wohnraumangebots (Verbesserung der Standortfaktoren oder auch Investitionen der Eigentümer) und entsprechenden Steigerungen der Nachfrage, die sich dynamisch auf die anderen Stadtsysteme auswirken. Andersherum können Nachfragerückgänge auf dem lokalen Wohnungsmarkt, die mit Bevölkerungsrückgängen verbunden sind, auch zu Einschränkungen der Funktionalität der angeschlossenen städtischen Systeme führen, wenn bestimmte Mindestmengen oder -größen nicht mehr erreicht werden (siehe *Unteilbarkeit infrastruktureller Leistungen*, Kapitel 2.3.1).

2.5 Zweites Beispiel: Abwasserinfrastrukturen

Die Abwasserinfrastruktur ist als größtenteils unterirdische Leitungsinfrastruktur nur selten im Bewusstsein der Stadtbewohner. Es gilt als unhinterfragter Standard, dass das Abwasser in jedem Haushalt und nahezu ubiquitär abgeleitet werden kann. Da das dahinterliegende System für den Normalbürger kaum wahrnehmbar und Funktionsstörungen in industrialisierten Ländern heutzutage sehr selten sind, kommt dem Abwassersystem kaum öffentliche Wahrnehmung zu. Andere städtische Infrastrukturen wie der öffentliche Nahverkehr oder Schulen prägen den öffentlichen Diskurs um Standards der Daseinsvorsorge deutlich intensiver. Dass dem Abwassersystem aber eine wichtige Funktion im Gesamtsystem Stadt zukommt, verdeutlicht ein Blick in die Stadtgeschichte: die hygienischen Missstände und dadurch begünstigten Choleraepidemien in mittelalterlichen europäischen Städten sind neben mangelhafter Trinkwasserversorgung vor allem auf die fehlende Abwasserentsorgung zurückzuführen. Im Abwasser vermehren sich gesundheitsschädliche Keime und Bakterien und eine fehlende Abwasserentsorgung führt insbesondere in dicht besiedelten Räumen zur Übertragung dieser Bakterien und Keime auf den Menschen, was die Entstehung von Epidemien begünstigt. Erst mit der umfangreichen Errichtung von Kanalisationen in zahlreichen europäischen Großstädten seit Beginn der Industrialisierung nahm die Zahl derartiger Krankheitsausbrüche deutlich ab. Dass bei fehlender Abwasserentsorgung auch heute noch Choleraepidemien entstehen können, zeigen beispielsweise über 4.000 Cholerafälle, die Anfang 2019 innerhalb weniger Wochen nach einem verheerenden Zyklon in einem provisorischen Flüchtlingslager in Mosambik gemeldet wurden (vgl. Website Ärzte ohne Grenzen). Im Jemen wurden seit dem Beginn des Krieges im Jahr 2016 über eine Millionen Cholerafälle registriert. (vgl. Website Ärzteblatt)

Bei Abwasserinfrastruktursystemen handelt es sich in der Regel um eine Kombination aus technischen Leitungsinfrastrukturen (den Kanälen) und einzelnen Punktinfrastrukturen wie Pumpwerken, Kläranlagen oder Speicherbecken. Die Abwasserkanäle sind in Deutschland in der Regel als Misch- oder Trennsystem errichtet. Aufgrund der ökonomischen Vorteile und aus hygienischen Gründen wurden Abwasserkanäle früher überwiegend als Mischsystem errichtet. Das bedeutet, dass

2. Städtische Systeme

häusliches und betriebliches Abwasser (Schmutzwasser) sowie Regenwasser vermischt in einer Abwasserleitung zur Kläranlage geleitet wurden, um so einen möglichst schnellen Abfluss aller anfallenden Abwasser zu gewährleisten. Mit der zunehmenden stofflichen Belastung des Schmutzwassers gewannen Trennsysteme an Bedeutung, bei denen Schmutz- und Regenwasser getrennt voneinander in separaten Leitungen abgeleitet werden. Dies erlaubt die Versickerung von Regenwasser direkt auf dem Grundstück oder aber auf dezentralen Versickerungsflächen, ohne dass das gesamte Abwasser zur Kläranlage transportiert und dort gereinigt werden muss. Mit der Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) 2010 hat der Trend zu Trennsystemen und dezentraler Versickerung auch rechtliche Verbindlichkeit erhalten, da in § 55 WHG festgelegt wurde, dass Niederschlagswasser möglichst ortsnahe zu versickern oder getrennt vom Schmutzwasser abzuleiten ist. (vgl. Sigglow 2011: 32ff.; Gujer 2007: 199ff.; Bischof und Hosang 1998: 76ff.)

Die Länge des Abwassernetzes in Deutschland betrug 2009 rund 540.000 km. Davon waren etwa die Hälfte Mischkanäle, 30 % Schmutzwasserkanäle und 20 % Regenwasserkanäle. Der Anschlussgrad der Bevölkerung an zentrale Abwasserbehandlungsanlagen betrug 96,1 %. Daneben gibt es noch geringe Anteile privater oder genossenschaftlicher Abwasserentsorgungsgemeinschaften sowie häuslicher Kleinkläranlagen, die nicht an das öffentliche Abwassernetz angeschlossen sind. Der Erschließungsaufwand je angeschlossenen Einwohner lag im Durchschnitt bei 6,57 m mit einer Spanne zwischen rund 2 m in städtischen Gebieten und bis zu 20 m im ländlichen Raum. (vgl. Sigglow 2011: 32) Aufgrund des stetigen Siedlungsflächenzuwachses in Deutschland bei nahezu stagnierender Bevölkerungszahl und dem Trend zur Erschließung im Trennsystem, ist der Erschließungsaufwand je Einwohner in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Wie DITTRICH-WESBUER ET AL. aufzeigen, ist die Länge des Abwassernetzes insgesamt und in nahezu gleichem Maße auch die Pro-Kopf-Kanalnetzlänge allein zwischen 1998 und 2010 in Deutschland um rund 26 % angestiegen. (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 119ff.) Die fortlaufende Erweiterung des Kanalnetzes wirkt sich auch auf die Altersstruktur der Kanalisation in Deutschland aus. Einer Umfrage der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) zufolge waren 2013 31 % der Kanäle weniger als 25 Jahre und insgesamt 66 % bis maximal 50 Jahre alt. Im Durchschnitt lag das Kanalalter bei 39,8 Jahren (vgl. Berger et al. 2015: 5). Bei neu errichteten Kanälen wird von einer technischen Nutzungsdauer von durchschnittlich 88 Jahren ausgegangen, wobei sich diese je nach Material unterscheidet (vgl. Berger und Falk 2009: 5).

Für die Abwasserbehandlung standen in Deutschland 2016 9.105 Kläranlagen zur Verfügung, die jährlich insgesamt rund 9,6 Milliarden Kubikmeter Abwasser behandelt haben. Davon entfielen

etwa 5 Milliarden Kubikmeter auf häusliches und betriebliches Schmutzwasser und der Rest auf Regenwasser. (vgl. Website Destatis 3) In der Regel wird das an der Kläranlage ankommende Abwasser in einem dreistufigen Verfahren (mechanische, biologische und chemische Klärstufe) gereinigt, bevor es wieder in die natürlichen Oberflächengewässer eingeleitet wird. (vgl. Gujer 2007: 291ff.; Bischof und Hosang 1998: 365ff.)

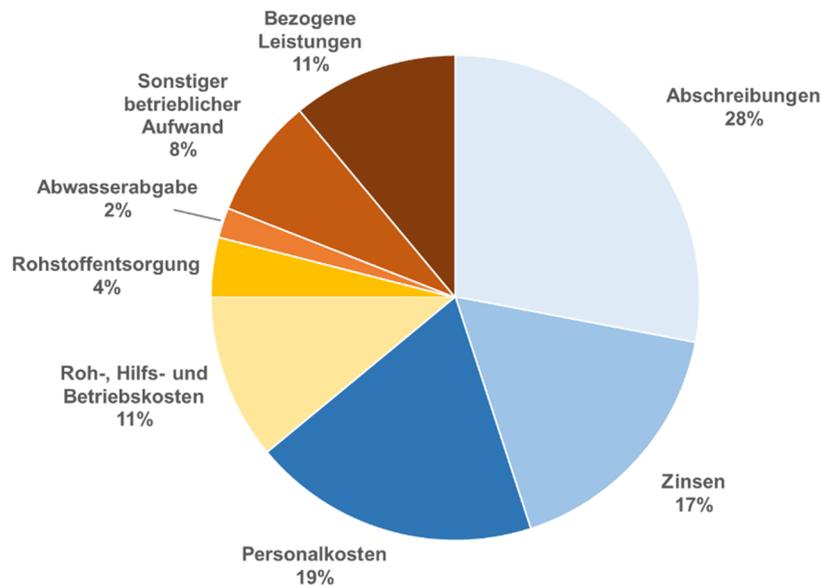
Die Funktionalität sowie die betrieblichen Abläufe im Abwassersystem werden durch äußere Rahmenbedingungen wie den Klimawandel und den Demografischen Wandel maßgeblich beeinflusst. Die konkreten Auswirkungen dieser beiden Megatrends auf die Abwasserinfrastruktur werden in Kapitel 3.5 ausführlicher dargestellt. Im Zuge der Ressourcenverknappung ergibt sich aber auch ein weiterer Trend in der grundsätzlichen Entwicklung von Abwasserinfrastrukturen: Stoffstromtrennung und Ressourceneffizienz. Stoffstromtrennung meint dabei, dass das anfallende Abwasser möglichst noch im Haus nach unterschiedlichen Kategorien der Schadstoffbelastung (fachsprachlich: Schmutzfracht) separiert wird und in getrennten Leitungen abläuft. So sollte das Regenwasser direkt auf dem Grundstück versickert werden (siehe § 55 WHG). Sogenanntes, leicht belastetes *Grauwasser* aus Dusche oder Waschmaschine kann vor Ort nochmals eingesetzt werden, beispielsweise für die Toilettenspülung, statt direkt zur Kläranlage geleitet zu werden. Lediglich das höher belastete *Schwarzwasser* aus der Toilette oder Küchenabfluss wird direkt zur Kläreinrichtung geleitet. Da so die gesamte Abwassermenge reduziert werden kann, trägt die Stoffstromtrennung zum effizienten Umgang mit Wasser bei. Unter dem Oberthema der Ressourceneffizienz wird die Nährstoff- sowie Energierückgewinnung aus dem Abwasser zusammengefasst. Vor allem Phosphor und Stickstoff, die in der Landwirtschaft in Düngemitteln eingesetzt werden, können in erheblichen Mengen aus häuslichen Abwässern zurückgewonnen werden. Ebenso ermöglichen neuartige Technologien die Rückgewinnung eines Teils der Wärmeenergie, die sich beispielsweise im erwärmten Duschwasser befindet. Unter dem Begriff Neuartige Sanitärsysteme (NASS) werden derartige technische Abwassersysteme zur häuslichen Stoffstromtrennung und Ressourcenrückgewinnung zusammengefasst (siehe Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.). (vgl. Sigglow 2011: 106ff., 135ff.; Hillenbrand et al. 2010: 116ff., 140ff., 189ff.)

Der Umgang mit den Folgen sich wandelnder Rahmenbedingungen auf die Abwasserinfrastruktur ist meist eine Frage der Finanzierbarkeit und weniger der technischen Machbarkeit. Zwar sind bei längeren Dürreperioden, Starkregen oder rückläufigen Bevölkerungszahlen Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit des bestehenden Abwassersystems zu erwarten, doch können diese weitgehend durch betriebliche Maßnahmen oder auch durch bauliche Maßnahmen zumindest langfristig

2. Städtische Systeme

bewältigt werden. Jedoch sind derartige Interventionen immer mit Kosten verbunden, die vor dem Hintergrund der angespannten kommunalen Haushalte und der Gebührengestaltung möglichst zu reduzieren sind. Unter diesem Aspekt lohnt ein Blick auf die Kosten- und Finanzierungsstruktur der Abwassersysteme.

Abbildung 5: Kostenstruktur in der Abwasserbeseitigung gemäß DWA-Kommunalpanel 2014



Quelle: eigene Darstellung nach Leptien et al. 2014: 5

Wie Abbildung 5 zu entnehmen ist, entfallen rund zwei Drittel der Gesamtkosten der Abwasserbeseitigung in Deutschland derzeit auf verbrauchsunabhängige Kostenpositionen (blaue Kostenfaktoren). Dafür verantwortlich ist vor allem der hohe Anteil der Abschreibungen und die damit verbundenen Zinsen, die zusammen 45 % des Gesamtkosten ausmachen. Die hohen Investitionskosten für Errichtung, Sanierung und Instandhaltung von Abwasserkanälen und Kläranlagen können von den Kommunen und Betreibern nicht direkt zum Zeitpunkt der Entstehung bezahlt werden und werden daher über die vorgesehene Nutzungsdauer der Anlagen abgeschrieben, was langfristige, unveränderliche Fixkosten bedeutet, die die Kostenstruktur entsprechend belasten. Ein Drittel der Gesamtkosten entfällt auf betriebsabhängige, variable Kosten. Jedoch muss hierbei berücksichtigt werden, dass sich diese Betriebskosten meist nicht im gleichen Maße verändern, wie die anfallende Abwassermenge. Aufgrund bestimmter Mindestmengen und Skaleneffekten in der Abwasserreinigung oder zusätzlichen Kanalreinigungsaufwendungen bei Unterauslastungen, verhalten sich auch die Betriebskosten nicht proportional zu den Mengentrükgängen. (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 125ff.) Diesen Effekt, dass die Gesamtkosten bei rückläufiger Nachfrage nach einer Infrastruktur nicht im gleichen Maße zurückgehen, wie sie zuvor bei steigender Nachfrage und Erweiterung des Angebots gestiegen sind, bezeichnet man in der Literatur auch als „Remanenzkosteneffekt“

(Siedentop 2011: 164). Die Folge von Remanenzkosten in der Abwasserwirtschaft sind, aufgrund des Prinzips der Kostendeckung, steigende Kostenaufwendungen je Nutzer (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 126f.; Siedentop 2011: 164ff.). Dementsprechend werden alle anfallenden Kosten auf die Tarifkunden verteilt. Hinzu kommt, dass bauliche Anpassungen nicht nur aufgrund der bestehenden Fixkosten kaum umsetzbar sind, sondern auch aufgrund der angespannten Kommunalhaushalte. So haben sich laut des Kommunalpanels der KfW Bankengruppe die Investitionsrückstände in deutschen Kommunen 2019 auf insgesamt 138,4 Milliarden € angehäuft, wovon 6,5 Milliarden € (5 %) auf die Wasserver- und Entsorgungsinfrastrukturen entfallen. Bei einem tatsächlichen Investitionsvolumen von insgesamt 22,6 Milliarden € im Jahr 2018 wird deutlich, dass der finanzielle Spielraum für zusätzliche Um- und Neubaumaßnahmen äußerst gering ist. Die größte Herausforderung besteht also in der Ambivalenz zwischen den investiven Anpassungsbedarfen und dem beschränkten finanziellen Spielraum. (vgl. Krone und Scheller 2019: 10f.)

Im Gesamtsystem Stadt kommen den Abwassersystemen neben der schon skizzierten Bedeutung für die Hygiene noch weitere Funktionen zu. So dient das Abwassersystem auch der Abführung und Aufbereitung von betrieblichen Brauchwassern und kann somit auch als wirtschaftlicher Standortfaktor angesehen werden. Da die Abwasserentsorgung als allgemeiner Mindeststandard vorausgesetzt wird, ergibt sich auch eine Vernetzung mit der städtischen Wohnfunktion, da jeder Haushalt den Anspruch haben kann, an das öffentliche Abwassernetz angeschlossen zu werden. Die Kosten der Abwasserentsorgung können sich dementsprechend positiv oder negativ auf die Wohnstandortsentscheidung von Privathaushalten auswirken. Gleichzeitig können sich die Entwicklungen in anderen städtischen Systemen auf die Abwasserinfrastruktur auswirken. So können sich konjunkturelle Schwankungen vor allem im produzierenden Gewerbe auf die gewerblichen Abwassermengen auswirken und so zu Unteraus- oder Überlastungen der Abwasserleitungen und Kläranlagen führen. Auch technologische Entwicklungen wirken sich, wie schon anhand der NASS aufgezeigt, auf die Abwassersysteme aus. Ebenso beeinflussen die institutionellen Rahmenbedingungen (Gesetze, Verwaltung und Finanzen) maßgeblich die Ausgestaltung der Abwassersysteme. Eine enge Verknüpfung ergibt sich auch mit dem Trinkwassersystem, da beide Systeme bei der Erschließung von Siedlungsflächen oft gemeinsam geplant und verlegt werden, da die anfallende Abwassermenge immer auch in Relation zur nachgefragten Trinkwassermenge steht.

3. Herausforderungen in Städten

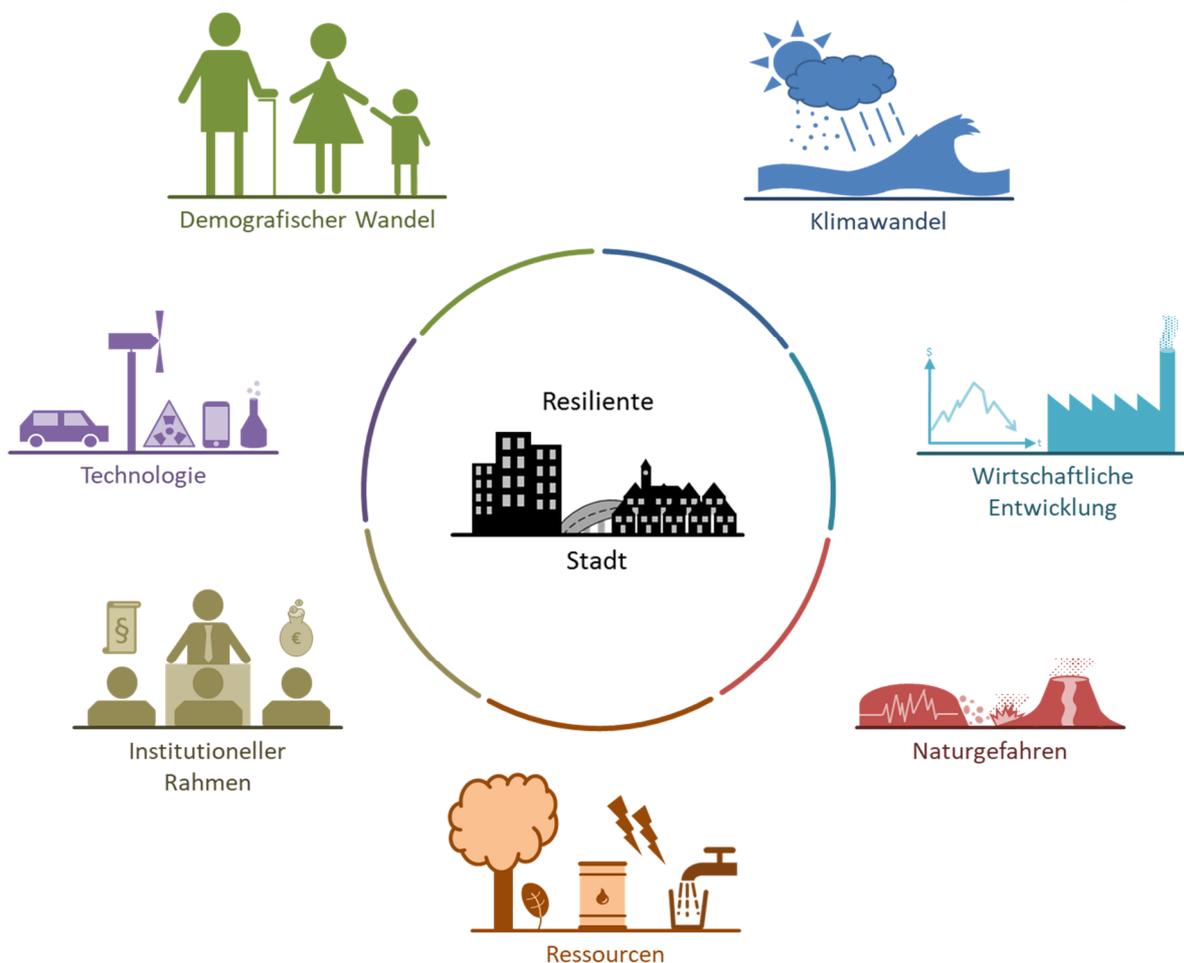
Städte als Kristallisationspunkte der menschlichen Gesellschaft weisen eine besondere Betroffenheit gegenüber den sich ändernden Rahmenbedingungen auf. Durch die hohe Akkumulation an Menschen, Ressourcen und Kulturgütern fällt hier das Verlust- und Schadensrisiko infolge schädlicher Umweltauswirkungen besonders hoch aus. Nichtsdestotrotz steigt der Grad der Urbanisierung kontinuierlich an. Schon heute lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten und laut den Vereinten Nationen werden bis zum Jahr 2050 rund zwei Drittel aller Menschen in Städten leben (vgl. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2014: 2).

Daher ist auch in Zukunft davon auszugehen, dass der Handlungsbedarf bei der Anpassung an veränderte Umweltbedingungen in Städten besonders hoch ausfällt. Hinzu kommt, dass Städte komplexe Systeme aus unterschiedlichen Teilsystemen sind, die untereinander vernetzt sind und sich gegenseitig beeinflussen können (siehe Kapitel 2.3). Dementsprechend ist die Aufrechterhaltung der unterschiedlichen Funktionen einer Stadt nicht nur durch direkte Umwelteinflüsse gefährdet, sondern auch durch indirekte Einflüsse, die die Funktionsweise anderer, miteinander vernetzter Systeme beeinflussen. Daher sollten neben einzelnen, externen Herausforderungen auch weitere Einflussfaktoren berücksichtigt werden: Rahmenbedingungen sowie interne Herausforderungen und Effekte, die das Funktionieren einer Stadt mit ihren einzelnen Teilsystemen beeinträchtigen können, gehören ebenso in den Fokus der Betrachtung. Im Sinne der zweiten Forschungsfrage gilt es herauszuarbeiten, welche Herausforderungen im Hinblick auf die Resilienz der urbanen Systeme von besonderer Relevanz sind.

Im folgenden Kapitel wird erläutert, welchen sich verändernden Rahmenbedingungen Städte unterliegen und welche Herausforderungen sich daraus, insbesondere für die urbanen Systeme und die Planungsakteure, ergeben. Da der räumliche Fokus dieser Arbeit auf deutschen Städten liegt, der Klimawandel, der Demografische Wandel oder andere Herausforderungen global jedoch vielfältige Ausprägungen haben, wird bei der Beschreibung der Folgen ein Schwerpunkt auf die Auswirkungen in deutschen Städten gelegt. Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Herausforderungen deutscher Städte auch auf viele weitere europäische Städte zutreffen und somit ein hohes Maß an Übertragbarkeit besteht, sollten doch für konkreteren Analysen und Maßnahmenentwicklungen die lokalspezifischen Bedingungen beachtet werden. Beispielsweise zieht der Klimawandel europaweit regional sehr unterschiedliche Folgen nach sich.

Da die Konzepte Vulnerabilität und Resilienz vor allem in der Klimafolgenforschung intensiv diskutiert werden, werden im ersten Unterkapitel zunächst der Klimawandel und die sich daraus ergebenden Herausforderungen auf den unterschiedlichen räumlichen Ebenen dargestellt. Als zweite zentrale Rahmenbedingung dieses Oberkapitels wird der Demografische Wandel dargestellt und seine Folgen für die unterschiedlichen städtischen Systeme erläutert. Die Darstellung der beiden genannten Rahmenbedingungen erfolgt ausführlicher, da sie sich in Deutschland maßgeblich auf die Entwicklung der Städte und ihrer Systeme auswirken und dementsprechend die wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Diskurse geprägt haben. Sie werden daher auch im weiteren Verlauf der Arbeit von zentraler Bedeutung sein und als exemplarische Herausforderungen für die Analysen im empirischen Teil der Arbeit dienen.

Abbildung 6: Relevante Rahmenbedingungen einer resilienten Stadtentwicklung



Quelle: eigene Darstellung

Weitere bedeutsame Rahmenbedingungen, die generell relevante Auswirkungen auf die künftige Entwicklung urbaner Systeme haben können, aber nicht im Fokus dieser Arbeit stehen, sind neben den beiden schon genannten Rahmenbedingungen in Abbildung 6 dargestellt. Aus globaler

3. Herausforderungen in Städten

Perspektive zählen Geohazards und sonstige Naturgefahren sicherlich zu den bedeutenden Herausforderungen für menschliche Siedlungen, in Deutschland sind sie im Hinblick auf Häufigkeit und Schadensvolumina bislang jedoch nur von nachrangiger Bedeutung (vgl. Munich RE 2014: 1). Des Weiteren können auch wirtschaftliche Entwicklung, technologische Entwicklungen, die Ressourcenverfügbarkeit sowie institutionelle Rahmenbedingungen die Entwicklung einer Stadt beeinflussen und sollten daher grundsätzlich im Kontext der Resilienz urbaner Systeme Berücksichtigung finden. All diese Herausforderungen werden im dritten Unterkapitel jeweils in kompakter Form dargestellt. In Kapitel 3.4 wird auf die Ambivalenz und Unsicherheit der Rahmenbedingungen eingegangen. Diese beiden Eigenschaften stellen insbesondere für die mittel- und langfristige Planung von städtischen Systemen eine ernsthafte Hürde dar. Beide Eigenschaften können auf die Ausprägungen einzelner Herausforderungen zutreffen, entstehen aber oftmals auch erst im Zusammenspiel unterschiedlicher Rahmenbedingungen. Dies wird in Kapitel 3.4 an Beispielen einiger städtischer Systeme erläutert. Abschließend wird dargelegt, inwiefern die ausgewählten Beispiele der Herausforderungen gegenüber den, im vorangegangenen Oberkapitel exemplarisch eingehender beschriebenen, Stadtsystemen (siehe Kapitel 2.4 & 2.5) exponiert sein können und welche Schnittstellen sie aufweisen.

3.1 Klimawandel

Unter dem Begriff *Klimawandel* werden die langfristigen globalen und regionalen Veränderungen des Klimas verstanden, die zusätzlich zur natürlichen Klimavariabilität auftreten und sich auf die direkte oder indirekte Beeinflussung des globalen Atmosphärensystems durch den Menschen zurückführen lassen (vgl. United Nations 1992: 3).

Auf dieses Begriffsverständnis einigten sich die Vereinten Nationen in Artikel 1 der sogenannten Klimarahmenkonvention, die 1992 in New York verabschiedet und später auf der Weltklimakonferenz in Rio de Janeiro ratifiziert wurde (vgl. ebd.). Der Kerngedanke dieser Definition findet sich seitdem in zahlreichen Veröffentlichungen und der wissenschaftlichen sowie öffentlichen Debatte wieder, sodass sie sich als Definition für die vorliegende Arbeit ebenfalls eignet (siehe u. a. United Nations 2015: 1f.; Birkmann et al. 2013a: 15; IPCC 2012: 5; Die Bundesregierung 2008: 8). Kennzeichnend für diese Definition ist die Unterscheidung zwischen dem anthropogen verursachten Klimawandel und der natürlichen Klimavariabilität. Beide Phänomene können Klimaveränderungen bewirken, sind jedoch auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen (siehe Kapitel 2.1.1).

Die Klimarahmenkonvention als globales Klimaschutzabkommen wurde seit 1992 durch zwei Zusätze ergänzt und aktualisiert (1997: Kyoto-Protokoll; 2015: Paris-Abkommen). Mittlerweile haben

sich fast alle Staaten dazu verpflichtet, nationale Klimaschutzbeiträge zu leisten. (vgl. United Nations 2015) Getreu dem vielfach zitiertem Motto „global denken – lokal handeln“ (Die Bundesregierung 2016: 238) hat sich auch auf der politischen Ebene die Erkenntnis durchgesetzt, dass der Klimawandel ein globales Phänomen ist, das in unterschiedlicher Art und Weise alle Staaten der Welt betrifft und durch das anthropogene Handeln in allen Teilregionen der Welt maßgeblich beeinflusst wird. Um die globalen Klimaschutzziele erreichen zu können, müssen die Vereinbarungen des Paris-Abkommens in nationale, regionale und lokale Maßnahmenpakete übersetzt werden. Diesbezüglich wird im Abkommen auch explizit die Bedeutung von lokalen Behörden und Akteuren für die Umsetzung hervorgehoben, woraus sich auch der Bezug zur Raumplanung ableiten lässt. Die bauliche Gestaltung von Siedlungen kann einen Beitrag zum lokalen Klimaschutz leisten (primär CO₂-Minderung durch z. B. verkehrssparsame Siedlungsstrukturen, Energie- und Wärmeeffizienz in Gebäuden) und sollte gleichzeitig an die Folgen des Klimawandels angepasst werden (z. B. Dachbegründung, Retentionsflächen etc.).

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden zunächst die Entstehungsursachen und globalen Trends des Klimawandels im Allgemeinen kurz dargestellt. Anschließend erfolgt eine Konzentration auf den räumlichen Fokus der Arbeit. Dies geschieht durch eine konkretere Darstellung der Klimafolgen in Deutschland sowie der spezifischen Herausforderungen in den Städten im Speziellen.

3.1.1 Der Klimawandel als globales Phänomen

Der Klimawandel hat nicht nur auf politischer Ebene, sondern auch in der öffentlichen Wahrnehmung insgesamt in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die langjährigen Klimabeobachtungen weisen eindeutige Klimaänderungen nach, die im Vergleich mit historischen Klimadaten eine hohe Dynamik aufweisen. Deutliche Veränderungen zentraler Indikatoren, wie der mittleren globalen Temperatur, der Strahlung am Boden oder der Niederschlagsverteilung, werden weitestgehend als hinreichende Nachweise des globalen Klimawandels anerkannt. Nicht zu verwechseln sind dabei die Begrifflichkeiten *Wetter* und *Klima*: „Ein Mensch kann zwar an seinem lokalen Standort das saisonale Wettergeschehen beurteilen, daraus aber nicht auf globale und langjährige Entwicklungen des Klimas schließen“ (Stock 2013: 16). Skeptische Haltungen zum Klimawandel beruhen jedoch oftmals auf Beobachtungen lokaler und regionaler Wetterphänomene oder betrachten nur Teilaspekte des globalen Klimasystems (vgl. ebd. 16, 24f.).

In der Klimaforschung wird bereits seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts der Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung der Atmosphäre und der gemessenen Lufttemperaturen wissenschaftlich untersucht. So konnten bereits 1827 erste Erklärungen zum natürlichen Treibhauseffekt

3. Herausforderungen in Städten

abgeleitet werden. In den folgenden rund 190 Jahren wurden – vor allem seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1850 – zahlreiche Daten zum Wetter und der Atmosphäre gesammelt und hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren ausgewertet. Insbesondere die Arbeiten des Weltklimarates (IPCC), der sich aus hunderten Wissenschaftlern unterschiedlicher Fachrichtungen zusammensetzt, haben zu enormen Fortschritten im Verständnis des Klimasystems und der Variabilität von Wetter und Klima geführt. So konnte im Jahr 1995 schließlich der Zusammenhang zwischen dem beobachteten Anstieg der mittleren globalen Temperatur und der zunehmenden Konzentration von sogenannten *Treibhausgasen* in der Atmosphäre statistisch belegt und somit der anthropogene Klimawandel nachgewiesen werden (vgl. Hasselmann et al. 1995). (vgl. Stock 2013)

Zu den wichtigsten, anthropogen verursachten Treibhausgasen (THG) zählen gemäß des Kyoto-Protokolls neben Kohlendioxid (CO₂) auch Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆) (vgl. United Nations 1998: Anhang A). Diese infrarotaktiven Spurengase absorbieren zum Teil die von der Erdoberfläche abgestrahlte, langwellige Wärmestrahlung, die andernfalls aus der Erdatmosphäre entweichen würde und erhöhen so die Temperatur innerhalb der Atmosphäre. Entscheidend für die Strahlungsbilanz – und damit auch die Temperatur – ist das Verhältnis der Reflexion des Sonnenlichts zur Absorption des Sonnenlichts in der Atmosphäre und an der Erdoberfläche. Dieses Verhältnis, das als *Albedo* bezeichnet wird, wird nicht nur durch THG beeinflusst, sondern auch wesentlich von der Beschaffenheit und den unterschiedlichen Reflexionseigenschaften der Bodenoberfläche bestimmt. Arktisches Eis reflektiert mehr Strahlung als ein See und ein Betonhochhaus absorbiert mehr Strahlung als ein Wald. Die Experten des IPCC schätzen den anthropogen verursachten Wärmeeffekt durch die veränderte Strahlungsbilanz auf 2,3 W/m² im globalen Mittel für das Jahr 2011 gegenüber 1750. Davon lassen sich knapp 2 W/m² auf das CO₂ in der Atmosphäre zurückführen, das vornehmlich durch Verbrennungsprozesse (v. a. fossile Kraftstoffe) oder bei der Zementierung entsteht. Neben CO₂ (+40 % Konzentration in der Atmosphäre gegenüber 1750) gelten auch CH₄ (+150 %) und N₂O (+20 %) als zentrale Treiber des Treibhauseffektes. (vgl. IPCC 2014b: 44f.)

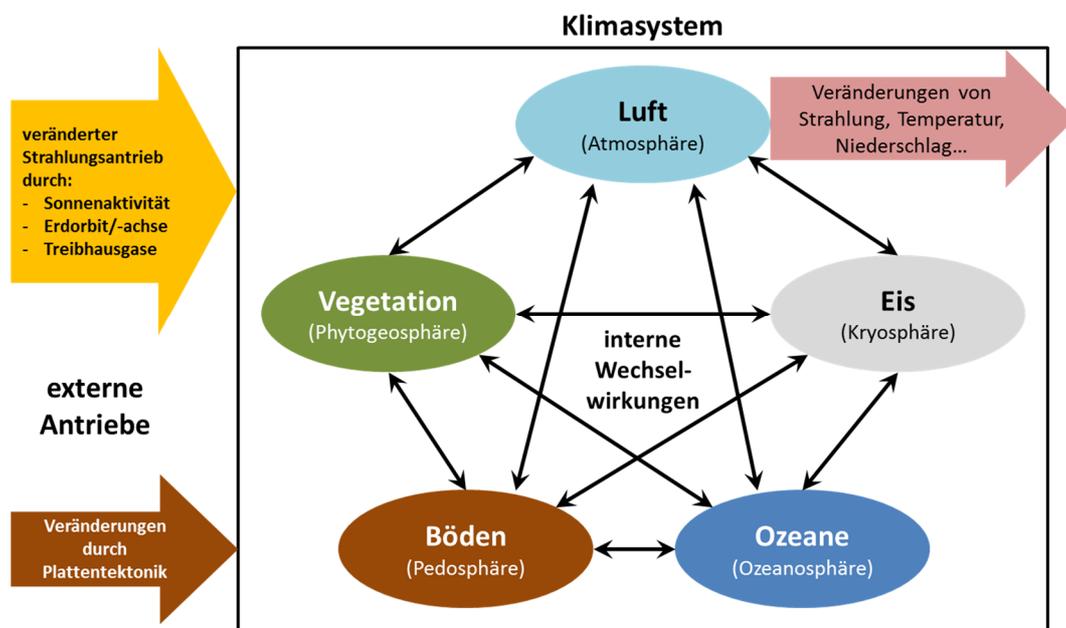
Die Folge der kontinuierlich steigenden THG-Konzentrationen und des veränderten Strahlungsantriebs war die wärmste 30-Jahr-Periode (1983–2012) der letzten 800 Jahre. Seit Beginn der Wetteraufzeichnung liegen erst für den Zeitraum ab 1880 multiple, voneinander unabhängige Datensätze vor. Der daraus berechnete lineare Trend ergibt für die Periode 1880–2012 einen Temperaturanstieg um 0,85 °C im globalen Mittel. (vgl. ebd.: 40)

Dabei hat die Atmosphäre bislang nur etwa 1 % der zusätzlichen Wärmeenergie aufgenommen. Mit rund 90 % der Wärmeenergie haben die Ozeane, vor allem die obere Ozeanschicht (0–700 m), den Großteil des Wärmeeffekts absorbiert. Dies hat dazu geführt, dass sich die Meerestemperatur der oberen 75 m in der Periode 1971–2010 im globalen Durchschnitt um 0,44 °C erhöht hat.

Weiterhin bewirkt der globale Temperaturanstieg in der Kryosphäre³ der Erde eine umfassende Eisschmelze. Sowohl die kontinentalen Gletscher, als auch das Grönlandeis und der antarktische Eismantel verlieren zunehmend an Eismasse. So hat die Fläche des arktischen Seees seit Beginn der Satellitenbeobachtung im Jahr 1979 je Dekade kontinuierlich um 3,5–4,1 % abgenommen. In Summe bedeutete dies einen Rückgang um 0,13–0,2 Millionen km² pro Jahr zwischen 1979 und 2012 (vgl. ebd.: 42).

Der globale Temperaturanstieg führt nicht nur indirekt über die Eisschmelze zum Anstieg der Meeresspiegel, sondern auch direkt über die thermische Ausdehnung des Wassers. Der seit Beginn des 20. Jahrhunderts beobachtete Anstieg des globalen Meeresspiegels lässt sich zu mehr als 75 % auf die direkten und indirekten Wirkungen des Temperaturanstiegs zurückführen. Zwischen 1901 und 2010 stieg der durchschnittliche, globale Meeresspiegel um 0,19 m an. (vgl. ebd.: 42)

Abbildung 7: Elemente des Klimasystems und Prozesse, die das Erdklima beeinflussen



Quelle: eigene Darstellung, verändert nach Stock 2013: 19

³ Die Kryosphäre bezeichnet die Gesamtheit der Vorkommen von Wasser in fester Form auf einem Himmelskörper.

3. Herausforderungen in Städten

Abbildung 7 stellt die zentralen Elemente des globalen Klimasystems, deren Wechselwirkungen sowie externe Treiber dar. Aus dem komplexen Zusammenspiel der fünf aufgeführten Erdsphären ergibt sich das Klima. Die Abbildung verdeutlicht, dass die anthropogen verursachte Überhöhung des Treibhauseffekts nicht nur eine Erhöhung der atmosphärischen Temperatur verursacht, sondern dadurch gleichzeitig immer auch die anderen Elemente des Klimasystems beeinflusst werden. Andererseits beeinflussen aber auch die jeweiligen Entwicklungen der anderen Erdsphären, wie stark sich die Atmosphärentemperatur verändert. Will man Ursachen und Folgen des Klimawandels ergründen, muss also immer das gesamte Klimasystem einschließlich der externen Treiber betrachtet werden. In Summe schlagen sich die Veränderungen der einzelnen Erdsphären in der Veränderung der Klimaparameter, wie der Strahlungsbilanz, der globalen Mitteltemperatur oder der Niederschlagsmengen nieder. Diese Parameter nehmen entscheidenden Einfluss auf das Wetter und damit auch auf den lokal und subjektiv wahrnehmbaren Teil des Klimawandels.

Der in diesem Kapitel skizzierte Klimawandel bewirkt zum einen eine Veränderung des globalen Wasserhaushalts und zum anderen auch eine Verschiebung der Strömungssysteme. Dies führt dazu, dass die Effekte des Klimawandels sich nicht nur langsam und schleichend vollziehen, sondern auch die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen zunimmt. So konnte beobachtet werden, dass insbesondere die Zahl der Starkregenereignisse, aber auch die Zahl der Hitzetage in einigen Regionen der Welt zugenommen hat. Daneben gefährden aber auch Dürreperioden, Fluten, Zykclone und Buschbrände zunehmend die natürlichen Ökosysteme und menschlichen Lebensräume. (vgl. ebd.: 53; IPCC 2013: 208–222) Die konkreten Herausforderungen infolge klimatischer Extremereignisse für deutsche Städte werden weiter ausdifferenziert in Kapitel 3.1.2 dargestellt.

Bleiben die Treibhausgasemissionen auch in Zukunft auf einem kontinuierlich hohen Niveau, oder steigen sie sogar noch weiter an, wird der anthropogene Treibhausgaseffekt einen weiteren Anstieg der globalen Mitteltemperatur und somit auch tiefgreifende Veränderungen in allen Elementen des globalen Klimasystems bewirken. Insbesondere die vorangehend beschriebenen Folgen des Klimawandels, also Temperaturanstieg, Eisschmelze, Meeresspiegelanstieg und Extremwetterereignisse, werden dadurch mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter verstärkt. (vgl. IPCC 2014b: 58–63)

Klimaprojektionen, die die künftige Entwicklung des globalen Klimas vorausberechnen, beruhen auf Szenarioannahmen zur Entwicklung zentraler Treiber des Klimas, insbesondere der Treibhausgasemissionen. Hierbei nehmen vor allem die kumulierten CO₂-Emissionen großen Einfluss auf den künftigen Temperaturanstieg. Da die Szenarioannahmen eine große Spannweite der künftigen Entwicklungspfade des Klimas zur Folge haben können, die den Vergleich der unterschiedlichen

Klimaprojektionen erschweren, wurden im fünften Sachstandsbericht des IPCC vier repräsentative Konzentrationspfade (Representative Concentration Pathways, RCP) festgelegt, die den Korridor möglicher Entwicklungen abgrenzen. Das Szenario RCP2.6 geht von einer stringenten Umsetzung der politisch verabschiedeten Mitigationsstrategien aus, sodass die THG-Emissionen deutlich reduziert würden (durchschnittlich netto -2 Gt CO₂/a in 2100 gegenüber dem aktuellen Niveau). In diesem Szenario würde der Temperaturanstieg bis 2100 mit hoher Wahrscheinlichkeit unter der Grenze von 2 °C über dem vorindustriellen Niveau bleiben. Die mittleren Szenarien RCP4.5 und RCP6.0 gehen von einem weitgehend unveränderten THG-Ausstoß aus, wohingegen das Szenario RCP8.5 einen deutlichen Anstieg der THG-Emissionen voraussetzt (ca. + 90 Gt CO₂/a in 2100). (vgl. ebd.: 57)

Die Klimaprojektionen als Ergebnis der Szenarien werden im Folgenden immer für die Periode 2081–2100 in Relation zur Periode 1986–2005 dargestellt. Dies berücksichtigt also nicht alle Veränderungen gegenüber dem vorindustriellen Niveau, wie es in zahlreichen normativen Zielsetzungen (z. B. dem Paris-Abkommen) angeführt wird. Das IPCC geht für den Zeitraum vor der Periode 1986–2005 von einem Temperaturanstieg um 0,61 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau (1850–1900) aus. (vgl. ebd.: 60; IPCC 2013: 1056) Die vom IPCC verwendeten Projektionen basieren auf den Berechnungen des Coupled Model Intercomparison Projekt Phase 5 (CMIP5), das auf ein Ensemble aus 42 einzelnen Modellierungen zurückgreift und damit die durchschnittliche Entwicklung aus einer Vielzahl potenzieller Entwicklungspfade wiedergibt. Für das Szenario RCP2.6 wird im Mittel ein Temperaturanstieg um +1,0 °C bis 2100 berechnet. In Kombination mit dem Temperaturanstieg des 20. Jahrhunderts würde dieses Szenario bedeuten, dass bis Ende des 21. Jahrhunderts die globale Mitteltemperatur im Durchschnitt der Modellierungsergebnisse um etwa +1,6 °C steigt und damit die kritische Schwelle von +2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht erreicht. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass es regionale Unterschiede des projizierten Anstiegs der oberflächennahen Temperatur gibt, die sich voraussichtlich zwischen einem Anstieg um +0,8 °C (Antarktis und Ozeane) und um +1,7 °C (Arktis) im Projektionszeitraum bewegen werden (vgl. IPCC 2013: 1055). Für die Szenarien RCP4.5 und RCP6.0 werden mittlere Temperaturanstiege um +1,8 °C bzw. +2,2 °C prognostiziert. Damit wird, auch unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Modelle, die kritische Schwelle eines Temperaturanstieges um +2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau, im RCP4.5-Szenario mit hoher Wahrscheinlichkeit und im RCP6.0-Szenario eindeutig überschritten. Im RCP8.5-Szenario wird dieser Schwellwert mit einem Anstieg um +3,7 °C im Mittel sogar schon bezogen auf den Projektionszeitraum deutlich überschritten. (vgl. IPCC 2014b: 58–60)

3. Herausforderungen in Städten

Wie schon in Abbildung 7 deutlich wird, wirkt sich ein Anstieg der Lufttemperatur auch auf die anderen Sphären des Klimasystems aus. Durch die Eisschmelze und die thermische Ausdehnung des Wassers ist ein Anstieg der Meeresspiegel zu erwarten. In 21 der CIMP5-Modelle wird neben den Temperaturanstiegen auch der Anstieg des durchschnittlichen, globalen Meeresspiegels berechnet. Im Szenario RCP2.6 beträgt dieser Anstieg im Mittel +0,4 m. Die Szenarien RCP4.5 und RCP6.0 unterscheiden sich diesbezüglich mit +0,47 m bzw. +0,48 m kaum voneinander, wohingegen im Szenario RCP8.5 der Meeresspiegel im Mittel deutlich stärker um +0,63 m ansteigt. (vgl. ebd.: 60)

Neben den Ozeanen wirkt sich der projizierte Temperaturanstieg in den Klimamodellen auch auf den globalen Wasserhaushalt insgesamt aus (vgl. IPCC 2013: 1084f.). Aufgrund der höheren Temperaturen muss von einer zunehmenden Evapotranspiration⁴ ausgegangen werden. In Summe gelangt somit mehr Wasserdampf in die Atmosphäre (+5 bis +25 %) und die Nettoniederschlagsmenge steigt. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Veränderungen der Niederschlagsmengen regional sehr unterschiedlich ausfallen. In den Modellen werden für aride⁵ Regionen Rückgänge der Niederschlagsmengen erwartet (-30 % in den Subtropen), wohingegen die Niederschläge in den humiden Regionen deutlich zunehmen werden (z. B. bis zu +50 % in den Tropen). Vereinfacht muss also angenommen werden, dass sich der Wasserkreislauf in humiden Regionen weiter intensiviert und schneller abläuft und in ariden Regionen weiter zurückgeht. Zusätzlich zu den regional divergierenden Entwicklungen des Niederschlagsverhaltens, werden auch Änderungen der Periodizität und der Intensität der Niederschläge projiziert. So wird vor allem eine Zunahme der Niederschläge im Winter erwartet, wohingegen die Niederschlagsmengen im Sommer weitgehend stagnieren. Gleichzeitig ist den Modellen zu entnehmen, dass Niederschlagsereignisse weniger häufig auftreten – die Trockenperioden also länger werden – dafür aber die Intensität der Ereignisse zunimmt. Dies würde den schon in der Vergangenheit beobachteten Trend zunehmender Starkregenereignisse fortsetzen. (vgl. ebd.: 1084f.)

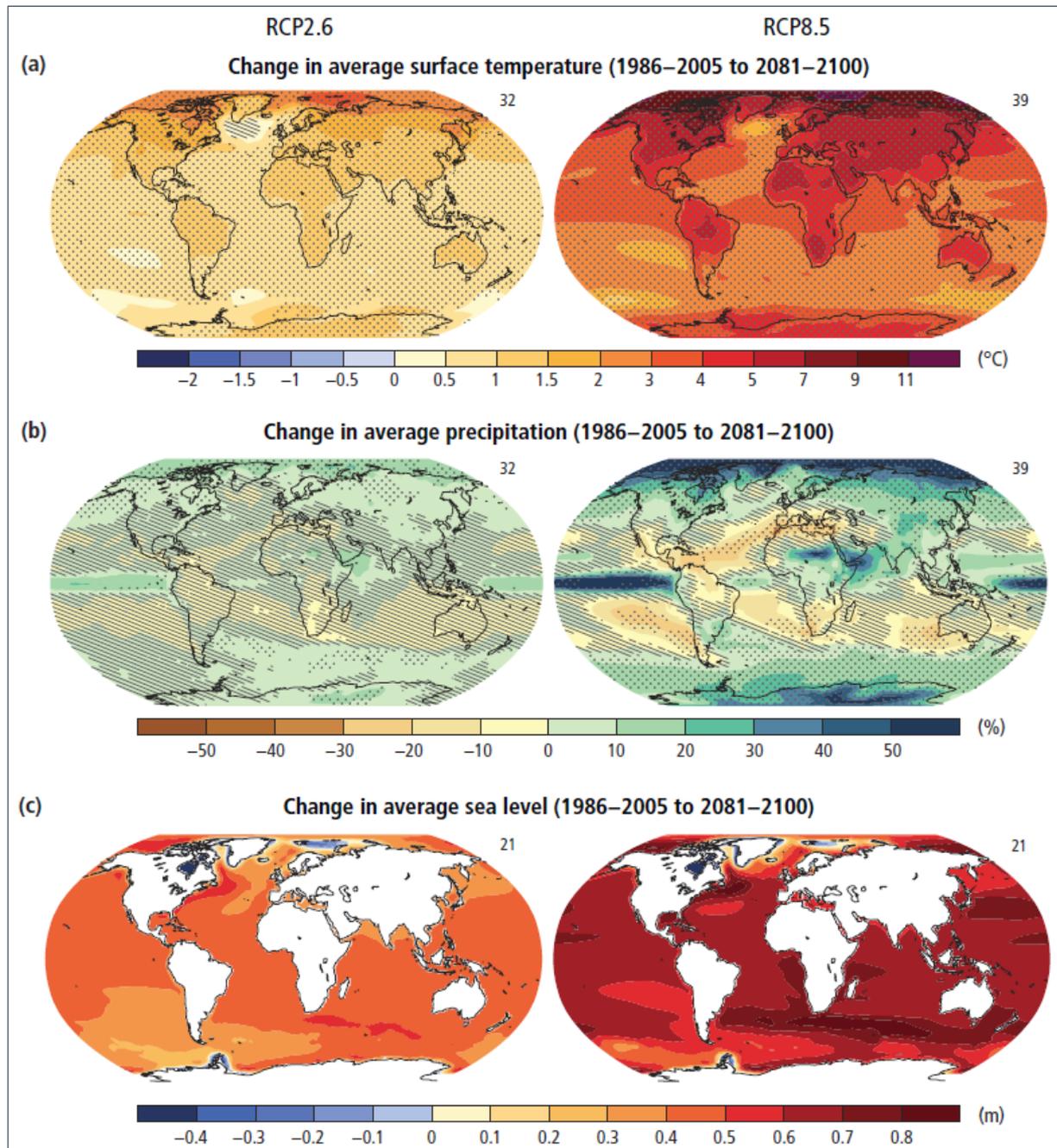
Die regionalen Disparitäten der Klimaänderungen betreffen nicht nur die schon skizzierten Differenzen der Niederschlagsmengen, sondern auch andere zentrale Klimaparameter, wie die Temperatur und den Meeresspiegel. Wenngleich also global gültige Trends der Klimaänderungen zu erkennen sind, fallen die Änderungen regional doch sehr unterschiedlich aus. In Abbildung 8 wird deutlich, dass beispielsweise der Temperaturanstieg im RCP8.5-Szenario auf der nördlichen Hemisphäre

⁴ Summe der Verdunstung von Wasser von unbewachsenen Land- und Wasserflächen (Evaporation) sowie über die Blätter der Pflanzen (Transpiration)

⁵ Bei aridem (trockenem) Klima ist die gesamte Verdunstungskapazität höher als die Niederschlagsmenge. Das Gegenteil ist humides (feuchtes) Klima, bei dem mehr Niederschlag fällt, als Wasser verdunstet.

deutlich stärker ausfällt als auf der südlichen Hemisphäre und auch über den Landmassen stärker ist als über den Ozeanen. Dagegen wird für die Südhalbkugel ein stärkerer Meeresspiegelanstieg projiziert als für die Nordhalbkugel.

Abbildung 8: Globale Ausprägungen der Klimaänderungen in den CIMP5-Modellen: Oberflächentemperatur (a), Niederschlag (b) und Meeresspiegel (c)



Quelle: IPCC 2014b: 61

Die Abbildung zeigt, dass der Klimawandel, je nach Fragestellung, immer auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet werden sollte. Die Entstehungsursachen und grundsätzlichen Wirkungsketten des Klimawandels lassen sich am besten unter Berücksichtigung der vielfältigen Wechselwirkungen im

3. Herausforderungen in Städten

globalen Klimasystem nachvollziehen. Gleichzeitig ist für die Bewertung der Folgen des Klimawandels aufgrund der räumlichen Disparitäten aber die konkrete Ausprägung auf regionaler oder gar lokaler Ebene von höherer Bedeutung als globale Mittelwerte, die sich aus einer großen Spannweite projizierter Werte zusammensetzen und kleinräumige Phänomene nicht ausreichend genau repräsentieren können. Daher sei an dieser Stelle auf die Beschreibung der regionalen Klimafolgen in den folgenden Kapiteln verwiesen.

Die anthropogen bedingte Zunahme der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und die daraus folgenden Klimaänderungen sind nicht nur aufgrund der dargestellten, direkten Folgen für Mensch und Umwelt kritisch zu betrachten. Vielmehr muss auch beachtet werden, dass sich das globale Ökosystem optimal an das vergleichsweise stabile Klima der letzten zehntausend Jahre im Holozänzeitalter angepasst hat. Eine natürliche Variabilität des Klimas hat es zwar auch davor gegeben, ein Blick in die Erdgeschichte zeigt jedoch, dass die letzte Phase mit einem ähnlich hohen CO₂-Niveau wie heute (etwa 390 ppm⁶) rund zwei Millionen Jahre zurück liegt (Tertiärzeitalter). Im Kreidezeitalter vor mehr als 60 Millionen Jahren war die CO₂-Konzentration sogar bis zu drei Mal so hoch. Aus Eiskernbohrungen konnte rekonstruiert werden, dass dies mit höheren Temperaturen und deutlich abweichenden Klimacharakteristika einherging. Demzufolge wies auch das globale Ökosystem im Kreidezeitalter einen andersartigen Charakter auf. An den deutlichen Temperaturrückgang im Laufe des Tertiärs (vor 60 Millionen bis vor 2 Millionen Jahren) konnte sich das Vegetationssystem jedoch sukzessive evolutionär anpassen. Wenngleich das globale Ökosystem in der Erdgeschichte also schon Klimaänderungen überwunden hat, die stärker ausgefallen sind, als die derzeitigen Projektionen für die Zukunft vermuten lassen, ist die Geschwindigkeit mit der sich zentrale Klimaparameter derzeit verändern erdhistorisch bisher einzigartig. Da der Anpassungs- und Evolutionsdruck steigt, je schneller eine Veränderung erfolgt, ist die Geschwindigkeit der derzeitigen Klimaänderungen sehr kritisch zu betrachten. An dieser Stelle sei auf die „Kippunkte im Klimasystem“ (Stock 2013: 21) verwiesen. Dabei handelt es sich um Schwellwerte der globalen Mitteltemperatur, bei deren Erreichen voraussichtlich unumkehrbare Folgen für das globale Klimasystem eintreten. Auf Basis von Erkenntnissen aus der Erdgeschichte könnten folgende Temperaturanstiege gegenüber dem vorindustriellen Niveau unwiderrufliche Konsequenzen im Klimasystem bewirken, die mit tiefgreifenden Folgen einhergehen:

⁶ parts per Million

- „+ ca. 1,8 °C: Rückschmelzen des arktischen Sommereises
- + 2 °C: Abschmelzen der Hochasien-Gletscher
- + 2,2 °C: Abschmelzen des Eisschildes von Grönland
- + 3 °C: möglicher Zusammenbruch des Regenwaldes Amazoniens
- + 3,5 °C: permanentes El Niño-Phänomen
- + 4 °C: Zustandsänderung der thermo-halinen Zirkulation⁷
- +4,5 °C: Abschmelzen des Eisschildes der Westantarktis“ (ebd.: 22)

Dass einige der aufgeführten Kipppunkte auch in den relativ konservativen Szenarien RCP4.5 und RCP6.0 bereits bis Ende des laufenden Jahrhunderts erreicht werden könnten, verdeutlicht die Brisanz der derzeitigen Klimaänderungen und die davon ausgehenden Gefahren für das Klimasystem und das globale Ökosystem. Aus diesen Erkenntnissen leitet sich auch das sogenannte *Zwei-Grad-Ziel* ab, das von vielen Experten als Kompromiss verstanden wird, zwischen einem Temperaturanstieg, der bei konsequenter Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen noch erreichbar erscheint und einem Temperaturanstieg, der ein zu hohes Risiko für das globale Klimasystem mit sich bringen würde. (vgl. ebd.: 20–25)

3.1.2 Der Klimawandel in Deutschland

Da die Fallstudienregion dieser Arbeit in Deutschland liegt, werden in diesem Kapitel die klimatischen Folgen des Klimawandels beschrieben, die auf weite Teile Deutschlands zutreffen. Dies dient dazu die wesentlichen Klimawirkungen aufzuzeigen, denen Siedlungen in Deutschland durch den Klimawandel ausgesetzt sind und die damit auch die Siedlungsentwicklung beeinflussen können. Für die regionale sowie jahreszeitliche Ausdifferenzierung der Klimawirkungen innerhalb von Deutschland wird auf die zahlreichen Studien verwiesen, die sich intensiver mit dieser Thematik auseinandersetzen (siehe z. B. Kaspar und Mächel 2017; Die Bundesregierung 2015; Kovats et al. 2014; Stock 2013).

Zwischen 1881 und 2013 ist die oberflächennahe Lufttemperatur im Jahres- und Flächenmittel in Deutschland um +1,2 °C angestiegen. Sie liegt nunmehr bei rund 9 °C. Dabei waren die letzten beiden Dekaden die wärmsten des gesamten Zeitraums. Die Erwärmung ist in den westlichen und südlichen Ländern etwas stärker ausgefallen (+1,4 °C) als im Bundesdurchschnitt. Damit entspricht die Zunahme der mittleren Temperatur in Deutschland auch den vom IPCC für weite Teile Europas

⁷ Globale Meeresströmungen mit Wechsel der Temperaturen und der Salzkonzentration

3. Herausforderungen in Städten

beobachteten Temperaturentwicklungen. Sie ist jedoch stärker angestiegen, als der globale Mittelwert im gleichen Zeitraum (ca. +0,85 °C, siehe Kapitel 3.1.1). (vgl. z. B. Kaspar und Mächel 2017: 21; Die Bundesregierung 2015: 42–44; Kovats et al. 2014: 1276; Stock 2013: 31)

Die Klimamodelle prognostizieren für die sogenannte nahe Zukunft (Zeitraum 2021–2050) eine weitere Zunahme der mittleren Lufttemperatur um mindestens weitere +0,5 °C und maximal bis zu +2,5 °C in Süddeutschland. In der fernen Zukunft (2071–2100) wird dagegen von einer Erhöhung um mindestens +1,5 °C bis maximal +4,0 °C bis Ende des Jahrhunderts ausgegangen, sodass einige der in Kapitel 3.1.1 aufgeführten Schwellenwerte für die Kippunkte des Klimasystems in Deutschland überschritten würden. (vgl. Buth et al. 2015: 68-70; Die Bundesregierung 2015: 102)

Die Niederschlagsmenge hat im Laufe des 20. Jahrhunderts um etwa +9 % im Flächenmittel zugenommen. Während im Frühjahr zunehmende Niederschlagsmengen verzeichnet wurden, haben sich die insgesamt konstanten Sommerniederschläge vermehrt auf den Juni konzentriert, sodass es im Juli und August trockener wurde. Die Wintermonate sind mit einer Zunahme um bis zu +20 % Niederschlagsmenge signifikant feuchter geworden. Die Klimaprojektionen lassen erwarten, dass sich diese Entwicklungen auch in Zukunft fortsetzen: eine Niederschlagsabnahme in den Sommermonaten (bis zu -20 %) bei einer deutlichen Niederschlagszunahme in den Wintermonaten (+15 %). (vgl. Kaspar und Mächel 2017: 21; Buth et al. 2015: 70-72; Die Bundesregierung 2015: 42-44, 103; Stock 2013: 31)

Bei klimatischen Extremereignissen handelt es sich um kurzzeitige Einzelereignisse, die sich langfristig nur unzureichend präzise in Zeitpunkt und Ausmaß prognostizieren lassen und somit Unsicherheiten mit sich bringen. Aus meteorologischer Perspektive stellen klimatische Extremereignisse eine wichtige Kenngröße bei der Betrachtung des Klimawandels dar. Während klimatische Mittelwerte allgemeine Trends der Klimaänderungen verdeutlichen, belegt die steigende Zahl der Tage mit Extremereignissen die Zunahme der Klimavariabilität. Dabei wird vor allem für die sommerlichen Extreme wie Hitzetage, Tropennächte, Starkregen- oder Hagelereignisse ein häufigeres und intensiveres Auftreten erwartet, während die Zahl der winterlichen Extreme weitestgehend stagniert (vgl. Deutschländer und Mächel 2017: 48).

Im Zeitraum für den tagesbezogene Zeitreihen der Wetteraufzeichnungen für Deutschland vorliegen (seit 1951), ist die Zahl der heißen Tage mit einer Tagesmaximaltemperatur über 30 °C im Mittel von drei Tagen pro Jahr auf derzeit acht Tagen pro Jahr angestiegen (vgl. Die Bundesregierung 2015: 43). In jüngerer Vergangenheit belegen der *Rekordsommer 2003* sowie der Sommer 2018, dass steigende Durchschnittstemperaturen, längere Hitzeperioden und Temperaturextreme in den

Sommermonaten aktuelle Trends der klimatischen Entwicklungen sind. Mit Temperaturen, die über einen längeren Zeitraum um mehr als +4 °C vom Normalwert der Referenzperiode abwichen, gilt der Sommer 2003 noch heute als der wärmste Sommer in Mittel- und Südeuropa seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (vgl. Jonas et al. 2005: 115). (vgl. Deuschländer und Mächel 2017: 50) Der Sommer 2018 war nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes nach 2003 der zweitheißeste Sommer in der Geschichte der deutschen Wetterdatenaufzeichnung seit 1881. Im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990 lag der bundesweite Temperaturdurchschnitt in den Sommermonaten Juni bis August 2018 mit 19,3° C um 3° über dem Durchschnitt der Referenzperiode (2003: Ø 19,7° C). Dafür fiel 2018 weniger Niederschlag als noch 2003 und nur rund 50 % des Niederschlags der Referenzperiode (2018: 130 l/m²; Referenz: 239 l/m²). (vgl. Website DWD 1) Vor allem in Städten schlugen sich die hohen Durchschnittstemperaturen in neuen Rekorden für den Indikator *Sommertage* (mind. 25 °C) nieder. So wurden bis Ende September 2018 neue Höchstwerte von beispielsweise 104 Sommertagen in Frankfurt am Main und 63 Sommertagen in Hamburg erreicht. In Stuttgart reichte der Wert mit 92 Sommertagen nur knapp an das Allzeithoch von 93 Tagen aus dem Jahr 2003 heran. (vgl. Website DWD 2) Für die Zukunft wird eine Zunahme der Hitzeextreme in Deutschland erwartet. Bis Ende des Jahrhunderts ist je nach Region mit einem Anstieg um 10–40 heiße Tage pro Jahr zu rechnen (vgl. Buth et al. 2015: 73; Die Bundesregierung 2015: 103f.).

Ein weiterer Indikator, der oft zur Beschreibung von Hitzewellen herangezogen wird, sind die *Tropennächte*⁸. Tropennächte stellen derzeit in Deutschland ein klimatisches Extremereignis dar, das mit maximal drei Tropennächten pro Jahr im vieljährigen Mittel nur wenige Regionen in beachtlichem Maße betrifft. Für die nahe Zukunft wird allerdings eine deutliche Zunahme der Zahl der Tropennächte vorausgesagt (+ 5–10 Tropennächte pro Jahr). Je nach Szenario und Region wird für die ferne Zukunft eine Zunahme um zehn bis vereinzelt sogar +30 Tropennächte angenommen (vgl. Buth et al. 2015: 74f.)

Mit der Zunahme der Hitzeextreme und der allgemeinen Erwärmung nimmt gleichzeitig die Zahl der winterlichen Extreme ab. Kennstage für die winterlichen Temperaturextreme sind die sog. *Eistage*, an denen die Maximaltemperatur 0 °C nicht übersteigt. Während also die Zahl der heißen Tage und Tropennächte steigt, ist die Zahl der Eistage seit 1951 von durchschnittlich 27 Tagen pro Jahr auf 21 Tage pro Jahr zurückgegangen. Die regionalen Unterschiede sind hierbei größtenteils geringer als bei den heißen Tagen. Daher wird auch in den Projektionen für ganz Deutschland ein weiterer

⁸ Tage, an denen die Minimaltemperatur (in 24 Stunden) nicht unter 20 °C fällt.

3. Herausforderungen in Städten

Rückgang um 5–10 Tage (nahe Zukunft), bzw. 10–15 Tagen (ferne Zukunft) erwartet. (vgl. Buth et al. 2015: 75; Die Bundesregierung 2015: 104).

Die Niederschlagsextreme unterscheiden sich zwischen Sommer und Winter deutlich. Während im Sommer vorwiegend Starkniederschläge, bei denen die Intensität im Verhältnis zur Dauer sehr hoch ausfällt, auftreten, sind es im Winter eher mäßige, aber dafür über mehrere Tage anhaltende bzw. wiederkehrende Niederschläge, die als klimatische Extremereignisse betrachtet werden. Als meteorologische Kenntage werden hierzu im Sommer die Tage mit Niederschlägen über 20 mm⁹ gezählt und im Winter die maximale Summe der Niederschläge an fünf aufeinanderfolgenden Tagen mit Niederschlag. Grund für die kurzen, intensiveren Niederschlagsereignisse im Sommer sind die konvektiven Witterungsbedingungen (vertikale Luftmassenbewegung) durch die stärkere Sonneneinstrahlung, wohingegen im Winter vornehmlich advektive Witterungsbedingungen vorliegen, bei denen Luftmassen horizontal zugeführt werden. (vgl. Kunz et al. 2017: 58; Die Bundesregierung 2015: 104–106)

Aufgrund der konvektiven Bedingungen, unter denen sommerliche Starkniederschläge primär entstehen, weisen sie eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität auf. Unter Berücksichtigung der natürlichen Klimavariabilität sind Trendänderungen der sommerlichen Starkregen daher kaum statistisch signifikant nachzuweisen. „Die Zahl der Tage mit einer Niederschlagssumme von 20 mm und mehr im Sommer ist [...] seit 1951 nahezu unverändert geblieben und verläuft somit [...] parallel zu der Entwicklung der mittleren Niederschlagsmenge in den Monaten Juni bis August“ (Die Bundesregierung 2015: 104f.). Dagegen ist das Mittel der maximalen 5-Tages-Summe der Niederschläge im Winter im gleichen Zeitraum signifikant um 7 mm auf 45 mm angestiegen. (vgl. Kunz et al. 2017: 58f.; Die Bundesregierung 2015: 104f.)

Die Zukunftsprojektionen weisen für die Niederschlagsextreme je nach Szenario eine starke Spannweite auf. Für die Winterniederschläge reicht das Spektrum der regionalen Unterschiede für die nahe Zukunft von einer Abnahme der maximalen 5-Tagessumme um bis zu 50 mm bis hin zu einer Zunahme um 125 mm. Die Projektionen für die ferne Zukunft reichen von einer Stagnation bis hin zu einer Zunahme um 50 bis örtlich 100 mm. Dagegen wird die Zahl der sommerlichen Starkniederschlagstage in naher Zukunft voraussichtlich weitgehend stagnieren. Eine Zunahme um mehr als zwei Tage im Flächenmittel, im äußersten Süden auch vier Tage, gilt als unwahrscheinlich. In weiten Teilen Deutschlands wird die Zahl der sommerlichen Starkniederschläge auch bis Ende des

⁹ 1 mm = 1 Liter je Quadratmeter

Jahrhunderts nahezu stagnieren. Vereinzelt kann im Süden eine Zunahme um bis zu vier Starkniederschlagstage erwartet werden. (vgl. Kunz et al. 2017: 60f.; Die Bundesregierung 2015: 105, 112)

Ein weiteres extremes Niederschlagsphänomen, das meist eine hohe räumliche und zeitliche Dynamik aufweist, ist Hagel, der im Aufwindbereich eines größeren (sogenannten organisierten) Gewittersystems entsteht (vgl. Kunz et al. 2017: 61). Im Gegensatz zu einzelligen, sommerlichen Wärmegewittern entstehen organisierte Gewittersysteme durch größere Luftmassenverschiebungen und umfassen meist mehrere Gewitterzellen (bzw. eine Multizelle) mit Auf- und Abwindbereichen. Schiebt sich eine Kaltluftfront unter eine Warmluftfront, wird die warme Luft zum Aufsteigen gezwungen und die in der Warmluft gebundenen Wasserpartikel kondensieren und gefrieren in einer Höhe von 8 bis 10 km an kleineren Eispartikeln, sodass das Wasser in Form von Hagelkörnern¹⁰ zu Boden fällt. Meist geht dies mit kalten Abwinden einher, die in Bodennähe zu starken Böen führen und somit die Aufprallgeschwindigkeit des Hagels verstärken können. Noch extremere Hagelniederschläge können in sogenannten Superzellen entstehen, bei denen es sich um besonders großflächige und langlebige Einzelzellen handelt, die einen Aufwindbereich und zwei flankierende Abwindbereiche aufweisen. Diese Konstellation bewirkt, dass die Zelle eine ständige Zufuhr feucht-warmer Luft im Aufwindbereich erhält, sodass ein hohes energetisches Potenzial entsteht. Diese Energie entlädt sich in einem Gewitter, das von Starkregen, intensivem Hagel und Starkwinden begleitet wird. (vgl. Mohr 2013: 17–35)

Da Hagelereignisse meist nur einen sehr begrenzten räumlichen Umfang haben, ist die Erfassung bzw. Schätzung über die Daten von Wetterstationen für statistische Zwecke nicht konsistent und genau genug. Demzufolge lässt sich für die Hagelereignisse keine statistisch signifikante Veränderung zur Vergleichsperiode bestimmen. Durch Niederschlagsradare, Satellitenbeobachtung und Fortschritte bei den regionalen Klimamodellen wurde es in der Hagelklimatologie jedoch möglich die Hagelereignisse der vergangenen Jahre zu erfassen, um so räumliche Schwerpunkte in Deutschland für den Status quo bestimmen zu können. (vgl. Kunz et al. 2017: 61f.)

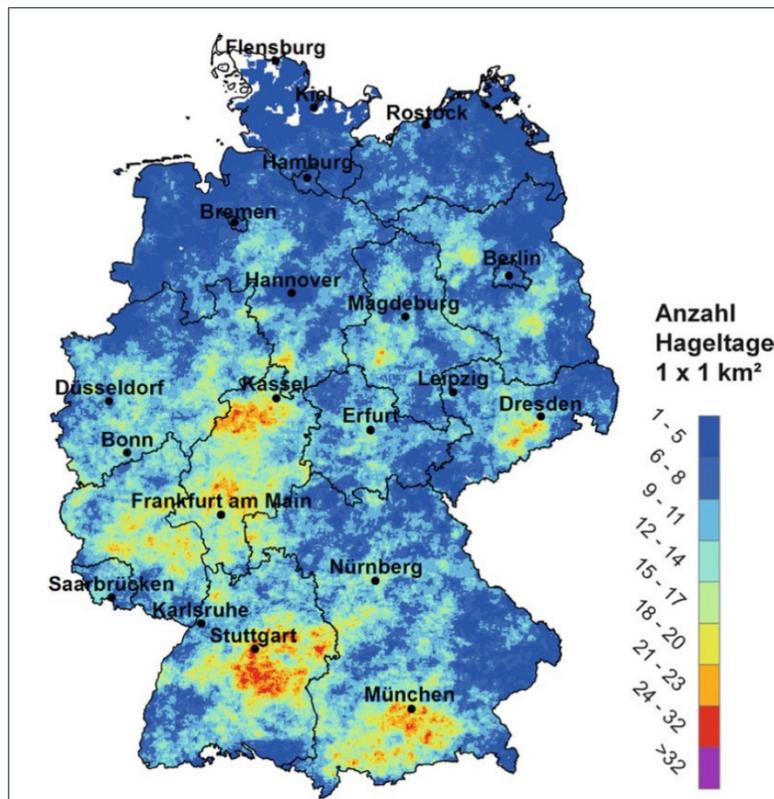
Wie die Auswertung von Radardaten und weiterer Datenquellen in Abbildung 9 zeigt, lassen sich in Deutschland einige räumliche Schwerpunkte der Hagelereignisse zwischen 2006 und 2011 feststellen. Davon sticht insbesondere die Region hervor, die sich von Stuttgart aus Richtung Süden und Südosten erstreckt. Mit größtenteils 21–32 Hageltagen im Beobachtungszeitraum wurden dort deutlich mehr Ereignisse gemessen, als in weiten Teilen der restlichen Bundesrepublik. Auch der

¹⁰ Als Hagelkörner werden Niederschlagsteilchen aus Eis ab einem Durchmesser von 5 mm bezeichnet. Kleinere Körner nennt man Graupel. (vgl. Mohr 2013: 27)

3. Herausforderungen in Städten

Untersuchungsraum der vorliegenden Arbeit, die Region Reutlingen (siehe Kapitel 6.4), liegt in dem beschriebenen Bereich südlich von Stuttgart.

Abbildung 9: Anzahl der Hageltage im 1 km x 1 km-Raster für den Zeitraum 2006–2011



Quelle: Puskeiler 2013: 129

Aufgrund der fehlenden Zeitreihen kann kein langfristiger Trend der künftigen Zu- oder Abnahme von Hagelereignissen berechnet werden. Erkenntnisse der Hagelklimatologie sowie die Fortschritte bei regionalen Klimamodellen lassen jedoch die Abschätzung von Großwetterlagen zu, die die Entstehung von Hagel begünstigen. Auf dieser Basis hat MOHR über ein multivariates Analyseverfahren ein statistisches Hagelmodell entwickelt (vgl. Mohr 2013), „das es erlaubt, aus Großwetterlagen und verschiedenen meteorologischen Größen das Potenzial für schadenrelevanten Hagel abzuschätzen“ (Kunz et al. 2017: 62). Das Modell gibt aus einem Ensemble von sieben regionalen Klimamodellen für drei Regionen in Deutschland signifikante Veränderungen der Hagelwahrscheinlichkeit für die Periode 2021–2050 gegenüber 1971–2000 aus: In Süddeutschland wird in Bayern südlich von München und in Baden-Württemberg im Raum südlich von Stuttgart eine Zunahme um bis zu sieben Hageltage pro Jahr erwartet. Die dritte Region, für die ebenfalls eine Zunahme der Hagelwahrscheinlichkeit um bis zu sieben Tage modelliert wurde, zieht sich von der Eifel über den gesamten Südosten Nordrhein-Westfalens bis in weite Teile des Südostens von Niedersachsen. Für den Rest der

Republik konnten, bis auf vereinzelte Rasterzellen, keine signifikanten Veränderungen der Hagelwahrscheinlichkeit berechnet werden. (vgl. ebd.: 63)

Der Sommer bringt neben extremen Niederschlägen und erhöhten Temperaturen auch längere Trockenperioden mit sich. Da sowohl die Mitteltemperatur als auch die Zahl der heißen Tage in der Vergangenheit angestiegen sind und auch in Zukunft ansteigen werden, kann davon ausgegangen werden, dass auch die Austrocknung zunimmt bzw. mehr und längere Trockenperioden auftreten. Als Trockenperioden werden in der Klimatologie Episoden mit mindestens zehn aufeinanderfolgenden Tagen ohne nennenswerten Niederschlag bezeichnet. Lag dieser Wert im Referenzzeitraum 1961–1990 noch bei 1,3 Perioden pro Jahr im Mittel, ist er bis 2013 geringfügig um 0,3 Fälle pro Jahr angestiegen. Aufgrund der sehr hohen Variabilität derartiger Extremereignisse von Jahr zu Jahr lässt sich aus dem geringfügigen absoluten Anstieg aber kein statistisch aussagekräftiger Trend ableiten. Demzufolge wird auch in naher Zukunft die Zahl der Trockenperioden in weiten Teilen Deutschlands nicht ansteigen. Auch in ferner Zukunft ist überwiegend kein deutlicher Anstieg zu erwarten. Lediglich im RCP8.5-Szenario wird für einige Regionen Süddeutschlands eine Zunahme um fünf bis sechs Trockenperioden pro Jahr erwartet. (vgl. Die Bundesregierung 2015: 105f., 114)

Durch Unterschiede des Luftdrucks in der Erdatmosphäre entstehen Luftbewegungen von Hochdruckgebieten in Richtung der Tiefdruckgebiete, die man als *Winde* bezeichnet. Aufgrund von Bodeneigenschaften, Bebauung, Relief oder mikroklimatischen Einflüssen können sich die lokalen Winde deutlich von den großskaligen Winden unterscheiden. Dabei sind insbesondere Böen von Bedeutung, bei denen die Windgeschwindigkeiten kurzzeitig deutlich höher als die mittleren Windgeschwindigkeiten sind. Solche Böen entstehen beispielsweise, wenn schnellere Luftströmungen aus größeren Höhen durch Turbulenzen in der Atmosphäre zum Boden transportiert werden. Weit aus stärkere Winde mit höherem Schadenspotenzial entstehen in Mittel- und Nordeuropa oftmals in Verbindung mit Zyklonen. In diesen Tiefdruckwirbeln mit bis zu einigen Tausenden Kilometern Durchmesser kommt es im Zentrum zu starken Luftmassenbewegungen mit Geschwindigkeiten bis zu 200 km/h. Zyklone bringen oftmals auch weitere Wetterextreme wie Starkniederschläge, Sturmböen und Überflutungsereignisse mit sich. (vgl. ebd.: 68) Die regional sehr unterschiedliche Windintensität in Deutschland wird elementar von den Zyklonen des Nordatlantiks und deren Zugbahnen (storm tracks) bestimmt, die oftmals über die Nordsee verlaufen. Durch Temperaturanstiege im Zuge des klimatischen Wandels können sich auch die Stärke und Zugbahnen der nordatlantischen Zyklone verändern, was einen direkten Einfluss auf das Windverhalten in Deutschland hätte. Der fünfte Sachstandsbericht des IPCC beschreibt eine Häufung und Intensivierung der

Zyklonenaktivitäten über dem Nordatlantik seit 1951 (vgl. IPCC 2014c: 52), was für eine Zunahme der Windereignisse in Deutschland sprechen würde. (vgl. Pinto und Reyers 2017: 68f.)

3.1.3 Klimafolgen und Klimagefahren in Städten

Im folgenden Kapitel wird erläutert, welche Folgen die in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Klimawirkungen die Städte als Lebensraum des Menschen haben können. Der fünfte Sachstandsbericht des IPCC liefert auf globaler Ebene einen breit angelegten Überblick über die absehbaren Folgen des Klimawandels für die Bereiche Umwelt (Kapitel 3–7), urbane und ländliche Räume sowie Ökonomie (Kapitel 8–10) und für die menschliche Gesundheit und Sicherheit (Kapitel 11–12; vgl. IPCC 2014c). Einen auf Deutschland fokussierten Überblick über aktuelle Klimatrends und Klimafolgen liefern BRASSEUR ET AL. mit ihrem umfassenden Sammelband (vgl. Brasseur et al. 2017). Große Teile der nachfolgend dargestellten Klimafolgen sind auch für die urbanen Räume in der Untersuchungsregion Reutlingen zu erwarten. Dabei sind jedoch stets die lokalen Ausprägungen des Wetters sowie die Anfälligkeit der Siedlungsstrukturen gegenüber den Klimaeinflüssen zu berücksichtigen (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 49f.).

Wenngleich die Entwicklung der Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag beachtenswerte Indikatoren der Folgen des Klimawandels in Deutschland sind, so sind es lokal doch eher **klimatische Extremereignisse**, die aus gesellschaftlicher und planerischer Perspektive einen höheren Stellenwert besitzen. Das Gefahren- bzw. Schadenspotenzial durch Hitzewellen oder Starkniederschläge ist im Vergleich zu einem Temperaturanstieg um +1,2 °C über 130 Jahre (s. o.) unmittelbar erlebbar. Vor allem Hitzetage (auch: heißer Tag) und Tropennächte schränken das thermische Wohlbefinden der Stadtbevölkerung ein. Nicht nur der tägliche Hitzestress, sondern vor allem die geminderte nächtliche Erholung wirken sich negativ auf das Wohlbefinden und die Gesundheit in allen Altersklassen aus. Die Leistungsfähigkeit nimmt ab und die Zahl der Krankheitstage steigt nachweislich an. Bei älteren oder besonders anfälligen Menschen können Hitzewellen daher zum Tode führen. (vgl. Deutschländer und Mächel 2017: 48ff.; Buth et al. 2015: 72ff.; Greiving et al. 2011: 9ff.) Schätzungen für 12 europäische Länder gehen davon aus, dass allein im Hitzesommer 2003 50.000–70.000 Personen zusätzlich infolge der sommerlichen Hitze verstorben sind (vgl. Augustin et al. 2017: 138), davon allein 7.000 in Deutschland (vgl. Die Bundesregierung 2008: 17). Auch wenn die konkrete Zuordnung der Todesfälle zur Hitzewelle zu hinterfragen ist, würde man ein anderes Naturereignis, das nur annähernd so viele Opfer nach sich zieht wohl durchaus als *große Naturkatastrophe* bezeichnen. (vgl. Hackenbruch 2018: 26f.; Augustin et al. 2017: 138ff.; Buth et al. 2015: 602ff.)

In Städten werden Hitzeextrema im Vergleich zum geringer verdichteten Umland zusätzlich durch kompakte Bauformen und hohe Versiegelungsgrade, die die Wärmespeicherung in der Stadt um bis zu 40 % gegenüber dem Umland erhöhen können, verstärkt. Zudem fallen auch die bodennahen Windgeschwindigkeiten geringer aus. (vgl. Greiving et al. 2011: 10) Dies hat zur Folge, dass die Atmosphärentemperatur in einer Stadt oftmals höher ist, als im Umland und nachts weniger Abkühlung stattfindet. Dieses Phänomen wird auch als „städtische Wärmeinsel“ (Hackenbruch 2018: 12) bezeichnet. In einer meteorologischen Untersuchung für die Stadt Karlsruhe zwischen 2009 und 2016 wurde festgestellt, dass die mittlere Tagestieftemperatur in den Sommermonaten Juni bis August in höher verdichteten Stadtquartieren durchschnittlich um 1,6 °K höher liegt, als im unbebauten Umland. Zudem wurden dort im Schnitt 1,4 mehr Hitzetage und 5,6 mehr Tropennächte festgestellt als im Umland (vgl. Hackenbruch 2018: 71). Sommerliche Temperaturzunahmen und Hitzeextreme wirken sich also in Städten besonders stark und mit negativen Konsequenzen für die Gesundheit der Bevölkerung aus.

Oftmals einher mit der städtischen Wärmeinsel und extremer Hitze gehen besonders hohe Konzentrationen an **Luftschadstoffen**. Die in der Stadt im Vergleich zum Umland höheren Schadstoffemissionen können insbesondere während längerer Hitzeperioden schlechter in der Atmosphäre absorbiert werden. Fehlende Winde und die vergleichsweise geringe relative Feuchte in und über städtischen Siedlungen tragen dazu bei, dass sich die emittierten Schadstoffe übermäßig stark in der Atmosphäre akkumulieren (v. a. Ozon und flüchtige Kohlenwasserstoffe). Weitere Luftinhaltsstoffe, die das Wohlbefinden der Stadtbevölkerung beeinflussen können, sind Pollen, die sich bei geringen Niederschlägen und ungünstigen Windkonstellationen ebenfalls vermehrt in der Stadt ansammeln können. Insgesamt ist somit davon auszugehen, dass häufigere und längere Hitzeperioden nicht nur das thermische Wohlbefinden der Stadtbevölkerung reduzieren, sondern sich auch negativ auf die Lufthygiene auswirken. (vgl. Augustin et al. 2017: 141–146; Kuttler et al. 2017: 226ff.)

Längere Hitzeperioden, wie sie in Zukunft zu erwarten sind, gehen meist mit sehr geringen oder gänzlich ausbleibenden Niederschlägen einher. Längere Phasen der **Trockenheit** haben einen negativen Einfluss auf den städtischen Wasserhaushalt. Als elementare Lebensgrundlage wird Wasser nicht nur von den Menschen konsumiert, sondern ist auch Voraussetzung für die städtische Flora und Fauna. Aufgrund des grundrechtlich festgeschriebenen Anspruches auf den Schutz der natürlichen Lebensbedingungen (siehe Art. 20a GG), obliegt es den kommunalen Aufgabenträgern eine ausreichende Wasserversorgung sicherzustellen (vgl. Greiving et al. 2011: 25ff.). Dabei können Nutzungskonflikte um die begrenzte Ressource zwischen Mensch, Umwelt und (urbaner)

3. Herausforderungen in Städten

Landwirtschaft entstehen. Auch der Güter- und Personentransport über Wasserwege kann mitunter bei niedrigen Pegelständen der Gewässer eingeschränkt werden. Nicht zuletzt erhöht sich durch längere Trockenheit auch die Brandgefahr in Wäldern, auf bewachsenen Freiflächen oder sonstigen, anfälligen Flächen. (vgl. Glade et al. 2017: 112ff.; Stock 2013: 29ff.; Greiving et al. 2011: 25ff.; Die Bundesregierung 2008: 21ff.) Nicht nur oberirdisch stellen ausbleibende Niederschläge und Trockenperioden eine Herausforderung dar. Vor allem für die Abwasserinfrastruktur sind zu geringe Niederschlagsmengen problematisch. Freispiegelleitungen, die das Gefälle im Abwassersystem zum Abwassertransport nutzen, benötigen eine Mindestmenge an Abwasser, damit bestimmte Fließgeschwindigkeiten erreicht werden, die einen störungsfreien Betrieb erlauben. (vgl. Westphal 2008: 212) Auch wenn Wasserknappheit in deutschen Städten im globalen Vergleich noch kein ernstes Problem darstellt, kann sich diese Situation im Laufe des Jahrhunderts verändern. So wird für einige Regionen Deutschlands davon ausgegangen, dass die sommerliche Wasserverfügbarkeit um 10 % (bis Mitte des 21. Jahrhunderts) bis 20 % (Ende des 21. Jahrhunderts) zurückgeht. (vgl. Glade et al. 2017: 113ff.; Jacob 2009: 90ff.)

Das Niederschlagsverhalten ändert sich nicht nur in der Form, dass Klimaprojektionen eine Verschiebung der Niederschläge in die Wintermonate aufzeigen und die Sommermonate somit relativ trockener werden, sondern auch, dass sich die Niederschlagsextrema verändern. Zu den Niederschlagsextrema werden **Starkregen**, Hagel und Schnee gezählt. „Starkregenereignisse in Städten gefährden aufgrund unkontrolliert oberflächlich abfließenden Wassers oder überlasteter Kanalisation Bewohner, materielle Güter und Infrastrukturen.“ (Die Bundesregierung 2015: 27) So sind neben den Schäden an Gebäuden beispielsweise auch Einschränkungen der verkehrlichen Erreichbarkeit zu erwarten, die weitere Folgen nach sich ziehen können, wenn die Zugänglichkeit für Rettungsdienste beschränkt oder Versorgungswege abgeschnitten werden. In den meisten Regionen Deutschlands ist die Dimensionierung der Abwasserkanäle aus betrieblichen und wirtschaftlichen Gründen so ausgelegt, dass Starkregenereignisse mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 10 Jahren und mehr zu Überschwemmungen führen können. In besonders sensiblen Bereichen werden die Kanalisationsysteme mitunter auch auf Starkregenereignisse mit Wiederkehrwahrscheinlichkeiten von bis zu 50 Jahren ausgelegt. (vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 2018: 14, 19ff.; Kunz et al. 2017: 58ff.; Buth et al. 2015: 76f., 321ff.; Die Bundesregierung 2008: 21ff.)

Hagelereignisse können Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen verursachen, wenn die Hagelkörner auf Oberflächen treffen. Das Schadenspotenzial ist dabei von der Hagelkorngröße und

der Fallgeschwindigkeit sowie der Beschaffenheit der Oberflächen abhängig. Auch Menschen können ernsthafte Verletzungen erleiden, wenn sie von größeren Hagelkörnern getroffen werden. Des Weiteren können Hagelkörner erhebliche Ernteschäden in der Agrarwirtschaft verursachen und abschmelzende Hagelkörner können zu lokalen Überschwemmungen führen. Dass mit Hagelereignissen ein großes Schadenspotenzial einhergeht, zeigt auch die Tatsache, dass Hagelereignisse in Deutschland nach Starkwinden zwischen 1970 und 1998 die zweithöchste Schadenssumme bei den Elementarschäden verursacht haben (vgl. Buth et al. 2015: 431). Die Zunahme der Hageltage stellt nicht nur für Kommunen eine Herausforderung dar, sondern auch für private Immobilienbesitzer, die ihre Gebäude gegenüber den zu erwartenden Schäden schützen oder versichern müssen. Die deutsche Versicherungswirtschaft rechnet für den Zeitraum 2041–2070 mit einer Zunahme der Schadenssummen durch Hagelschäden um 28 %, mit einem räumlichen Schwerpunkt in Westdeutschland (vgl. Buth et al. 2015: 590). (vgl. Kunz et al. 2017: 61ff.; Buth et al. 2015: 242ff., 431ff.; Die Bundesregierung 2015: 164ff.; Mohr 2013)

Der klimawandelbedingte Anstieg des **Meeresspiegels** kann in Städten massive Schäden und Funktionseinschränkungen verursachen, wenn lokale Schwellenwerte überschritten und so exponierte Siedlungsflächen in flachen Küstenregionen dauerhaft überschwemmt werden. Deutschland weist nur im Norden eine etwa 1.200 km lange Küstenlinie mit flachen Erhebungen der dahinterliegenden Flächen auf. Weiter südlich in Richtung der Mittelgebirge nehmen die Erhebungen zu. Städte und urbane Siedlungen unterschiedlicher Größenklassen sind dagegen relativ gleichmäßig über das ganze Land verteilt, sodass die Gefahr von Überschwemmungen durch den Meeresspiegelanstieg insgesamt vergleichsweise gering ist. In Deutschland müssen im Hinblick auf das Gefahrenpotenzial durch den Meeresspiegelanstieg auch die Gezeiten sowie die Sturm- und Windbedingungen berücksichtigt werden, die den Meeresspiegel zusätzlich anheben können. Das Umweltbundesamt betrachtet daher an der Nordseeküste alle Flächen als potenziell gefährdet, die weniger als 5 m über dem Meeresspiegel liegen. Das schließt knapp 14.000 km² Fläche mit 3,2 Millionen Bewohnern und volkswirtschaftlichen Anlagevermögen in Höhe von 900 Milliarden € ein. (vgl. Buth et al. 2015: 300ff.) Umweltbundesamt und Bundesregierung gehen davon aus, dass der Meeresspiegelanstieg in Deutschland kurz- bis mittelfristig noch keine große Gefahr darstellt, langfristig bis Ende des Jahrhunderts jedoch verstärkte Maßnahmen zum Küsten- und Meeresschutz erforderlich werden (vgl. Buth et al. 2015: 301ff.; Die Bundesregierung 2015: 53f.; 83f.). (vgl. Weiße und Meinke 2017: 78ff.; Buth et al. 2015: 300ff.)

3. Herausforderungen in Städten

Das Kapitel hat aufgezeigt, dass der anthropogene Klimawandel zahlreiche klimatische Veränderungen mit sich bringt, die als langfristige, schleichende Entwicklungen oder kurzfristige Extremereignisse große Herausforderungen für Städte darstellen können. Die Entwicklungen sind als grundsätzliche Trends, mit einigen Schwankungen in den unterschiedlichen Projektionen, auf globaler Ebene im Durchschnitt relativ genau vorausberechenbar. Die größte Herausforderung für die Planung besteht jedoch darin abzuschätzen, wie sich die globalen Trends konkret auf lokaler Ebene niederschlagen. Die Vielzahl der Parameter und Einflussfaktoren lässt mit den derzeitigen Methoden und technischen Möglichkeiten keine präzise, langfristige Vorhersage der lokalen Entwicklungen zu. Umso schwerer fällt die problemorientierte Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zur Klimaadaptation.

3.2 Demografischer Wandel

Im folgenden Oberkapitel werden die Herausforderungen beschrieben, denen Städte und städtische Systeme in Deutschland durch den Demografischen Wandel ausgesetzt sind. Aus globaler Perspektive verlaufen die demografischen Prozesse sehr divers, mit gänzlich unterschiedlichen Trends in verschiedenen Regionen der Welt und starken Unterschieden zwischen Stadtregionen und dem ländlichen Raum. Einzig der Trend zur Urbanisierung, also dass im Verhältnis immer mehr Menschen in Städten leben als auf dem Land, kann wohl als global gültiges demografisches Phänomen bezeichnet werden. Die Vereinten Nationen kommen bei der Analyse der globalen Urbanisierungstrends zu dem Schluss, dass seit 2007 erstmals mehr Menschen in Städten wohnen, als auf dem Land. Jedoch gibt es auch hierbei sehr deutliche regionale Unterschiede im Urbanisierungsgrad: Von unter 10 % in Trinidad und Tobago bis nahezu 100 % in Singapur oder Hong Kong fällt die Varianz der Urbanisierungsgrade sehr groß aus. Deutschland zählt hierbei mit rund 75 % im Jahr 2014 zu den Ländern mit einem hohen Urbanisierungsgrad. Allen Weltregionen gemein ist in der Studie die Prognose, dass der Urbanisierungsgrad auch in Zukunft weiter steigen wird. (vgl. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2014: 2-4)

Auf die globalen Trends der Bevölkerungsentwicklung sowie die regionalen Disparitäten soll in diesem Kapitel nicht weiter eingegangen werden, da der Fokus auf den demografischen Entwicklungen und den sich daraus ergebenden Herausforderungen in deutschen Städten liegt. Anders als beim Klimawandel, bei dem sich globale Veränderungen der Temperatur oder Strömungssysteme auch deutlich und konkret in Deutschland niederschlagen, beeinflussen die demografischen Trends in unterschiedlichen Weltregionen allenfalls über die Migrationsbewegungen die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland. Nichtsdestotrotz erfolgt im ersten Unterkapitel eine kurze Einführung in

demografische Prozesse im Allgemeinen und ein Überblick über die vier Phasen der *Demografischen Transition*, die auch Deutschland durchlaufen hat. Danach wird der räumliche Fokus auf die demografischen Entwicklungen in Deutschland gerichtet, bevor in zwei weiteren Kapiteln die sich aus dem Wandel ergebenden Herausforderungen für technische und soziale Infrastrukturen beschrieben werden.

3.2.1 Demografie und die Phasen der Demografischen Transition

Die Demografie setzt sich theoretisch und statistisch mit der Entwicklung der Bevölkerung und ihren Strukturen auseinander. Vereinfacht lässt sich die Fortschreibung der künftigen Bevölkerungsentwicklung auf die vier Komponenten der Bevölkerungsentwicklung reduzieren: Geburten, Sterbefälle, Zuzüge und Fortzüge. Dabei ist jedoch stets die jeweilige Altersstruktur im Betrachtungsjahr zu berücksichtigen, da diese sich maßgeblich auf die Raten der vier Komponenten auswirkt und somit die jeweiligen Fallzahlen bestimmt. (vgl. Just 2009: 10f.)

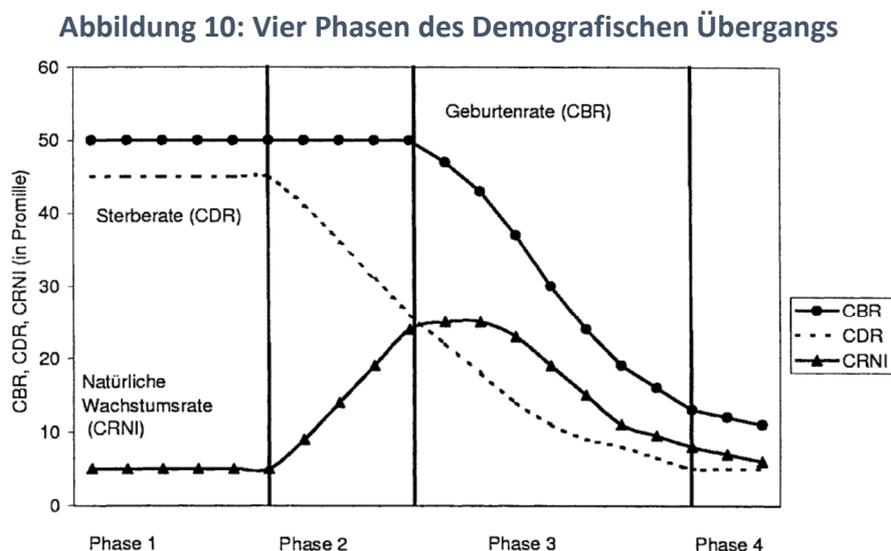
Die Zahl der Geburten abzüglich der Zahl der Sterbefälle wird als *natürliche Bevölkerungsbewegung* bezeichnet. Der Kennwert erfasst die natürliche Erneuerung der Bevölkerung durch die biologischen Prozesse. Ohne Berücksichtigung der Wanderungsprozesse und ohne den Anstieg der Lebenserwartung, liegt das natürliche Reproduktionsniveau, also der Schwellenwert, bei dem eine Stagnation der Bevölkerung zu erwarten ist, bei 2,1 Kindern je Frau. (vgl. ebd.: 13)

Sowohl auf globaler Ebene, als auch verstärkt in den Industrienationen, steigt die allgemeine Lebenserwartung jedoch in Folge der medizinischen Fortschritte. Dagegen sind die Geburtenzahlen in vielen Ländern mit dem Einsetzen der Industrialisierung deutlich zurückgegangen. Wurden beispielsweise in Deutschland 1860 noch etwa fünf Kinder je Frau geboren, waren es drei Generationen später nur noch zwei Kinder und heute etwa 1,5 Kinder je Frau (vgl. Website Destatis 5). Ausschlaggebend dafür sind gemäß mikroökonomischer Theorien der Fertilität die steigenden Einkommen im Zuge der Industrialisierung (vgl. Becker 1960: 210ff.). Steigen nämlich die Verdienstmöglichkeiten (insbesondere auch für Frauen), so erhöhen sich auch die Opportunitätskosten, die durch den Zeitaufwand für die Kindererziehung anfallen. Es wird immer teurer ein Kind zu erziehen. Im Zuge einer persönlichen Abwägung, wie das verfügbare Zeitbudget eines Haushalts einzusetzen ist und welche Präferenzen gesetzt werden, haben sich viele Haushalte entschieden weniger Kinder zu bekommen. Dass viele Paare diese Entscheidung auch so umsetzen konnten, hängt wiederum mit den immer besseren Verhütungsmethoden, insbesondere den hormonellen Verhütungsmitteln, zusammen. In der Konsequenz liegen die Geburtenzahlen in den meisten europäischen Staaten unter den Sterbezahlen, sodass jährlich ein geringer natürlicher Bevölkerungsrückgang verzeichnet wird, der sich

3. Herausforderungen in Städten

jedoch nahe dem Gleichgewichtswert befindet. Ein weiteres Absinken der Fertilität in Deutschland deutlich unter den Wert 1,5 ist eher unwahrscheinlich, da kulturell bedingt der Familiengründung mit Kindern eine gewisse Bedeutung beigemessen wird, die durch alternative (Konsum-)Güter nicht aufgewogen werden kann. (vgl. Just 2009: 11–13)

Der Rückgang der Fertilität in einem Staat oder einer Region wird oft als ein Indikator für den Demografischen Wandel angesehen. Bei rückläufigen Geburtenzahlen sinkt die Wachstumsrate der Bevölkerung und relative, gesellschaftliche Alterungsprozesse nehmen zu. Das Modell des Demografischen Übergangs (engl. *Demographic transition*) ist das in den Bevölkerungswissenschaften wohl dominierende Erklärungsmodell für die rückläufigen Bevölkerungswachstumsraten in den Industrienationen. Es basiert auf Untersuchungen demografischer Kennwerte und setzt sie in den Kontext der ökonomisch-technischen Entwicklung. Die Grundaussage des Modells des Demografischen Übergangs ist, dass mit dem Wandel einer Nation von einer traditionellen Agrargesellschaft hin zu einer modernen Industriegesellschaft auch eine grundsätzliche Veränderung der Komponenten der natürlichen Bevölkerungsentwicklung einhergeht, die in vier Phasen verläuft (siehe Abbildung 10). In vielen Industrienationen konnte dieser charakteristische Verlauf seit Beginn der Industrialisierung in den letzten 200 Jahren beobachtet werden und seit etwa 100 Jahren folgen auch viele Schwellen- und Entwicklungsländer diesem demografischen Verlauf. (vgl. Jöst 2002: 25f.; Davis 1945: 1ff.)



Quelle: Jöst 2002: 26

Die erste Phase, die auch als *prätransformative Phase* bezeichnet wird, beschreibt den Zustand in der traditionellen Gesellschaftsform, vor Beginn der Transformation. Diese Phase ist gekennzeichnet von sehr hohen Geburten- und Sterberaten. Dabei ist die Geburtenrate weitgehend stabil,

während die Sterberate auf einem hohen Niveau in Folge von Epidemien, Nahrungsmittelknappheit oder den politischen Rahmenbedingungen fluktuieren kann. Da die Geburtenrate weitgehend über der Sterberate liegt, steigt die Bevölkerungszahl langsam, aber stetig, an. (vgl. Jöst 2002: 25ff.; Coale 1989: 16ff.; Davis 1945: 1ff.)

Mit der einsetzenden Industrialisierung und Modernisierung der Gesellschaft steigt der allgemeine Lebensstandard. Nahrungsmittelverfügbarkeit, hygienischer Zustand sowie die medizinische Versorgung verbessern sich. Es folgt ein deutlicher Rückgang der Sterberaten, wohingegen die Geburtenraten zunächst noch weitgehend stagnieren. Die natürliche Wachstumsrate der Bevölkerung steigt in dieser Phase, die auch als *Phase des beschleunigten Wachstums* bezeichnet wird, erheblich an (siehe Abbildung 10). (vgl. ebd.)

Die *Phase des kontrahierenden Wachstums* setzt ein, wenn der zunehmende Wohlstand und die ökonomischen Bedingungen dazu führen, dass die Geburtenraten sinken (s. o.). Gleichzeitig stabilisiert sich die Sterberate auf einem niedrigen Niveau, sodass die Rate des Bevölkerungswachstums in dieser Phase zurückgeht. (vgl. ebd.)

In der letzten, *posttransformativen Phase* stabilisieren sich Geburten- und Sterberate langfristig auf einem niedrigen Niveau. In der Abbildung liegt die Geburtenrate geringfügig über der Sterberate, sodass weiterhin ein langsames Bevölkerungswachstum stattfindet. Dabei kann es je nach Konjunktur oder sonstigen äußeren Einflüssen zu Fluktuationen der Geburtenrate kommen. In einigen Staaten liegt die Geburtenrate längerfristig unter der Sterberate, sodass diese Staaten einen natürlichen Bevölkerungsrückgang verzeichnen. Bevölkerungszuwächse können dann nur noch über einen Zuwanderungsüberschuss erzielt werden. (vgl. ebd.; Martinez und Weyman 2017: 1ff.)

Die Zu- und Fortzüge einer Region werden auch als *räumliche Bevölkerungsbewegung* bezeichnet und vervollständigen die definitorische Gleichung der Bevölkerungsentwicklung. Zwar können auch für diese beiden Komponenten aus den Werten der Vergangenheit Raten berechnet werden, doch unterliegen sie in der Realität deutlich stärkeren Fluktuationen als die Geburten- und Sterberate. Zahlreiche äußere Einflüsse wie der Arbeitsmarkt, das Wohnraumangebot, ein bestimmtes Image oder politische Rahmenbedingungen können einen starken Einfluss auf das Wanderungsverhalten in einer Region haben. Somit können sich Zu- und Abwanderungszahlen relativ kurzfristig und weitgehend unabhängig von der natürlichen Bevölkerungsbewegung sehr deutlich und überraschend verändern. Daher empfiehlt es sich, insbesondere bei sehr langfristigen Bevölkerungsfortschreibungen mit unterschiedlichen Szenarien des Wanderungsverhaltens zu rechnen, um den Korridor möglicher Entwicklungen abzudecken. Das Statistische Bundesamt verwendet bei seinen koordinierten

3. Herausforderungen in Städten

Bevölkerungsvorausberechnungen, neben unterschiedlichen Annahmen zur Fertilität und Mortalität, eben auch Wanderungsszenarien und gibt insgesamt 30 verschiedenen Szenarien der Bevölkerungsentwicklung aus (vgl. Statistisches Bundesamt 2019: 15f.).

Charakteristisch für das Wanderungsverhalten ist, dass vorwiegend Industrienationen bzw. wirtschaftsstarke Regionen ein positives Wanderungssaldo, also einen Zuzugsüberschuss, aufweisen. Ausschlaggebend hierfür sind der im Allgemeinen höhere Lebensstandard und die bessere Aussicht auf eine Arbeitsstelle. Dadurch können diese Staaten, wie auch Deutschland, über mehrere Dekaden hinweg, das negative natürliche Saldo ausgleichen, sodass die Bevölkerungsentwicklung insgesamt leicht positiv verläuft. Dagegen weisen Entwicklungsländer und wirtschaftsschwache Regionen oftmals ein negatives Wanderungssaldo auf. (vgl. International Organization for Migration 2019: 23ff., 94f.) Ähnlich wie zwischen wirtschaftsstarke und wirtschaftsschwachen Ländern und Regionen verhält es sich auch zwischen städtischen und periphereren, ländlichen Räumen. Global wird die zunehmende Urbanisierung vielerorts durch ein auf die städtischen Agglomerationsräume gerichtetes Wanderungsverhalten aus den ländlichen Räumen gespeist. (vgl. ebd.: 81; United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2014: 7ff.)

3.2.2 Der Demografischer Wandel in Deutschland

Der Demografische Wandel in Deutschland ist ein langfristiger und vielschichtiger Prozess. Lokale Entwicklungen verlaufen dabei mitunter gegensätzlich zu bundesweiten Trends. Demzufolge empfiehlt es sich stets, die konkreten Effekte des Demografischen Wandels sehr kleinräumig zu betrachten, sofern Maßnahmen und Planungsentscheidungen davon abhängen. Um jedoch die grundsätzlichen Züge des Wandels zu erfassen und die dahinterliegenden Prozesse zu verstehen, genügt auch die regionale oder gar bundesweite Perspektive. In Medien, Politik und Öffentlichkeit werden die zentralen Trends des Demografischen Wandels oftmals in einer gängigen Kurzformel zusammengefasst (vgl. Schmitz-Veltin 2009: 11):

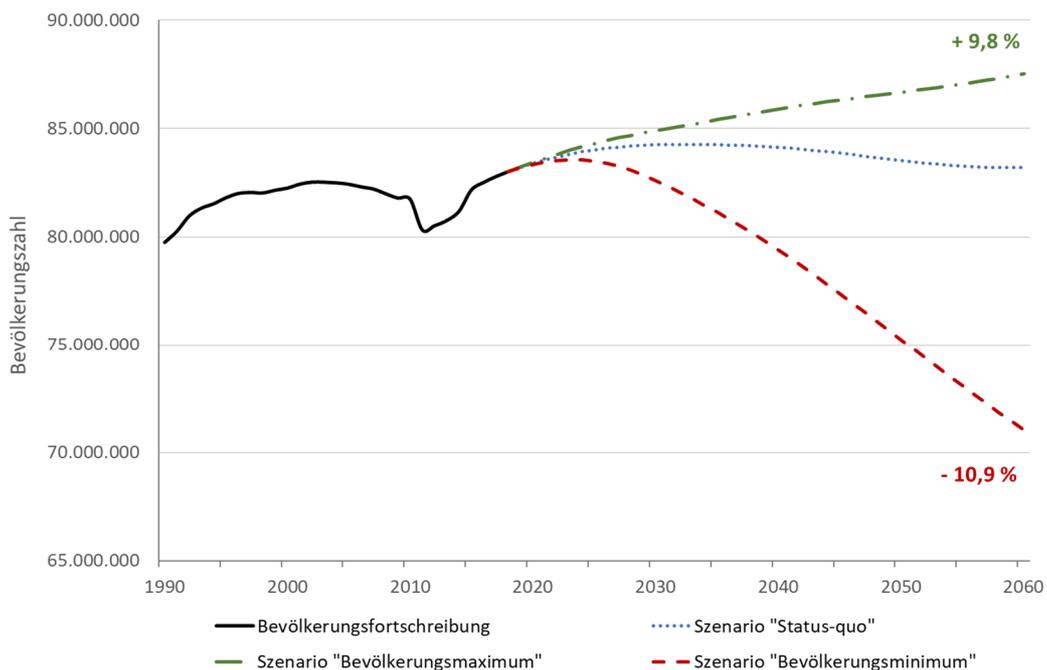
„Weniger, älter, bunter“

(Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 118; eigene Hervorhebung).

Auch wenn Studien, die sich mit dem Demografischen Wandel in Deutschland auseinandersetzen, nicht immer den gleichen Wortlaut oder die gleiche Reihenfolge der drei aufgeführten Adjektive verwenden, so sind es doch die damit beschriebenen Trends, die in vielen Publikationen als charakteristisch für den Demografischen Wandel beschrieben werden. (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 118–124; Schmitz-Veltin 2009: 15–19; Bucher 2007: 27f.; Hullen 2004: 15ff.)

Mit dem ersten Schlagwort ist der Rückgang der Bevölkerungszahl aufgrund der niedrigen Geburtenrate gemeint. „Älter“ beschreibt die Veränderung der Altersstruktur hin zu einem höheren Anteil älterer und hochbetagter Menschen, sodass das Durchschnittsalter steigt. „Bunter“ steht dagegen für die größere Vielfalt in der Gesellschaft. Primär wird darunter eine ethnisch-kulturelle Heterogenisierung verstanden, die sich aus den hohen Zuwanderungszahlen und somit der zunehmenden Internationalisierung ergibt. Immer mehr wird aber auch die Ausdifferenzierung der Lebensstile und der Wandel der Lebens-, Haushalt- und Familienformen unter diesem Stichwort gefasst. (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 118–124) HULLEN geht in seiner Beschreibung des Demografischen Wandels sogar noch weiter und hebt unter „Vereinzelung“ (Hullen 2004: 20) als eigenes Stichwort die Veränderung der Haushaltsformen als wichtigen Trend hervor. Zudem ergänzt er als fünftes Stichwort die „regionalen Disparitäten“ (ebd.: 22), also die regional und kleinräumig sehr unterschiedlichen Verläufe des Demografischen Wandels, die in vielen Veröffentlichungen bei der Charakterisierung der Wandelprozesse nur eine untergeordnete Rolle spielen. (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 118-124; Schmitz-Veltin 2009: 15-19; Bucher 2007: 27f.; Hullen 2004: 15ff.)

Abbildung 11: Bevölkerungsentwicklung in Deutschland 1990–2060



Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Website Destatis 4 & 9;

Anmerkung: Angaben in Prozent = Abweichung vom Stand 1990

Als primäres Kennzeichen des Demografischen Wandels in Deutschland wird in zahlreichen Veröffentlichungen als erstes der Bevölkerungsrückgang angeführt – also das „Weniger“. Die Bevölkerungsforschreibung des Statistischen Bundesamts zeigt, dass die Bevölkerungszahl in Deutschland im Jahr 2002 mit rund 82,5 Millionen Menschen einen vorläufigen Maximalwert erreicht hatte

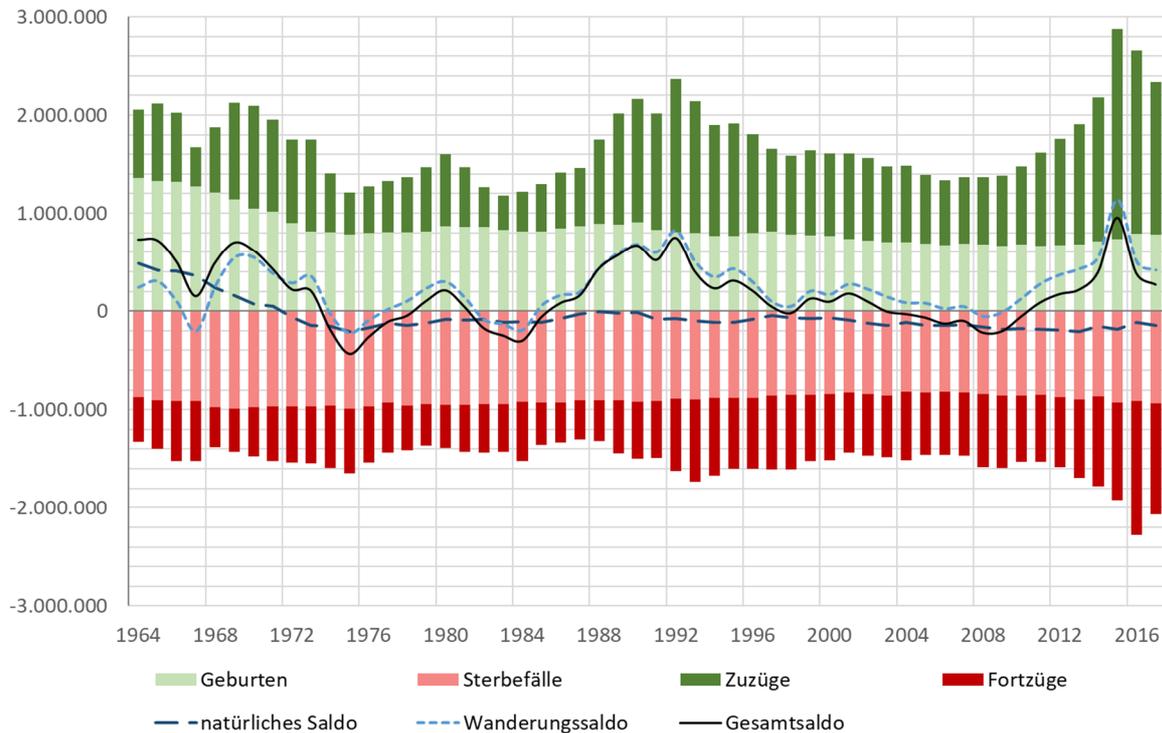
3. Herausforderungen in Städten

(siehe Abbildung 11). In den anschließenden Jahren konnte ein Bevölkerungsrückgang festgestellt werden. Ausschlaggebend dafür sind vor allem die niedrigen Geburtenkennziffern. Der Rückgang der Geburtenziffern hat sich in Deutschland, wie auch in weiten Teilen Europas, „in zwei Phasen, zwischen 1880 und 1920 (erster demografischer Übergang) sowie zwischen 1965 und 1975 (zweiter demografischer Übergang)“ (Bucher 2007: 29) vollzogen. Seitdem stagniert die Fertilitätsrate weitgehend bei einem Wert um 1,5 Kindern je Frau und damit deutlich unter dem natürlichen Reproduktionsniveau von 2,1 Kindern. Ein weiteres Absinken der, im internationalen Vergleich, eher niedrigen Fertilität ist künftig ebenso wenig zu erwarten wie ein deutlicher Anstieg (Hullen 2004: 15f.). Dass die Bevölkerungszahl trotz der niedrigen Fertilität seit dem zweiten demografischen Übergang, der oft auch als „Pillenknicke“ (Bucher 2007: 29) bezeichnet wird, noch knapp dreißig Jahre lang im Mittel angestiegen ist, lässt sich auf die Zuwanderungsüberschüsse zurückführen. Nach 2011 ist in Abbildung 11 wiederum ein kontinuierliches Wachstum der Bevölkerungszahl zu erkennen.

In der 14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung gibt das Statistische Bundesamt im Falle einer Stagnation der Komponenten der Bevölkerungsentwicklung auf dem Stand von Ende 2018 bis zum Jahr 2060 einen geringen Bevölkerungszuwachs auf rund 83,2 Millionen Menschen an. Je nach Prognosevariante reicht der Korridor der möglichen Entwicklungen bis zum Ende des Prognosezeitraums aber auch von einem stärkeren Anstieg auf 87,5 Millionen bis hin zu einem Rückgang auf etwa 71 Millionen Bundesbürger (-10,9 % gegenüber 1990; siehe Abbildung 11). Der Rückgang der Bevölkerungszahl als Folge des Demografischen Wandels trifft auf Deutschland also nur phasenweise zu. Dagegen sind die Geburtenzahlen dauerhaft zurückgegangen, sodass dieser Aspekt des „weniger“ auf Deutschland zutrifft.

Wie Abbildung 12 zu entnehmen ist, wanderten in den Jahren zwischen 1970 und 2000 im Schnitt jährlich rund 230.000 mehr Menschen nach Deutschland ein als auswanderten. Damit wurde die negative natürliche Bevölkerungsentwicklung ausgeglichen und sogar übertroffen. Gleichzeitig sank auch die Mortalität, sodass die Lebenserwartung von Männern und Frauen anstieg und so auch die negative Differenz zwischen Geburtenzahlen und Sterbefällen (= natürlicher Saldo) reduziert wurde. Die ab 2012 nochmals deutlich ansteigenden Zuwanderungszahlen haben zu einem erneuten Zuwachs der Bevölkerungszahl geführt, die 2017 sogar den Maximalwert von 2002 überschritten hat (siehe Abbildung 11). (vgl. Schmitz-Veltin 2009: 12; Bucher 2007: 29-31; Hullen 2004: 15-18)

Abbildung 12: Komponenten der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland (1964–2017)



Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Website Destatis 5–7;

Anmerkung: Aus Gründen der Anschaulichkeit sind die Sterbefälle und Fortzüge in der Abbildung als Negativwerte dargestellt. Aus der Multiplikation mit dem Faktor -1 ergeben sich die Realwerte.

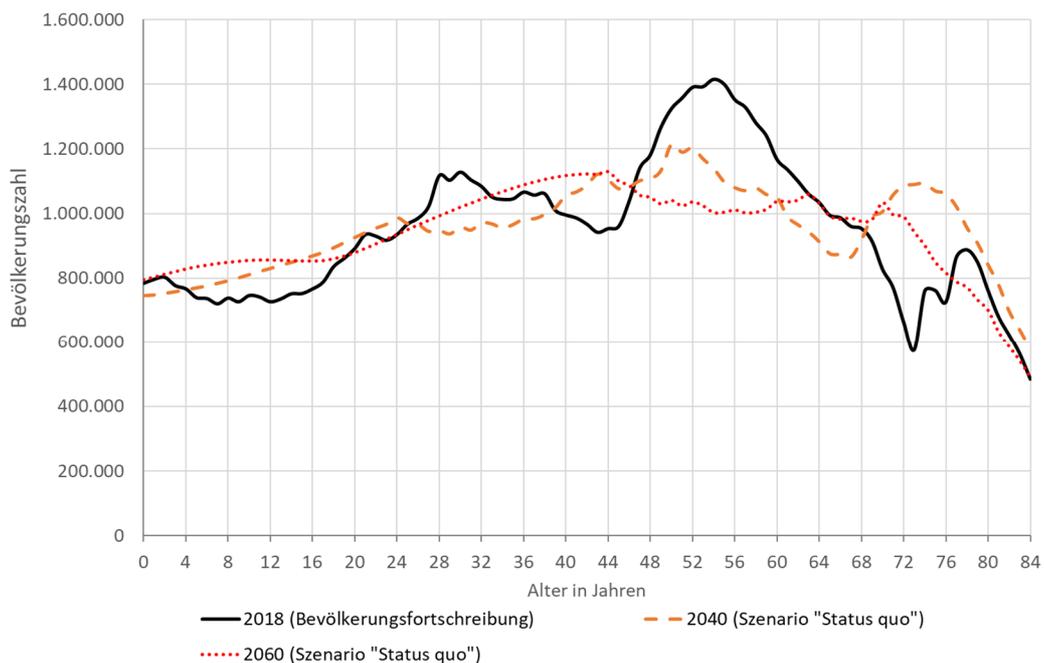
Der zweite wesentliche Trend des Demografischen Wandels in Deutschland ist die zunehmende Alterung der Gesellschaft. Der zuvor bereits beschriebene Rückgang der Geburtenzahlen sowie, in geringerem Maße, die steigende Lebenserwartung haben dazu geführt, dass sich die Altersstruktur geändert hat und auch zukünftig noch weiter ändern wird, sodass das Durchschnittsalter steigt. Dieser Effekt beeinflusst die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland aktuell in einem stärkeren Ausmaß als der generelle Bevölkerungsrückgang. Dabei weist der Rückgang der Geburtenzahlen einen Struktureffekt und einen Verhaltenseffekt auf: Der Struktureffekt, der sich derzeit besonders stark auswirkt, ergibt sich aus der inneren Zusammensetzung der Altersstruktur. Bedingt durch die geringen Geburtenzahlen und hohe Sterbezahlen während der beiden Weltkriege leben derzeit relativ wenige Hochbetagte in Deutschland (siehe Abbildung 13). In Deutschland folgten, wie auch in weiten Teilen Europas, in den Zeiten des wirtschaftlichen Aufschwungs nach dem 2. Weltkrieg besonders geburtenstarke Jahrgänge. Abbildung 13 zeigt, dass diese sogenannte *Babyboomer-Generation* inzwischen jedoch ein Alter von rund 50 Jahren und mehr erreicht hat. Sie befindet sich somit nicht mehr im reproduktionsfähigen Alter. Da durch den *Pillenknick* ab 1975 keine entsprechend starken Kohorten mehr nachfolgen, befinden sich immer weniger Frauen im gebärfähigen Alter, sodass durch diesen Struktureffekt entsprechend weniger Kinder geboren werden können, selbst wenn die

3. Herausforderungen in Städten

Fertilität hoch wäre. In Kombination mit dem Verhaltenseffekt (nur rund 1,5 Kinder je Frau), führt dies dazu, dass sich die beiden Effekte gegenseitig verstärken und somit immer weniger Kinder geboren werden, was sich auch aus der relativ geringen Zahl der 0 bis 15-Jährigen in der Abbildung ablesen lässt.

Da also die geburtenstarken Kohorten immer weiter altern, gleichzeitig aber verhältnismäßig wenig Kinder geboren werden, verändert sich das Verhältnis von junger zu alter Bevölkerung in der Gesellschaft. Als Kennwert wird hierzu in der Demografie häufig der *Altenquotient* herangezogen, der beschreibt, wie viele ab 65-Jährige auf 100 20- bis 64-Jährige kommen. Derzeit liegt der Altenquotient bei 35,9. Für 2060 wird im Status quo-Szenario der Bevölkerungsfortschreibung ein Wert von 42,9 prognostiziert (vgl. Website Destatis 4). Dies lässt sich auch aus der rot gepunkteten Linie in Abbildung 13 schließen, die die prognostizierte Altersstruktur für das Jahr 2060 darstellt. Welche Folgen dieser Effekt für die Gesellschaft und die Daseinsvorsorge hat, wird in den beiden folgenden Kapiteln beschrieben.

Abbildung 13: Altersstruktur in Deutschland 2018, 2040 und 2060



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: Website Destatis 4 & 9

Das *Bunterwerden* der Gesellschaft ist ein weiterer Effekt, der sich aus dem Demografischen Wandel ergibt. Der Begriff bezieht sich primär auf die zunehmende Internationalisierung der Gesellschaft. Da Deutschland ein Einwanderungsland ist und seit 1949 stets einen, periodisch mehr oder weniger starken, Zuwanderungsüberschuss aufweist (siehe Abbildung 12), hat die ethnisch-kulturelle Vielfalt in der Gesellschaft zugenommen. Im Jahr 2018 lebten rund 9,9 Millionen Personen mit

ausländischem Pass in Deutschland (etwa 12 % der Gesamtbevölkerung; vgl. Website BPB). Insbesondere in den letzten Jahren der hohen Flüchtlingszuwanderung ist dieser Wert von rund 7,2 Millionen Ende 2012 um knapp 40 % angewachsen. Davor hatte die Zahl der Ausländer über einen Zeitraum von 20 Jahren relativ stabil zwischen 6,5 und 7,3 Millionen Personen fluktuiert (vgl. Website Destatis 8). Hinzu kommen noch einmal rund 10,9 Millionen Deutsche mit Migrationshintergrund (vgl. Website BPB).

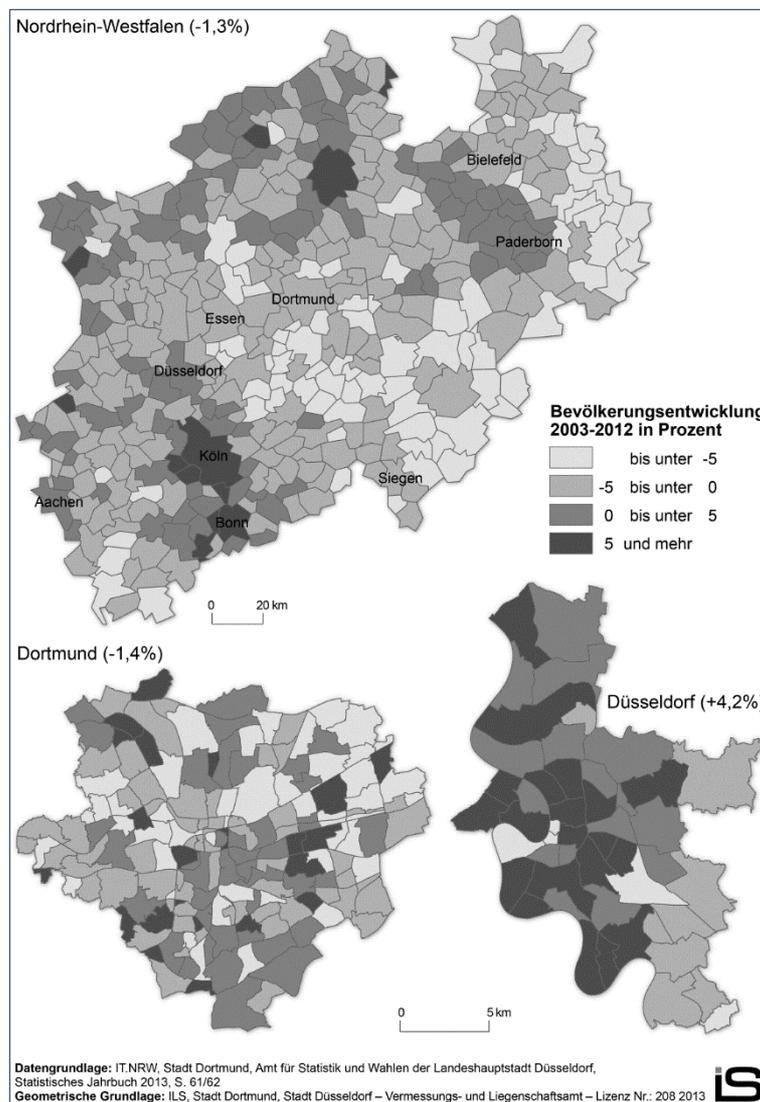
Neben der Internationalisierung bezieht sich das *Bunterwerden* aber auch auf eine allgemeine Heterogenisierung der Gesellschaft, die durch eine Diversifizierung der Lebensstile gekennzeichnet ist. Dazu gehört beispielsweise die zunehmende Singularisierung, also der Trend, dass immer mehr Haushalte nur eine Person umfassen. Dies ist einerseits auf die zunehmende Alterung der Gesellschaft und die dadurch bedingte höhere Quote an Verwitweten zurückzuführen. Andererseits weichen auch immer mehr Lebensstile und Haushaltsformen von der Normalbiographie ab, die noch bis ins dritte Viertel des 20. Jahrhunderts das familiäre Zusammenleben prägte: frühe Heirat und zwei bis drei Kinder je Familie. Im letzten Viertel des 20. Jahrhunderts gewannen auch nicht-eheliche Partnerschaften an Bedeutung und wurden gesellschaftlich besser akzeptiert. „Das Erstheiratsalter stieg an, die erste Geburt wurde hinausgezögert und der Anteil außerehelicher Geburten nahm zu“ (Gans und Leibert 2007: 23). Gingen in den Nachkriegsjahren noch mehr als 90 % der Frauen eine Ehe ein, sind es heute weniger als 75 % mit einer weiter sinkenden Tendenz. Die Zahl der Scheidungen steigt und die Familiengründung ist längst keine Selbstverständlichkeit mehr in der Biographie einer Frau (vgl. Meyer 2004: 62ff.). HULLEN geht davon aus, dass im Jahr 2040 etwa jeder zweite Haushalt von nur einer Person bewohnt wird. Im Jahr 1950 waren es nur 19,4 %. Die Zahl der Haushalte mit drei oder mehr Personen wird gemäß seinen Berechnungen von rund 12 Millionen (ca. 30 % aller Haushalte) im Jahr 2000 auf gut 5 Millionen (ca. 15 %) im Jahr 2040 sinken. (vgl. Hullen 2004: 20ff.) Auch die zunehmende räumliche Mobilität der Bevölkerung trägt zur Ausdifferenzierung der Lebensstile bei. Multilokale Lebensarrangements an verschiedenen Orten erhöhen in der Statistik die Zahl an Einpersonenhaushalten und wirken sich auf die Familienplanung aus. (vgl. Dittich-Wesbuer et al. 2015: 124; Hillenbrand et al. 2010: 12ff.; Bucher 2007: 27ff.; Hullen 2004: 18ff.; Meyer 2004: 58ff.)

Eine weitere Charakteristik des *Bunterwerdens* der Gesellschaft ist die räumliche Heterogenität des Demografischen Wandels. Die zuvor aufgezeigten Trends lassen sich zwar in der Gesamtheit der Bevölkerung in Deutschland und auch vielen anderen europäischen Staaten (vgl. Gans und Leibert 2007), erkennen, sind aber kleinräumig stark unterschiedlich und mitunter gegenläufig ausgeprägt.

3. Herausforderungen in Städten

Insbesondere auf Quartiersebene können unterschiedliche Einflussfaktoren wie das Image oder die Wohnraum- und Arbeitsplatzverfügbarkeit die demografische Entwicklung beeinflussen. Wie auch Abbildung 14 exemplarisch für Nordrhein-Westfalen und die Städte Köln und Dortmund zeigt, liegen Wachstum und Schrumpfung innerhalb einer Region und auch innerhalb einer Kommune oftmals dicht nebeneinander. Bei der Analyse der konkreten Auswirkungen des Demografischen Wandels sollten demzufolge immer seine lokalspezifischen Ausprägungen berücksichtigt werden. (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 124; Schmitz-Veltin 2009: 19ff.; Gatzweiler und Maretzke 2008: 17ff.; Hullen 2004: 22ff.)

Abbildung 14: Räumliche Heterogenität der Bevölkerungsentwicklung in Nordrhein-Westfalen



Quelle: Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 120

3.2.3 Folgen für technische Infrastrukturen

Technische Infrastrukturen weisen, vor allem wenn es sich um leitungsgebundene Infrastrukturen (siehe Kapitel 2.3.1) handelt, einen sehr konkreten Ortsbezug auf. Sie werden auf eine bestimmte Zahl an Nutzern ausgelegt, die sich in einem um die Infrastruktur liegenden Einzugsbereich befinden können. Aufgrund ihrer physischen Ortsgebundenheit können technische Infrastrukturen kaum flexibel an demografische Veränderungen angepasst oder räumlich verlagert werden. Hinzu kommen Punktinfrastrukturen, die zentrale Versorgungsaufgaben übernehmen. All diese technischen Infrastrukturen haben Bemessungskennwerte, die ihre Mindest- und Maximalauslastung beschreiben. Sie sind prozess- und betriebsbedingt nicht beliebig skalierbar. Dementsprechend wirken sich deutliche Änderungen der Bevölkerungszahl und -struktur meist negativ auf die Funktionsfähigkeit dieser Infrastruktursysteme aus. Da die Grundversorgung der Bevölkerung sicherzustellen ist, können bei rückläufigen Bevölkerungszahlen, Leerständen oder Brachen nicht einfach Einzelelemente aus dem Gesamtsystem entnommen oder abgeschaltet werden, da dadurch mitunter die Funktion des Gesamtsystems eingeschränkt wird. Neben der technisch-baulichen Pfadabhängigkeit führt der Remanenzkosteneffekt (siehe Kapitel 2.5) dazu, dass auch die Kostenstruktur technischer Infrastrukturen nur in sehr geringem Maße kurzfristig an rückläufige Bevölkerungszahlen angepasst werden kann. Meist steigen bei sinkender Bevölkerungszahl sogar die Pro-Kopf-Kosten. (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 125ff.; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2013: 19ff.; Siedentop 2011: 162ff.; Ishorst 2009: 53ff.; Westphal 2008: 214ff.)

Die räumliche Heterogenität der Bevölkerungsentwicklung im Demografischen Wandel führt in vielen Gemeinden, trotz insgesamt rückläufiger Bevölkerungszahlen, zu einer Siedlungsflächenzunahme. Das enge Nebeneinander von Wachstum und Schrumpfung bewirkt in den Kommunen, dass in der kommunalen Konkurrenz um Einwohner in Quartieren mit hoher Wohnraumnachfrage neue Siedlungsflächen ausgewiesen und infrastrukturell erschlossen werden, obwohl mitunter in angrenzenden Quartieren Leerstände vorhanden sind. Trotz des Remanenzkosteneffekts im Bestand wachsen in vielen Kommunen die Leitungsnetze weiter an. Da neue Siedlungsflächen, die überwiegend durch Ein- und Zweifamilienhäuser geprägt sind, meist geringe Siedlungsdichten aufweisen, sinkt insgesamt die Einwohnerzahl je Siedlungsfläche. Durch Leerstände und das Ausdünnen von vorhandenen Siedlungsstrukturen kann es zu Entdichtung und Dispersion der Siedlungsflächen kommen. Infrastrukturtechnisch bedeutet dies einen erhöhten Aufwand an Leitungsmetern je angeschlossenen Einwohner, was höhere Pro-Kopf-Kosten zur Folge hat. In der internationalen Literatur werden die zunehmende Entdichtung und Dispersion sowie die daraus folgenden Kosten auch unter dem Begriff „Urban Sprawl“ (Siedentop 2005: 23) diskutiert. (vgl. Burchell et al. 2005: 11ff.)

3. Herausforderungen in Städten

Zurückzuführen ist dieses Phänomen nicht nur auf die Siedlungsflächenausweisungen, sondern auch auf die rückläufigen Haushaltsgrößen im Demografischen Wandel. (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 118ff.; Siedentop 2011; Westphal 2008)

Eine Folge des Demografischen Wandels, die explizit die Abwasserinfrastruktur bzw. die Abwasserreinigung betrifft, ergibt sich aus der Alterung der Bevölkerung. Der medizinische Fortschritt ermöglicht eine höhere Lebenserwartung, führt aber auch zu einer höheren Medikamentennutzung, vor allem im Alter. Im Abwasser wurde daher eine zunehmende Konzentration an Medikamentenrückständen festgestellt, die potenziell schädlich sein können, wenn sie in natürliche Gewässer, das Grund- oder Trinkwasser gelangen. Da konventionelle, dreistufige Kläranlagen die Mikroschadstoffe nicht aus dem Abwasser filtern können, sind zusätzliche Reinigungsschritte erforderlich. (vgl. Hillenbrand et al. 2010: 68ff.)

3.2.4 Folgen für soziale Infrastrukturen

Auch soziale Infrastrukturen werden zukünftig von den skizzierten Entwicklungstrends des Demografischen Wandels betroffen sein, da sie auf gesellschaftliche Anforderungen und die Nachfrage reagieren. Es gibt eine große Zahl sozialer Infrastruktureinrichtungen, die sowohl von öffentlicher Hand, als auch von Privatakteuren betrieben werden. Allein die sozialen Infrastrukturen der öffentlichen Hand reichen von Rettungsdiensten über die Gerichtsbarkeit und den Strafvollzug bis hin zu Hochschulen, Kultur- und Sportstätten, diversen Betreuungseinrichtungen oder dem Bestattungswesen (vgl. Siedentop et al. 2006: 36). Im Rahmen dieses Kapitel erfolgt lediglich ein Überblick über die Entwicklung unterschiedlicher Altersgruppengrößen und die exemplarische Beschreibung möglicher Folgen für ausgewählte soziale Infrastrukturen.

Da es sich bei sozialen Infrastrukturen im Allgemeinen um Punktinfrastrukturen handelt, weisen sie in den meisten Fällen einen größeren Einzugsbereich auf als leitungsgebundene, technische Infrastrukturen. Dementsprechend reagieren sie größtenteils weniger sensibel auf kleinräumige Verlagerungen der Bevölkerung. Dafür sind sie weitaus stärker von der Veränderung der Altersstruktur betroffen, als technische Infrastrukturen. Die meisten sozialen Infrastrukturen weisen einen starken Bezug zu bestimmten Altersgruppen auf. So dienen zum Beispiel Kindertagesstätten der Tagesbetreuung von Kleinst- und Kleinkindern unter dem schulpflichtigen Alter. Schulen werden von Kindern und Jugendlichen im schulpflichtigen Alter besucht. Altenpflegeeinrichtungen sind dagegen auf die Betreuung von älteren Menschen und Hochbetagten ausgerichtet und auch die medizinische Versorgung (Ärzte, Krankenhäuser, Apotheken) wird tendenziell stärker mit zunehmendem Alter beansprucht. Das bedeutet aber nicht, dass alle sozialen Infrastrukturen ausschließlich nur für bestimmte

Altersgruppen zugänglich sind. Bildungseinrichtungen abseits der schulischen Bildung sind für alle Altersgruppen offen, Pflegeeinrichtungen und die gesundheitliche Versorgung stehen ebenfalls für die gesamte Bevölkerung zur Verfügung. (vgl. Bürkner et al. 2007: 48ff.)

Tabelle 2: Entwicklung verschiedener Altersgruppengrößen in Deutschland (1990 - 2060)

| Altersgruppe | 1990 | 2018 | 2035 | 2060 |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 0–6 Jahre (Kleinkinder) | 6.187.412 | 5.402.875 | 5.357.000 | 5.733.000 |
| 7–18 Jahre (Schüler) | 10.076.082 | 9.030.315 | 10.229.000 | 10.242.000 |
| 26–39 Jahre (Familiengründer) | 17.506.564 | 14.872.688 | 13.788.000 | 14.650.000 |
| 65+ Jahre (Senioren) | 11.912.140 | 17.883.532 | 21.978.000 | 19.916.000 |
| 85+ Jahre (Hochbetagte) | 1.129.557 | 2.277.509 | 2.865.000 | 3.230.000 |
| Gesamtbevölkerung | 79,75 Mio. | 83,02 Mio. | 84,26 Mio. | 83,2 Mio. |

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: Website Destatis 4 & 9

(Prognosevariante: Status quo)

Die in der Vergangenheit rückläufigen Kinder- und Schülerzahlen haben zu Unterauslastungen in zahlreichen Kindertagesstätten und Schulstandorten und infolgedessen auch zu Standortschließungen geführt. Insbesondere Grundschulen mit kleinerem Einzugsbereich waren davon betroffen. Aktuelle Prognosen des Statistischen Bundesamtes zeigen jedoch wieder zunehmende Kinder- und Schülerzahlen bis Mitte des Jahrhunderts (siehe Tabelle 2), sodass mitunter Bedarf für zusätzliche Angebote entstehen kann. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass sich die Zahl der älteren Menschen, die Pflegeeinrichtungen in Anspruch nehmen werden, erhöhen wird. Entsprechende Pflegekapazitäten sind dann bereitzustellen. Beide Trends haben gemein, dass sie tendenziell im ländlichen Raum schwerwiegendere Folgen haben werden als in den Städten, wo eine höhere Angebotsdichte gegeben ist. Abseits der Städte muss davon ausgegangen werden, dass sich die beiden Entwicklungen aufgrund der sinkenden Bevölkerungsdichte relativ stark niederschlagen und der Handlungsdruck zur Aufrechterhaltung der Daseinsvorsorge besonders hoch ausfällt. Die wirtschaftliche Tragfähigkeit der Einrichtungen steht dort mitunter dem Ziel eines räumlich möglichst gleichwertigen Versorgungsangebot entgegen. Doch auch insgesamt zeigen die in Tabelle 2 dargestellten Entwicklungen der Altersgruppengrößen, dass auf die sozialen Infrastrukturen deutliche Veränderungen ihrer Nutzerzahlen zukommen, die Anpassungsmaßnahmen erforderlich machen, um dem Anspruch gleichwertiger Lebensverhältnisse in allen Teilregionen Deutschlands (vgl. § 1 II ROG) auch langfristig gerecht werden zu können. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2013: 20ff.; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 2011; Bürkner et al. 2007: 48ff.)

3. Herausforderungen in Städten

Wenngleich die 14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes, die in diesem Kapitel skizzierten Entwicklungen der Altersstruktur, die bis 2060 mitunter sehr deutlich ausfallen können, voraussagt und von einem entsprechenden Handlungsdruck auf die Daseinsvorsorge in den Kommunen auszugehen ist, sollte auch die langfristige Perspektive über 2060 hinaus bei der Maßnahmenentwicklung berücksichtigt werden. Eindimensionale Maßnahmen des Angebotsrückbaus bzw. der Angebotserweiterung könnten bis Ende des Jahrhunderts zu deutlichen Unterauslastungen führen. Das Beispiel der Entwicklung der Schülerzahlen zeigt, dass sich Trends auch innerhalb weniger Jahre umkehren können. Wie in Tabelle 2 zu erkennen ist, erreicht die Zahl der über 65-Jährigen um 2035 und in den folgenden Jahren einen Hochpunkt, dem aber keine annähernd gleichstarken Kohorten nachfolgen werden (siehe auch Abbildung 13). Dementsprechend muss davon ausgegangen werden, dass sich die Zahl der Alten und Hochbetagten bis Ende des Jahrhunderts wieder deutlich reduzieren und die Nachfrage nach Altenpflegeeinrichtungen und altersbezogenen Dienstleistungsangeboten sinken wird.

3.2.5 Weitere Folgen des Demografischen Wandels für die Gesellschaft

Neben den städtischen Infrastrukturen sind auch weitere Handlungsfelder der Stadtentwicklung und des gesellschaftlichen Zusammenlebens von den Konsequenzen des Demografischen Wandels betroffen. Die Heterogenisierung der Gesellschaft und insbesondere die Veränderungen der Haushaltsgrößen und Haushaltsformen führen zu Veränderungen der Nachfrage auf den Wohnungsmärkten. Ein höherer Anteil an Ein- und Zwei-Personenhaushalten bedeutet, dass tendenziell kleinere Wohnungen und seltener Ein- oder Zweifamilienhäuser nachgefragt werden. Gleichzeitig steigt aufgrund Zunahme der Haushaltszahlen die Summe der insgesamt nachgefragten Wohnfläche. Es gilt: je kleiner die Haushaltsgröße, desto größer der Wohnflächenbedarf pro Person. Erst nach 2020 ist eine Trendumkehr zu erwarten, die zu einer insgesamt rückläufigen Wohnflächennachfrage führen dürfte. (vgl. Just 2009: 48ff.; 75f. Bürkner et al. 2007: 41ff.) Die Ausdifferenzierung der Lebensstile und Haushaltsformen erfordert auch eine qualitative Anpassung des Wohnraumangebots in Form von neuen, innovativen Wohnkonzepten (z. B. Mehrgenerationenhäuser, Shared Housing, Flex Homes, Tiny Houses). Multilokale Wohnarrangements werden tendenziell an verkehrsgünstigen, zentrumsnahen Wohnstandorten realisiert, sodass sich die Nachfrage auch räumlich verschieben kann. Auch die Alterung der Gesellschaft erfordert eine Anpassung des Wohnraums im Sinne des altersgerechten Wohnens. Gleichzeitig können andere Wohnraumtypen aufgrund des Bevölkerungsrückgangs und insbesondere des Rückgangs größerer Haushalte in Zukunft von Nachfragerückgängen und zunehmenden Leerständen betroffen sein. Derartige Veränderungen auf den Wohnungsmärkten können sich wiederum auf die lokale Nachfrage nach technischen und sozialen

Infrastrukturen auswirken. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2013: 20ff.; Just 2009: 80ff. Bürkner et al. 2007: 48ff.)

Auch auf den Arbeitsmarkt kann sich der Demografische Wandel negativ auswirken. So wurde in einer Studie der Bertelsmann Stiftung berechnet, dass das Erwerbspersonenpotenzial in Deutschland bis 2060 um etwa ein Viertel gegenüber dem Ausgangswert 2010 zurückgehen wird (2010: 43,8 Mio.; 2060: 32 Mio.), wenn der alterungsbedingte Arbeitskräfteverlust nicht durch zusätzliche Migration ausgeglichen wird (vgl. Buslei et al. 2018: 13ff.). Der daraus folgende Fachkräftemangel sowie die zu erwartenden Mindereinnahmen im Steuer- und Rentensystem stellen enorme Herausforderungen für die Wirtschaft und das Sozialsystem dar. Die rückläufige Zahl der Erwerbstätigen wird die deutlich steigenden Ausgaben der sozialen Sicherungssysteme, Gesundheitsleistungen und Alterssicherung finanzieren müssen. WERDING hat berechnet, dass bei einem unveränderten Steuersystem die Sozialversicherungsbeiträge von durchschnittlich etwa 40 % des Einkommens (2018) auf rund 55 % des Einkommens im Jahr 2060 steigen müssten, um die Finanzierung zu gewährleisten. Dabei werden die staatlichen Sozialausgaben nicht vollständig durch die Sozialabgaben gedeckt, sodass zusätzlich zu steigenden Sozialversicherungssätzen ein zunehmendes Defizit im Primärsaldo des Staatshaushalts zu erwarten ist. Dieses Defizit könnte bis 2080 auf 10 % anwachsen, was eine exponentiell steigende staatliche Verschuldung zur Folge hätte. (vgl. Werding 2018: 13–20)

Ein demografischer Kennwert aus dem sich Rückschlüsse auf die skizzierten Herausforderungen für den Arbeitsmarkt und die Finanzierung des Staatshaushalts ziehen lassen ist der Abhängigenquotient. Er beschreibt das Verhältnis der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter (20–64 Jahre) zur restlichen Bevölkerung (unter 20 und über 64 Jahren), für die keine Erwerbsfähigkeit angenommen wird. Der Wert wird je 100 Erwerbspersonen angegeben und beschreibt somit, wie viele Jugendliche und ältere Menschen von 100 Erwerbspersonen im Durchschnitt über die Sozialbeiträge finanziert werden müssen. Der Wert betrug in Deutschland im Jahr 1990 noch 57,8 und ist bis zum Jahr 2018 bereits auf 66,6 abhängige Personen je 100 Erwerbspersonen angestiegen. Je nach Prognosevariante wird bis zum Jahr 2060 mit einem Anstieg des Abhängigenquotients auf 79,2 gerechnet (Variante: Status quo). Der Anstieg des Quotienten um rund 37 % in 70 Jahren stellt eine große Herausforderung für die Finanzierbarkeit der staatlichen Sozialleistungen und insbesondere der staatlichen Altersversorgung dar. (vgl. Website Destatis 4 & 9)

Des Weiteren stellt der Demografische Wandel insbesondere auch für die kommunale Verwaltung eine Herausforderung dar. Bei rückläufigen Einwohnerzahlen müsste auch die Zahl der Verwaltungsmitarbeiter reduziert werden, um die Pro-Kopf-Ausgaben für die Verwaltung konstant zu halten.

3. Herausforderungen in Städten

Gleichzeitig steigt aber im Demografischen Wandel, wie schon skizziert, die Komplexität und Vielfalt der Aufgaben in der kommunalen Selbstverwaltung. Gewisse Mindestgrößen einer Kommunalverwaltung sind erforderlich, damit die Aufgaben auf einem angemessenen Niveau bewältigt werden können. Insbesondere in stark schrumpfenden, peripheren Räumen ist die Aufrechterhaltung der kommunalen Selbstverwaltung daher oftmals auch eine Kostenfrage, sodass immer mehr Verwaltungsaufgaben auf die Kreisebene übertragen werden. Dies geht wiederum mit Einschränkungen der Erreichbarkeit und Zugänglichkeit für die Bevölkerung einher. Stadtplanung im Demografischen Wandel steht also nicht nur vor der Herausforderung langfristige, kostenintensive Planungsentscheidungen unter unsicheren Rahmenbedingungen treffen zu müssen, sondern auch das im Zuge des Demografischen Wandels kein Spielraum für eine Erweiterung der Planungskapazitäten zur Anpassung an die zunehmenden Herausforderungen besteht.

3.3 Weitere Rahmenbedingungen und Herausforderungen

Neben dem Klimawandel und dem Demografischen Wandel gibt es noch weitere Rahmenbedingungen, die die Entwicklung von Städten beeinflussen und aus denen sich neue, mitunter unerwartete Herausforderungen ergeben können (siehe Abbildung 6, S. 71). Im Sinne eines holistischen Resilienzverständnisses sollte eine Stadt auf Herausforderungen aus all diesen Bereichen vorbereitet sein, d. h. sie sollten im Planungsprozess berücksichtigt werden. Da die in diesem Unterkapitel aufgeführten Rahmenbedingungen jedoch im weiteren Verlauf der Arbeit nur eine nachgeordnete Rolle einnehmen, erfolgt ihre Darstellung in verkürzter Form. Ziel des Kapitels ist ein Überblick über die weiteren Herausforderungen, denen Städte potenziell ausgesetzt sein können. Verallgemeinert werden mögliche Folgen beschrieben, ohne jedoch tiefergehend die Entstehungsursachen oder das räumliche Auftreten der Herausforderungen zu erläutern. Für tiefergehende Informationen wird auf die jeweils angegebene Literatur verwiesen.

Einen guten thematischen Zugang zu den Globalen Megatrends und den sich daraus ableitenden Herausforderungen für Politik und Stadtplanung liefern die Hauptgutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Diese umfassenden Berichte erscheinen etwa im zweijährigen Rhythmus und widmen sich jeweils schwerpunktmäßig einem aktuellen Thema, das sich aus den globalen Megatrends ergibt, wie beispielsweise Umweltrisiken (1998), Nachhaltigkeit (2003), Transformation (2011) oder Digitalisierung (2019). Dabei werden sowohl die globalen Entwicklungen, als auch die konkreten Auswirkungen in Deutschland dargestellt und Handlungsansätze aufgezeigt. (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2019; Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

2011; Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2003; Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999)

3.3.1 Geohazards

Neben den meteorologischen Naturgefahren, die direkt (Temperaturextrema, Starkregen, Überschwemmungen) oder indirekt (Dürre, Hochwasser, Sturmereignisse) auf den Klimawandel zurückzuführen sind, können auch geophysische Naturgefahren eine große Herausforderung für Städte darstellen. In der internationalen Debatte werden unter dem Begriff *Geohazards* gemeinhin Erdbeben, Tsunamis, Erdrutsche, Erdabsenkungen, Vulkanausbrüche und Meteoriteneinschläge zusammengefasst (vgl. Tiefenbacher 2014: 337). Als langfristiger Geohazard wird seltener auch die Bodenerosion den Naturgefahren zugeordnet (vgl. ebd.).

Die Häufigkeit des Auftretens von Geohazards ist im Vergleich zu anderen Naturgefahren meist eher gering. Dafür ist die Wahrscheinlichkeit von Objektschäden und Gefahren für Leib und Leben bei den meisten geophysischen Naturgefahren besonders hoch, sodass das Risiko eines katastrophalen Ereignisses besteht (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999: 151f.).

Erdbeben und Tsunamis gehören zu den seismischen Ereignissen, die durch unterirdische Erdbewegungen ausgelöst werden. Die potenzielle Schadenshöhe eines Erbebenereignisses ist von der Stärke des Primärereignisses und der Anfälligkeit (Vulnerabilität, siehe Kapitel 4) der betroffenen Region abhängig. Erdbeben als solche stellen für den Menschen keine ernsthafte Gefahr dar. Die Gefahr besteht in der Zerstörung baulicher Strukturen, die durch Einsturz zu Verletzungen oder dem Tod führen können. Zudem kann die Zerstörung der baulichen Strukturen auch weitere negative Folgen nach sich ziehen, wenn beispielsweise kritische Infrastrukturen zerstört werden. Erdbeben in Meeren (Seebeben) lösen, abhängig von ihrer Stärke, eine Flutwelle aus, die als Tsunami auf Landmassen treffen und dort erhebliche Überschwemmungen und Schäden verursachen kann. Dass mit Erdbeben und Tsunamis ein erhebliches Gefahrenpotenzial für Menschen einhergeht, lässt sich auch daran erkennen, dass im 20. Jahrhundert von weltweit rund vier Millionen Todesopfern aufgrund von Naturgefahren knapp 1,5 Millionen Menschen Opfer eines Erdbebens oder eines Tsunamis wurden (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999: 151f.).

Bei Massenergebnissen, wie Erdrutschen und Erdabsenkungen, handelt sich um lokale Ereignisse, die aufgrund der örtlichen Bodengegebenheiten entstehen können. Oftmals ereignen sie sich im Zusammenhang mit länger anhaltenden, stärkeren Regenfällen, die den Boden aufweichen oder

3. Herausforderungen in Städten

durch das Sickerwasser bestimmte Bodenhorizonte unterspülen. Ebenso können sie durch Erdbeben ausgelöst werden. Zwar sind die Zahl der Todesfälle und die Schäden deutlich geringer, als beispielsweise bei Erdbeben, jedoch haben sie eine deutlich größere räumliche Verteilung, als seismische Naturgefahren. Erdbeben können grundsätzlich in allen Räumen auftreten, die durch eine gewisse Reliefenergie geprägt sind und Erdabsenkungen können prinzipiell überall auftreten, wo die geologischen Gegebenheiten die Voraussetzungen dafür bieten. Die hohe Bebauungsdichte in Städten führt diesbezüglich zu einem sehr hohen Schadenspotenzial. (vgl. Plag et al. 2015: 20ff.; Salichon et al. 2007: 20f.)

Vulkanische Aktivitäten und Vulkanausbrüche stellen weitere geophysische Naturgefahren dar, die Städte bedrohen können. Das grundsätzliche Auftreten, die Häufigkeit und das Ausmaß hängen jedoch stark von den regionalen geologischen Gegebenheiten ab. Allein im 20. Jahrhundert sind durch Vulkanausbrüche und deren Folgen rund 77.000 Menschen ums Leben gekommen (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999: 152). Die Gefahr geht dabei nicht allein von den, mit dem Ausbruch verbundenen, direkten Auswirkungen, wie Erderschütterungen, Lavaflüsse und vom Himmel fallende Lava- und Gesteinsbrocken, aus. Auch die Staub- und Aschepartikeln, die in die Atmosphäre geschleudert werden, können weitreichende Folgen haben. Neben Atemwegserkrankungen sind, je nach Dimension des Ausbruchs, auch längerfristige Konsequenzen für das lokale bis globale Klima zu befürchten, wenn Aschepartikel bis in die Stratosphäre (ca. 11 bis 50 km Höhe) geschleudert werden und dort verbleiben. Der Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull auf Island im Jahr 2010 hat verdeutlicht, wie weitreichend schon ein mittelstarker Ausbruch (Kategorie 4 von 9) sein kann und wie vulnerabel der europäische Flugverkehr demgegenüber ist (vgl. Plag et al. 2015: 27). (vgl. Plag et al. 2015: 24ff.; Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999: 151ff.)

Meteoriteneinschläge weisen als Geohazards ein enormes Schadenspotenzial auf, wenn sie dicht besiedelte Regionen treffen. Ähnlich wie bei Vulkanausbrüchen liegt ein Großteil der Gefahr nicht allein in den direkten Effekten, sondern auch in den Folgeeffekten (z. B. Feuer, Aschewolken, Tsunamis). Die Wahrscheinlichkeit eines katastrophalen Meteoriteneinschlags ist allerdings sehr gering. (vgl. ebd.)

3.3.2 Weitere Naturgefahren

Großflächige Waldbrände entstehen vor allem dann, wenn hohe Trockenheit und starke Winde aufeinandertreffen. Längere Trockenperioden und veränderte Luftströmungen im Zuge des anthropogenen Klimawandels erhöhen die Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen dieser

Voraussetzungen. Allerdings lassen sich die meisten Waldbrände auf einen menschlichen Auslöser bewussten oder fahrlässigen Ursprungs zurückführen. Die Konsequenzen eines Waldbrandes können katastrophale Ausmaße annehmen. Neben den ökologischen Schäden am Wald als Ökosystem können auch Sachschäden an baulichen Strukturen und Gebäuden in der Region sowie gesundheitliche Schäden für Menschen entstehen, die sich in der Region aufhalten. Zwar gibt es infolge von Waldbränden relativ wenig Todesopfer, doch sind aufgrund der vielfach großen Flächigkeit vergleichsweise viele Menschen vom Feuer direkt oder von der Raumentwicklung betroffen. (vgl. Kreibich et al. 2014: 7). (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999: 165f.)

Eine weitere Naturgefahr, deren Wahrscheinlichkeit durch den anthropogenen Klimawandel erhöht wird, die aber ebenso auch natürlich auftreten kann, sind Hochwasser. Durch besonders langanhaltende oder sehr starke Niederschläge sowie durch starke Schnee- oder Gletscherschmelze in den Gebirgen können Flusshochwasser entstehen. Hochwasser in den Küstenbereichen kommen dagegen eher durch langanhaltende Stürme zustande, die das Meerwasser in Richtung Küste aufstauen (Sturmfluten). Auch die Art und Weise der menschlichen Landnutzung kann das Hochwasserrisiko erhöhen. (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999): 149ff.) Mit durchschnittlich knapp 100 Millionen betroffenen Personen pro Jahr (Zeitraum 1980–2008) sind Hochwasser die Naturgefahr, von denen die meisten Menschen betroffen sind, auch wenn Dürren mehr Todesopfer fordern und Zyklone höhere Schäden verursachen (vgl. Plag et al. 2015: 21). (vgl. Kreibich et al. 2014: 7)

3.3.3 Wirtschaftliche Entwicklungen

Nachdem der Resilienzdiskurs lange Zeit stark durch die Klimafolgen und Naturgefahren als Herausforderungen des Mensch-Umwelt-Systems Stadt geprägt war, hat sich in den letzten Jahren ein ganzheitliches Resilienzverständnis etabliert. Dieses bezieht sich auf die unterschiedlichen Teilbereiche einer Stadt mit ihren jeweils spezifischen funktionalen Zusammenhängen und entsprechend unterschiedlichen Herausforderungen. So verdeutlichen Publikationen aus den Disziplinen Wirtschaftsgeographie oder regionale Wirtschaftsforschung, dass auch wirtschaftliche Entwicklungen Herausforderungen für eine resiliente Stadt darstellen können. (z. B. Strambach und Klement 2016: 263ff.; Martin und Sunley 2015: 1ff.; Jakubowski et al. 2013: 351ff.; Martin 2012: 1ff.)

Im komplexen System Stadt ist auch die Wirtschaft ein Teilsystem, das auf vielfältige Weise mit den anderen Teilsystemen vernetzt ist und unterschiedliche Funktionen erfüllt (siehe Kapitel 2.3.1). Insofern stellen ökonomische Krisen mit potenziellen Arbeitsplatzrückgängen immer auch eine große

3. Herausforderungen in Städten

Herausforderung für die Grundbedürfnisbefriedigung in einer Stadt dar. In Regionen mit einem großen Anteil an exportorientierter Wirtschaft entstehen Wirtschaftskrisen vornehmlich infolge rezessiver Schocks, wohingegen regionale Strukturbrüche als schleichende Veränderungen eher Regionen betreffen, in denen die Wirtschaftsstruktur von wenigen zentralen Branchen getragen wird. (vgl. ebd.)

Vor allem für Arbeitnehmer als Produzenten und Konsumenten von Wirtschaftsgütern hat eine solche Krise weitreichende Folgen. Eine hohe Arbeitslosenquote kann zur Folge haben, dass zahlreiche Bewohner die Region auf der Suche nach Arbeit verlassen. (vgl. Plöger und Lang 2013: 328) Letztendlich ist der Verlust von Einwohnern für eine Stadt die eigentliche, existenzielle Krise, die sich aus einer Herausforderung ergeben kann. Dabei ist es zunächst unerheblich, ob die Bewohner als Klimaflüchtlinge oder als Wirtschaftsflüchtlinge die Stadt verlassen, wenn sie dadurch nichtmehr als Bestandteile der städtischen Gesellschaft ansässig sind, Infrastrukturen nichtmehr ausgelastet sind, kommunale Einnahmequellen fehlen und dem städtischen Zusammenleben die soziale Komponente verloren geht. Insofern sollten wirtschaftliche Entwicklungen als Rahmenbedingungen im Zuge der Resilienzdebatte ernstgenommen werden, da sie tiefgreifende Folgen nach sich ziehen können. (vgl. Martin und Sunley 2015: 7ff.; Plöger und Lang 2013: 326ff.)

3.3.4 Technologische Entwicklungen

Technologie ist tief in Städten und den urbanen Systemen verwurzelt. Viele Technologien, die täglich von den Einwohnern einer Stadt genutzt werden, sind bereits so lange etabliert, dass sie als unhinterfragte Realität selbstverständlich vorausgesetzt werden. Städte können dementsprechend auch als komplexe sozio-technische Prozesse betrachtet werden, in denen der Mensch mit vielfältigen Technologien auf den unterschiedlichsten Ebenen interagiert: Ob nun die räumlich nahezu grenzenlose Kommunikation über das Smartphone und das Internet, die medizinische Versorgung oder einfach nur die annähernd ubiquitäre Verfügbarkeit von Elektrizität und Trinkwasser. All diese existenziellen urbanen Prozesse und Funktionen sind nur durch den Einsatz zahlreicher Technologien in dieser Form möglich.

Welche zentralen Rollen bestimmte Technologien in unserem Alltag einnehmen, wird paradoxerweise oft erst erkenntlich, wenn die Technologien ausfallen und so ihre Materialität und Vernetzung deutlich wird. Es besteht die Gefahr der Abhängigkeit von einzelnen Technologien, sowohl direkt von der konkreten Technologie, als auch indirekt über Kaskadeneffekte, wenn der Ausfall bestimmter Technologien den Ausfall weiterer Technologien bewirkt. Einige Beispiele für die komplexen technologischen Vernetzungen in Städten und mögliche Gefahren durch Kaskadeneffekte hat

GRAHAM in seinem Sammelband „Disrupted Cities: When Infrastructure Fails“ (Graham 2010) zusammengeführt. So beispielsweise die vielfältigen Folgen eines längeren Stromausfalls oder der Verstopfung der Abwasserleitungen.

Technologische Entwicklungen als Rahmenbedingungen einer resilienten Stadtentwicklung können einerseits Lösungen für andere Herausforderungen bereitstellen oder aber auch selbst eine Herausforderung darstellen. Zweifellos haben sie das Potenzial das gesellschaftliche Zusammenleben und das Erscheinungsbild von Städten maßgeblich zu beeinflussen. So wird die Erfindung der Dampfmaschine noch heute als einer der zentralen Ausgangspunkte der industriellen Revolution gesehen, die tiefgreifende Veränderungen der Wirtschaftsstruktur, der sozialen Verhältnisse und städtischer Strukturen mit sich brachte. In der Volkswirtschaftslehre werden große wirtschaftliche Entwicklungszyklen von Nikolai Kondratieff auf einzelne Basistechnologien, wie die Dampfmaschine, die Petrochemie oder die Informationstechnik zurückgeführt, die jeweils Ausgangspunkt für einen Wirtschaftszyklus waren (vgl. Thompson 2009: 183f.). (vgl. Moss 1998; Brezis und Krugman 1997)

Unter dem Sammelbegriff „Smart City“ (Dameri 2013: 2547) werden unter anderem auch technische Maßnahmen zusammengefasst, die dazu beitragen dass Städte digital vernetzt sind, intelligent ihren Zustand evaluieren und so Daten sammeln, die dazu eingesetzt werden können, die Effizienz der Infrastrukturen durch technische Maßnahmen zu erhöhen. (vgl. ebd.: 2547) Neue Technologien ermöglichen mitunter auch neue Methoden der Planung und können so zu genaueren und langfristiger nachhaltigeren Planungsentscheidungen beitragen oder auch bei der Früherkennung von Naturgefahren, wie beispielsweise Erdbeben oder Tsunamis, helfen (vgl. Ling et al. 2010: 244ff.). Auch der WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN widmet sein aktuellstes Hauptgutachten dem Thema der Digitalisierung und zeigt die hohe Bedeutung der Digitalisierung für die räumliche und urbane Entwicklung auf (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2019: 8ff.). Der Beirat wirbt in seinem Gutachten für die zahlreichen Möglichkeiten, die sich im Digitalen Zeitalter auftun und verdeutlicht die Bedeutung der Digitalisierung für die Transformation zur Nachhaltigkeit. Bei allen Vorteilen, die ein hoher Vernetzungsgrad mit sich bringt, erhöht sich damit auch die Vulnerabilität gegenüber Cyberattacken. Zudem besteht die Gefahr einer „digitalen Spaltung“ (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2016: 53) der Gesellschaft, wenn die Zugänglichkeit zu digitalen Medien aus wirtschaftlichen Gründen oder aufgrund der individuellen Kompetenz nicht für alle Mitglieder der Gesellschaft gegeben ist.

3. Herausforderungen in Städten

Technologien bringen also nicht nur Lösungen mit sich, sondern können auch Herausforderungen und Gefahren darstellen. Neben der schon aufgezeigten Abhängigkeit städtischer Funktionen von zentralen Technologien sowie den möglichen Kaskadeneffekten können auch von Technologien selbst Gefahren ausgehen. So haben beispielsweise die Störfälle in den Atomkraftwerken in Tschernobyl 1986 und in der japanischen Präfektur Fukushima 2011 aufgezeigt, welche Gefahr mit der atomaren Energieproduktion einhergeht – allen technischen Schutzmaßnahmen zum Trotz. Auch die Energieproduktion aus fossilen Energieträgern bringt negative Konsequenzen mit sich: Schadstoffemissionen wirken sich negativ auf die Luftqualität und das Klima aus.

Nicht zuletzt besteht eine Herausforderung, die mit der Nutzung der meisten Technologien einhergeht, auch in der Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der notwendigen Rohstoffe. Ohne Energie, fossile Energieträger oder sonstige Rohstoffe sind die meisten Technologien nicht funktionsfähig. Dementsprechend ist die Rohstoffverfügbarkeit eine zentrale Herausforderung für die nachhaltige und resiliente Entwicklung urbaner Systeme und wird daher im folgenden Kapitel gesondert thematisiert.

3.3.5 Ressourcenverfügbarkeit

Städte sind nicht nur Konzentrationspunkte für Menschen, bauliche Strukturen und Güter, sondern auch Konzentrationspunkte des anthropogenen Ressourcenverbrauchs. Schon heute sind Städte für etwa 75 % des Verbrauchs natürlicher Ressourcen verantwortlich (vgl. Die Bundesregierung 2016: 155). Außerdem sind sie für etwa 70 % der globalen Energienachfrage und 80 % der CO₂-Emissionen verantwortlich (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2016: 164). Da der Anteil der Weltbevölkerung in Städten von etwas mehr als der Hälfte bis zum Jahr 2050 weiter auf rund zwei Drittel steigen wird, ist anzunehmen, dass sich auch der anthropogene Ressourcenverbrauch weiter auf die Städte konzentrieren wird (vgl. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2014: 2ff.). Da Städte die notwendigen Ressourcen für den Betrieb der urbanen Systeme in der notwendigen Menge und Vielfalt nicht selbst produzieren können, besteht eine hohe Abhängigkeit vom regionalen Umfeld sowie von der globalen Rohstoffverfügbarkeit. (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2011: 117)

Hinsichtlich der langfristigen Entwicklung von Städten muss beachtet werden, dass die natürlichen Ressourcen endlich sind, bzw. im Falle von erneuerbaren Energien ein begrenztes Potenzial haben. Ein weiter zunehmender Urbanisierungsgrad mit wachsendem Ressourcenverbrauch kann langfristig nicht durch die verfügbaren Ressourcen gedeckt werden. Im Rahmen dieses Unterkapitels liegt

der Fokus auf den Ressourcen, die für das Funktionieren einer Stadt als existenziell betrachtet werden können. Dazu gehören Ressourcen zur Energieproduktion (fossile Energieträger, erneuerbare Energie, atomare und biologische Energieträger), Wasser und Flächen zur landwirtschaftlichen Nutzung und Besiedlung. Zweifellos sind auch weitere Ressourcen zur Aufrechterhaltung des heutigen Lebensstandards in den Industrienationen notwendig. Allerdings erscheint dabei eine Substitution oder Einschränkung einfacher umsetzbar, als im Hinblick auf die zur Grundbedürfnisbefriedigung notwendigen Energie, Wasser- und Landnutzung.

Tabelle 3 zeigt die globale Energieproduktion bis zum Jahr 2008 nach Energieträgern sowie die jeweiligen Rohstoffvorkommen nach heute schon abbaubaren Reserven und noch nicht förderbaren Ressourcen. Es ist zu erkennen, dass der überwiegende Anteil der im Jahr 2008 aus Rohstoffen produzierten Energie aus fossilen Quellen und dabei insbesondere aus Erdöl und Kohle stammt. Zudem fällt auf, dass die bis 2008 aus konventionellem Öl¹¹ produzierte Energiemenge, im Gegensatz zu den anderen Energieträgern, die noch verfügbaren Reserven übersteigt. Dies verdeutlicht die vor allem auf Erdöl zu beziehende Problematik der abnehmenden Rohstoffverfügbarkeit, die eine Herausforderung für das Funktionieren städtischer Systeme darstellen wird. Unter dem Begriff „Peak Oil“ (Newman et al. 2009: 19) hat diese Herausforderung im wissenschaftlichen, aber auch im gesellschaftlichen und politischen Diskurs hohe Bekanntheit erlangt.

Tabelle 3: Globale Energievorkommen fossiler und nuklearer Quellen (in EJ)

| Rohstoffvorkommen | Historische Produktion bis 2008 | Produktion im Jahr 2008 | Reserven | Ressourcen |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Konventionelles Öl | 6.500 | 170 | 6.350 | 4.967 |
| Unkonventionelles Öl | 500 | 23 | 3.800 | 34.000 |
| Konventionelles Gas | 3.400 | 118 | 6.000 | 8.041 |
| Unkonventionelles Gas | 160 | 12 | 42.500 | 56.500 |
| Kohle | 7.100 | 150 | 21.000 | 440.000 |
| Gesamt: Fossile Quellen | 17.660 | 473 | 79.650 | 543.507 |
| Konventionelles Uran | 1.300 | 26 | 2.400 | 7.400 |
| Unkonventionelles Uran | - | - | - | 4.100 |

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung

Globale Umweltveränderungen 2011: 121

Ob Peak Oil bereits erreicht wurde oder noch erreicht wird, ist davon abhängig, ob man auch die Ressourcen und die unkonventionellen Reserven und Ressourcen einbezieht. Schließt man

¹¹ Konventionelle Ressourcen sind aufgrund der aktuellen Gegebenheiten einfach und kostengünstig förderbar. Dagegen ist die Förderung unkonventioneller Ressourcen aufwändig und kostenintensiv.

3. Herausforderungen in Städten

unkonventionelle Reserven und Ressourcen ein, wird davon ausgegangen, dass Peak Oil erst um das Jahr 2050 bzw. um 2100 erreicht wird. (vgl. ebd.: 19ff.)

Da der Anteil von Erdöl an der Energieproduktion sehr gering und damit wohl substituierbar ist, sind durch Peak Oil keine schwerwiegenden Folgen für die Energieverfügbarkeit in Städten zu erwarten. Eine größere Herausforderung stellt Peak Oil für das Verkehrssystem dar, da motorisierte Transportmittel größtenteils auf Erdöl bzw. fossile Treibstoffe angewiesen sind. Substituierende Energiequellen werden die Nachfrage durch das Verkehrssystem nicht decken können, sodass mangelnde Erdölverfügbarkeit massive Einschränkungen des Verkehrssystems und in der Folge auch Einschränkungen urbaner Systeme und Prozesse nach sich ziehen könnte. (vgl. ebd.: 25ff.)

Energieproduktion aus erneuerbaren Energiequellen ist mit deutlich geringeren Treibhausgasemissionen verbunden, als die Nutzung fossiler Energieträger. Allerdings fallen für die Errichtung der Anlagen hohe Investitionskosten an und es ergibt sich ein großer Flächenbedarf in passenden Lagen. Kombiniert weisen die erneuerbaren Energien (Biomasse, Geothermie, Wasserkraft, Solarenergie und Windenergie) ein langfristiges, technisches und wirtschaftliches Potenzial von mehr als 11.000 EJ/Jahr auf. Das übersteigt die globale Energieproduktion aus fossilen und atomaren Rohstoffen im Jahr 2008 um ein Vielfaches. Im Jahr 2008 wurden von diesem Produktionspotenzial aber lediglich 64 EJ genutzt. Bei den erneuerbaren Energien ist zu beachten, dass die Energieproduktion erheblichen Fluktuationen unterliegt, da Wind und Sonne (die beiden größten nutzbaren Potenziale) nicht gleichmäßig anfallen und ständig durch das Wetter beeinflusst werden bzw. nachts keine Solarenergieproduktion möglich ist. Auch wenn Speicherkapazitäten in gewissem Maße vorhanden sind, ist eine vollständige Entkopplung der globalen Energieproduktion von fossilen Energieträgern nach derzeitigem Stand unwahrscheinlich. Zudem sind auch die mitunter unerwünschten sozialen Effekte zu berücksichtigen, die mit der notwendigen Landumnutzung einhergehen würden. (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2011: 125ff.)

Dabei entstehen Konflikte um die Flächennutzung nicht nur durch die Ausweitung der erneuerbaren Energien im Zuge der sogenannten *Energiewende*, sondern auch im Rahmen der Siedlungsflächenentwicklung durch verschiedene Nutzungsansprüche sowie durch die Landwirtschaft. Auch Fläche ist daher als Ressource für die künftige Stadtentwicklung zu betrachten, die nur in begrenztem Maße vorhanden ist. Aus ökologischen Gründen sowie im Sinne des Allgemeinwohls wird auch die anthropogene Flächennutzung beschränkt und das theoretische Potenzial nicht ausgeschöpft. Der Raumplanung kommt hierbei eine zentrale Rolle zu, da Planungsakteure die künftige Siedlungsflächenentwicklung planen und steuern können. Dabei sind jedoch die unterschiedlichen

Nutzungsansprüche gegeneinander abzuwägen und im Sinne des gesamtgesellschaftlichen Gemeinwohls zu entscheiden. Die Bundesregierung hat diesbezüglich in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie 2002 als politische Zielvorgabe das sogenannte *30-ha Ziel* festgelegt und dies auch 2016 in der Erneuerung der Strategie bestätigt. Das Ziel besagt, dass die Zunahme an Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2020 auf 30 ha pro Tag zu begrenzen ist und damit weniger als ein Viertel so hoch, wie die durchschnittlich 130 ha pro Tag zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Strategie im Jahr 2002. Bis 2017 konnte der Wert bereits auf 58 ha pro Tag im vierjährigen Mittel (vgl. Website UBA) reduziert werden, doch erscheint es unwahrscheinlich, dass die politische Zielsetzung bis 2020 erreicht wird. Die Gefahr, die mit dem zu hohen Verbrauch der Ressource Fläche einher geht ist, dass wichtige ökologische Funktionen nichtmehr erfüllt werden können und sich dies negativ auf die Umwelt auswirkt. (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2016: 75ff.; Die Bundesregierung 2002: 99f.)

Eine Art der Flächennutzung ist die Landwirtschaft. Diese erzeugt Nahrungsmittel. Nahrungsmittel und die darin enthaltenen Nährstoffe sind Lebensgrundlage des Menschen und können dementsprechend als Ressourcen verstanden werden. Landwirtschaftsflächen und das Nahrungsmittelproduktionspotenzial sind begrenzt und werden durch die zunehmende Urbanisierung weiter eingeschränkt. Dagegen wächst die Weltbevölkerung stetig an, was zur Verknappung der Lebensmittelverfügbarkeit führt. Diese Thematik wird in der Wissenschaft und Politik auch unter dem Begriff der „Tragfähigkeit“ (Swiaczny und Schulz 2009: 136) intensiver diskutiert, für den eine bekannte Studie des Club of Rome mit der Entwicklung eines Weltmodells zum Bevölkerungswachstum und Ressourcenverbrauch die Grundlagen gelegt hat. Demzufolge ist anzunehmen, dass die Erde ein nachhaltiges Nahrungsmittelpotenzial für rund 7 Milliarden Menschen bietet. (vgl. Swiaczny und Schulz 2009: 136ff.; Meadows et al. 1974)

Der Zugang zu sauberem Trinkwasser ist ein menschliches Grundbedürfnis. Nicht nur zur Ernährung der Bevölkerung, sondern auch zur Aufrechterhaltung hygienischer Standards ist Wasser eine essentielle Ressource, ohne die Städte nicht funktionieren würden. Momentan werden rund 40 % der erneuerbaren und zugänglichen Wasserquellen anthropogen bewirtschaftet. Nicht nur die quantitative Wasserübernutzung, sondern auch die Verschlechterung der Wasserqualität durch Nähr- und Schadstoff-einträge stellen zunehmend ein Problem für die Wasserverfügbarkeit dar. Insbesondere in Städten mit hohen Bevölkerungskonzentrationen führen eine eingeschränkte Wasserzugänglichkeit sowie mangelhafte sanitäre Verhältnisse zu gesundheitlichen Problemen und der raschen Verbreitung von Krankheiten. Auch wenn global grundsätzlich ausreichend regenerative Wasserquellen

3. Herausforderungen in Städten

zur Verfügung stehen, sind diese nicht gleichmäßig verteilt, sodass einige Weltregionen mehrere Monate pro Jahr oder ganzjährig unter hydrologischer Wasserknappheit leiden. (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2016: 81ff.; Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2011: 44ff.)

Das Kapitel hat aufgezeigt, dass aus der beschränkten Verfügbarkeit von Ressourcen Herausforderungen für das Funktionieren einer Stadt entstehen können. Ohne ausreichende Ressourcen funktionieren urbane Systeme und Prozesse gar nicht oder zumindest nicht im gewohnten Maße. Zudem sind weitere Folgeeffekte denkbar, die als Kaskaden unterschiedliche urbane Systeme betreffen und sich auf die anderen Herausforderungsbereiche dieses Oberkapitels niederschlagen können.

3.3.6 Politisch-institutionelle Rahmenbedingungen

Weitere Herausforderungen für eine resiliente Stadtentwicklung können sich aus den politisch-institutionellen Rahmenbedingungen ergeben, unter denen sich Städte entwickeln. Je nachdem wie sie ausgeprägt sind, kann die Anpassungsfähigkeit einer Stadt erhöht oder gesenkt werden. Die politisch-institutionellen Rahmenbedingungen können den handelnden Akteuren neue Lösungswege eröffnen, oder durch Pfadabhängigkeiten und Inflexibilität innovative Lösungen verhindern. Insbesondere für die Resilienz planerischer Prozesse können die in diesem Kapitel dargestellten Aspekte von Bedeutung sein.

Eine wichtige Voraussetzung, damit Städte neue, unvorhergesehene Herausforderungen bewältigen können, ist die Verfügbarkeit von finanziellen Mitteln. Alle technischen Innovationen zur Anpassung an den Klimawandel oder Maßnahmen zur Bewältigung des Demografischen Wandels werden im kommunalen Alltag keine Anwendung finden, wenn nicht ausreichend finanzielle Mittel vorhanden sind, um Maßnahmen in Planungs- und Steuerungsprozessen umsetzen zu können. „Essentielle Voraussetzung und eines der Ziele nachhaltiger Stadtentwicklung sind stabile kommunale Finanzen“ (Grabow 2013: 199). In Zeiten angespannter kommunaler Haushalte, in denen sich zahlreiche Kommunen in der Haushaltssicherung befinden, ist anzunehmen, dass einige Kommunen in ihrer Handlungsfähigkeit eingeschränkt sind. 2018 arbeitete jede fünfte Kommune unter einem Haushaltssicherungskonzept. Bei größeren Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern war es gar jede zweite Kommune, deren Haushalt den Beschränkungen der Kommunalaufsicht unterlag. (vgl. ebd.: 202ff.)

Nicht nur der finanzielle Handlungsspielraum, sondern auch die Planungsprozesse und beteiligten Akteure können die resiliente und nachhaltige Stadtentwicklung positiv oder negativ beeinflussen. Die Komplexität des deutschen Planungssystems hat zur Folge, dass Aufgaben und Zuständigkeiten

oftmals über die verschiedenen planerischen und administrativen Ebenen verteilt sind. Aufwändigen, langfristigen Planungsprozessen stehen mitunter kurzfristige Herausforderungen gegenüber, die schnelles Handeln erfordern. Vor allem wenn kurzfristige Handlungsfenster genutzt werden sollen, um ein urbanes System weiterzuentwickeln anstatt nur den Ausgangszustand wiederherzustellen (siehe Kapitel 5.5.3), können sich die Planungsprozesse selbst als Hindernis für die Adaptivität einer Stadt darstellen. Wie adaptiv die Kommunalplanung tatsächlich ist, hängt nicht nur von den formalen Prozessen, Methoden und planerischen Instrumenten, sondern vor allem auch von der individuellen Kompetenz und Bereitschaft der Planungsakteure ab.

Im Kontext von Planungsprozessen ist auch der Bezug zu den rechtlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, da diese ebenfalls die Anpassungsfähigkeit einer Kommune beeinflussen. Der Handlungsspielraum des theoretisch und technisch Möglichen wird zum Teil durch Planungsrecht (z. B. BauGB) oder sonstige Rechtsvorschriften (z. B. Art. 14 GG) eingeschränkt. Auch die Einhaltung der in Gesetzen festgeschriebenen Mindeststandards (z. B. Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse, zulässige Schadstoffbelastung im Abwasser, Hilfsfrist im Rettungsdienst) kann eine große Bürde für die Kommunalplanung darstellen, wenn damit ein hoher betrieblicher oder finanzieller Aufwand einhergeht. Gleichwohl ist beispielsweise die Sicherung der Daseinsvorsorge eine zentrale Aufgabe kommunalen Handelns. Auch die Planungsprozesse selbst sind in ihren wesentlichen Abläufen rechtlich festgeschrieben, sodass sich im Prozessablauf nur eingeschränkte Handlungsspielräume ergeben. Sollen die komplexen Planungsprozesse an veränderte Rahmenbedingungen angepasst werden, müssten auch die rechtlichen Voraussetzungen dafür geschaffen werden.

Des Weiteren kann auch die Politik eine Herausforderung für eine resiliente Stadtentwicklung darstellen. Politische Amtsträger treffen auf den verschiedenen politischen Ebenen regelmäßig Entscheidungen, die den Handlungsspielraum kommunaler Planungsakteure beeinflussen. Europäische Richtlinien, landespolitische Förderprogramme oder kommunale Ratsentscheidungen sind nur einige Beispiele dafür. Sie alle sind letztlich von der politischen Agenda der jeweiligen Regierung abhängig und so verändern sich oftmals Scherpunkte im Laufe mehrerer Legislaturperioden. Diese Schwerpunkte können zur Förderung oder zur Beschränkung der Anpassungsoptionen für eine resiliente Stadtentwicklung beitragen. Im Hinblick auf die Langfristigkeit vieler Investitionsentscheidungen im Kontext der Stadtentwicklung können sich wechselnde politische Agenden als problematisch für einen langfristigen, stringenten Entwicklungsprozess darstellen. Über den konkreten Planungsbezug hinausgehend kann Politik auch eine Gefahr für eine nachhaltige Stadtentwicklung darstellen, wenn das politische System keinen demokratischen Entscheidungsprozess abbildet. Totalitäre

3. Herausforderungen in Städten

Regierungsformen, die die freie individuelle Entwicklung und Teilhabe beschränken sind im Sinne sozialer und politischer Nachhaltigkeit (siehe Kapitel 5.4.2) als Gefahr für eine resiliente Stadtentwicklung zu betrachten.

In einem weiter gefassten Verständnis von Politik können auch Krieg und Terrorismus als Herausforderungen für die Stadtentwicklung gesehen werden. Ob nun aus politischen oder religiösen Motiven können Kriege und Terroranschläge enorme Zerstörungen in einer Stadt verursachen und stellen eine Gefahr für die Einwohner einer Stadt dar. Zahlreiche historische Beispiele belegen, welche massiven Einfluss Kriegszerstörungen über viele Jahre hinweg auf eine Stadt haben können oder welche Anpassungsmaßnahmen in Folge eines Terroranschlags hervorgerufen werden. Da sie langfristig nicht vorhersehbar und in ihrer Ausprägung nicht konkret abschätzbar, aber mit tiefgreifenden Konsequenzen verbunden sind, weisen sowohl Kriege als auch Terroranschläge die typischen Charakteristika für die im Zuge der Resilienz betrachteten Herausforderungen auf.

3.4 Ambivalenz und Unsicherheit als Folgen der Wandelprozesse

Einige Schwierigkeiten im Umgang mit den zukünftigen Rahmenbedingungen städtischer Entwicklung ergeben oftmals erst im Zusammenspiel der verschiedenen Entwicklungstrends. Weisen die städtischen Systeme Schnittstellen zu unterschiedlichen Rahmenbedingungen auf, können sich die negativen Konsequenzen verschärfen, wenn Entwicklungen der Rahmenbedingungen aufeinandertreffen, die sich gegenseitig verstärken. Mitunter können auch gänzlich neue Herausforderungen entstehen, die in der isolierten Betrachtung der Rahmenbedingungen gar nicht oder zumindest nicht in dieser Form, anfallen würden. Derartige, emergente Herausforderungen sind nicht immer ausreichend genau vorhersehbar, da sie eben erst im Zusammenspiel der urbanen Systeme und unterschiedlichen Rahmenbedingungen entstehen. Insbesondere wenn Veränderungsprozesse oder einzelne Ereignisse den menschlichen Erfahrungshorizont überschreiten, können unerwartete Kaskadeneffekte ausgelöst werden, die bis hin zu katastrophalen Folgen nach sich ziehen können, wie das Beispiel des Tsunamis in Fukushima mit dem anschließenden Reaktorunglück gezeigt hat. (vgl. Augustin et al. 2017: 138ff.; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2013: 46ff.; Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 2008: 15, 45ff.).

Die Entwicklungen der in diesem Oberkapitel aufgeführten Rahmenbedingungen stellen aber nicht nur große Herausforderungen für die Planung dar, wenn sie sich gegenseitig verstärken, sondern auch dadurch, dass sie sich teilweise ambivalent entwickeln. Ambivalente Entwicklungen sind insbesondere dann kritisch für Planungsentscheidungen, wenn sie gegensätzliche Maßnahmen oder Schritte erfordern, die nicht miteinander vereinbar sind. Dies erfordert dann ggf. eine Priorisierung

von Interessen und Zielsetzungen im Planungsprozess oder einen höheren technischen und finanziellen Aufwand (vgl. Chelleri et al. 2015: 191ff.; Janssen und Anderies 2007: 47ff.). Beispiele hierfür lassen sich im Bereich der Abwasserentsorgung finden: Wie beschrieben wurde, führt der Klimawandel in den Sommermonaten zu längeren Trockenperioden, aber gleichzeitig auch zu intensiveren Starkregenereignissen (siehe Kapitel 3.1.2). Die Durchmesser der Regenwasserleitung im Trennsystem müssten für längere Trockenphasen also reduziert werden. Gleichzeitig werden größere Leitungsvolumina für die Spitzenlasten im Starkregenfall benötigt. Zwischenspeicherkapazitäten zur Bewältigung des Problems erhöhen den betrieblichen und finanziellen Aufwand. Im Mischsystem wird die Problematik durch Entdichtungsprozesse im Zuge des Demografischen Wandels zusätzlich verschärft (siehe Kapitel 3.2.3).

Die wohl größte Herausforderung für die planerische Entscheidungsfindung besteht jedoch in der Unsicherheit, mit der die meisten Entwicklungen der Rahmenbedingungen verbunden sind. Zwar lassen sich langfristige, schleichende Veränderungen noch relativ gut vorausberechnen, aber plötzliche Naturereignisse, wirtschaftliche Entwicklungen oder regionale Wanderungstrends können zeitlich und in ihrem Ausmaß nur unzureichend vorausberechnet werden. Gleichwohl können sie umfassende Folgen nach sich ziehen, die die Stadtentwicklung nicht nur kurzfristig, sondern auch langfristig beeinflussen. Eine planerische Vorbereitung auf diese Ereignisse, um die negativen Auswirkungen besser bewältigen und mögliche Handlungsfenster nutzen zu können, wäre im Sinne der Adaption sicher erstrebenswert, ist aber oftmals nicht möglich. Hinzu kommt, dass in komplexen Systemen auch das Handeln anderer Akteure die zukünftige Entwicklung und die planerische Entscheidungsfindung beeinflusst (siehe Kapitel 2.3.3). Letztlich sorgt nahezu jede Prognose selbst dafür, dass sie nicht eintrifft, da interne und externe Akteure in ihrem Handeln auf die Prognoseergebnisse reagieren und damit abweichende Voraussetzungen für den weiteren Entwicklungspfad schaffen. Planung unter Unsicherheit und in komplexen Systemen geht daher immer mit einem gewissen Risiko einher, das nicht vollständig auszuschließen ist (vgl. Lamker 2016).

Die aufgeführten Aspekte liefern die Erklärung, warum auch die zweite Forschungsfrage nicht abschließend mit einer Eingrenzung des Betrachtungshorizonts auf bestimmte Rahmenbedingungen beantwortet werden kann. Im Kontext der Planung einer möglichst resilienten Entwicklung komplexer Stadtsysteme ist die Diversität der Herausforderungen und Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, da ansonsten weitere Herausforderungen, scheinbar unvorhersehbar, die Entwicklung beeinflussen können. Auch hierbei kann allerdings, im Sinne der Handhabbarkeit, eine fallbezogene Beschränkung auf einzelne Herausforderung in der praktischen Anwendung notwendig sein.

3.5 Schnittstellen der exemplarischen Stadtsysteme mit unterschiedlichen Herausforderungen

Wohngebäude unterliegen generell den Herausforderungen des Demografischen Wandels. Verändert sich im Demografischen Wandel die Bevölkerungsstruktur einer Stadt, so verändert sich damit auch die Bewohnerstruktur und die Wohnungsnachfrage. Eine durchschnittlich sehr alte Bevölkerung wird beispielsweise kleinere Haushaltsgrößen aufweisen und kleinere Wohnungen in der Nähe von Versorgungsangeboten stärker nachfragen. Freistehende Einfamilienhäuser am Stadtrand würden in diesem Szenario eine geringere Nachfrage erfahren.

Da Wohnungen die Funktion erfüllen den Menschen vor den natürlichen Umwelteinflüssen zu schützen, sind sie ebendiesen Umwelteinflüssen auch ausgesetzt. Klimatische Ereignisse wie Hagel, Sturm oder Überschwemmungen sowie Naturgefahren wie Erdbeben, Erdrutsche oder Waldbrände können erhebliche Schäden an Wohngebäuden verursachen, die so weit gehen können, dass die Wohnung nichtmehr bewohnbar ist oder gar Gefahr für Leib und Leben entsteht. Demensprechend weisen Wohngebäude Schnittstellen zu klimatischen Veränderungen und sonstigen Naturgefahren auf.

Auch mangelnde Ressourcenverfügbarkeit kann sich negativ auf die Wohnfunktion auswirken, wenn beispielsweise nicht ausreichend Siedlungsflächen zur Befriedigung der Wohnungsnachfrage zur Verfügung stehen oder Baustoffe zur Errichtung sicherer Wohngebäude fehlen. Letzteres trifft jedoch eher auf den globalen Süden denn auf den Immobilienmarkt in Industrienationen zu. Des Weiteren kann die mangelnde Verfügbarkeit von Trinkwasser und Elektrizität die Nutzbarkeit einer Wohnung einschränken.

Grundsätzlich unterliegt der Wohnungsmarkt immer auch indirekt den wirtschaftlichen Entwicklungen. Durchläuft eine Region eine wirtschaftsstrukturelle Rezessionsphase und verliert Unternehmen, so ist dies mit dem Verlust von Arbeitsplätzen und meist auch mit der Abwanderung der Bevölkerung verbunden, sodass die Wohnungsnachfrage entsprechend sinkt. Umgekehrt steigen meist die Preise für Wohnraum in Regionen, die wirtschaftlich prosperieren.

Bei Abwassersystemen sticht die schon ausführlicher erläuterte Exposition gegenüber dem Demografischen Wandel heraus (siehe Kapitel 2.4). Da die Abwasserinfrastruktur ein sehr lokal gebundenes Angebot bereitstellt, wirkt sich die kleinräumige Bevölkerungsentwicklung, die im Demografischen Wandel sehr heterogen verlaufen kann, direkt auf die Auslastung der Abwasserinfrastrukturen und damit auf den störungsfreien Betrieb aus. Räumliche Entdichtungsprozesse können zu

Dezentralisierungsmaßnahmen oder alternativen Abwassersystemen führen (siehe Kapitel 12.2). (vgl. Sigglow 2011: 75ff.; Schiller 2010: 56ff.; Westphal 2008: 236f.; Gujer 2007: 389ff.)

Aufgrund der zunehmendem Medikamentennutzung durch die alternde Bevölkerung wächst der Anteil von biologischen und chemischen Mikroschadstoffen im Abwasser, die nicht über die etablierten Klärverfahren aus dem Abwasser entfernt werden. Daher wird mittelfristig eine Aufrüstung der Kläranlagen um Verfahren notwendig, die diese Mikroschadstoffe entfernen können. Dies kann beispielsweise durch eine Ozonierungsstufe oder die Nutzung von Aktivkohlefiltern erreicht werden (vgl. Hillenbrand et al. 2010: 68ff.). Die Exposition des Abwassersystems gegenüber den Klimafolgen in den Sommermonaten wurde bereits im vorangegangenen Kapitel exemplarisch beschrieben.

Da das Abwassersystem auch von Wirtschaftsbetrieben genutzt wird, ist es auch gegenüber wirtschaftlichen Konjunkturlagen exponiert, insbesondere wenn in einer Stadt große Betriebe des produzierenden Gewerbes angesiedelt sind, die bei guter Konjunktur große Abwassermengen mit hohen Schmutzfrachten produzieren. Fallen diese Abwassermengen bei schlechter Konjunktur weg, wirkt sich das negativ auf die Funktionalität der Leitungen sowie der Kläranlagen aus, die gewisse Mindestmengen zum störungsfreien Betrieb benötigen.

Wasserknappheit und steigende Bestrebungen zur Nährstoffrückgewinnung wirken sich auch auf die Ausgestaltung der Abwassersysteme aus. Damit einher geht, dass auch technologische Entwicklung die Abwassersysteme maßgeblich prägen. Die breite Einführung von Kleinkläranlagen und NASS könnte in einigen Regionen zu einer tiefgreifenden Umgestaltung der Abwasserinfrastrukturen führen, die sich deutlich vom heutigen Standard der zentralen Abwasserentsorgung über Freispiegelleitungen im Misch- oder Trennsystem unterscheidet.

Sowohl auf die Abwassersysteme, als auch auf das Wohnen trifft zu, dass sie den Entwicklungen der institutionellen Rahmenbedingungen ausgesetzt sind. Rechtliche Rahmenbedingungen, politische Zielsetzungen, Akteurskonstellationen und finanzielle Mittel verändern sich im Laufe der Zeit immer wieder und bewirken so auch eine Veränderung der städtischen Systeme. Planungsakteure und politische Entscheidungsträger steuern die Entwicklung dieser Systeme im Rahmen der rechtlichen Anforderungen und der finanziellen Möglichkeiten. Jedes theoretische, technische Entwicklungspotenzial und jede theoretische Erforderlichkeit sind somit immer den institutionellen Rahmenbedingungen unterworfen.

Die aufgeführten Beispiele verdeutlichen exemplarisch, wie vielfältig die Expositionen städtischer Systeme gegenüber den Rahmenbedingungen und externen Herausforderungen sind. Stellt man dies in den Kontext der komplexen Vernetzung städtischer Systeme untereinander (siehe Kapitel

3. Herausforderungen in Städten

2.3) und der möglichen Folgeeffekte, so wird deutlich warum ein lineares Planungsselbstverständnis in Zeiten globaler Transformation nicht mit der Komplexität der realen Lebenswelt in einer Stadt vereinbar ist.

4. Vulnerabilität

In Kapitel 3 wurden die Rahmenbedingungen dargestellt, unter denen sich Städte entwickeln und wie unterschiedlich sie sich auf städtische Systeme auswirken. In der Fachliteratur werden beispielsweise die Folgen des Klimawandels in „First-Order Impacts“ und „Second-Order Impacts“ kategorisiert (Brklacich und Bohle 2006: 52). Während erstere die Änderungen der regionalen Klimaparameter beschreiben, beziehen sich letztere auf die Auswirkungen, die diese Klimaänderungen auf das Gesellschaftssystem haben. Klimaänderungen oder sonstige Veränderungen der Rahmenbedingungen für sich genommen stellen also keine primäre Bedrohung für den Menschen dar. Erst sobald anthropogene Systeme durch diese Einflüsse in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt oder gefährdet werden, zeigt sich die Verwundbarkeit des Menschen gegenüber den äußeren Einflüssen. Das Verständnis, beispielsweise des Klimawandels, als „vielschichtiges Mensch-Umwelt-Interaktionsproblem“ (Birkmann und Fleischhauer 2013: 51), ist ganz wesentlich auf die wissenschaftliche Diskussion und praktische Anwendung des Konzepts der Vulnerabilität zurückzuführen.

Im Hinblick auf die Forschungsfragen dient das Oberkapitel zum einen dazu ein theoretisches Verständnis von Vulnerabilität zu schaffen, das im weiteren Verlauf eine deutliche Abgrenzung zum Resilienzkonzept erlaubt (siehe 3. Forschungsfrage). Zum anderen wird eine geeignete Vulnerabilitätsdefinition als theoretische Grundlage zur Erstellung der Vulnerabilitätsprofile benötigt (siehe 6. Forschungsfrage).

Vulnerabilität wird in verschiedenen Disziplinen im Detail unterschiedlich definiert, wenngleich in wesentlichen Zügen ein gemeinsames Grundverständnis angenommen werden kann. Der Begriff geht auf die lateinischen Wörter *vulnus* (= Wunde) bzw. *vulnerare* (= verwunden) zurück und beschreibt in seinem Wortstamm selbst eine wesentliche Eigenschaft des Konzepts. Es geht um die Verwundbarkeit eines Individuums, Kollektivs oder Objekts. Im Kontext von Naturgefahren und Klimafolgen wurde das Konzept jedoch um weitere Aspekte erweitert, sodass es der Komplexität des Zusammenspiels unterschiedlicher Teilbereiche im anthropogen geprägten Raum gerecht wird. Die Einführung des Vulnerabilitätskonzeptes kann daher auch als Reaktion auf die in den 1970er Jahren sehr auf die Naturgefahren konzentrierte Wahrnehmung von Katastrophen verstanden werden (vgl. Schneiderbauer und Ehrlich 2004: 13). Mit der Einführung des Konzeptes zu Beginn der 1980er Jahre, wurde also eine Perspektiverweiterung dafür geschaffen, dass Katastrophen nicht allein auf die Naturgefahren zurückzuführen sind, sondern immer auch die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sind, aus denen sich die Widerstandsfähigkeit der betroffenen

4. Vulnerabilität

Gesellschaftsteile konstituiert. Eine der ersten häufig aufgegriffenen Definitionen von Vulnerabilität stammt von Robert Chambers aus dem Jahr 1989:

“Vulnerability here refers to exposure to contingencies and stress, and difficulty in coping with them. Vulnerability has thus two sides: an external side of risks, shocks, and stress to which an individual or household is subject; and an internal side which is defencelessness, meaning a lack of means to cope without damaging loss.”

(Chambers 1989: 1; eigene Hervorhebung)

Die Definition von Chambers stellt den Transfer her zwischen der reinen Betrachtung von Naturgefahren als externe biophysische Phänomene, die auf Mensch und (gebaute) Umwelt einwirken und der Fähigkeit der betroffenen Objekte, mit den Naturgefahren umzugehen – der internen Seite des Vulnerabilitätskonzeptes. Chambers Vulnerabilitätsdefinition ist der Entwicklungsforschung zuzuordnen und weist damit keinen direkten Bezug zur Raumforschung auf. In seinem Editorial grenzt er sein Vulnerabilitätsverständnis immer wieder vom Armutsbegriff ab und nimmt auch Bezug auf Amartya Sens Entitlement-Theorie. Die Risikoexposition benachteiligter Haushalte, Schutzlosigkeit sowie der Livelihood-Ansatz, bilden den Rahmen für sein Verständnis von Vulnerabilität. (vgl. ebd.: 2-4) Somit ist Chambers Vulnerabilitätsverständnis eher den sozialwissenschaftlich geprägten Human und Social Vulnerability Ansätzen zuzuordnen (vgl. Birkmann 2008: 7f.). Nichtsdestotrotz schlägt seine Verknüpfung der Naturgefahr mit der Handlungskapazität betroffener Individuen oder Gruppen eine wichtige Brücke, die sich auch in zahlreichen Vulnerabilitätsansätzen der raumbezogenen Disziplinen wiederfinden lässt.

Durch diese Verknüpfung im Vulnerabilitätskonzept werden externe Naturgefahren zu einem handlungsrelevanten Risiko, sobald die Handlungskapazitäten der betrachteten Objekte im Raum nicht ausreichen, um die Leistungsfähigkeit eines Systems langfristig sicherzustellen. Vulnerabilität hat also immer auch einen Raumbezug. So lässt sich auch der Bezug zur Raumplanung herstellen. Sobald menschliche Siedlungen durch ein Naturereignis gefährdet werden, ergibt sich für Planungsakteure eine Handlungsnotwendigkeit im Sinne der Gefahrenabwehr. Das Baugesetzbuch schreibt in § 1 vor, dass Bauleitpläne insbesondere „die Allgemeinen Anforderungen an [...] die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung“ (§ 1 VI 1 BauGB) berücksichtigen müssen. Während Menschen als Individuen kurz und mittelfristig nur sehr begrenzten Einfluss auf Naturereignisse und schleichende Veränderungen äußerer Parameter nehmen können, kann die Anfälligkeit betroffener

Bevölkerungsgruppen gegenüber derartigen Einflüssen durch bauliche Strukturen, Organisation und Verhalten maßgeblich beeinflusst werden.

Im ersten Unterkapitel werden die Unterschiede der Vulnerabilitätsverständnisse in verschiedenen Disziplinen erläutert. Daran anschließend wird die praktische Anwendung des Konzepts in Form von zwei Vulnerabilitätsanalysen exemplarisch dargestellt. Im dritten Unterkapitel wird auf Basis des vorangehend Dargestellten das Vulnerabilitätsverständnis beschrieben, das dem weiteren Verlauf der Arbeit zugrunde liegt.

4.1 Vulnerabilitätsverständnisse unterschiedlicher Disziplinen

In seiner engen Verknüpfung mit dem Risikobegriff wird das Vulnerabilitätskonzept in der aktuellen wissenschaftlichen Debatte in der Risikoforschung auch als interner Aspekt des Risikos wahrgenommen, wohingegen die Naturgefahren die externe Seite des Risikos darstellen (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 45). Schon der Vergleich dieser Verknüpfung der Begriffe Risiko, Vulnerabilität und Naturgefahr mit der in Kapitel 4 dargestellten Vulnerabilitätsdefinition nach Chambers zeigt, dass sich das Vulnerabilitätsverständnis im Laufe der Zeit verändert hat und auch je nach Disziplin und Autor unterschiedlich definiert wird.

Tabelle 4 stellt exemplarisch zentrale Aspekte der Vulnerabilitätsdefinitionen unterschiedlicher Disziplinen gegenüber. Dabei werden die in Kapitel 1.5 erläuterten Begrifflichkeiten herangezogen, um wesentliche Charakteristika der jeweiligen Definition herauszustellen. In der Tabelle wird angezeigt, ob die jeweiligen Definitionen die angezeigten Begrifflichkeiten eindeutig als Bestandteil der Vulnerabilität ausweisen. Da unterschiedliche Definitionen innerhalb einer Disziplin nicht berücksichtigt werden können, ist in der Klammer jeweils angeführt, auf Basis der Definition welcher Institution bzw. welchen Akteurs die jeweilige Einschätzung getroffen wurde. Zum Teil wurden dazu auch die Praxisbeispiele aus Kapitel 4.2 aufgegriffen.

Aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive bezieht sich Vulnerabilität auf die baustatischen Eigenschaften baulicher Objekte (Gebäude, Infrastrukturen) und die Exposition dieser Objekte gegenüber einer Gefahr. So wird beispielsweise in der Erdbebenrisikoforschung im Rahmen der Analysen zur technischen Vulnerabilität bestimmt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Gebäude unter bestimmten Erdbebenszenarien Schaden erleidet oder einstürzt. Es geht also rein um die Betrachtung einer fest definierten Ausprägung einer Naturgefahr (im Beispiel Magnitude des Erdbebens) und der technisch kalkulierbaren Widerstandsfähigkeit bzw. Anfälligkeit eines betrachteten

4. Vulnerabilität

baulichen Objektes oder mehrerer Objekte im Raum. (vgl. Birkmann 2008: 7f.; Rashed und Weeks 2003: 554f.)

Tabelle 4: Gegenüberstellung zentraler Aspekte der Vulnerabilitätsverständnisse in unterschiedlichen Disziplinen

| | Soziale Vulnerabilität (Chambers) | Ingenieurwissenschaften | Klimafolgenforschung (IPCC/ UBA*) | Naturrisikoforschung | Risikoforschung (IPCC SREX/ WRI*) | Raumforschung (ARL) |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Naturereignis | | | x | | | |
| Exposition | x | x | x | x | | |
| Sensitivität | | x | x | x | x | x |
| Bewältigungskapazität | x | | | x | x | x |
| Adaptivität | | | x | | x | x |
| Nachhaltigkeit | | | | | | x |

Quelle: eigene Darstellung; * = Praxisbeispiele aus Kapitel 4.2

In der Klimafolgenforschung wird Vulnerabilität stärker auf die Klimaänderungen und die Wirkungen dieser Änderungen auf bestimmte Schutzgüter oder Raumnutzungen bezogen. Wie auch im vierten Sachstandsbericht des IPCC beschrieben wird, ist Vulnerabilität eine Funktion aus „der Art, des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und -schwankung, der ein System ausgesetzt ist, seiner *Sensitivität* und seiner *Anpassungskapazität*“ (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 2008: 9; Hervorhebungen im Original). Der Klimastimulus ist also Bestandteil der Vulnerabilität. Damit versucht diese Definition der Tatsache Rechnung zu tragen, dass Klimafolgen räumlich nicht gleichmäßig auftreten, sondern in verschiedenen Erdteilen unterschiedliche Ausprägungen aufweisen. Ein Grund für diesen Ansatz sind die Treibhausgasemissionen, die als zentraler Treiber des anthropogenen Klimawandels großen Einfluss auf die räumlich differenzierten Klimafolgen haben. Dies wiederum bietet einen Ansatzpunkt für Handlungsmaßnahmen zur Vermeidung negativer Klimafolgen, die unter dem Stichwort Mitigation eine zentrale Rolle im vierten Sachstandsbericht des IPCC einnehmen. (vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 2008; Birkmann und Fleischhauer 2013: 49-51)

Neben der Klimaänderung wird in der Definition auch die Ausgesetzttheit, also die Exposition, eines Systems als Bestandteil der Vulnerabilität in der Klimafolgenforschung aufgeführt (siehe auch Birkmann und Fleischhauer 2013: 50; Füssel und Klein 2007: 322). Sensitivität und Anpassungsfähigkeit vervollständigen als Charakteristika das Vulnerabilitätsverständnis. Im Gegensatz zu den drei

anderen Charakteristika ist die Anpassungskapazität negativ mit der Vulnerabilität korreliert, sodass ein Mangel an Anpassungsfähigkeit die Vulnerabilität erhöht. (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 49-51; Birkmann 2008: 7; Füssel und Klein 2007: 322)

In der Naturrisikoforschung wird Vulnerabilität aus den Elementen Exposition, Anfälligkeit und Bewältigungskapazität konstruiert (siehe Tabelle 4; vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 45). Im Vergleich zur Klimafolgenforschung rückt die Naturgefahr bzw. die Entwicklung der Klimastimuli in den Hintergrund. Weiterhin ist das Vulnerabilitätskonzept in der Naturrisikoforschung nicht auf die Klimagefahren beschränkt, sondern kann auch weitere Naturgefahren, wie Geohazards, umfassen. In diesem Vulnerabilitätsverständnis ist die Exposition die Schnittstelle zwischen der externen Naturgefahr und der Vulnerabilität eines Systems. Da die Exposition alleine keine hinreichende Bedingung für Vulnerabilität darstellt, wird auch die Sensitivität des betrachteten Systems sowie der Mangel an Bewältigungskapazität in die Definition einbezogen. (vgl. ebd.; Wisner et al. 2004: 11ff.)

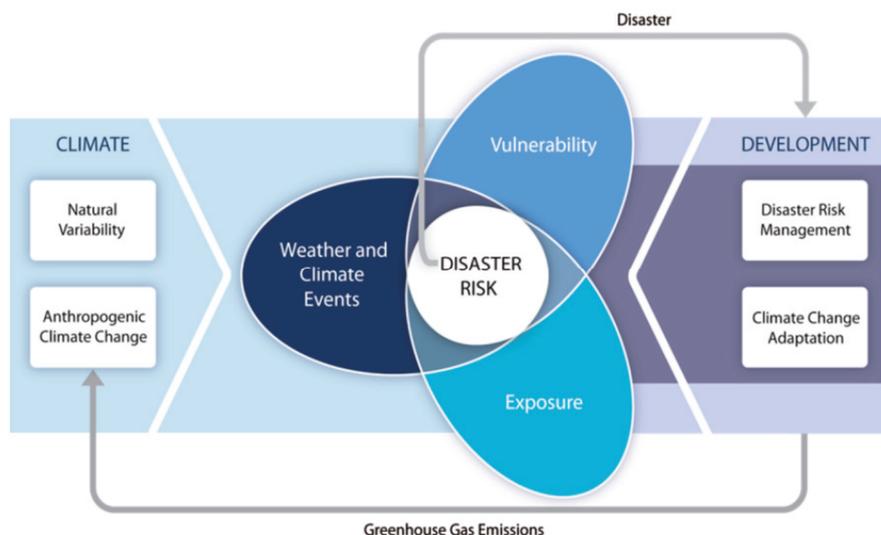
Im Vergleich kann herausgestellt werden, dass der zeitliche Betrachtungshorizont von Vulnerabilitätsanalysen in der Naturrisikoforschung kürzer gefasst ist als der Betrachtungshorizont in der Klimafolgenforschung. Dies ergibt sich daraus, dass der Ausgangspunkt des Vulnerabilitätsverständnisses in der Naturrisikoforschung eine Exposition ist, die sich auf eine oder mehrere definierte Naturgefahren bezieht (vgl. ebd.). Vulnerabilität in der Klimafolgenforschung bezieht jedoch unterschiedliche Arten, Ausmaße und Geschwindigkeiten von Klimaänderungen mit ein (vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 2008: 98), sodass der Zeitraum, aus dem die zu berücksichtigenden Gefahren entstehen können, deutlich weiter aufgespannt ist. Auch die Perspektive auf den Umgang mit möglichen negativen Wirkungen unterscheidet sich maßgeblich: während in der Naturrisikoforschung primär auf eine kurzfristige Vermeidung oder schnelle Wiederherstellung abgezielt wird, hinterfragt die Klimafolgenforschung welche Kapazitäten zur Anpassung an die neuen Rahmenbedingungen vorhanden sind.

Dass die beiden aufgeführten Definitionsstränge aller Unterschiede zum Trotz auch komplementär zueinander verstanden werden können, zeigt das IPCC in seinem Spezialbericht zum Risikomanagement von Extremereignissen und Katastrophen (SREX) aus dem Jahr 2012 (vgl. Field et al. 2012). Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, werden dort wesentliche Elemente des Vulnerabilitätskonzeptes der Klimafolgenforschung und der Naturrisikoforschung zusammengeführt (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 47f.). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass in dem Bericht dem Risikobegriff in diesem Kontext die zentrale Rolle zugewiesen wird, da er im Sinne von Risikomanagement einen aktiveren Handlungsansatz erlaubt. So entstehen Risiken dem Bericht zufolge aus Wetter- und

4. Vulnerabilität

Klimaereignissen, der Exposition und der Vulnerabilität eines betrachteten Raumes. Zu beachten ist hierbei die deutliche Differenzierung zwischen dem Naturereignis, der Exposition und der Vulnerabilität eines Raumes als jeweils eigene Kategorien. Das gefahrenspezifische Vulnerabilitätsverständnis im SREX-Bericht umfasst neben der Sensitivität des Schutzobjektes auch mangelnde Bewältigungs- und Anpassungskapazitäten (vgl. Cardona et al. 2012: 69-72). Damit gleicht das Vulnerabilitätsverständnis im SREX-Bericht dem im WorldRiskIndex (WRI), der als Praxisbeispiel in Kapitel 4.2 beschrieben wird.

Abbildung 15: Kernkomponenten des Risikos im SREX-Bericht



Quelle: Field et al. 2012: 4

Auch ein Arbeitskreis der ARL hat sich mit Vulnerabilitätsdefinitionen auseinandergesetzt und dazu einen Standpunkt veröffentlicht (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 51). Die Ergebnisse des Arbeitskreises „Klimawandel und Raumplanung“ werden in dieser Arbeit stellvertretend für die Perspektive der Raumforschung auf Vulnerabilität verwendet. Der ARL-Arbeitskreis unterstützt die Position, dass die Wirkungen des Klimawandels bzw. Naturgefahren im Allgemeinen klar vom Vulnerabilitätskonzept abzugrenzen sind. Damit folgen die Autoren tendenziell den Vulnerabilitätsverständnissen aus der Risikoforschung und aus dem SREX-Bericht. Naturgefahren und Klimastimuli seien „eher dem Bereich der physischen Gefahrenkomponente zuzuordnen“ (ebd.). Die Zuordnung zur Naturrisikoforschung bedeutet auch, dass die Exposition nicht als Bestandteil der Vulnerabilität verstanden wird. Der Fokus einer planerischen Vulnerabilitätsdefinition muss demzufolge eher auf den Schutzobjekten liegen. Eindeutig der Vulnerabilität zugerechnet werden dagegen die Sensitivität, die Bewältigungs- und die Anpassungskapazität von Schutzgütern bzw. Akteuren. (vgl. ebd.)

Neben diesen eher allgemeinen Faktoren der Vulnerabilität stellt der ARL-Arbeitskreis auch einen Bezug zu zentralen planerischen Handlungsmaximen her, indem er die Auffassung vertritt, dass

Vulnerabilität inhaltlich zumindest die soziale, die ökonomische und die ökologische Dimension berücksichtigen sollte. Dieser direkte Bezug auf die Nachhaltigkeitstrias unterstreicht die Wahrnehmung der Vulnerabilität als „vielschichtiges Mensch-Umwelt-Interaktionsproblem“ (ebd.), die sich eben nicht allein auf Naturereignisse zurückführen lässt, sondern im komplexen Zusammenspiel der unterschiedlichen Teilbereiche einer Stadt entsteht. Aufgrund des Zusammenspiels unterschiedlicher städtischer Systeme mit sich wandelnden Herausforderungen könne Vulnerabilität auch kein statisches Konzept sein, sondern verändert sich prozesshaft und dynamisch (vgl. ebd.: 47). Dies wiederum bedeutet für Planungsakteure veränderte Planungsgrundlagen und Unsicherheiten in langfristigen Planungsprozessen.

4.2 Praxisbeispiele von Vulnerabilitätsanalysen

Praxisbeispiele können zum besseren Verständnis von theoretischen Konzepten beitragen. Im Falle der Vulnerabilität können Vulnerabilitätsanalysen aufzeigen, wie das Konzept in der Praxis angewendet und operationalisiert wird. Vulnerabilitätsanalysen werden von der globalen bis zur lokalen Ebene und mit unterschiedlichen Fragen und Zielsetzungen durchgeführt, sodass die verschiedenen Arten und Ausprägungen an dieser Stelle nicht wiedergegeben werden können.

Der von Jörn Birkmann editierte Sammelband mit dem Titel „Measuring vulnerability to natural hazards“ (Birkmann 2013a) enthält eine Fülle von Beiträgen zur praktischen Anwendungen des Vulnerabilitätskonzeptes. Die Beispiele decken unterschiedlichste Ansätze zur Vulnerabilitätsanalyse von der globalen bis hin zur lokalen Ebene ab und weisen auch thematisch unterschiedliche Schwerpunkte auf: von globaler Risikoanalyse über den Social Vulnerability Index bis hin zur Vulnerabilitätsanalyse im Hinblick auf Naturgefahren in Tansania werden unterschiedliche methodische Zugänge dargestellt. Ein sehr bekanntes Beispiel für die Durchführung einer Vulnerabilitätsanalyse auf globaler Ebene ist der WorldRiskIndex (WRI). Seit 2011 wird vom Bündnis Entwicklung Hilft jährlich der Weltrisikobericht herausgegeben, der auf einer globalen Risikoanalyse nach der Methodik des WRI basiert. Zwar zielt der Index in seiner Namensgebung primär auf das Risikokzept ab, doch zeigt sich in der konkreten Ausdifferenzierung des Index und der Auswertung der Ergebnisse, dass sich der Index zur Hälfte auch aus den Ergebnissen einer Vulnerabilitätsanalyse zusammensetzt. In Anlehnung an das Risikoverständnis aus der Denkschule der Risikoforschung und Katastrophenvorsorge, weist der WRI vier Hauptfaktoren auf, die durch Indikatoren gemessen werden:

- Exposition gegenüber Naturgefahren (einschließlich Häufigkeit und Ausmaß der Gefahr)
- Anfälligkeit der exponierten Gruppe oder Gesellschaft

4. Vulnerabilität

- Bewältigungskapazitäten
- Anpassungskapazitäten.

Dabei ist die Exposition getrennt von der Vulnerabilitätsanalyse, die die übrigen drei Hauptfaktoren umfasst. Die Vulnerabilität wird berechnet als:

Formel 2: Berechnung der Vulnerabilität im WorldRiskIndex

$$\text{Vulnerabilität} = \frac{1}{3} * (\text{Anfälligkeit} + (1 - \text{Bewältigung}) + (1 - \text{Anpassung}))$$

Quelle: eigene Darstellung nach Heintze et al. 2018: 39

Aus der Multiplikation der Kennwerte für die Exposition und die Vulnerabilität ergibt sich der Indexwert des WRI. (vgl. Heintze et al. 2018: 12f.; Welle et al. 2013: 220f.)

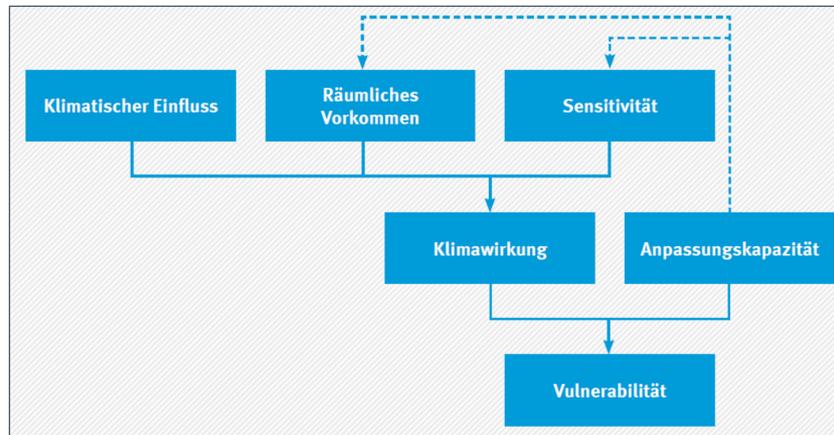
Die einzelnen Kennwerte werden aus der gewichteten Summierung und Multiplikation von insgesamt 31 Indikatoren (z. B. Anteil unterernährter Bevölkerung, Anzahl Ärzte je 1.000 Einwohner, Alphabetisierungsquote) aus 16 Themenbereichen berechnet, die auf Ebene der Nationalstaaten für die jeweilige Gesamtbevölkerung erhoben werden. Der WRI kann zwischen 0 und 100 liegen und beschreibt mit zunehmender Höhe ein erhöhtes Risiko, dass in dem jeweiligen Staat eine Katastrophe in Folge eines extremen Naturereignisses eintritt. (vgl. Heintze et al. 2018: 35f.; Welle et al. 2013: 219ff.)

Die höchsten Indexwerte weisen im aktuellen WeltRisikoBericht 2018 die Staaten Vanuatu (1. Platz; WRI: 50,28), Tonga (2.; 29,42) und die Philippinen (3.; 25,14) auf, die allesamt durch einen vergleichsweise sehr hohen Expositionswert und hohe Vulnerabilität gekennzeichnet sind. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Exposition in dem Konzept ein zentraler Treiber für einen hohen Indexwert ist. Es ist inhaltlich nachvollziehbar, dass Regionen, die Naturgefahren besonders intensiv ausgesetzt sind, ein erhöhtes Katastrophenrisiko aufweisen. Dagegen haben die Staaten mit den geringsten Expositionswerten auch die geringsten WRI-Werte der 172 bewerteten Staaten (Saudi-Arabien: 170., Malta: 171., Katar: 172.). Deutschland liegt mit einem WRI von 2,42 auf Platz 155. (vgl. Heintze et al. 2018: 48-51)

Als exemplarisches Beispiel für Vulnerabilitätsanalysen in Deutschland soll der Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen dienen, der 2017 vom Umweltbundesamt herausgegeben wurde. Dieser Leitfaden beruht auf den Arbeiten des Netzwerkes Vulnerabilität, das 2011 im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel im Auftrag der Bundesregierung gegründet wurde. Da in die Erstellung Erfahrungen aus der ersten Vulnerabilitätsanalyse für Deutschland und mehrerer Vulnerabilitätsanalysen der Bundesländer eingeflossen sind, kann davon [132]

ausgegangen werden, dass die im Leitfaden dargestellten Methoden die Praxis der Vulnerabilitätsanalysen in Deutschland gut abbilden und durch ihren Beispielcharakter auch Eingang in künftige Vulnerabilitätsanalysen in Deutschland finden. (vgl. Buth et al. 2017)

Abbildung 16: Vulnerabilitätskonzept aus dem Leitfaden des Umweltbundesamtes



Quelle: Buth et al. 2017: 10

Wie aus Abbildung 16 abgeleitet werden kann, basiert das von den Wissenschaftlern und Experten der interdisziplinären Arbeitsgruppe entwickelte Konzept primär auf dem Vulnerabilitätsverständnis aus dem vierten Sachstandsbericht des IPCC. Dies lässt sich zum einen daran erkennen, dass als Endergebnis die Vulnerabilität erhoben wird und nicht das Risiko, wie es im fünften IPCC-Sachstandsbericht der Fall ist. Zum anderen werden die klimatischen Einflüsse und die Exposition (hier als „Räumliches Vorkommen“) als Bestandteil der Klimawirkung in die Vulnerabilitätsanalyse einbezogen. Diese Klimawirkung „beschreibt die beobachtete oder potenzielle Wirkung des klimatischen Einflusses auf das System [...]“ (ebd.: 10). Neben Art und Ausmaß der klimatischen Einflüsse und der Exposition ist auch die Sensitivität bzw. Anfälligkeit der Schutzobjekte ausschlaggebend für die Klimawirkung. Aus dem Zusammenspiel der Klimawirkung und der Anpassungskapazität der Schutzobjekte ergibt sich nach Ansicht des Umweltbundesamtes dann die Vulnerabilität. Die Anpassungskapazität umfasst explizit längerfristige Maßnahmen, um sich in Zukunft an den Klimawandel anzupassen, indem die Exposition oder die Sensitivität der Schutzobjekte reduziert wird (siehe Abbildung 16). Dass die Bewältigungskapazität kein Bestandteil des Vulnerabilitätskonzeptes in diesem Leitfaden ist, zeigt ebenfalls, dass sich das Umweltbundesamt primär an dem auch im vierten IPCC-Sachstandsbericht dargestellten Vulnerabilitätsverständnis aus der Klimafolgenforschung orientiert. Ein weiteres Indiz dafür ist, dass sich die Gefahrenkomponente ausschließlich auf klimatische Gefahren bezieht und nicht auf den genereller gefassten Begriff der Naturgefahren, wie es in der Naturrisikoforschung der Fall ist.

4. Vulnerabilität

Die weiteren Inhalte des Leitfadens umfassen methodische Hinweise sowie die Abfolge verschiedener Arbeitsschritte in der Konzeption und Durchführung einer Vulnerabilitätsanalyse. Zur Bestimmung der klimatischen Einflüsse, der Exposition und der Sensitivität, empfiehlt der Leitfaden unterschiedliche Szenarien aufzustellen, die beispielsweise aus Klimaprojektionen (klimatischer Einfluss) oder Bevölkerungsprognosen (Exposition) abgeleitet sein können. Anschließend sind Wirkungsketten zu konstruieren. Klimatische Einflüsse können entweder direkt eine Klimawirkung beim Schutzobjekt erzeugen (z. B. Hagel auf Gebäude) oder indirekt über eine Klimawirkung erster Ordnung (z. B. Starkregen verursacht ein Hochwasser, aus dem Gebäudeschäden entstehen). Die Bewertung geschieht noch rein qualitativ. Erst im Rahmen anschließender Expertenworkshops sollen die Wirkungsketten mittels geeigneter Indikatoren operationalisiert werden. Dabei sind die Datenverfügbarkeit und die Verlässlichkeit der Indikatoren zu berücksichtigen. Um die ermittelten Ergebnisse bewerten zu können, sind Bewertungsmaßstäbe festzulegen, die sich auf klimaspezifische Schwellenwerte, normative Bezugsgrößen (z. B. Schadenswerte) oder durch Expertenmeinung bestimmte Kriterien beziehen können. (vgl. ebd.: 18–32)

Abschließend ist die Anpassungskapazität der Schutzobjekte zu bewerten. Hierfür schlägt der Leitfaden vor, sektorunabhängige, allgemeine Anpassungskapazitäten einer Region quantitativ zu messen (z. B. Kapitalausstattung, Einkommen, Infrastruktur, Know-how). Sektorspezifische Anpassungskapazitäten sind hingegen über Expertengespräche zu ermitteln. Anschließend kann aus der Zusammenführung aller Ergebnisse die Vulnerabilität bestimmt und bewertet werden. Dies kann, muss aber nicht zwingend quantitativ erfolgen. Je nach Aufgabenstellung können auch qualitative Aussagen zur Vulnerabilität zielführend sein. Soll aber beispielsweise der Effekt von Maßnahmen auf die Vulnerabilität gegenüber einem definierten Klimaeinfluss bestimmt werden, so bietet sich eine quantitative Berechnung der Vulnerabilität an. Als letzten Arbeitsschritt gibt der Leitfaden an, die Ergebnisse der Analyse in allgemeinverständlicher Form an die zuvor definierte Zielgruppe zu kommunizieren, die Vorgehensweise, Methodik und Ergebnisse transparent und nachvollziehbar zu dokumentieren und die gewonnenen Erkenntnisse zur Maßnahmenbildung einzusetzen. (vgl. ebd.: 32–37)

Es wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass der dargestellte Leitfaden exemplarisch für Vulnerabilitätsanalysen in Deutschland stehen kann und eine Übertragbarkeit auf die kommunale Ebene gegeben ist. Daher wird auf eine eingehendere Darstellung kommunaler und regionaler Vulnerabilitätsanalysen, wie sie beispielsweise im Rahmen des KlimaMORO Stuttgart (vgl. Weis et al. 2011;

Stock et al. 2009) oder des KlimaMORO Vorpommern (vgl. BMVBS-Bundesministerium für Verkehr 2011: 12ff.) durchgeführt wurden, verzichtet.

4.3 Vulnerabilitätsverständnis der vorliegenden Arbeit

Es gilt, dieser Arbeit ein Vulnerabilitätsverständnis zugrunde zu legen. Die Auswahl sollte neben der Eignung für die inhaltlichen Fragestellungen auch die Abgrenzbarkeit zum Resilienzkonzept berücksichtigen. Grundsätzlich scheint das Vulnerabilitätsverständnis des ARL-Arbeitskreises aufgrund der engen inhaltlichen Bezüge auch für den Kontext der vorliegenden Arbeit gut geeignet. Aufgrund des engen Bezuges zur Vulnerabilitätsdefinition des SREX-Berichts des IPCC kann davon ausgegangen werden, dass das Verständnis einen Konsens des internationalen, wissenschaftlichen Diskurses widerspiegelt. Es stellt sich jedoch die Frage, in welcher Beziehung Exposition und Vulnerabilität zueinanderstehen sollen. Im Hinblick auf den empirischen Teil der Arbeit und mit der Absicht der Operationalisierbarkeit bietet sich hierzu eine pragmatische Lösung an: die Exposition ist als Teil der Vulnerabilität zu verstehen. Insbesondere, da im empirischen Teil die Vulnerabilität und Resilienz unterschiedlicher Raumstrukturtypen gegenüber verschiedenen Rahmenbedingungen untersucht werden sollen, ist es zielführend, den Expositionsaspekt in die Vulnerabilitätsanalyse mit einzubeziehen. Auch der ARL-Arbeitskreis zählt in der weiteren Operationalisierung des Vulnerabilitätskonzeptes die Exposition zu den Kernelementen der Vulnerabilität, wenngleich dies zuvor bei der eigenen Positionsbestimmung nicht in dieser Form herausgestellt wurde (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 54f.).

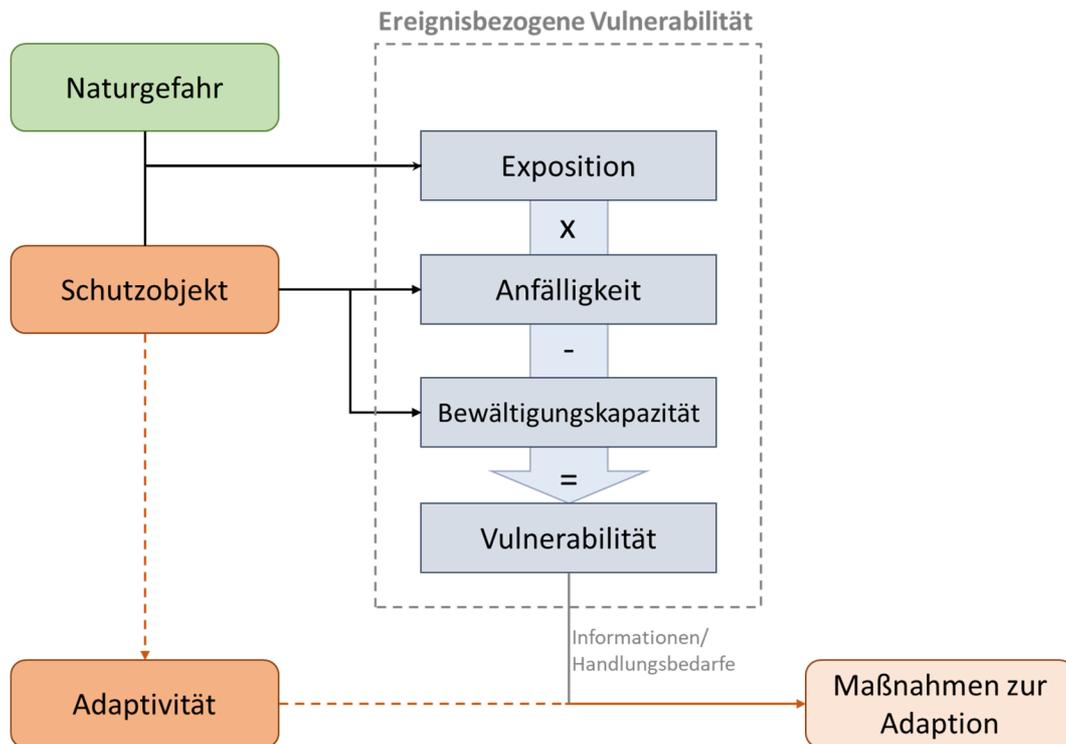
Hinsichtlich der weiteren Elemente der Vulnerabilität, die in den unterschiedlichen disziplinären Zugängen aufgeführt werden, kann die Anfälligkeit bzw. Sensitivität der betrachteten Objekte als der Vulnerabilitätsfaktor herausgestellt werden, über den die größte Einigkeit in den verschiedenen Denkschulen besteht. Sie ist Teil der allermeisten Vulnerabilitätsdefinitionen und weist auch inhaltlich die engsten Bezüge zum Wortstamm der Vulnerabilität im Sinne von Verletzlichkeit auf. Ohne Betrachtung der Anfälligkeit der Schutzobjekte gegenüber einer definierten Gefahr lässt sich keine hinreichende Aussage dazu treffen, ob negative Wirkungen zu erwarten sind und welches Ausmaß diese annehmen können. Daher ist die Anfälligkeit als ein zentraler Vulnerabilitätsfaktor zu berücksichtigen (siehe Abbildung 17).

Des Weiteren ist ein ausreichendes Maß an Bewältigungskapazitäten erforderlich, um die potenziell negativen Folgen einer Naturgefahr abzuwenden, abzumildern oder zumindest schnellstmöglich zu überwinden. So sind aus Sicht des Autors Maßnahmen, die kurzfristig ergriffen werden können, um Schaden zu mindern oder die Funktionsfähigkeit eines Schutzobjektes wiederherzustellen,

4. Vulnerabilität

Bestandteil der Widerstandsfähigkeit eines Schutzobjektes. Genauso wie die strukturellen Eigenschaften der betrachteten Systeme, die die Sensitivität bestimmen, beeinflussen auch die Bewältigungskapazitäten, wie gut oder schlecht ein Schutzobjekt mit einer Naturgefahr umgehen kann und wie persistent die Systemstrukturen sind.

Abbildung 17: Ereignisbezogenes Vulnerabilitätskonzept



Quelle: eigene Darstellung

Die Anpassungskapazitäten der betroffenen Schutzobjekte oder Systeme werden in einigen Denkschulen ebenfalls der Vulnerabilität zugerechnet (siehe z. B. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 2008; Birkmann und Fleischhauer 2013; Füssel und Klein 2007). Dies ist inhaltlich nachvollziehbar, reduziert es doch langfristig die Vulnerabilität, wenn Schutzobjekte ausreichend flexibel sind, sich an absehbare Herausforderungen anzupassen und die organisatorischen Rahmenbedingungen derartige Anpassungsprozesse im Sinne langfristiger Strategien auch unterstützen. Genauso gut kann die Einbeziehung der Anpassungskapazität als Vulnerabilitätsfaktor aber auch hinterfragt werden: Treffen derartige, langfristig orientierte Strategien den Kern des Gedankens der Verletzlichkeit? Wie unter anderem auch im SREX-Bericht des IPCC beschrieben, wird das Vulnerabilitätskonzept in der Regel als gefahrenspezifisch definiert (vgl. Cardona et al. 2012: 70-72). In Vulnerabilitätsanalysen wird beispielsweise die Vulnerabilität einer Region zum Zeitpunkt X gegenüber einem 100-jährlichem Hochwasserereignis oder einem Erdbeben einer bestimmten Stärke berechnet. Das bedeutet, dass Vulnerabilität darauf ausgerichtet ist, die Verletzlichkeit zu einem bestimmten

Zeitschnitt und gegenüber einer definierten Gefahr zu bestimmen. Ob die betroffene Region oder das Schutzobjekt aber im Anschluss an ein schadhaftes Ereignis in der Lage sind, einen strategischen Anpassungsprozess in Gang zu setzen, wäre dieser Sichtweise zu Folge kein zwingend erforderlicher Faktor, um die potenzielle Verletzlichkeit zum Zeitpunkt der Vulnerabilitätsanalyse zu bestimmen. Hinzu kommt, dass im Planungskontext langfristige, strategische Planungsprozesse dem normativen Ziel der Nachhaltigkeit und einer integrativen Planungsperspektive verschrieben sind (vgl. § 1 ROG) und somit unterschiedlichen Ansprüchen gerecht werden müssen. Es ist zu hinterfragen, ob eine gefahrenspezifische Anpassungsstrategie diesen Zielen gerecht werden kann. Bei strukturierten, strategischen Prozessen zur Naturgefahrenvorsorge sollten nicht zuletzt auch im Sinne der Effizienz unterschiedliche Gefahren Berücksichtigung finden, also die Erkenntnisse aus unterschiedlichen Vulnerabilitätsanalysen einfließen und auch weitere Zielsetzungen der Planung einbezogen werden. Außerdem bietet es sich im Kontext dieser Arbeit an, die Anpassungskapazität von der Vulnerabilität abzugrenzen, da sich hier ein wesentlicher Ansatzpunkt für die Differenzierung zwischen Vulnerabilität und Resilienz ergibt (siehe Kapitel 5.3.1). Insgesamt orientiert sich der Autor demzufolge stark am Vulnerabilitätsverständnis der Naturrisikoforschung.

Eine dynamische Perspektive auf Vulnerabilität, wie sie auch im Stuttgarter KlimaMORO oder im Leitfaden der ARL proklamiert wird (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 47; Weis et al. 2011: 11f.), soll in dieser Arbeit nicht weiterverfolgt werden. Dies ist mit der Exklusion der Anpassungskapazität aus dem Vulnerabilitätsverständnis zu begründen. Wenn Vulnerabilität nur ereignisbezogen verstanden wird und die Anpassungsfähigkeit kein Bestandteil der Analyse ist, ist auch eine dynamische Betrachtung der Veränderungen und Rückkopplungen im System nicht zwingend erforderlich. Auch die jährliche Neuauflage des WRI ist ein Beispiel dafür, dass Vulnerabilitätsanalysen in der Praxis überwiegend als (ggf. wiederholte) Querschnittsanalysen der Vulnerabilität zu einem bestimmten Zeitpunkt und gegenüber definierten Gefahren durchgeführt werden. Nichtsdestotrotz muss in der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden, dass die Vulnerabilität eines Schutzobjektes das Produkt mehrerer veränderlicher Faktoren ist und dementsprechend keinesfalls langfristig fix ist, sondern sich auch verändern kann und daher eine regelmäßige Neubewertung erforderlich ist.

Für die weitere Arbeit wird daher folgende eigene Vulnerabilitätsdefinition zugrunde gelegt:

Vulnerabilität beschreibt die Verletzlichkeit von Schutzgütern (bauliche Strukturen, gesellschaftliche Strukturen, Gruppen, Individuen und Raumfunktionen) zu einem bestimmten Zeitpunkt gegenüber kurz- und langfristigen Naturgefahren. Schutzgüter sind vulnerabel, wenn sie gegenüber einer bestimmten Naturgefahr prinzipiell exponiert und für negative Wirkungen anfällig sind sowie einen

4. Vulnerabilität

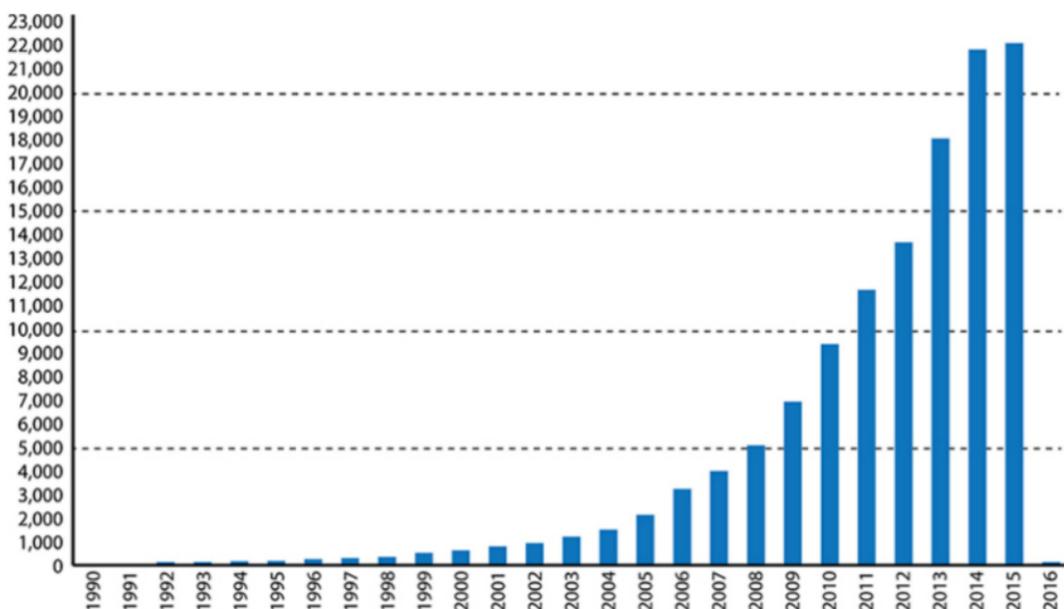
Mangel an Bewältigungskapazitäten aufweisen. Von negativen Wirkungen ist auszugehen, wenn die Funktionsweise des Schutzgutes in der Form beeinträchtigt wird, dass Einschränkungen auf sozialer, ökonomischer oder ökologischer Ebene zu erwarten sind.

5. Resilienz

Was ist Resilienz? Eine Frage, die in zahlreiche Veröffentlichungen unterschiedlicher Disziplinen sowie in der Praxis kontrovers diskutiert wird. Viel mehr noch als bei der Vulnerabilität (vgl. Kapitel 4) ist der Diskurs zur Definition von Resilienz von sehr unterschiedlichen Sichtweisen und disziplinären Zugängen geprägt. Wenngleich ein Konsens über das grundsätzliche Verständnis von Resilienz als eine Form von Widerstands- und Anpassungsfähigkeit zu bestehen scheint, unterscheiden sich die konkreten Ausprägungen der Definitionen in verschiedenen Denkschulen deutlich und bedingen voneinander abweichende Handlungsansätze.

Die sich verändernden Rahmenbedingungen urbaner Entwicklungsprozesse (siehe Kapitel 3) stellen immer neue Herausforderungen an die städtischen Systeme (siehe Kapitel 2). Diese urbanen Systeme und städtischen Strukturen weisen ein gewisses Maß an Vulnerabilität (siehe Kapitel 4) gegenüber den Herausforderungen auf, wodurch die sicheren Lebensbedingungen und Mindeststandards der Daseinsvorsorge gefährdet werden. In diesem Spannungsfeld setzt das Resilienzkonzept an und bietet Planungsakteuren Ansatzpunkte zur Ausgestaltung baulicher Strukturen und der Planungsprozesse, um den genannten Herausforderungen gerecht werden zu können.

Abbildung 18: Jährliche Zitationen mit Bezug zur Resilienz in der Umweltforschung



Quelle: Folke 2016: 3

Diese verkürzte, inhaltliche Herleitung verdeutlicht die Relevanz des Resilienzkonzeptes für die Planungspraxis. Dass das Konzept auch in der Wissenschaft zunehmend an Bedeutung gewinnt, zeigt ein Blick in die Fachliteratur: Wie Folke für den Bereich der Umweltforschung feststellt, hat sich die

5. Resilienz

Zahl der Zitationen mit Bezug zur Resilienz zwischen 1995 und 2015 um den Faktor 200 erhöht (siehe Abbildung 18). Insbesondere seit den 2010er-Jahren belegt die exponentielle Zunahme der Zitationen die zunehmende Dynamik des Diskurses. Einige Autoren bezeichnen die Resilienz daher auch als das neue „buzzword“ (Stumpp 2013: 164) in der Stadtentwicklungsforschung. Wurden Stadtentwicklungsstrategien lange Zeit durch den normativen Kompass der Nachhaltigkeit geprägt und die dahinterliegenden Ideen in die Praxis implementiert, kann man inzwischen den Eindruck gewinnen, dass zumindest auf der strategischen Ebene auch die Resilienz die Diskussionen der Planungsakteure prägt.

Wenngleich der breite Transfer der Resilienz in die Praxis aufgrund der konzeptionellen Unschärfen noch nicht gelungen ist, muss davon ausgegangen werden, dass das Konzept in den kommenden Jahren die strategischen und operativen Prozesse der Stadtentwicklung prägen wird. Auch in der Zivilgesellschaft wird dieser Bedeutungszuwachs inzwischen wahrgenommen. So titelte beispielsweise die New York Times im November 2012:

„Forget sustainability. It’s about resilience“

(Zolli 2012; eigene Hervorhebung)

Ausgangspunkt dafür war, dass nach zahlreichen verheerenden Ereignissen wie den New Yorker Terroranschlägen vom September 2001, diversen Sturmfluten oder den Schäden um Hurricane Sandy ein Umdenken unter den New Yorker Planungsakteuren begonnen hat: so erstrebenswert das Ausbalancieren von ökologischen, ökonomischen und sozialen Belangen im Sinne der Nachhaltigkeit auch ist, schützt diese Zielsetzung nicht vor unwägbareren Naturgefahren in einer dynamischen, komplexen Realität. Daher wurden in New York durch die Politik und die Planung Initiativen gestartet, um den Resilienzgedanken zunehmend in die Planungspraxis zu transferieren. (vgl. Zolli 2012)

Damit der Transfer in die Praxis gelingen kann, sind zunächst die definitorischen Unschärfen des Konzepts der urbanen Resilienz in der Theorie zu überwinden. Als Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs und zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage, wird in diesem Oberkapitel eine Definition der urbanen Resilienz erarbeitet und von ähnlichen Begrifflichkeiten abgegrenzt. Kapitel 5.2.1 greift noch einmal das Forschungsziel (siehe Kapitel 1.2) hinsichtlich der zu erarbeitenden Definition auf und konkretisiert die Anforderungen, die zu erfüllen sind. Um den Zielsetzungen gerecht werden zu können, wird zunächst der theoretische Diskurs zur Resilienz anhand der Genese des Konzepts aufgearbeitet und zentrale Resilienzverständnisse im Kontext urbaner Räume herausgearbeitet

(siehe Kapitel 5.1). Der Vergleich von Gemeinsamkeiten und Unterschieden der verschiedenen Resilienzverständnisse in der Literatursynthese erlaubt einen umfassenden Überblick über den Stand der Forschung (siehe Kapitel 5.1.5). Auf dieser Grundlage erfolgt die theoretisch-konzeptionelle Entwicklung des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz*. Das Konzept wird durch Abgrenzung zu verwandten Begrifflichkeiten und Konzepten in seinem theoretischen Kontext verortet (siehe Kapitel 5.3). Daran anschließend werden Praxisbeispiele der Operationalisierung des Resilienzkonzepts aufgezeigt (siehe Kapitel 5.4), die als Grundlage zur Identifikation von Ansätzen zur Operationalisierung des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* für die Praxis dienen (siehe Kapitel 5.5). Dieses Kapitel leitet damit in den empirischen Teil der Arbeit über. Im abschließenden Zwischenfazit (siehe Kapitel 5.6) werden knapp die zentralen Ergebnisse des Theorieteils der Arbeit und die Beantwortung der zugehörigen Forschungsfragen zusammengefasst.

5.1 Genese des Resilienzkonzepts

Warum braucht es überhaupt ein Konzept der (urbanen) Resilienz? Ist Resilienz nicht nur die Kehrseite der Vulnerabilität? In der Wissenschaft, aber vor allem auch in der Praxis, werden diese Fragen zu Recht gestellt. Die definitorische Vielfalt und dadurch bedingte Unschärfe des Resilienzkonzepts führt bislang dazu, dass dessen Mehrwert nicht allen Akteuren bekannt ist. Der in den letzten Jahren deutlich angewachsene Fundus der Resilienzliteratur zeigt teils deutliche und teils geringere Unterschiede zum Vulnerabilitätskonzept auf.

Einige Autoren verstehen die Anwendung des Resilienzgedankens auf den urbanen Kontext als Reaktion auf die Schwachpunkte des Vulnerabilitätskonzepts (z. B. Miller et al. 2010; Dalziell und McManus 2004). Diese Kritik ergibt sich meist aus der Tatsache, dass Vulnerabilität in der Praxis vorwiegend als statistisches Analysekonzept verwendet wird: Der Status quo eines Systems wird betrachtet und mit einer definierten Herausforderung konfrontiert. Zwar belegt die exemplarisch in Kapitel 4.2 beschriebene Position der ARL, dass es auch dynamische Verständnisse von Vulnerabilität gibt, es überwiegen jedoch die statischen Analysekonzepte, die auf die Ermittlung eines festen Vulnerabilitätswerts ausgerichtet sind. Solch statische Analyseansätze lassen zwar eine Einschätzung der zu erwartenden Schäden bzw. Risiken zu und erlauben diese auch zu quantifizieren, doch kann eine derartige Analyse immer nur einen Ausschnitt der Realität darstellen. Um das Konzept operationalisierbar zu machen, beziehen sich Vulnerabilitätsanalysen immer auf einen abgrenzbaren Raum bzw. eine bestimmte Zahl an Schutzobjekten. Auch werden die Schutzobjekte meist nur mit einer beschränkten Zahl an Herausforderungen, oftmals auch nur einer (z. B. 100-jährliches Hochwasser, sommerlicher Hitzetag), konfrontiert (siehe Kapitel 4). In der Realität handelt es sich

5. Resilienz

bei Städten aber um komplexe Systeme, in denen eine Vielzahl von Akteuren wirken und deren Wirkungsmechanismen und Kausalketten über mehrere räumliche und zeitliche Ebenen miteinander verknüpft sind (siehe Kapitel 2.3 & 3.4). Rückkopplungs- und Kaskadeneffekte, die infolge eines Naturereignisses auftreten, aber nicht die direkt exponierten Schutzobjekte betreffen, sondern sich an anderen Orten der Stadt oder zeitlich verzögert niederschlagen, werden daher mitunter nicht im Rahmen einer Vulnerabilitätsanalyse erfasst (vgl. Miller et al. 2010). Um wichtige Wirkungsmechanismen und emergente Systemeigenschaften zu erkennen, ist eine allgemeinere Betrachtung des Gesamtsystems erforderlich, in das die Schutzobjekte eingebettet sind. Daraus wiederum ergibt sich, dass Resilienz als dynamisches Konzept zu verstehen ist, da sich relevante Rahmenbedingungen und damit auch die Wirkungsmechanismen eines Systems laufend verändern. Ein derart dynamisches und gesamtsystemisches Resilienzverständnis ist das Ergebnis von bald fünf Jahrzehnten¹² zunehmend intensiverer, wissenschaftlicher Diskussion über Resilienz. Im Zuge dieser Debatte hat sich das Verständnis von urbaner Resilienz unter dem Einfluss verschiedener Disziplinen weiterentwickelt und in seiner Genese unterschiedlichste Verständnisse und Definitionen hervorgebracht. Davon können im Rahmen dieses Kapitels nur die wesentlichsten Definitionen vorgestellt werden.

Bereits 2015 haben MEEROW ET AL. auf Basis der Zitationen in Elseviers Scopus und Thompson Reuters Web of Science (Stand der Literaturodatenbasis: Ende 2013) eine umfangreiche Literaturstudie erstellt, in der 172 Publikationen zu urbaner Resilienz miteinander verglichen sowie Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausgearbeitet werden (vgl. Meerow et al. 2016). Dabei weisen die Autoren auch darauf hin, dass aufgrund des rapiden Anstiegs der Veröffentlichungszahlen in den letzten Jahren (vgl. ebd.: 39) die Studie nur einen Teil der verfügbaren Literatur darstellen kann und inzwischen vermutlich zahlreiche weitere Publikationen zum Thema veröffentlicht wurden (siehe auch Abbildung 18).

Nichtdestotrotz erlaubt das in der Studie vorgestellte Co-Zitationsnetzwerk (siehe Abbildung 19) einen ersten Überblick über den Stand der Forschung zur urbanen Resilienz. Die Größe der Kreise ergibt sich aus der Häufigkeit, mit der eine Publikation gemeinsam mit anderen Publikationen zitiert wurde und repräsentiert so den Einfluss jeder Publikation auf den Stand der Forschung. Die Farben wiederum stehen für die Disziplinen, denen die Publikationen zuzuordnen sind und lassen so beispielsweise den Rückschluss zu, dass wesentliche theoretische Grundlagen zur Definition der urbanen Resilienz in der (Sozio-)Ökologie (hellgrüne Kreise) gelegt wurden. (vgl. ebd.)

¹² seit HOLLINGS richtungsweisendem Editorial zum Resilienzbezug von 1973 (vgl. Holling 1973)

5. Resilienz

unterschiedlicher Denkschulen auf die Definition urbaner Resilienz auch wirken mag, so ist diese Vielfalt auch ein Grund dafür, warum bislang keine einheitliche Definition gefunden wurde. Dabei kann eine allgemein anerkannte Definition durchaus ein guter Katalysator für die Strahlkraft eines Konzepts sein.

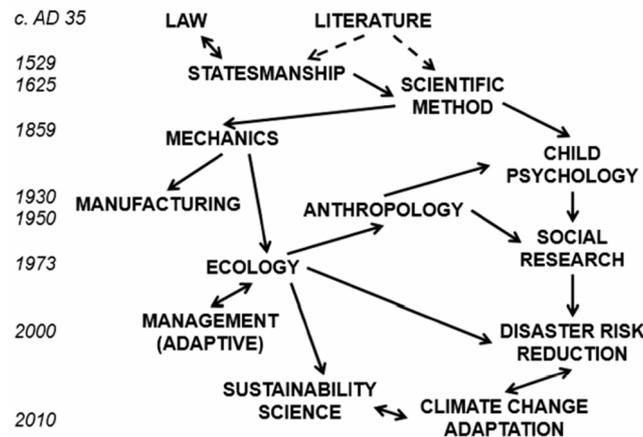
Abbildung 20: Entwicklung der Verwendungshäufigkeit der Begriffe Sustainability und Resilience nach Veröffentlichungsjahr der Publikationen (1900–2008)



Quelle: Google LLC; eigene Ergänzung

Ein Blick in die nicht repräsentative Google Books Datenbank zeigt, dass seit der Veröffentlichung des für die Nachhaltigkeitsdebatte prägenden, sogenannten *Brundtland-Berichts* im Jahr 1987 (vgl. Hauff 1987), die Verwendung des Nachhaltigkeitsbegriffs in der Literatur, die in der Datenbank erfasst ist, massiv angestiegen ist. Wenngleich nicht alle Autoren der politisch vorgegeben Definition von Nachhaltigkeit zugestimmt haben, so bietet sie doch einen gemeinsamen Bezugs- und Ausgangspunkt für die Diskussion. Sie erfüllt damit eine Disziplinen vernetzende Funktion. Gleichzeitig lässt sich Abbildung 20¹⁴ entnehmen, dass der Resilienzbegriff in der Literatur schon deutlich länger verwendet wird als der Nachhaltigkeitsbegriff. Auch wenn die Google Bibliothek kein vollständiges Abbild des Literaturbestandes darstellt, so lassen sich im Verlauf des Graphen einige Phasen erkennen, die so auch in literaturanalytischen Veröffentlichungen angegeben werden: erste häufigere Verwendungen des Begriffs in der Werkstoffkunde Anfang des 20. Jahrhunderts (vgl. Chelleri 2012: 290), um 1950 eine durch die Hawaii-Studie von Emmy Werner befeuerte Phase der Verwendung des Begriffs in der Psychologie (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 34) und ab den frühen 1970er Jahren schließlich eine kontinuierlich zunehmende Begriffsverwendung ausgehend von der Etablierung der Resilienz in der Ökologie und dem Transfer des Konzepts in den urbanen Kontext.

¹⁴ Der Google NRGAM Viewer zeigt für jedes Veröffentlichungsjahr an, in wie viel Prozent der Bücher der Google Books Bibliothek ein eingegebener Begriff verwendet wird.

Abbildung 21: Genese des Resilienzkonzepts durch verschiedene Disziplinen

Quelle: Alexander 2013: 2714

Abbildung 21 stellt die skizzierte Genese des Resilienzbegriffs in den verschiedenen Disziplinen im Zeitverlauf schematisch dar. Aus der Abbildung lässt sich neben der Chronik der Begriffsevolution anhand der Pfeile ableiten, welche Disziplinen mit ihrer Verwendung des Begriffs Resilienz Einfluss auf die Weiterentwicklung des Begriffsverständnis in anderen Disziplinen genommen haben. So lässt sich beispielsweise der große Einfluss der ökologischen Resilienzdefinitionen (vgl. Holling 1973; siehe Abbildung 19) auf die raumbezogenen Anwendungsfelder wie die Nachhaltigkeitsforschung oder die Katastrophenforschung nachvollziehen. Zudem konnte ALEXANDER anhand historischer Dokumente nachweisen, dass erste Verwendungen des Begriffs Resilienz nicht erst im späten 19. Jahrhundert im Kontext der Materialtechnik stattfanden, sondern schon seit dem Mittelalter und vereinzelt in Rechtszusammenhängen auch weit davor. Jedoch wurden dem Begriff zu dieser Zeit noch abweichende Definitionen zugrunde gelegt, die zu keinem der heutigen Begriffsverständnisse passen (vgl. Alexander 2013: 2707ff.). (vgl. Holling 1996; Holling 1973).

Ebenso wie für die Resilienz im Allgemeinen, hat der wissenschaftliche Diskurs auch für den Begriff der urbanen Resilienz eine Vielzahl an Definitionen hervorgebracht, die in unterschiedlichen Disziplinen und unter verschiedenen Fragestellungen entwickelt wurden. Die Mehrzahl der Definitionen lässt sich aber, und das belegen auch die Literaturstudien von MEEROW ET AL. (vgl. Meerow et al. 2016), MARTIN-BREEN & ANDERIES (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011) und FOLKE (vgl. Folke 2016), auf drei zentrale Definitionsstränge zusammenfassen, die unterschiedliche Denkschulen repräsentieren: Die ingenieurstechnischen Resilienzdefinitionen stehen für das Resilienzverständnis der Ingenieurwissenschaften. Ökologische Resilienzverständnisse leiten sich aus der Ökologie ab und die sozio-ökologischen Resilienzdefinitionen (zum Teil auch als evolutionäre oder adaptive Resilienz bezeichnet) stehen für den Zugang aus den Bereichen der sozio-ökologischen Forschung und der

Systemtheorie. Diese drei Definitionsstränge bieten einen guten Überblick über die Bandbreite der Definitionen der urbanen Resilienz und verdeutlichen gleichzeitig wichtige Phasen der Genese des Konzepts. Sie werden im Folgenden exemplarisch für die Vielzahl unterschiedlicher definitorischer Ansätze näher dargestellt.

5.1.1 Ingenieurstechnische Resilienz

Die ingenieurstechnische Resilienz kann als das wohl ursprünglichste Resilienzverständnis bezeichnet werden. Legt man den Wortstamm zugrunde, beschreibt der Begriff Resilienz (lat. *resilire*), dass etwas zurückspringt oder abprallt. Historisch geht eine der ersten weit gebräuchlichen Verwendungen des Resilienzbegriffs auf die Physik, bzw. konkreter auf die Werkstoffkunde zurück. Dort beschreibt Resilienz die Eigenschaft von Materialien, die zwar elastisch verformbar sind, aber immer wieder in ihren Ausgangszustand zurückspringen (z. B. Metallfedern, Bimetalle). (vgl. Chelleri 2012: 290; Davoudi 2012: 300; Martin-Breen und Anderies 2011: 43)

Im Zuge der Anwendung des Resilienzkonzeptes auf Problemstellungen des urbanen Raums haben sich auch Definitionen und Anwendungen von Resilienz entwickelt, die dem oben vorgestellten, ursprünglichen Resilienzverständnis zuzuordnen sind. Die ingenieurstechnische Resilienz bezieht sich vorwiegend auf die Gestaltung baulicher Strukturen, insbesondere Infrastrukturen, und zielt darauf ab, möglichst widerstandsfähige Strukturen zu errichten. Unter Widerstandsfähigkeit wird dabei verstanden, dass die Strukturen in der Lage sind, äußere Einflüsse und Störfaktoren abzufedern und so die Stabilität des Systems aufrecht zu erhalten oder möglichst schnell wiederherzustellen. Diese Perspektive auf die Resilienz entspricht dem allgemeingebräuchlichen Resilienzverständnis als Widerstandsfähigkeit oder Robustheit. Wenn etwas, ob nun ein Mensch, ein Unternehmen oder eine Stadt, äußeren Einflüssen widerstehen kann und seine Funktionsfähigkeit auch unter Stress aufrechterhält, gilt es gemeinhin als resilient. (vgl. Folke 2016: 3; Martin-Breen und Anderies 2011: 43f.)

Zwar werden die Strukturen in der ingenieurstechnischen Resilienz als Teile eines Gesamtsystems betrachtet, doch liegt dem kein komplexes Systemverständnis zugrunde. Das bedeutet, dass es zwar das oberste Ziel der ingenieurstechnischen Resilienz ist, die Ausfallwahrscheinlichkeit einzelner Systemelemente zu reduzieren, um die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems unter den jeweiligen Herausforderungen sicherzustellen, Rückkopplungseffekte und Verknüpfungen über mehrere räumliche und zeitliche Ebenen werden aber nicht berücksichtigt. Demzufolge sind lediglich ein einfaches Systemverständnis und die Betrachtung direkter Kausalketten erforderlich. (vgl. ebd.)

Im Systemverständnis der ingenieurstechnischen Resilienz wird davon ausgegangen, dass Systeme ein gewisses Maß an Störungen bzw. Abweichungen vom Normalzustand abfedern können und

danach streben, immer wieder zum Ausgangszustand zurückzukehren (vgl. Pimm 1984: 321ff.). In der Systemtheorie werden die jeweiligen Systemgrenzen bzw. das Maß an bewältigbaren Störungen auch als „basin of attraction“ (Walker und Salt 2006: 55) bezeichnet. Aus der beschriebenen Eigenschaft leitet sich der direkte Bezug der ingenieurtechnischen Resilienz zum Wortstamm des Begriffs Resilienz und zum historischen Ursprung in der Werkstofftechnik ab. Das Zurückspringen zum Ausgangszustand wird in der Literatur auch als „bouncing back“ (Folke 2016: 3) bezeichnet und kann in seiner englischsprachigen Variante auch als charakteristischer Leitsatz der ingenieurtechnischen Resilienzverständnisse gesehen werden. (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 43f.)

Hintergrund für die hohe Relevanz der *bounce-back*-Fähigkeit in dieser Denkschule der urbanen Resilienz ist die Annahme, dass Systeme nur einen idealen Gleichgewichtszustand haben. In diesem Gleichgewichtszustand funktionieren alle Teilkomponenten des Systems so, dass die Systemfunktion langfristig aufrechterhalten werden kann, ohne dass besondere Maßnahmen ergriffen werden müssen. Schlüsselparameter, die die Systemfunktion beschreiben, befinden sich nahe dem Optimum bzw. im Normalbereich. Zwei Beispiele hierfür sind der Wasserstand eines Flusses oder auch die mittlere Fließgeschwindigkeit des Abwassers in einer Freispiegelleitung. Aus der Systemtheorie ist bekannt, dass Systeme stets nach diesem optimalen Gleichgewichtszustand streben (vgl. Meadows und Wright 2008: 51ff.). Sofern sich die Rahmenbedingungen nicht verändern und kein äußerer Eingriff erfolgt, sind die Teilkomponenten eines geschlossenen Systems also so aufeinander eingestellt, dass immer wieder das Optimum erreicht wird. Selbst kleinere bis mäßige Schwankungen in Teilbereichen des Systems führen lediglich zu kurzfristigen Abweichungen der Schlüsselvariablen vom Optimum, die das Gesamtsystem aber wieder ausgleichen kann, sodass der Gleichgewichtszustand wieder erreicht wird. Im Falle der Abwasserleitungen könnten das allmorgendliche Spitzenabflusslasten sein, die kurzfristig zu einem höheren Wasserspiegel und höheren Abflussgeschwindigkeiten in einigen Leitungen führen, sich aber im Gesamtsystem wieder ausgleichen, sodass die Variablen nach kurzer Zeit wieder den Normalzustand erreichen. Einige Autoren setzen urbane Resilienz daher mit der Zeit bis zur Rückkehr bzw. der Rückkehrgeschwindigkeit zum Ausgangszustand gleich und operationalisieren sie so für quantitative Messungen (vgl. Folke 2016: 3; Davoudi 2012: 300; Martin-Breen und Anderies 2011: 43f.).

Aus dieser Reduzierung auf einen optimalen Gleichgewichtszustand speist sich auch die hohe Technikgläubigkeit in der ingenieurtechnischen Resilienz. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Systemzustand aus einigen Schlüsselvariablen ableiten lässt, da diese den Zustand des Systems und seine Funktionsfähigkeit bestimmen. Dies vermittelt den Eindruck der Kontrollierbarkeit des

5. Resilienz

Systems Stadt. In der Planung von Infrastruktursystemen wird mithilfe von Modellen in unterschiedlichen Szenarien berechnet, wie sich das System unter verschiedenen Rahmenbedingungen verhält und wie die Schlüsselvariablen voraussichtlich auf die Herausforderungen reagieren. Werden dabei Schwachstellen aufgedeckt, können ingenieurstechnische Maßnahmen ergriffen werden, um die Ausfallwahrscheinlichkeit des Systems zu reduzieren. Im Falle des Flusses wäre das beispielsweise die Errichtung eines Dammes, falls festgestellt wird, dass die verfügbaren Überschwemmungsflächen nicht ausreichen, um ein Hochwasser einer bestimmten Stärke zu bewältigen. Für die ingenieurstechnische Planung und Gestaltung von baulichen Strukturen ist diese Vorausberechnung möglicher Stressoren eine wichtige Methode, um die Systeme möglichst robust gegenüber künftigen Herausforderungen errichten zu können. Es zählt schließlich zu den Kernaufgaben der Ingenieurwissenschaften, Systeme so zu gestalten, dass eine effiziente Aufgabenerfüllung sichergestellt wird und das System dauerhaft funktionsfähig bleibt (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 43f.). Jedoch beruht ein derartiges Verständnis von urbaner Resilienz auf den Annahmen, dass die zukünftigen Herausforderungen kalkulierbar sowie die Reaktionen des Gesamtsystems planbar sind und es nur einen Idealzustand gibt. Es liegt also ein lineares Planungsverständnis zugrunde, bei dem bestimmbare Aktionen aufgrund kausaler Zusammenhänge bestimmbar Reaktionen hervorrufen. Zudem wird davon ausgegangen, dass die ingenieurstechnischen Lösungen in der Lage sind, Stressfaktoren abzufedern und so die Funktionsfähigkeit des Systems in seinen derzeitigen Grundzügen sicherzustellen. (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 44; Folke 2006: 256; Holling 1996: 32ff.)

“Engineering resilience therefore focuses on maintaining efficiency of function, constancy of the system, and a predictable world near a single steady state.”

(Folke 2006: 256; eigene Hervorhebung)

Zusammenfassend beschreibt die ingenieurstechnische Resilienz also das Maß, bis zu dem ein System äußere Störungen abfedern kann sowie die Zeit bis zur Rückkehr zum einzigen Idealzustand. Keine Berücksichtigung findet dagegen die Möglichkeit, dass das Maß der bewältigbaren Störungen dauerhaft überschritten wird und keine Rückkehr zum Ausgangszustand möglich ist. Der Umgang mit einem Systemzusammenbruch oder die Anpassung der grundsätzlichen Systemeigenschaften an veränderliche Rahmenbedingungen sind zumindest keine zentralen Fragestellungen bei ingenieurstechnischen Resilienzverständnissen. Vielmehr geht es darum, äußeren Veränderungen zu widerstehen und das System so zu kontrollieren, dass dessen Stabilität sichergestellt wird. Es wird

demzufolge angenommen, dass das System ausfallsicher („fail-safe“; Holling 1996: 33) gestaltet werden kann.

5.1.2 Ökologische Resilienz

Mit seinem Editorial „Resilience and Stability of Ecological Systems“ hat der Ökologe C.S. HOLLING 1973 den wohl zentralsten Beitrag zur Definition von Resilienz geleistet (Holling 1973). Nicht wenige Autoren sehen in dem 23-seitigen Paper den Ursprung der modernen Resilienzforschung (vgl. u. a. Folke 2016: 4; Meerow et al. 2016: 40; Davoudi 2012: 300; Wilkinson 2011: 149). Dass der Beitrag auch in Abbildung 19 das höchste Zentralitätsmaß in der Literatur zur urbanen Resilienz aufweist, belegt dessen Relevanz für die Resilienzforschung in unterschiedlichen Disziplinen. Wenngleich sich das Resilienzverständnis in verschiedenen Denkschulen unterschiedlich entwickelt haben mag, so ist HOLLINGS Sichtweise auch heute noch oftmals Grundstein und Ausgangspunkt der wissenschaftlichen Diskussion.

Der Beitrag von HOLLING knüpft an die in der Ökologie seit Ende der 1950er Jahre intensiv geführte Debatte um die Stabilitäts-Diversitäts-These an, die besagt, dass in Ökosystemen die Eigenschaften Stabilität und Diversität positiv miteinander korrelieren (vgl. Thorén 2014: 305). In seinem Beitrag setzt sich HOLLING mit dem Verhältnis von Jägern und Beute in Ökosystemen auseinander. Am Beispiel unterschiedlicher Tierpopulationen zeigt er auf, wie sich die jeweiligen Populationsgrößen aufeinander und auf den Zustand des Ökosystems auswirken. Seine Erkenntnisse sind insofern ein Meilenstein der Ökosystemforschung, als dass er die Schwächen des vorherrschenden Stabilitätsparadigmas aufzeigt und ein alternatives Paradigma proklamiert, das er als Resilienz bezeichnet (vgl. Holling 1973: 14). Dabei geht es ihm nicht um ein vollständig neues Konzept, das erst aufwändig integriert werden muss, sondern um eine schon vorhandene Eigenschaft von Ökosystemen, die unter dem Stabilitätsparadigma keine Beachtung gefunden hat. So war es bis zu HOLLINGS Vorstoß in der Ökologie Stand der Forschung, dass Ökosysteme nach einem stabilen Gleichgewichtszustand streben. Ziel der Ökosystemforschung war es, diesen Gleichgewichtszustand mittels mathematischer Gleichungen der Systemvariablen zu bestimmen (vgl. Lotka 1925: 57ff., 143ff.). Das Verhalten des Systems nach einer Störung (Veränderung einer Systemvariable) sollte so quantifizier- und kontrollierbar gemacht werden. Der Fokus dieses Stabilitätsparadigmas lag darauf, die Konstanz der Leistungs- bzw. Funktionsfähigkeit von Ökosystemen unter unterschiedlichen Herausforderungen sicherzustellen. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden Populationsentwicklungen üblicherweise auf Grundlage einfacher, linearer mathematischer Modelle berechnet. So berechnet beispielsweise das Lotka-Volterra-Modell die Entwicklung von Populationsgrößen anhand konstanter

5. Resilienz

Reproduktions-, Sterbe- und Jagdraten. Die deutlichen Parallelen des ökologischen Stabilitätsparadigmas zur ingenieurstechnischen Resilienz (siehe Kapitel 5.2.1) sind zwar aus heutiger Perspektive offensichtlich, werden von HOLLING in seinem Paper von 1973 aber noch nicht diskutiert¹⁵. Er kritisiert dafür die sehr verkürzte Darstellung der Realität in den mathematischen Modellen. Räumliche Effekte oder zeitliche Verzögerungen sowie Grenzwerte, Nicht-Linearitäten und äußere Einflüsse bleiben allerdings unberücksichtigt. (vgl. Holling 1973: 2-6, 14f.)

Am Beispiel von Fischpopulationen in den nordamerikanischen Großen Seen zeigt HOLLING auf, dass unvorhersehbare externe Einflüsse, wie in den Beispielen intensive Fischerei oder der Eintrag anthropogener Abwässer in die Seen, direkt und indirekt dazu führen können, dass sich die Verhältnismäßigkeiten und Beziehungen innerhalb der betrachteten Ökosysteme ändern. Die ökologische Stabilitätsgleichung geht dann nicht mehr auf und muss an die geänderten Rahmenbedingungen angepasst werden, sodass sich ein neuer, alternativer Gleichgewichtszustand ergibt. In der Realität bedeutet das, dass sich Populationsgrößen, Jagdverhalten oder Reproduktionsraten ändern müssen, damit keine Population ausstirbt und so das Ökosystem in seiner Grundstruktur, also dem Verhältnis der Populationen zueinander, aufrechterhalten werden kann. HOLLING bezeichnet ebendiese Fähigkeit, die Verhältnisse und Beziehungen in einem System persistent erhalten zu können, als Resilienz. Sie ist Voraussetzung dafür, dass Systeme Störungen absorbieren können. (vgl. ebd.: 14f.)

„Resilience determines the persistence of relationships within a system and is a measure of the ability of these systems to absorb change of state variables, driving variables, and parameters, and still persist.“

(Holling 1973: 17; eigene Hervorhebung)

Für den Umgang mit Ökosystemen in der Forschung und Praxis schloss HOLLING aus seinen Erkenntnissen, dass der vorherige Fokus auf die stetige Rückkehr zum ursprünglichen Gleichgewichtszustand zur Wahrung der Stabilität kontraproduktiv für den Fortbestand eines Ökosystems sein kann. Hätte man in seinem Beispiel versucht, die Raubfischpopulation durch anthropogene Eingriffe wieder auf das Ursprungsniveau anzuheben, hätte dies wohl zum Auslöschung der Beutefischpopulation und in der Folge auch zum Aussterben der Raubfische geführt. Vielmehr sei ein grundsätzliches Systemverständnis erforderlich, um Normbereiche und insbesondere Beziehungen der Schlüsselvariablen zueinander identifizieren zu können. Dieses Wissen dient als Grundlage zur zielgerichteten

¹⁵ Später widmet sich HOLLING jedoch in einem gesonderten Paper der Abgrenzung zwischen der ingenieurstechnischen Resilienz und der ökologischen Resilienz (vgl. Holling 1996).

Anpassung eines Systems. Ein resilientes System lebt von seiner Anpassungsfähigkeit. Grundlage für diese Anpassungsfähigkeit ist ein gewisses Maß an (Bio-)Diversität im System. (vgl. ebd.: 15f., 21)

Das Beispiel der Fischpopulationen zeigt eine wesentliche Charakteristik auf, die mit der ökologischen Resilienz stärkeren Eingang in den Resilienzdiskurs gefunden hat: die Möglichkeit, dass die betrachteten Strukturen und Systeme (ob nun anthropogene Systeme oder Ökosysteme) die äußeren Störfaktoren nicht mehr bewältigen können und daher zusammenbrechen bzw. ihre Funktion nicht mehr erfüllen können (vgl. Chelleri 2012: 290; Martin-Breen und Anderies 2011: 43f.). Im Kontext urbaner Resilienz zeigt die Historie der Stadtentwicklung, dass es immer wieder Ereignisse gab, die den menschlichen Erfahrungs- und Erwartungshorizont übertroffen haben und dementsprechend zu erheblichen Schäden führten. VALE UND CAMPANELLA führen beispielsweise in ihrem Sammelband einige der prominentesten Schadensereignisse der Stadtgeschichte auf und beschreiben von Jerusalem über Berlin bis Mexico City, wie die städtischen Gesellschaften jeweils mit den Folgen von Feuer, Krieg oder Erdbeben umgegangen sind (vgl. Vale und Campanella 2005b). Und auch in der jüngeren Vergangenheit zeigen Beispiele wie die Terroranschläge vom 11.09.2001, das Donauhochwasser von 2013 oder eben der Hagelsturm von Reutlingen, dass die anthropogenen Strukturen und urbanen Systeme trotz aller Vorausplanung und Nachhaltigkeitsbestrebungen immer nur bis zu einem gewissen Schwellenwert robust sein können und bei darüberhinausgehenden Einflüssen Schaden nehmen bzw. ihre Funktion nicht mehr aufrecht erhalten können. Das Bewusstsein dieser Verletzlichkeit und der Umgang damit in Planungsprozessen wird in der Resilienzliteratur auch unter dem „safe-to-fail“-Ansatz (Ahern 2011: 348) beschrieben.

Im wissenschaftlichen Diskurs hat sich für HOLLINGS Resilienzverständnis die Bezeichnung *ökologische Resilienz* etabliert. Auch HOLLING greift die Bezeichnung in einem späteren Beitrag auf und konkretisiert, dass ökologische Veränderungen nicht linear und kontinuierlich verlaufen, sondern eher episodisch und mitunter überraschend (vgl. Holling 1996: 31). Demzufolge müssen sich auch Ökosysteme dynamisch an veränderte und unvorhersehbare Rahmenbedingungen anpassen können. Daraus ergibt sich, dass es nicht möglich ist, Ökosysteme dauerhaft kontrolliert nahe an einem Gleichgewichtszustand zu halten, sondern dass es unterschiedliche Normbereiche und Gleichgewichtszustände gibt, die sich aus der Anpassung des Systems an die Rahmenbedingungen ergeben. (vgl. ebd.: 31-35)

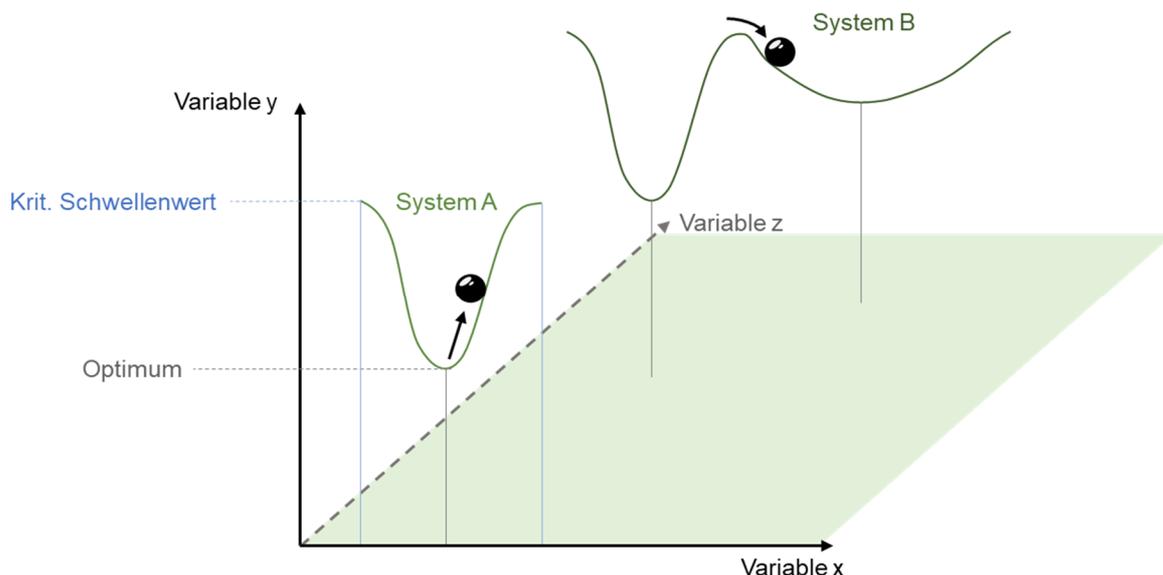
In den Jahren ab 1973 hat sich HOLLINGS Verständnis ökologischer Resilienz zunächst in der Ökosystemforschung etabliert (vgl. Folke 2016: 4f.). Die Eutrophierung von Seen ist wohlmöglich das bekannteste Beispiel für die ökologische Resilienz eines Ökosystems (vgl. Carpenter et al. 1999).

5. Resilienz

Insbesondere ab Beginn der 2000er-Jahre wurden vermehrt auch die theoretischen Grundlagen der ökologischen Resilienz herausgearbeitet und in theoretische Modelle überführt. Zwar geschah dies meistens anhand von Beispielen aus der Ökologie, doch war es das Ziel, das erweiterte Systemverständnis auch auf Systeme außerhalb der Ökologie zu übertragen (vgl. Carpenter et al. 2001; Adger 2000). Ein solches Theoriemodell, das in der Fachwelt einen hohen Bekanntheitsgrad erlangte und vielfach verwendet und erweitert wurde, ist das *Ball-in-a-Basin-Modell* (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 37-39; Scheffer et al. 2001: 593).

Bei dem in Abbildung 22 dargestellten Modell handelt es sich um eine vereinfachte Veranschaulichung unterschiedlicher Systemzustände. Da es sich um ein theoretisches Modell handelt, ist es zunächst einmal unerheblich, um welche Art von System es sich handelt, auch wenn SCHEFFER ET AL. das Modell ursprünglich anhand von Ökosystemen entwickelt haben. Das Koordinatensystem spannt eine mehrdimensionale Systemlandschaft (engl. „stability landscape“ Folke et al. 2010; vgl. Pisano 2012: 21) auf, die durch mehrere Zustandsvariablen definiert wird. Diese Zustandsvariablen sind für die Beschreibung unterschiedlicher Systemzustände zentral, da sie als Indikatoren zur Messung des Systemzustands herangezogen werden können, ein gewisses Maß an Kontrollierbarkeit ermöglichen und eben die Systemgrenzen definieren (vgl. Walker und Salt 2006: 53ff.; Brand 2005: 132; Scheffer et al. 2001: 596). Die Zustandsvariablen können langsam oder schnell veränderlich sein und je nach Anzahl der Variablen, die als relevant angesehen bzw. berücksichtigt werden, kann die Systemlandschaft eine beliebige Anzahl an Dimensionen aufweisen (vgl. Walker und Salt 2006: 53ff.).

Abbildung 22: Ball-in-a-Basin-Modell der ingenieurtechnischen und der ökologischen Resilienz



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Scheffer et al. 2001: 593

Zur Erläuterung sei der Fokus in Abbildung 22 zunächst einmal auf die zweidimensionale Systemlandschaft gelegt, die durch die Variablen x und y aufgespannt wird und in der das System A liegt. Jeder Punkt auf der x - y -Ebene ist ein möglicher Systemzustand, der durch die Ausprägungen der beiden Variablen definiert werden kann. In Abbildung 22 wird der Systemzustand metaphorisch durch einen schwarzen Ball dargestellt. System A ist der durch die hellgrünen Linien abgegrenzte Bereich der Systemlandschaft und der Ball befindet sich innerhalb dieses Bereiches. Die durch die Linien dargestellte Mulde steht metaphorisch für den Stabilitätsbereich von System A (engl. „stability domain“ oder „basin of attraction“ Folke et al. 2010 bzw. Pisano 2012: 21). Innerhalb von System A sind die möglichen Wertebereiche für die Variablen x und y fest definiert und weisen eine bestimmte Beziehung zueinander auf. Wenn also Variable x durch einen äußeren Einfluss um wenige Einheiten nach rechts verschoben wird, würde sich der Ball entlang der grünen Linie gleichzeitig nach oben verschieben. Eine Zunahme der Variable x hat also eine überproportionale Zunahme der Variable y zur Folge, da die Systemeigenschaften von System A ein solches Verhältnis der beiden Variablen zueinander definieren. Würde die Zustandsvariable x wieder auf den Ausgangswert reduziert – und setzt man gedanklich voraus, dass die Schwerkraft auf den Ball wirkt – so würde der Ball sehr schnell wieder zum Grund der Mulde zurückrollen und dort nach wenigen Pendelbewegungen verharren. Die Sohle der Mulde stellt daher im Modell den Gleichgewichtszustand (graue Linien) von System A dar, nach dem das System kontinuierlich (=Wirken der Schwerkraft) strebt, da in diesem Punkt die Zustandsvariablen ihr Optimum für System A erreichen. Der Stabilitätsbereich wird daher im Englischen auch als „basin of attraction“ (Pisano 2012: 21), also übersetzt als *Anziehungsbecken* bezeichnet. Die Bezeichnung als Stabilitätsbereich leitet sich vom Stabilitätsparadigma der Ökosystemforschung ab (vgl. Lotka 1925: 57ff., 143ff.), da davon ausgegangen wird, dass Schwankungen der Zustandsvariablen, die diesen Wertebereich nicht überschreiten, vom System bewältigt bzw. absorbiert werden können und so die Kontinuität der Systemfunktion sichergestellt werden kann. Natürliche, wie auch anthropogene Systeme können Schwankungen der Zustandsvariablen jedoch nur bis zu einem gewissen Maß bewältigen. Dieses Maß wird durch die Schwellenwerte der Zustandsvariablen bestimmt, die in Abbildung 22 durch die blauen Linien gekennzeichnet werden. Überschreitet eine Zustandsvariable ihren kritischen Schwellenwert, wird der Ball also über die Ränder der Mulde hinausbewegt, so verlässt der Systemzustand den Stabilitätsbereich mit der Folge, dass Anpassungen und Änderungen des Systems erforderlich werden. In System A ist dieser Fall nicht vorgesehen: der Ball würde herunterfallen und das System würde zusammenbrechen. Aus der Beschreibung wird deutlich, dass System A ein Beispiel für ein System darstellt, das nach Gesichtspunkten der ingenieurstechnischen Resilienz optimiert wurde (vgl. Kapitel 5.1.1). Durch die relativ

5. Resilienz

hohe und breite Mulde kann das System ein vergleichsweise großes Maß an Schwankungen der Zustandsvariablen absorbieren. Zudem wird die Kugel aufgrund der steilen Mulde nicht lange benötigen, um wieder zum Ausgangsgleichgewichtszustand zurückzukehren. Beides sind zentrale Optimierungskriterien der ingenieurstechnischen Resilienz. (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 5f.; Bruijne et al. 2010: 17f.; Holling 1996: 33)

Insbesondere HOLLINGS Arbeiten (vgl. Holling 1996; Holling 1973) haben verdeutlicht, dass in der Realität ein Stabilitätsbereich nicht ausreicht, um unterschiedliche Herausforderungen zu bewältigen. Natürliche oder künstlich festgelegte Schwellenwerte werden regelmäßig überschritten. Daher wird in der ökologischen Resilienz davon ausgegangen, dass es mehrere Stabilitätsbereiche eines Systems mit unterschiedlichen Gleichgewichtszuständen gibt. Dies lässt sich auch im Ball-in-a-Basin-Modell darstellen, wie System B in Abbildung 22 zeigt. An den muldenförmigen Stabilitätsbereich, der dem aus System A ähnelt, schließt sich ein weiterer Stabilitätsbereich an, der eine abweichende, flachere Form aufweist. Sofern im Beispiel also Variable x den Schwellenwert des ersten Stabilitätsbereiches überschreitet, würde sich das System an die neuen Bedingungen anpassen, indem es Systemeigenschaften adaptiert, sodass sich die Beziehung der Zustandsvariablen zueinander verändert. Der Ball würde über die kleine Erhöhung in die flachere Mulde rollen und dort nach dem tiefsten Punkt, also dem neuen Gleichgewichtszustand streben. Jedoch wirkt sich die veränderte Beziehung der Zustandsvariablen zueinander auch auf das Verhalten des Systemzustands aus. Im neuen Stabilitätsbereich reagiert Variable y deutlich weniger stark auf Veränderungen von Variable x . So bewegt sich der Ball bei einer kurzfristigen Störung (z. B. ein Impuls entlang der x -Achse) zwar weniger stark entlang der y -Achse, doch wird er deutlich länger pendeln, bis er wieder den Gleichgewichtszustand erreicht hat, als dies noch in System A der Fall war. Setzt man die Kriterien der ingenieurstechnischen Resilienz voraus, wäre System B also weniger resilient als System A, da die Rückkehrzeit zum Optimalzustand länger ist und somit eine geringere Effizienz während dieser Pendelphase anzunehmen ist. Die ökologische Resilienz steht jedoch für eine Perspektiverweiterung, die durch Adaption die Erschließung mehrere Gleichgewichtszustände anstelle des Strebens nach einem singulären Optimum ermöglicht.

Durch diese Adaptivität der Systeme wird ein größerer Wertebereich der Zustandsvariablen von möglichen Stabilitätsbereichen abgedeckt – die nutzbare Systemlandschaft ist größer als bei einem einzelnen Stabilitätsbereich. Somit ist das System in der Lage, größere Schwankungen der Zustandsvariablen durch Stabilität oder Adaption zu bewältigen, ohne dass die grundsätzlichen Eigenschaften des Systems, wie der Wertebereich oder die Auswahl der Zustandsvariablen, verändert werden

müssten. Ein wesentliches Merkmal der ökologischen Resilienz ist daher auch, dass sich Systeme zwar an Veränderungen anpassen, dabei aber ihre zentralen Charakteristiken aufrechterhalten sowie ihre essenziellen Funktionen erfüllen. Resilienz ist demnach die Fähigkeit eines ökologischen Systems, auch unter veränderten Rahmenbedingungen weiterhin zu funktionieren (vgl. Meerow et al. 2016: 40). Noch deutlicher wird die Relevanz dieser Perspektiverweiterung in der ökologischen Resilienz, wenn zur Beschreibung des Systemzustandes nicht nur zwei, sondern drei (oder beliebig viele) Zustandsvariablen herangezogen werden. Allein die Erweiterung um eine dritte Dimension (Variable *z* in Abbildung 22) führt dazu, dass die Systemlandschaft die Form eines Würfels anstelle einer ebenen Fläche annimmt. Liegen in dieser dreidimensionalen Systemlandschaft nun mehrere Stabilitätsbereiche statt nur einem, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Summe der Volumina der Mulden höher ausfällt als bei nur einem Stabilitätsbereich. (vgl. Walker und Salt 2006: 53ff.)

Wichtige Kenngrößen in der ökologischen Resilienz sind die Schwellenwerte der Zustandsvariablen. Sie kennzeichnen die Werte der Variablen, ab denen das System nicht mehr zum ursprünglichen Ausgangszustand zurückkehren kann, sondern sich an die veränderten Rahmenbedingungen anpasst und so in einen anderen Stabilitätsbereich mit neuen Systemeigenschaften übergeht. Im wissenschaftlichen Diskurs werden diese Schwellenwerte auch unter dem Begriff der „tipping points“ (Lenton et al. 2008: 1786) diskutiert. Wird ein solcher *tipping point* überschritten, kippt das System in einen neuen Zustand, der neue Pfadabhängigkeiten mit sich bringt (vgl. Lontzek et al. 2015; Lenton und Williams 2013; Westley et al. 2011; Lenton et al. 2008). Derartige Schwellenwerte lassen sich für die allermeisten Systeme unterschiedlicher Skalierung definieren und haben in einigen Fällen inzwischen über die Populärmedien auch Bekanntheit außerhalb der wissenschaftlichen Fachdebatte erlangt. Da die Zustandsvariablen eines Systems messbar und die Folgen der Überschreitung der Schwellenwerte abschätzbar sind, eignet sich der Ansatz zur Evaluation des Systemzustands in der Praxis, da die Schwellenwerte Ansatzpunkte für die Notwendigkeit von Maßnahmen liefern. Eines der wohl populärsten Beispiele eines globalen Schwellenwertes ist der 2 °C-Schwellenwert des Anstiegs der globalen Mitteltemperatur, der mittlerweile zu einem der Kernpunkte der Klimaschutzbemühungen der Vereinten Nationen geworden ist, sich in zahlreichen politischen Agenden wiederfindet und über lokale Maßnahmen oder zumindest die mediale Berichterstattung auch Eingang in den Alltag vieler Menschen gefunden hat. Der Zustand des globalen Klimasystems ist hierbei über die Variable *globale Mitteltemperatur* ablesbar und ein Überschreiten des Schwellenwertes bringt weitreichende und unwiderrufliche Konsequenzen, wie beispielsweise das Abschmelzen des Hochasien-Gletschers (siehe auch Kapitel 3.1.1), mit sich. Ein weiteres bekanntes Beispiel für Schwellenwerte im Kontext globaler Herausforderungen sind die von ROCKSTRÖM ET AL.

5. Resilienz

definierten „Planetary Boundaries“ (Rockström et al. 2009) – neun Zustandsvariablen, die als Indikatoren für die globale Entwicklung unter ökologischen Gesichtspunkten herangezogen werden sollen (siehe dazu Kasten auf Folgeseite). Doch nicht nur in ökologischen oder klimatischen Kontexten sind *tipping points* denkbar. Die Weltfinanzkrise der Jahre 2008 und 2009 wird beispielsweise auf den überproportionalen Anstieg der Interbankfinanzkredite zurückgeführt, der zum Konkurs der US-amerikanischen Großbank Lehman Brothers führte, der wiederum zahlreiche weitere negative Folgen für das globale Finanz- und Wirtschaftssystem nach sich zog.

Schwellenwerte können im Kontext von Raum- oder Umweltentwicklungen eine wichtige Funktion als Kontroll- und Steuerungsmechanismus einnehmen. Urbane Systeme, insbesondere Infrastruktursysteme, werden auf Basis bestimmter Bemessungsgrundlagen errichtet. Bei der Planung von Infrastrukturen werden Normal- und Maximallast berechnet. So zum Beispiel die behandelbaren Einwohnerwerte bei Kläranlagen oder bestimmte Fahrzeugfrequenzen im Straßennetz. Ebenso ist bei einigen Infrastrukturen auch eine Minimalauslastung zur Sicherung der Funktionsfähigkeit erforderlich (z. B. bei Freispiegelleitungen im Abwassernetz). Es kann also im Planungsprozess bestimmt werden, innerhalb welcher Schwellenwerte sich die Zustandsvariablen bewegen können, damit das System einwandfrei funktioniert. Im Zuge einer Planung, die den Grundsätzen der ökologischen Resilienz entspricht, gilt es aber neben den Grenzen des Stabilitätsbereichs auch zu klären, wie das System reagieren soll, wenn die Schwellenwerte überschritten werden. Alternative Gleichgewichtszustände unter abweichenden Zustandsbedingungen können langfristig die Funktionsfähigkeit des Systems aufrechterhalten.

Das Bewusstsein über die Schwellenwerte eines Systems führt dazu, dass das Verhalten eines Systems besser vorhersehbar wird und somit notwendige Anpassungen eingeplant werden können. Aus planerischer Sicht kann es auch zielführend sein, Schwellenwerte bewusst unterhalb der technischen Grenzwerte der Zustandsvariablen festzulegen, die sich aus dem Stabilitätsbereich des Systems ergeben. Solche planerisch festgelegten Schwellenwerte können mitunter den Übergang in einen anderen Stabilitätsbereich vereinfachen und so das Risiko schadhafter Folgen der Überschreitung der systemischen Schwellenwerte verringern. Umgangssprachlich kann man auch von *Sollbruchstellen* im System sprechen, die integriert werden, um den Entwicklungspfad des Systems bei Überlastung besser kontrollieren zu können und die Adaption nicht vollständig der spontanen Selbstorganisationsfähigkeit des Systems zu überlassen.

Exkurs: Planetary Boundaries nach ROCKSTRÖM ET AL. 2009

Seit der letzten Eiszeit vor rund 11.000 Jahren ist das Erdzeitalter des Holozäns durch vergleichsweise stabile bioklimatische Bedingungen geprägt, die die Entwicklung der menschlichen Zivilisation gefördert haben. Die einsetzende Industrialisierung wird von vielen Wissenschaftlern als Ausgangspunkt des Übergangs zum *Anthropozän* gesehen, dem Erdzeitalter, in dem der Mensch der dominante Treiber des Wandels des Erdsystems ist. Die anthropogenen Einflüsse auf die Erde als System haben in diesem Zeitalter Ausmaße erreicht, bei denen abrupte Veränderungen der globalen Umweltbedingungen nichtmehr auszuschließen sind.

Aus diesem Grund haben ROCKSTRÖM ET AL. 2009 als neuen Ansatz zur globalen Nachhaltigkeit planetare Grenzen (*planetary boundaries*) definiert, die den Handlungsspielraum abgrenzen, der der Menschheit ein sicheres Fortbestehen unter den derzeitigen Umweltbedingungen erlaubt. Die Grenzen leiten sich aus den Zustandsbedingungen des Holozäns ab, die über Jahrtausende für stabile und erstrebenswerte Umweltbedingungen gesorgt haben. Ein Überschreiten der Grenzwerte könnte abrupte, nicht-lineare Umweltveränderungen auslösen; mit weitreichenden Folgen für die globalen und regionalen Erdsysteme.

ROCKSTRÖM ET AL. haben neun planetare Grenzen identifiziert, die sich auf die biogeochemischen Kreisläufe von Stickstoff, Phosphor, Kohlenstoff und Wasser beziehen und damit die physikalischen Hauptzirkulationssysteme der Erde (Klima, Stratosphäre, Ozeane) abdecken. Da die Hauptsysteme, wie auch deren zahlreiche Subsysteme, im Erdsystem miteinander vernetzt sind (siehe Abbildung 7), kann sich die Überschreitung eines Grenzwertes auch auf die weiteren planetaren Grenzen auswirken oder eine Verschiebung der anderen Grenzwerte zur Folge haben. Von den neun planetaren Grenzen konnten auf Basis des Forschungsstandes sieben Grenzen quantifiziert werden: Im Hinblick auf den Klimawandel sollte die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre unter 350 ppm liegen und/oder der Strahlungsantrieb maximal +1 W*m⁻² betragen. Um die Ozeanversauerung einzuschränken, wird eine mittlere globale Aragonit-Sättigung in Oberflächengewässern von ≥ 80 % des vorindustriellen Niveaus vorgeschlagen. Der stratosphärische Ozonabbau ist zu begrenzen (O₃-Konzentration < 5 % unter dem vorindustriellen Niveau von 290 Dobson-Einheiten) und die biochemischen Kreisläufe von Stickstoff (max. 35 Terragramm/Jahr an industrieller und landwirtschaftlicher Stickstoffbindung) und Phosphor (max. 11 Terragramm/Jahr Phosphoreintrag in die Ozeane) sind zu regulieren. Weiterhin sollen Süßwasserverbrauch (< 4.000 km³/Jahr) und Landnutzungsänderungen (< 15 % der eisfreien Oberfläche als Ackerfläche) beschränkt werden und der Rückgang der biologischen Diversität ist auf eine Aussterberate von unter 10 Arten je Million Spezies pro Jahr zu begrenzen. Bei den zwei nicht näher quantifizierten planetaren Grenzen handelt es sich um die chemische Verschmutzung und die atmosphärische Aerosolbelastung.

Neben Auswirkungen auf vernetzte planetare Grenzen kann die Überschreitung eines Schwellenwertes auch soziale Folgen nach sich ziehen. Verändert sich die Stabilität von Umweltfunktionen durch die Überschreitung einer planetaren Grenze, oder fallen Umweltfunktionen sogar gänzlich aus, kann dies massiven Einfluss auf die Grundbedürfnisbefriedigung betroffener Gesellschaften haben, deren Wohlstandsgenerierung auf der Nutzung bestimmter Umweltfunktionen beruht. Wie stark die sozialen Folgen ausfallen, ist eine Funktion der sozio-ökologischen Resilienz der betroffenen Gesellschaft.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der *Planetary Boundaries* durch ROCKSTRÖM ET AL. waren bereits die planetaren Grenzwerte in den Dimensionen Klimawandel, Biodiversitätsverlust und Stickstoffkreislauf überschritten. Inzwischen bewegt sich die Menschheit auch in den Dimensionen der Landnutzung und des Phosphorkreislaufes außerhalb des sicheren Handlungsspielraums der planetaren Grenzen (vgl. Steffen et al. 2015: 736ff.).

5. Resilienz

Ein Beispiel für eine derartige Sollbruchstelle wäre eine Retentionsfläche, die bei Überlastung des Abwassernetzes geflutet wird, um die Überflutung besiedelter Flächen zu verhindern. Bis zu einem gewissen Grad sollen sich Systeme gegenüber äußeren Einflüssen robust verhalten und Schwankungen der Zustandsvariablen absorbieren können. Bevor jedoch ein kritischer Systemzustand erreicht wird, sollte das System ausreichend adaptiv sein und adaptive Mechanismen der Selbstorganisation enthalten, um sich an die veränderten Rahmenbedingungen anpassen zu können.

Die Herausforderung der ökologischen Resilienz ist es somit, für ein System ein Gleichgewicht zwischen Robustheit und Adaptivität zu finden. In der Ökologie führen evolutionäre Prozesse dazu, dass sich Arten über mehrere Generationen immer besser an ihre Umweltbedingungen anpassen und somit ihre Effizienz im Sinne einer Wachstumsfunktion immer weiter steigern können (vgl. Lotka 1925: 100ff.). Dafür ist aber eine gewisse Stabilität der Zustandsbedingungen erforderlich. Gleichzeitig ermöglichen die evolutionären Prozesse auch, dass sich Arten an neuartige Rahmenbedingungen anpassen können und so den Fortbestand der Spezies sicherstellen. Charakteristisch für ein ökologisch resilientes System ist also, dass es zwar in unterschiedlichen Stabilitätsbereichen effizient operieren kann, aber stets danach strebt, in seiner aktuellen Systemlandschaft zu verbleiben, um seinen grundsätzlichen Charakter zu wahren (Holling 1996: 38ff.).

Diese Gestaltungsgrundprinzipien lassen sich auf technische, urbane Systeme sowie sozio-ökologische Systeme übertragen und stellen so eine Erweiterung des Robustheitsparadigmas der ingenieurtechnischen Resilienz dar. Dass die ökologische Resilienz eine Fortsetzung und Erweiterung des Grundgedankens der ingenieurtechnischen Resilienz darstellt, wird auch im Leitmotto der ökologischen Resilienz deutlich: „bounce forth“ (Davoudi 2012: 301) beschreibt beziehungsweise auf den *bounce-back-Leitsatz* der ingenieurtechnischen Resilienz, dass Systeme nach einer Störung nicht zwingend zum Ausgangszustand zurückspringen müssen, sondern sich durch Weiterentwicklung ihrer Strukturen auch an veränderte Rahmenbedingungen anpassen können sollten.

5.1.3 Sozio-ökologische Resilienz

Wenngleich sich die Gestaltungsprinzipien der ingenieurtechnischen und der ökologischen Resilienz auf verschiedenartige Systeme übertragen lassen, beruhen diese Prinzipien auf der Beobachtung und Analyse technischer und ökologischer Systeme. Urbane Systeme, gleich welcher Art, werden durch Menschen genutzt oder stehen zumindest unter dem Einfluss anthropogenen Handelns – mit weitreichenden Folgen für die Eigenschaften und Komplexität der Systeme. Als handelnde Akteure können Menschen auch als Teil der urbanen Systeme betrachtet werden. Insofern sollten Konzepte zur urbanen Resilienz auch den Menschen als mit den urbanen Systemen interagierenden

Akteur berücksichtigen. Eine Gruppe von Resilienzverständnissen, die unter dem Begriff der *sozio-ökologischen Resilienz* zusammengefasst werden, stellen ebendiese Erweiterung der Systembetrachtung um den Faktor Mensch in den Fokus. Für derartige Resilienzdefinitionen werden auch die Bezeichnungen „evolutionäre Resilienz“ (ebd.: 302; eigene Übersetzung) oder „adaptive Resilienz“ (Nilakant und Walker 2017: 2; eigene Übersetzung) verwendet. In der Fachliteratur verwendet die Mehrzahl der Autoren und Autorinnen jedoch die Bezeichnung *sozio-ökologische Resilienz* (z. B. Meerow et al. 2016; Wilkinson 2011; Bruijne et al. 2010; Folke et al. 2010; Walker und Salt 2006; Gunderson und Holling 2002), da sich die dem Begriff zugeordneten Resilienzeigenschaften aus der Analyse sozio-ökologischer Systeme ergeben haben. Der Autor dieser Arbeit schließt sich der Mehrheit der Autoren an und verwendet ebenfalls den Begriff der *sozio-ökologischen Resilienz*.

Ein Ausgangspunkt der sozio-ökologischen Resilienz wurde 1973 von HOLLING im Zuge seines Editorials zur ökologischen Resilienz geschaffen: die Widerlegung des ökologischen Stabilitätsparadigmas. Die Abkehr vom Streben nach einem stabilen Systemzustand bringt Veränderungen der Systemeigenschaften und vielfältigere Reaktionen auf exogene Einflüsse mit sich, die das Management derartiger Systeme erschweren (vgl. Wilkinson 2011: 152; siehe Kapitel 5.2.2)

Die sozio-ökologische Resilienz geht diesbezüglich noch einen entscheidenden Schritt weiter: sozio-ökologische Resilienzverständnisse betrachten die Welt als komplexe Vernetzungen von Mensch-Umwelt-Systemen. Die unterschiedlichen Subsysteme mit jeweils eigenen Systemeigenschaften sowie menschliche Akteure mit individuellen Handlungsmustern, die die Systeme beeinflussen und steuern führen in der Interaktion dazu, dass die Reaktion einzelner Systeme auf äußere Einflüsse kaum mehr vorhersehbar ist. Die wechselseitige Beeinflussung von Mensch und Umwelt mit vielfältigen Vernetzungen und reziproken Rückkopplungen kann mitunter zu scheinbar chaotischem Systemverhalten führen. (siehe Kapitel 2.3.2) Die Anerkennung dieser Nicht-Linearität von Mensch-Umwelt-Systemen erfordert einen Paradigmenwechsel in der Planung und Steuerung urbaner Systeme. Die sozio-ökologische Resilienz bietet in diesem Kontext einige Erklärungs- und Handlungsansätze zum Umgang mit komplexen Mensch-Umwelt-Systemen. (vgl. Davoudi 2012: 302ff.; Wilkinson 2011: 154ff.; Folke et al. 2010)

Ein Modell, das zentrale Eigenschaften der sozio-ökologischen Resilienz metaphorisch illustriert, ist das *Panarchie-Modell adaptiver Zyklen*, das 2002 von HOLLING UND GUNDERSON veröffentlicht wurde (vgl. Holling und Gunderson 2002: 32ff.; Holling et al. 2002: 72ff.). In zahlreichen Publikationen wird immer wieder ein Bezug zu diesem Modell hergestellt, um die Verhaltensweisen sozio-ökologischer Systeme zu beschreiben und Erklärungsansätze zu finden (vgl. Davoudi 2012: 303f.; Martin-Breen

und Anderies 2011: 40; Folke 2006: 258f.; Walker und Salt 2006: 75-78). Die Zentralität dieses Modells lässt sich auch aus dem Co-Zitationsnetzwerk in Abbildung 19 (siehe S. 143) ablesen.

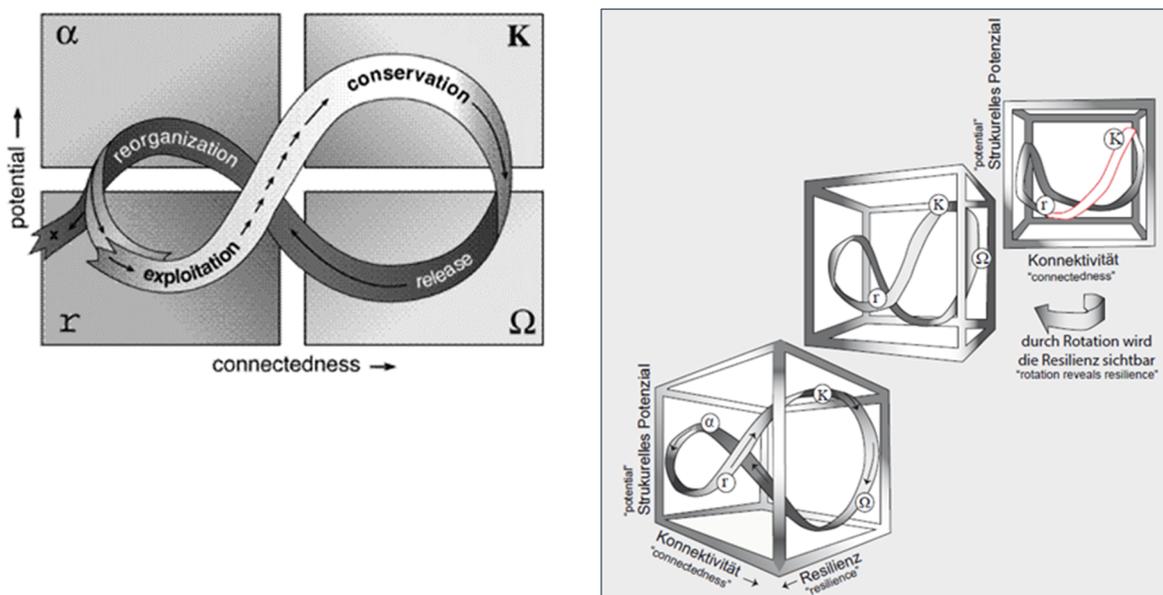
Wenngleich das Modell sich inzwischen zur Beschreibung und Erklärung der Entwicklung sozio-ökologischer Systeme etabliert hat, wurde es von HOLLING UND GUNDERSON ursprünglich auf Grundlage von Beobachtungen des Verhaltens natürlicher Ökosysteme entwickelt. Insofern knüpft es an das von HOLLING entwickelte ökologische Resilienzverständnis an (siehe Kapitel 5.2.2). Für HOLLING UND GUNDERSON können mit Hilfe des ökologischen Resilienzverständnisses aber natürliche Entwicklungsprozesse von Ökosystemen nicht vollständig erklärt werden. Insbesondere das in der Realität zu beobachtende, lange Verharren in Systemzuständen nahe der Schwellenwerte von Schlüsselvariablen oder nicht absehbare Strukturbrüche, lassen sich nicht mit dem ökologischen Resilienzverständnis erklären, sondern bleiben zunächst noch „Myths of Nature“ (Holling und Gunderson 2002: 31). Unerklärlichkeiten und Unsicherheiten führen in der Argumentation von HOLLING UND GUNDERSON dazu, dass der Anspruch auf Steuerbarkeit von Ökosystemen und das Resilienzkonzept selbst zu hinterfragen sind. Da nicht alle Prozesse in einem komplexen System nachvollziehbar und nicht alle künftigen Entwicklungen absehbar sind, ist ein resilientes System im Sinne von Resilienz als Stabilität und Robustheit langfristig kaum erstrebenswert. Auch wenn mehrere mögliche Systemzustände zugrunde gelegt werden, lässt sich nicht bestimmen, welcher Zustand dauerhaft wünschenswert ist und ob nicht doch irgendwann ein fundamentaler Systemwandel erforderlich wird. Insofern sollten auch tiefgreifende Veränderungsprozesse nicht grundsätzlich verhindert werden. Auf Basis der Betrachtung natürlicher Evolutionsprozesse gelangen die beiden Autoren zu dem Schluss, dass eine räumliche und zeitliche Perspektiverweiterung zur Aufklärung der identifizierten Mythen von Ökosystemen beitragen kann. (vgl. ebd.: 27–32)

Ökosysteme sind auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalierungsebenen miteinander vernetzt. Kleinräumige, schnelllebige Variablen und großräumige, träge Variablen beeinflussen sich dabei gegenseitig und können zu scheinbar unvorhersehbaren Entwicklungen führen. Am Beispiel eines Waldes zeigen HOLLING UND GUNDERSON auf, dass die isolierten Betrachtungen der Populationsentwicklung bestimmter Fichtenwürmer und des Baumbestandes zu Überraschungen und scheinbaren Unvorhersehbarkeiten in deren Entwicklung führen können. Werden jedoch die unterschiedlichen Ebenen des gesamten Ökosystems einbezogen und berücksichtigt man somit auch die unterschiedlichen Lebenszyklen (z. B. Fichtenwurm: 1 Jahr; Fichte: 80–120 Jahre), so lassen sich die Kausalitäten zwischen den beobachteten Entwicklungen besser nachvollziehen. Zudem belegt das Beispiel auch, dass die Entwicklungen in Ökosystemen nicht nur durch komplexe Vernetzungen bedingt

sind, sondern auch durch evolutionäre Prozesse in jedem Teilsystem selbst. Diese evolutionären Prozesse zur Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen laufen in kontinuierlichen Zyklen ab, für die sich vier wiederkehrende Phasen identifizieren lassen. (vgl. ebd.: 29f.)

Die Abfolge der Phasen haben HOLLING UND GUNDERSON in einem Modell erfasst, das sie als „Adaptive Cycle“ (ebd.: 32) bezeichnen. Wie links in Abbildung 23 zu erkennen ist, wird der Entwicklungszyklus im 4-Phasen-Modell adaptiver Zyklen durch eine auf der Seite liegende Acht metaphorisch dargestellt. Diese Acht kann im Modell explizit auch als mathematisches Symbol für die Unendlichkeit interpretiert werden, um die kontinuierliche Wiederholung evolutionärer Prozesse in natürlichen Ökosystemen zu repräsentieren. Jeder Punkt auf der Acht stellt einen spezifischen Status des Systems dar, der anhand von zwei Dimensionen beschrieben werden kann und veränderbar ist: Zum einen das Potenzial des Systems auf der y-Achse. Hierunter ist die Akkumulation systemspezifischer Ressourcen zu verstehen, die ein strukturelles Potenzial für den Wandel des Systems darstellen. Zum anderen ist auf der x-Achse der Grad der Konnektivität aufgeführt. Dies bezieht sich auf die innere Verbundenheit zwischen den Schlüsselvariablen des Systems, also wie stark eine Variable auf die Veränderung einer anderen Variablen reagiert. In sozio-ökologischen Systemen kann sich dies sowohl auf die physische Verbundenheit als auch auf institutionelle Verbundenheit in gesellschaftlichen Systemen oder die Beziehung zwischen den Akteuren beziehen. (vgl. Schnur 2013: 338; Holling und Gunderson 2002: 33f.)

Abbildung 23: Adaptives Resilienz-Modell als 4-Phasen-Modell und dreidimensionaler Würfel



Quelle: Holling und Gunderson 2002: 34 (links) & Schnur 2013: 339 (rechts)

Als dritte Dimension fügen HOLLING UND GUNDERSON die Resilienz des Systems hinzu. Stellt man sich das Modell als dreidimensionalen Würfel vor, wird die Resilienz durch Drehung des Würfels sichtbar,

5. Resilienz

wie rechts in Abbildung 23 zu erkennen ist. Aus der flachen Acht wird eine dreidimensionale Schleife mit unterschiedlich hoher Resilienz in den verschiedenen Phasen. Die beiden Autoren definieren ihr Verständnis der Resilienzdimension nicht näher, sondern beschreiben lediglich, dass Phasen hoher Resilienz das Austesten alternativer Strukturen begünstigen. (vgl. Holling und Gunderson 2002: 40f.) Dies deutet auf ein hohes Maß an Adaptivität und Transformativität hin (siehe Kapitel 1.5).

Im 4-Phasen-Modell (siehe Abbildung 23) wird die durch die Dimensionen aufgespannte Ebene in vier Quadranten eingeteilt, die den kontinuierlich ablaufenden Entwicklungszyklus beschreiben:

1. Exploitation/Akkumulationsphase (r)

Ausgehend von einer traditionellen, zweiphasigen Sichtweise auf Populationsentwicklung in Ökosystemen bezeichnen HOLLING UND GUNDERSON die erste Phase als „*exploitation*“ (Holling und Gunderson 2002: 33; Hervorhebung im Original), da diese Phase durch schnelles Wachstum der betrachteten Systemvariablen (z. B. Populationszahlen bestimmter Spezies) gekennzeichnet ist. System-spezifische Ressourcen werden stark akkumuliert und so physisches, biologisches, kulturelles oder soziales Kapital (*potential*) angehäuft. Da in der Ökologie Arten mit einer hohen Fortpflanzungsrate *r* auch als *r*-Strategen bezeichnet werden, ist der Phase der Buchstabe *r* zugeordnet. Die *r*-Strategen sichern den Fortbestand der Spezies durch eine möglichst hohe Zahl an Nachkommen, ohne dabei die Kapazitätsgrenzen der vorhandenen Ressourcen zu berücksichtigen (z. B. Fische).

Im starken Konkurrenzkampf um die begrenzten Ressourcen können opportunistische, aggressive Spezies oder Akteure die neuen Potenziale bestmöglich ausnutzen, da der zunächst noch geringe Grad an interner Verknüpfung (*connectedness*) auch mit einer geringen Regulierung einhergeht. Die Phase ist geprägt von Unsicherheit und Diversität der Akteure. Die Diversität der Akteure sowie die wenigen Regulierungen bedeuten auch, dass die Resilienz der Strukturen hoch ist, da das System noch relativ flexibel ist und Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen mit vergleichsweise geringen Kosten verbunden sind. Haben bestimmte *r*-Strategen eine gewisse Vormachtstellung erreicht, verdrängen sie andere Akteure und können so zunehmend Ressourcen akkumulieren. Die internen Vernetzungen nehmen in der Folge zu. (vgl. Schnur 2013: 339.; Walker und Salt 2006: 76f.; Holling und Gunderson 2002: 33ff.)

2. Conservation/Erhaltungsphase (K)

Die zweite Phase traditioneller, ökologischer Populationsmodelle wird als Konservations- oder Erhaltungsphase bezeichnet. In dieser Phase bestimmen sogenannte *K*-Strategen die Entwicklung. Der Buchstabe *K* steht in der Ökologie für das nachhaltige Populationsmaximum einer Region („*carrying capacity*“, Walker und Salt 2006: 76). *K*-Strategen leben und handeln in deutlich größeren zeitlichen

und räumlichen Zyklen. Die Anzahl ihrer Individuen ist an den natürlichen Kapazitätsgrenzen orientiert und ihre Fortpflanzungsstrategie auf weniger Nachkommen mit dafür höheren individuellen Überlebenschancen ausgerichtet (z. B. Säugetiere). Sie zeichnen sich durch eine effizientere Ressourcennutzung und eine relativ hohe Robustheit gegenüber Veränderungen aus.

Im adaptiven Modell umfasst die Erhaltungsphase einen Zeitraum, der durch eine hohe Akkumulation an Ressourcen und hohe sowie weiter zunehmende interne Vernetzung geprägt ist. Akteure dieser Phase sind Spezialisten, die unter den gegebenen Rahmenbedingungen sehr effiziente Wege entwickelt haben, die immer geringer werdenden verfügbaren Ressourcen möglichst effizient zu nutzen. Diese Effizienz sowie die zunehmende Vernetzung und komplexere Regularien führen dazu, dass die Spezialisten starke Wettbewerber um die knappen Ressourcen sind, die Veränderungen gut bewältigen können. Neue Akteure finden daher kaum noch Zugang zum Lebensraum oder dem Markt, sodass das Systemwachstum abnimmt. In der Ökonomie bestimmen in dieser Phase Großunternehmen den Markt, die die *economies of scale* nutzen können, um längerfristig große Profite zu erwirtschaften und Kleinunternehmen oder neue Mitbewerber vom Markt zu verdrängen. Für die spezialisierten Akteure zeichnet diese Phase eine große Stabilität und scheinbare Zukunftssicherheit aus. Jedoch sinken mit der Zeit die Grenzerträge, da die Mobilisierung von Ressourcen immer aufwändiger wird und der Regulierungs- und Selbsterhaltungsaufwand deutlich ansteigt. Oftmals steht der Erhalt des Systemzustandes über den notwendigen, innovativen Neuorientierungen. Egal wie effizient und stabil ein System auch zu sein scheint, „Erneuerungsversuche bleiben systemimmanent – ein ‚lock-in‘-Zustand droht [...]“ (Schnur 2013: 339). Die Opportunitätskosten für die notwendige Effizienzsteigerung liegen im Verlust an Flexibilität. Zum Ende der Erhaltungsphase haben die Akteure einen so hohen Spezialisierungsgrad erreicht, dass sie mit Veränderungen der Rahmenbedingungen kaum noch umgehen können – der Systemzustand wird zunehmend brüchig. Dies bedeutet auch, dass das System in diesem Zustand die geringste Resilienz aufweist, da die Strukturen wenig robust und inflexibel sind, gleichzeitig aber aufgrund der hohen Ressourcenakkumulation die Kosten des Scheiterns sehr hoch ausfallen. Insgesamt kann ein System aber über einen vergleichsweise langen Zeitraum in der Erhaltungsphase überdauern. (vgl. ebd.: 339f.; Walker und Salt 2006: 76f.; Holling und Gunderson 2002: 33ff.)

3. Release/Freisetzungsphase (Ω)

Auf Grundlage ihrer Beobachtungen von Ökosystemen kommen HOLLING UND GUNDERSON zu dem Schluss, dass in Ergänzung zur traditionellen Sichtweise zwei weitere Phasen zur Beschreibung der Systementwicklung notwendig sind: *Release* und *Reorganisation*.

5. Resilienz

In den rigiden Systemstrukturen der ausgehenden Erhaltungsphase sehen die beiden Ökologen einen Zustand, der darauf hinführt, dass in absehbarer Zeit auch relativ kleine, zufällige Einflüsse zu einem Zusammenbruch des Systems führen können. Daher schließen sie an die Erhaltungsphase die Release- oder Freisetzungsphase an, die sie mit dem letzten Buchstaben des griechischen Alphabets bezeichnen. Das Ω steht symbolisch für das Ende und soll auch in diesem Modell das Ende eines Zyklus bezeichnen.

„In cases of extreme and growing rigidity, all systems become accidents waiting to happen. The trigger might be entirely random and external [...].“

(Holling und Gunderson 2002: 45; eigene Hervorhebung)

Ein plötzlicher Schock führt zum Übergang von der Erhaltungsphase in die Freisetzungsphase. Je länger ein System in der Erhaltungsphase verharret hat, desto kleiner und scheinbar unbedeutender kann dieser Schock mitunter ausfallen, der dazu führt, dass die Schlüsselvariablen des Systems ihre Schwellenwerte überschreiten und die Systemstrukturen zusammenbrechen. Von Waldbränden über neue Technologien und Wirtschaftskrisen bis hin zu Personalwechseln in zuständigen Ministerien haben schon unterschiedlichste Ereignisse zu solchen Systemzusammenbrüchen geführt. In der Folge werden die zuvor aufgebauten inneren Vernetzungen ineffizient und Regulierungen greifen nicht mehr. Gleichzeitig wird das zuvor akkumulierte strukturelle Potenzial des Systems zerstört und die darin gebundenen Ressourcen wieder freigesetzt. Ein Teil der Ressourcen verlässt dabei meist das System und ist anschließend nicht mehr verfügbar (z. B. Aussterben von Spezies, Verlust von Mitarbeitern und deren Know-how nach einer Unternehmenskrise). Der zum Teil unvorhersehbare und chaotische Verlauf dieser Phase führt zu hoher Unsicherheit bei den Akteuren. Der Freisetzungsphase wohnt allerdings ein für die evolutionäre Fortentwicklung essentielles, kreatives Momentum inne. Angelehnt an SCHUMPETERS Konzept von der *schöpferischen Zerstörung*, die ein wesentlicher Bestandteil des Kapitalismus ist (vgl. Schumpeter 2018: 113ff.), ermöglicht die Freisetzung zuvor gebundener Ressourcen und der Abbau der Regulierungen, dass kurzfristig handelnde, revoltierende Kräfte (z. B. Insektenplage, Epidemie, aufgeregte Aktionäre) positiv destabilisierend auf die etablierten Strukturen wirken und so den Abbau nicht mehr leistungsfähiger Strukturen fördern. Diese Kräfte sind nur kurzfristig tätig, bis bestimmte Ressourcen aufgebraucht und nicht tragfähige Systemstrukturen abgebaut sind. Im adaptiven Zyklus ist diese schöpferische Zerstörung in der Freisetzungsphase ein wesentliches Element, um eine iterierende Anpassung der Systemstrukturen an veränderte Rahmenbedingungen zu ermöglichen. So steigt auch die Resilienz von einem niedrigen Niveau zu Beginn während der Freisetzungsphase langsam an. Wenngleich Zerstörung und der

Aufbruch etablierter Strukturen im systemischen Stabilitätsbestreben zunächst wenig wünschenswert erscheinen, so sind sie zur langfristigen Sicherung der Funktionsfähigkeit doch erforderlich. Aus dem niedrigen Maß an innerer Vernetzung und Regulierung sowie der erhöhten Ressourcenverfügbarkeit ergeben sich zum Ende der Freisetzungsphase Handlungsfenster, die den Übergang in alternative Systemzustände oder gar fundamentale Systemtransformationen ermöglichen (vgl. Davoudi 2012: 303). (vgl. Schnur 2013: 339; Walker und Salt 2006: 77f.; Holling und Gunderson 2002: 45)

4. Reorganisation/Reorganisationsphase (α)

Die vierte Phase bezeichnen HOLLING UND GUNDERSON als Reorganisationsphase und belegen sie mit dem ersten Buchstaben des griechischen Alphabets α , um den Neubeginn des Entwicklungszyklus zu symbolisieren. Die Ressourcenfreisetzung und der Abbau von Regularien in der vorausgegangenen Freisetzungsphase haben die Voraussetzung für die Reorganisation und Restrukturierung des Systems geschaffen. Das System bietet in diesem Zustand ausreichend Raum für Innovationen und neuartige Ansätze. Da die Systemelemente wenig miteinander vernetzt sind, können auch kleinskalige Handlungen oder Ereignisse die künftige Entwicklung maßgeblich beeinflussen. Pioniere prägen in dieser Phase die Entwicklung. In Ökosystemen erhalten neue oder fremde Spezies Zugang zu einem Lebensraum, den sie bisher nicht erschließen konnten und in der Ökonomie können Start-ups mit neuartigen Ideen auf dem Markt Fuß fassen. Die Akteure können die Systemgrenzen austesten und diese mitgestalten. Das strukturelle Potenzial nimmt mit der steigenden Zahl an Akteuren und der Akkumulation der Ressourcen wieder zu, wohingegen die Konnektivität noch gering ist. Da die Flexibilität des Systems in dieser Phase sehr hoch und gleichzeitig die Kosten des Scheiterns einzelner Akteure noch vergleichsweise gering sind, ist die Reorganisationsphase auch eine Phase hoher Resilienz. Gleichzeitig ist sie aber auch die Phase der größten Unsicherheit, da die Wahrscheinlichkeit unerwarteter Entwicklungen oder plötzlicher Krisen sehr hoch ist. Misslingt die Reorganisation und wird keine funktionsfähige Systemstruktur gefunden, ist es wahrscheinlich, dass das System erneut in eine Freisetzungsphase gelangt und sich dieser Ablauf so oft wiederholt, bis die Reorganisationsphase erfolgreich abgeschlossen wird. Es besteht die Gefahr, dass bei zu häufigem Scheitern der Reorganisation und entsprechendem Ressourcenverlust, das System in eine *Armutsfalle* gelangt, vollständig kollabiert und nicht wieder in eine Akkumulationsphase übergehen kann (symbolisch dargestellt durch die nach links auslaufende Schleife und das x links in Abbildung 23). Gelingt die Revitalisierung der Systemstrukturen, so steht am Ende der Reorganisationsphase eine neue Systemidentität mit einer neuen Struktur aus Schlüsselvariablen und Akteuren, die sich zunehmend miteinander vernetzen. Diese neue Struktur gibt die künftigen *Spielregeln* für die Systementwicklung vor und erzeugt damit mehr Planbarkeit. Die Planbarkeit des Systemverhaltens ist eine

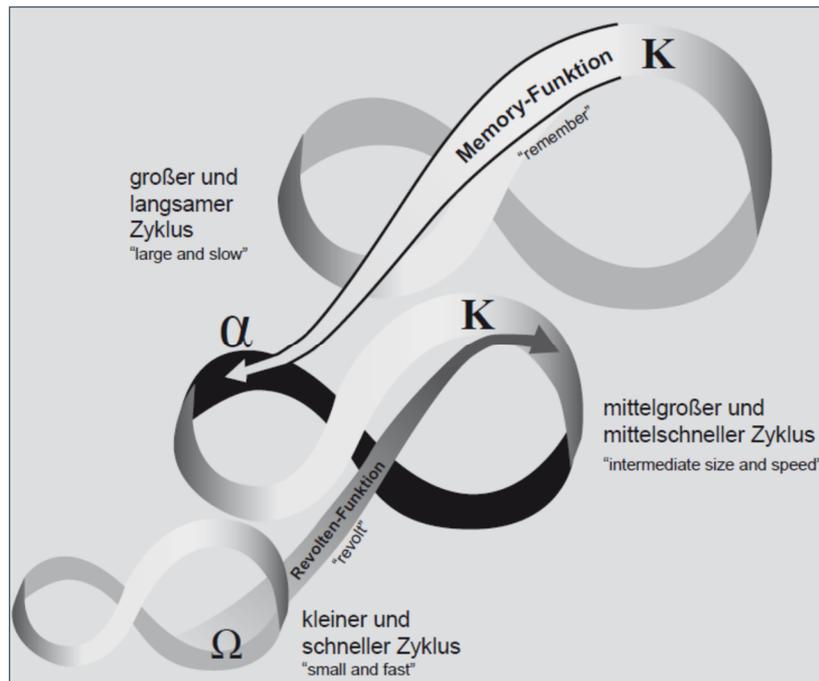
5. Resilienz

wesentliche Voraussetzung für den erneuten Beginn einer Akkumulationsphase. (vgl. Schnur 2013: 339f.; Pisano 2012: 16f.; Walker und Salt 2006: 78; Holling und Gunderson 2002: 45f.)

Mit dem Übergang in die Akkumulationsphase setzt sich der adaptive Zyklus des Modells nach HOLLING UND GUNDERSON fort. Der Zyklus kann theoretisch in beliebiger Häufigkeit wiederholt werden und sichert so die kontinuierliche Fortentwicklung des Systems und somit die Anpassung an sich verändernde Rahmenbedingungen. In der Ökologie beschreibt es so den Evolutionsprozess. Der Ablauf der Phasen ist im idealisierten Fall so angeordnet, wie in Abbildung 23 dargestellt. Durch ein exogenes Ereignis kann es jedoch jederzeit auch zu einer Zerstörung der Systemstrukturen kommen und so das System in die Freisetzungsphase übergehen. Man könnte diese Phase daher auch als *Rücksetzpunkt* ansehen, bei dem nur die elementarsten Systemeigenschaften erhalten bleiben, um dem System einen Neustart zu ermöglichen. (vgl. Holling und Gunderson 2002: 47f.)

Wie schon beschrieben, können die systemischen Veränderungen durch endogene Prozesse sowie durch exogene Ereignisse (plötzliche Schocks oder schleichende Umbrüche) ausgelöst werden. Die Veränderungen in einem System sind aber nicht willkürlich und vollkommen vom Zufall abhängig. Vielmehr beeinflussen systemische Vernetzungen, wie lange eine Phase andauern kann und wann es zu einem Übergang zwischen zwei Phasen kommt. HOLLING, GUNDERSON UND PETERSON haben sich mit der Vernetzung von Ökosystemen über unterschiedliche räumlich und zeitliche Skalen auseinandergesetzt und festgestellt, dass systemische Entwicklungszyklen nicht als isolierte Inseln zu betrachten sind, sondern immer über mehrere Ebenen in ein ganzes Setting aus verschachtelten Zyklen eingebettet sind, die sich gegenseitig beeinflussen können. Die Autoren erweitern daher heuristisch das Modell der *adaptiven Zyklen* um den Aspekt der *Panarchie*. Der Neologismus leitet sich von „Pan“ ab, dem griechischen Universalgott der Natur, der die Elemente kontrolliert und mit seiner kreativen Kraft sowohl Wohlstand als auch Panik bewirken kann. Im Panarchie-Modell adaptiver Zyklen beschreibt der Begriff die dynamische Steuerung der einzelnen Phasen, die sich aus der Ordnung und Vernetzung der einzelnen Zyklen ergeben kann. Es handelt sich also um eine Form organisationaler Steuerung. Da der Begriff *Hierarchie* jedoch sehr stark mit einem top-down Steuerungsansatz belegt ist, haben die Autoren nach einer anderen Bezeichnung gesucht, die den unterschiedlichen Ebenen, Einflüssen und Auswirkungen gerecht wird und diesen in der *Panarchie* gefunden. (vgl. Schnur 2013: 340; Holling et al. 2002: 74)

Abbildung 24: Panarchie-Modell adaptiver Zyklen



Quelle: Schnur 2013: 340

Abbildung 24 zeigt das von HOLLING, GUNDERSON UND PETERSON erweiterte Panarchie-Modell adaptiver Zyklen. Dargestellt sind drei adaptive Zyklen unterschiedlicher Größe, die die Vernetzung der Zyklen über unterschiedliche zeitliche und räumliche Ebenen symbolisieren. Die unterschiedlichen Skalierungen von kleinen und schnellen Zyklen über eine mittelgroße Ebene bis hin zu räumlich großen und zeitlich langsamen Zyklen stehen exemplarisch für die Vielzahl denkbarer Zyklen, die über unterschiedlichste Ebenen miteinander vernetzt sind. „Die Strukturen und Dynamiken eines jeden Systems auf jeder Skalierungsebene werden von einem kleinen Satz von Schlüsselprozessen beeinflusst und diese sind wiederum verknüpft mit einem Satz an Hierarchien, die das Verhalten des Gesamtsystems regulieren“ (vgl. Pisano 2012: 19; eigene Übersetzung). Der Grundgedanke, der die Panarchie ausmacht, ist die multi-Skalen-Vernetzung der Zyklen. Dabei werden die Prozesse eines adaptiven Zyklus von den Entwicklungen anderer Prozesse auf unterschiedlichen Ebenen beeinflusst. Die somit eingeleiteten Entwicklungen auf der ursprünglich betrachteten Ebene beeinflussen dann wiederum die adaptiven Zyklen auf anderen Ebenen. Dabei ist die Entwicklungsrichtung nicht auf top-down- oder bottom-up-Hierarchien festgelegt. Die durch die Vernetzung mit anderen Zyklen beeinflusste Prozessentwicklung ist ein Bestandteil der Selbstorganisation von Systemen. (vgl. Schnur 2013: 340; Pisano 2012: 19f.; Holling et al. 2002: 72ff.)

Das erweiterte Panarchie-Modell nach HOLLING, GUNDERSON UND PETERSON beschreibt die Vernetzung der unterschiedlichen Skalierungsebenen anhand von zwei Funktionen: über die *Revolten-Funktion*

können kleinere Systeme durch chaotische Entwicklungen in der Freisetzungsphase oder neue Innovationen die rigiden Strukturen höherskaliger Systeme unter Veränderungsdruck setzen. Bei besonders vulnerablen Systemen kann diese Funktion eine schöpferische Zerstörung der Systemstrukturen der größeren Systeme auslösen und so die Freisetzungsphase einleiten. Grundsätzlich kann die *Revolten-Funktion* ein größeres System in jeder Phase des Zyklus unter Druck setzen. Die dazu gegensätzliche Funktion ist die *Remember-Funktion*. Hierbei wirken die akkumulierten Ressourcen und leistungsfähigen Strukturen eines Systems in der Erhaltungsphase förderlich auf den Reorganisationsprozess eines Systems einer niedrigeren Ebene (siehe Abbildung 24). Die Ressourcen der höheren Ebene können die Pionierakteure nutzen, um innovative Ideen umzusetzen oder sie können genutzt werden, um nicht mehr leistungsfähige Strukturen zu revitalisieren. Grundsätzlich können beide Funktionen bewusst oder unbewusst durch Akteure oder auch durch systemische Prozesse selbst ausgelöst werden. (vgl. Schnur 2013: 340; Pisano 2012: 19f.; Walker und Salt 2006: 88ff.; Holling et al. 2002: 72ff.)

Das Panarchie-Modell adaptiver Zyklen legt nahe, den Kontext und die systemische Umgebung zu berücksichtigen, in die ein System eingebettet ist, wenn man sein Verhalten analysieren will. Der Aspekt der Panarchie liefert hierbei einen Erklärungsansatz, warum einzelne Phasen eines adaptiven Zyklus scheinbar plötzlich und unvorhersehbar ausgelöst werden oder aber aufeinander aufbauen und sich kontinuierlich abwechseln. Dass dies multi-skalar, in der systemischen Gesamtbeachtung selbstorganisiert und ohne einheitliche Steuerungsrichtung erfolgt, fügt der Systembeachtung eine hohe Komplexität hinzu. Systemische Entwicklungsprozesse werden daher immer zu einem gewissen Grad unvorhersehbar bleiben, da es kaum möglich ist, in einer Prognose langfristig alle Vernetzungen eines Systems zu erfassen. Das bedeutet aber nicht, dass plötzliche Veränderungen unerklärbar sind. Sie sind lediglich Ausdruck eines nicht hinreichenden Verständnisses des Gesamtsystems.

Neben ihrer Steuerungsaufgabe erfüllt die *Remember-Funktion* eine zusätzliche Aufgabe, die ein wesentlicher Aspekt der sozio-ökologischen Resilienz ist und durch den sich dieses Resilienzverständnis von den zuvor dargestellten Resilienzverständnissen abhebt. In der Akkumulations- und der Erhaltungsphase werden nicht nur materielle Ressourcen angehäuft, sondern auch Wissen. Nicht nur Wissen über Produkte, sondern insbesondere auch Wissen über die Systemstrukturen, die Reaktionsweisen des Systems und dessen Vernetzung. Dieses Wissen geht über die *Remember-Funktion* in den Reorganisationsprozess einer niedrigeren Ebene ein und kann dort genutzt werden, um effizientere Systemstrukturen zu schaffen und systemische Schwachstellen abzubauen. Da diese

neuen Strukturen mitunter wieder über die *Revolten-Funktion* den adaptiven Zyklus der höheren Ebene beeinflussen, kann von einem selbstverstärkenden Prozess der Wissensakkumulation im Gesamtsystem ausgegangen werden. In den materiellen Systemstrukturen steckt implizit das gesammelte Wissen und die Erfahrungen mehrere Systemgenerationen. Diese Wissensansammlung kann als *systemische Lernfähigkeit* bezeichnet werden. Ohne die Berücksichtigung der Vernetzung eines Systems, wäre eine erfolgreiche Adaption in einem isolierten Zyklus reiner Zufall oder von einem externen Impuls abhängig. Auch wenn die Phasen in einem einzelnen Zyklus sequenziell ablaufen, führt die *Panarchie* über die *Revolten-* und die *Remember-Funktion* dazu, dass sich das Gesamtsystem gleichzeitig kreativ weiterentwickelt, dabei aber seine grundsätzliche Identität erhält (vgl. Pisano 2012: 20; Walker und Salt 2006: 94f.).

Für das Verständnis der sozio-ökologischen Resilienz lassen sich aus dem Panarchie-Modell adaptiver Zyklen einige wesentliche Charakteristiken ableiten. Zunächst einmal bedeutet die sequenzielle Phasenabfolge im Modell, dass es zu einem schnellen Wechsel zwischen unterschiedlichen Systemzuständen kommen kann. Dementsprechend befinden sich adaptive Systeme kontinuierlich in Entwicklungszyklen, die durch sich verändernde Systemstrukturen geprägt sind. Aufgrund der multi-skalaren Vernetzung komplexer, adaptiver Systeme sind Phasenübergänge nicht immer vorhersehbar. Sie sind jedoch essentieller Bestandteil des Evolutionsprozesses eines Systems. Daher können und sollten für komplexe, sozio-ökologische Systeme keine dauerhaften Gleichgewichtszustände zugrunde gelegt werden. Ein *bouncing-back*, wie es in der ingenieurstechnischen Resilienz gefordert wird, kann die Rückkehr in vulnerable Systemstrukturen bedeuten und Innovationen und Revitalisierung, also Adaption, verhindern. Wird durch externe Eingriffe versucht ein System immer wieder in den Ausgangszustand zurückzusetzen, so droht die Gefahr einer lock-in-Situation (vgl. Davoudi 2012: 301), bei der die Kosten des Wandels überproportional hoch ausfallen und daher keine Anpassung möglich ist, bis das System zusammenbricht. In der anschließenden Reorganisationsphase fehlen dann Ressourcen und institutionelle Voraussetzungen, um das System revitalisieren zu können, sodass die Armutsfalle droht. HOLLING, GUNDERSON UND PETERSON bezeichnen derartig fehlgesteuerte Systeme als „maladaptive systems“ (Holling und Gunderson 2002: 95). In der sozio-ökologischen Resilienz werden Schockereignisse und die systemische Reaktion darauf dagegen als Handlungsfenster verstanden, die die Möglichkeit zur Weiterentwicklung des Systems ermöglichen. Gelingt es ein solches „window of opportunity“ (Davoudi 2012: 303) zu nutzen, um freie Ressourcen und gelockerte Regulierungen zur Erneuerung der Systemstrukturen einzusetzen, wird eine mögliche Krise in eine günstige Gelegenheit zur Anpassung der Systemstrukturen umgewandelt (vgl. Davoudi 2012: 303). Die sozio-ökologische Resilienz unterscheidet sich somit maßgeblich in der

5. Resilienz

Wahrnehmung von Veränderungen und Krisen von ingenieurstechnischen und ökologischen Resilienzverständnissen. Sie beruht auf der Erkenntnis, dass Veränderungen in komplexen Systemen der Dauerzustand sind, der langfristig nicht zu verhindern ist und den es daher anzuerkennen und zu nutzen gilt.

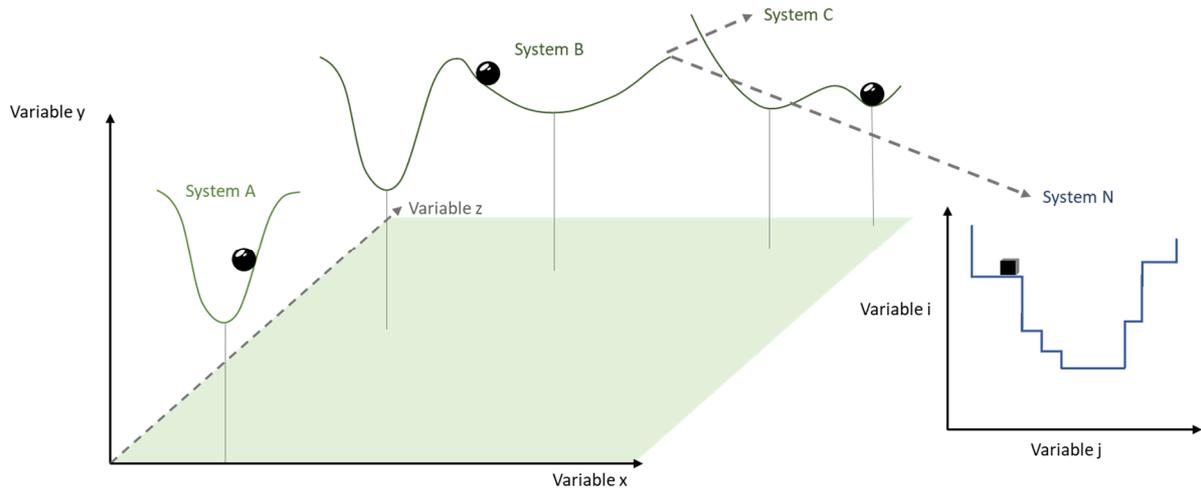
„At the heart of resilience thinking is a very simple notion – things change – and to ignore or resist this change is to increase our vulnerability and forego emerging opportunities. In doing so we limit our options.“

(Walker und Salt 2006: 9f.; eigene Hervorhebung)

Dieser Grundgedanke findet sich auch im Leitmotto dieser Resilienzdenkschule wieder: *bounce forward* steht dafür, den Impuls einer potenziell schadhaften Situation oder Entwicklung zu nutzen, um das System voranzubringen und weiterzuentwickeln (vgl. Davoudi 2012: 301-303). Der Leitsatz grenzt die sozio-ökologische Resilienz damit klar vom *bounce back* der ingenieurstechnischen Resilienz ab. Die Lernfähigkeit, die sich aus der Akkumulation von Wissen im Gesamtsystem ergibt, ist ein weiterer Aspekt, der sozio-ökologische Resilienzverständnisse kennzeichnet. Erfahrungswissen mehrerer Systemgenerationen kann genutzt werden, um Strukturen an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen. Somit bleiben in der kreativen Weiterentwicklung des Systems immer auch zum Teil etablierte Strukturen oder Systemeigenschaften erhalten. Mitunter kann auf Basis des Erfahrungswissens aber auch eine tiefgehende Systemtransformation eingeleitet werden, wenn deutlich wird, dass eine Reorganisation auf Basis der bestehenden Systemstrukturen nicht mehr möglich ist, sondern gänzlich neue Systemeigenschaften erforderlich sind. Komplexe, adaptive sozio-ökologische Systeme sind also immer gekennzeichnet durch ein dynamisches Zusammenspiel von Robustheit, Adaptivität und Transformation über mehrere Ebenen hinweg (vgl. ebd.: 304).

Auf ein exogenes oder endogenes Störereignis können sozio-ökologisch resiliente Systeme demnach auf drei Arten reagieren: Sind die Auswirkungen des Stressors relativ gering, so können robuste Strukturen die Störung abpuffern oder bewältigen und das System bleibt bestehen. Überschreiten die Folgen eines Störereignisses bestimmte Schwellenwerte der Schlüsselvariablen, so können die etablierten Systemstrukturen nicht erhalten werden und eine Reorganisation zur Adaption an die veränderten Bedingungen ist erforderlich. Im ökologischen Ball-in-a-Basin-Modell wird dies durch den Übergang des Systemzustands von einem in den nächsten Stabilitätsbereich dargestellt (in System B in Abbildung 25), was sich grundsätzlich auf beliebig viele Stabilitätsbereiche (siehe auch System C) in der gleichen Systemlandschaft (Koordinatensystem der Variablen x, y, z) beziehen kann.

Abbildung 25: Eigene Erweiterung des Ball-in-a-Basin-Modells



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Scheffer et al. 2001: 593

Misslingt die Reorganisation aufgrund zu rigider Systemstrukturen („rigidity trap“, Holling et al. 2002: 95), so wird eine tiefgreifende Transformation des Systems erforderlich. Dabei ändert sich der grundsätzliche Charakter des Systems: Neue Schlüsselvariablen definieren den Systemzustand und die Vernetzungen und Verhaltensweisen der Systemvariablen unterliegen neuen Eigenschaften. In der Erweiterung des Ball-in-a-Basin-Modells (siehe Abbildung 25) wird die Transformation durch den Übergang von System B in System N dargestellt. Im Vergleich zu den Systemen A bis C liegt System N in einer neuen Stabilitätslandschaft mit anderen Schlüsselvariablen und grundsätzlich veränderten Verknüpfungen der Variablen miteinander. Auch das Verhalten des Systemzustandes selbst unterscheidet sich, da statt einer Kugel nun ein Würfel den Systemzustand symbolisiert, was mit veränderten physikalischen Bewegungseigenschaften einhergeht.

5.1.4 Weitere Resilienzverständnisse

Das Verständnis von urbaner Resilienz wurde maßgeblich durch die drei vorgestellten Diskussionsstränge geprägt. Jedoch findet das Konzept nicht nur in den Materialwissenschaften, der Ökologie und der sozio-ökologischen Systemforschung Anwendung. Auch andere Disziplinen verwenden das Konzept, um die Widerstandsfähigkeit und die Anpassungsfähigkeit ihrer Entitäten gegenüber äußeren Störungen zu beschreiben. In der Psychologie beschreibt die Resilienz beispielsweise die Widerstandsfähigkeit von Menschen gegenüber Stress und auch in der Ökonomie wird das Konzept im Hinblick auf Unternehmen und ihre Anfälligkeit gegenüber Wirtschaftskrisen angewendet. Auch wenn die konkreten Ausformungen multidisziplinärer Perspektiven auf die Resilienz nicht im Fokus dieser Arbeit stehen sollen, so kann eine über die direkten disziplinären Bezüge der Raumforschung hinausgehende Betrachtung zu einem besseren Verständnis des Konzepts beitragen. Dieser

5. Resilienz

Überblick über unterschiedliche disziplinäre Zugänge zur Resilienz hat nicht den Anspruch auf Vollständigkeit oder einen hohen Detaillierungsgrad. Auch in anderen Disziplinen wurde der Diskurs ähnlich kontrovers geführt wie zuvor beschrieben. Einzelne Aspekte aus anderen Denkschulen können mitunter aber in die eigene Definition urbaner Resilienz einfließen.

In der **Ökonomie** wurden die Diskurse, ähnlich der Entwicklung in der Ökologie, zunächst stark vom Streben nach Stabilität und Gleichgewicht geprägt. Nachdem anfänglich meist ein Marktgleichgewicht angestrebt wurde, entwickelten sich in einigen Unterdisziplinen, wie beispielsweise der Ressourcenökonomie, Anwendungsfälle der Resilienz, die auf multiple Gleichgewichtszustände abzielten (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 46f.). Wirtschaftskrisen wie das Platzen der Dotcom-Blase im Jahr 2000 oder die globale Finanzkrise einige Jahre später haben aber vermehrt die Frage nach den Entstehungsursachen solcher Krisen aufgeworfen. Es zeigte sich, dass sich solche Krisen in unterschiedlichen Staaten, Regionen und auf verschiedenen Märkten divers auswirken können und Unternehmen ungleich aus solchen Krisen hervorgehen. Staaten und Regionen weisen unterschiedliche Voraussetzungen in ihrer Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit auf, die sich aus den strukturellen Gegebenheiten, aber auch aus ihrer Historie ergeben. Aus diesen Gegebenheiten lässt sich die Fähigkeit ableiten, wie Regionen Krisen und Schockereignisse bewältigen können. In der Suche nach einer Erklärung für die abweichende Entwicklung verschiedener Raumeinheiten ist die wirtschaftsgeographische Theoriebildung im Resilienzkonzept fündig geworden. Insbesondere in der evolutionären Wirtschaftsgeographie wird das Resilienzkonzept in den letzten Jahren zunehmend als theoretischer Erklärungsansatz in den Vordergrund gerückt. Damit hat das Konzept in der Wirtschaftsgeographie eine ähnliche Genese über drei Perspektiven durchlaufen, wie dies auch in den drei vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurde. Inzwischen wird Resilienz in erster Linie verstanden als „Fähigkeit einer Region, in Antizipation oder Reaktion auf Schocks ihre Strukturen derart zu reorganisieren, dass der Einfluss der Störungen auf die Funktionalität des Systems minimiert wird“ (Strambach und Klement 2016: 269). Auch die Dynamik und Multi-Skalarität des Panarchie-Modells findet zunehmend Berücksichtigung bei der Frage, warum sich aus einem Schock eine Krise entwickeln kann. Des Weiteren findet das Resilienzkonzept auch in anderen Wirtschaftsbereichen Anwendung, so z. B. hinsichtlich regionaler Handlungssysteme (vgl. Lukesch 2016) oder des regionalen Strukturwandels (vgl. Lintz et al. 2016). (vgl. Strambach und Klement 2016)

Die **Psychologie** ist eine der Disziplinen, in denen das Resilienzkonzept schon auf eine vergleichsweise lange Historie zurückblicken kann und entsprechend etabliert ist. Eine der ersten und bekanntesten Studien zur Resilienz in der Psychologie ist die Längsschnittstudie, die Emmy Werner 1955

auf der Hawaiianischen Insel Kauai unter rund 700 Kindern durchgeführt hat. Sie hat dort untersucht, wie sich Kinder entwickeln und warum einigen Kinder trotz ähnlich schlechter Voraussetzungen (Armut, Missbrauch, Scheidung der Eltern) bis ins Erwachsenenalter ein besserer sozio-ökonomischer Aufstieg gelungen ist als anderen. Sie hat herausgefunden, dass insbesondere die sozialen Netzwerke sowie die Fähigkeit soziale Bindungen aufzubauen und die Fähigkeit zur Selbstreflexion dazu beigetragen haben, dass rund ein Drittel der Kinder besser mit den äußeren Risikofaktoren umgehen konnte (vgl. Martin-Breen und Anderies 2011: 34f.). Im weiteren Diskurs des Konzepts haben sich vielfältige Bezüge zu den unterschiedlichen Teilbereichen der Psychologie ergeben. Neben den bindungstheoretischen Bezügen beeinflussen soziokognitive, Gesundheits- und stresspsychologische Einflüsse sowie die Persönlichkeit und individuelle Entwicklungsfähigkeit die Resilienz einer Person. Auch die Vernetzung über mehrere Ebenen („Protektionsfaktoren“ auf unterschiedlichen Systemebenen) und zeitliche Vernetzungen (individuelle Entwicklungsgeschichte im Modell der lebenslangen psychosozialen Entwicklung) lassen sich in der Psychologie wiederfinden (vgl. Fooker 2016: 20–24 & 37ff.). Es ist also davon auszugehen, dass die theoretischen Grundgedanken der sozio-ökologischen Resilienz auch auf die Psychologie anwendbar sind. (vgl. Fooker 2016; Martin-Breen und Anderies 2011: 34–36)

In der **Soziologie** liegt keine allgemein anerkannte Definition für Resilienz vor. Das liegt vor allem daran, dass das Konzept in der Disziplin keine lange Historie aufweist, sondern erst im Zuge der allgemeinen Popularität seit einigen Jahren zunehmend an Bedeutung im Fachdiskurs gewonnen hat. Wenn es um Veränderungen und plötzliche Herausforderungen geht, hat lange Zeit eher der Begriff des Risikos den Diskurs in der Soziologie geprägt. Mit dem von BECK vor über dreißig Jahren festgestellten Übergang zur „Risikogesellschaft“ (Blum et al. 2016: 154) standen die „globalen Selbstbedrohungspotenziale“ (ebd.: 154) im Fokus des gesellschaftlichen Lebens und somit auch der soziologischen Forschung. Ein sicherheitsorientiertes Streben nach Planbarkeit und Kontrollierbarkeit künftiger Risikoereignisse war die Standardposition der 1980er und 1990er Jahre. Die Resilienz knüpft an diese Diskurse an, leitet mit der „neue[n] Kultur der Unsicherheit“ (ebd.: 155) jedoch einen Paradigmenwechsel in der Soziologie ein, da den Sicherheits- und Kontrollierbarkeitsbestrebungen eine Absage erteilt wird. Daraus folgt ein Perspektivwechsel im Umgang mit der Unsicherheit, der sich auch in den politischen und gesellschaftlichen Systemen niederschlägt. Das vorbeugende Handeln der Gouvernamentalität im Kontext der Ungewissheit umfasst gemäß der reflexiven Modernisierung drei Strategien: Die passive Vorsorge (precaution), bei der jegliches potenziell katastrophenförderliche Handeln zu unterlassen ist. Die aktive Präemption (preemption), bei der den möglichen Katastrophen durch aktive Eingriffe vorweggegriffen werden soll sowie die Prävention

5. Resilienz

(preparedness), bei der ein System durch verschiedene Maßnahmen auf die Bewältigung katastrophaler, schadhafter Ereignisse vorbereitet wird. (vgl. ebd.: 156–158) Auch die Resilienzdiskurse in der Soziologie wurden durch die Genese der Resilienzverständnisse in der Ökologie beeinflusst. So lassen sich hinsichtlich des Sicherheits- und Ordnungsbestrebens grundsätzlich Bezüge zum Stabilitätsparadigma der Ökologie herstellen. Die Weiterentwicklung der ökologischen Resilienz zur sozio-ökologischen Resilienz adressiert die untrennbare Vernetzung von Mensch und Natur sowie die Multidimensionalität der Vernetzung. Aspekte, die auch in soziologischen Diskursen Beachtung finden. So ist auch nachvollziehbar, dass aus der sozio-ökologischen Resilienz verschiedene Ansätze zur Definition einer genuinen *sozialen Resilienz* abgeleitet wurden. (vgl. ebd.: 151ff.; Adger 2000)

HUTTER UND LORENZ setzen die *soziale Resilienz* in den Kontext von Planung und Risikomanagement und definieren sie als „*capacity of a social entity (social order of actions) to proactively adapt to and recover from disturbances that are perceived within the social entity to fall outside the range of ‘normal’ and ‘expected’ disturbances*“ (Hutter und Lorenz 2017: 1; Hervorhebung im Original). Gemäß dieser Definition beschreibt die Resilienz die einem sozialen System inhärenten Anpassungs- und Bewältigungskapazitäten. Dabei werden ausdrücklich sowohl reaktive als auch proaktive Kapazitäten adressiert. Des Weiteren bezieht sich *soziale Resilienz* ausschließlich auf solche Störereignisse, die den erwartbaren Normalhorizont überschreiten. Damit grenzen die Autoren ihre Definition der Resilienz von der Risikodebatte der Soziologie ab, da sich letztere in ihrer Standardposition auf vorhersehbare Ereignisse mit einer gewissen Eintrittswahrscheinlichkeit bezieht (vgl. Blum et al. 2016: 154f.). In der weiteren Ausdifferenzierung ihres Verständnisses von *sozialer Resilienz* identifizieren HUTTER UND LORENZ drei Kapazitäten, die soziale Systeme aufweisen sollten, um als resilient angesehen werden zu können:

1. *Bewältigungskapazität*, die über das bloße Wiederherstellen eines vorherigen Zustands hinausgeht, sondern einen interpretativen Umgang mit einem Störereignis erfordert. Lernfähigkeit und Vorstellungskraft werden hierzu als zwei wesentliche Eigenschaften beschrieben.
2. *Partizipative Kapazitäten* versetzen die handelnden Akteure überhaupt erst in die Lage Krisen bewältigen zu können. Soziale Faktoren können das Handeln der Akteure zu einem maßgeblichen Teil befördern oder einschränken. Soziale Netzwerke, Machtverhältnisse und institutionelle Bedingungen sind wesentliche Elemente eines sozialen Systems und seiner Akteure. Die Partizipationsfähigkeit bestimmt, zu welchem Grad die Akteure diese Elemente nutzen können.
3. Die *adaptiven und transformativen Kapazitäten* umfassen die Fähigkeiten eines sozialen Systems, sich nicht nur an ein konkretes Schadensereignis zu adaptieren, sondern tiefergehend die sozialen

Strukturen daraufhin anzupassen und ggf. zu transformieren. Dies setzt Selbstreflexion, Interpretationsfähigkeit und Lernfähigkeit voraus. Diese dritte Kapazität ist die Voraussetzung dafür, dass unter sich verändernden Umweltbedingungen die Bewältigungskapazität und die partizipative Kapazität einer sozialen Entität überhaupt erhalten werden können. Der Zweck dieser Funktion ist damit auch, eine effiziente Verteilung des sozialen Kapitals im System sicherzustellen, damit dieses den Akteuren im Rahmen der Partizipationsprozesse zur Verfügung steht. Berücksichtigt werden muss laut HUTTER UND LORENZ ebenfalls, dass die drei bzw. vier aufgezählten Kapazitäten (wenn man Adaption und Transformation voneinander trennt) jeweils auf drei unterschiedlichen Organisationsebenen vorhanden sein sollten: der intra-organisationalen Ebene, der organisationalen Ebene und der inter-organisationalen Ebene. Dementsprechend sind es unterschiedliche Akteurskonstellationen, die diese Kapazitäten aufweisen sollten, um die Resilienz einer sozialen Entität zu gewährleisten. (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 6). Auch in der Soziologie ist Resilienz also gekennzeichnet von Komplexität und Multidimensionalität. (vgl. ebd.: 2ff.)

Im Gegensatz zu ingenieurstechnischen oder sozio-ökologischen Resilienzverständnissen adressiert die soziale Resilienz also anstelle von Systemstrukturen oder Prozesseigenschaften primär Beziehungen und Netzwerke in einer Gesellschaft sowie ein gewisses Mindset der Akteure als Voraussetzung für resiliente Verhaltensweisen. Nur wenn die Akteure in einer Gesellschaft aufgrund ihrer Einstellung generell offen auf Veränderungen reagieren können und sich diese Einstellung auch in den sozialen Netzwerken in den Kommunikations- und Kooperationsstrukturen widerspiegelt, kann eine Gesellschaft als Ganzes resilient mit sich wandelnden Rahmenbedingungen umgehen. Nur dann haben Individuen die Fähigkeit und die Möglichkeiten, sich reaktiv oder proaktiv an Veränderungen anzupassen und erhalten Unterstützung durch ihre sozialen Netzwerke. Die individuellen Anpassungsstrategien können sich wiederum in die Netzwerke übertragen und dort zu gesellschaftlichen Veränderungsprozessen führen, die zu einer gesamtgesellschaftlichen Steigerung der Resilienz beitragen (vgl. *Remember-* und *Revolt-*Funktionen im Panarchie-Modell adaptiver Zyklen, Kapitel 5.1.3).

5.1.5 Literatursynthese – Reflexion der Anwendbarkeit der Resilienzverständnisse im Planungskontext

Die vorangegangenen Kapitel haben aufgezeigt, dass das Resilienzkonzept unterschiedliche disziplinäre Zugänge erlaubt und daraus auch verschiedene Resilienzverständnisse entstanden sind. Davon sind für den Planungskontext vor allem die drei in Tabelle 5 aufgeführten Definitionsstränge von besonderer Bedeutung.

5. Resilienz

Das *ingenieurstechnische Resilienzverständnis* setzt zum einen eine hohe Technikgläubigkeit in die Zuverlässigkeit der Vorausberechnung sowie in die technisch-strukturelle Kompensierbarkeit der Herausforderungen voraus. Systeme sollen *fail-safe* errichtet werden. Mit der Steigerung der Robustheit gehen jedoch oftmals *robustness trade-offs* einher. Ingenieure bezeichnen dieses Paradoxon auch als „robust-yet-fragile“ (Janssen und Anderies 2007: 47). Derartige Vulnerabilitäten sind zu einem gewissen Grad unvermeidbar, können aber auch Ausdruck des Mangels einer gesamtsystemischen Perspektive bei der Systemgestaltung sein. Im Hinblick auf urbane Resilienz reicht die Steigerung der Robustheit eines Systems gegenüber einer definierten Gefahr also nicht aus, wenn zufällige Ereignisse ein Risiko für die Sicherung der Systemfunktion darstellen können. Eine weitere Schwäche der ingenieurstechnischen Resilienz ist das Ziel, den Ausgangszustand des Systems möglichst lange zu bewahren oder nach einer Störung mit negativen Folgen möglichst schnell zum ursprünglichen Ausgangszustand zurückzukehren – das *bouncing back*. Nicht Bestandteil des Konzepts ist dagegen, Erfahrungen aus erlittenen Krisen in Anpassungsprozesse zu überführen, um das System besser auf künftige Herausforderungen vorzubereiten. Vorhandene Ressourcen werden also primär zum Erhalt des Systems mit seinen gegenwärtigen Eigenschaften eingesetzt ohne zu prüfen, ob der gegenwärtige Systemzustand überhaupt erstrebenswert bzw. langfristig tragfähig ist. Eine Eigenschaft, die vor dem Hintergrund des planerischen Leitbilds der Nachhaltigkeit hinterfragt werden sollte. (vgl. Chelleri 2012: 295).

Die Einbeziehung der Adaption in den *ökologischen Resilienzverständnissen* trägt zwar der Veränderlichkeit der Rahmenbedingungen Rechnung, doch ist der Fokus nach wie vor auf das Erreichen eines Gleichgewichtszustandes ausgerichtet – auch wenn dieser sich im Zeitverlauf verändern kann. Die Anpassung der Systeme an veränderte Rahmenbedingungen ist also immer nur eine Momentaufnahme, die nur für einen gewissen Zeitraum Bestand hat. Somit vermittelt die Festlegung von *tipping points*, die die Notwendigkeit eines Übergangs in einen veränderten Systemzustand kennzeichnen, die scheinbare Kontrollierbarkeit des Systems im Hinblick auf sich verändernde Herausforderungen.

Auch den *ökologischen Resilienzansätzen* liegt damit ein eingeschränktes Systemverständnis zugrunde: einzelne quantitative Kennwerte mögen zwar zur Bestimmung des Zustandes eines Teilsystems geeignet sein, doch können sie systemischer Komplexität kaum gerecht werden. (siehe Kapitel 2.3 & 3.4). Auch ist es denkbar, dass die vorhandenen Systemstrukturen gegenüber den veränderten Herausforderungen derart vulnerabel sind, dass keine Adaption hin zu einem stabilen Systemzustand mehr möglich ist. Ein solcher Fall ist in der *ökologischen Resilienz* jedoch nicht vorgesehen.

Tabelle 5: Wesentliche Eigenschaften der drei zentralen Resilienzdefinitionsstränge

| | Ingenieurtechnische Resilienz | Ökologische Resilienz | Sozio-ökologische Resilienz |
|-------------------------------|--|--|---|
| Leitsatz | <i>bounce back</i> | <i>bounce forth</i> | <i>bounce forward</i> |
| Ursprung | Werkstofftechnik | Ökosystemforschung | Sozio-ökologische Forschung |
| Zentrale Publikationen | Holling 1996; Pimm 1984 | Folke et al. 2004; Holling 1996; Holling 1973 | Folke et al. 2010; Walker und Salt 2006; Gunderson und Holling 2002 |
| Schlüsselbegriffe | Robustheit, Stabilität, Rückkehrgeschwindigkeit | Zusammenspiel von Robustheit & Adaption, Schwellenwerte | Adaptivität, Lernfähigkeit, Transformativität, Vernetzung |
| Bezug zu Gleichgewicht | Ein idealer Gleichgewichtszustand | Mehrere mögliche Gleichgewichtszustände | Kontinuierliche Evolution ohne Gleichgewicht |
| Hauptzielsetzung | Technische Reduktion der Ausfallwahrscheinlichkeit | Gleichgewicht aus Robustheit und Flexibilität zur Adaption | Stetige Weiterentwicklung des Systems und Nutzung von Handlungsfenstern |
| Problematik | Eingeschränktes Systemverständnis, Gefahr von Pfadabhängigkeit und Rigidität | Schwellenwerte vermitteln scheinbare Kontrollierbarkeit, keine Lernfähigkeit | Dynamik und Komplexität schwer mit langfristiger Planung vereinbar |

Quelle: eigene Darstellung

Sozio-ökologische Resilienzverständnisse sind vor allem durch zwei Eigenschaften gekennzeichnet: einerseits die Anerkennung der kontinuierlichen und mitunter unvorhersehbaren Veränderlichkeit der Rahmen- und Umweltbedingungen und dem dementsprechenden Verzicht auf die Bestimmung eines oder mehrerer stabiler Gleichgewichtszustände. Andererseits die Berücksichtigung der systemischen Komplexität, die sich durch die Vernetzung unterschiedlicher Teilsysteme ergibt. Der Verzicht auf das Streben nach stabilen Gleichgewichtszuständen bedeutet für die Planung und das Management der Systeme, dass diese sich kontinuierlich an neue Bedingungen adaptieren müssen, um ihre Funktionen weiterhin erfüllen zu können. Dafür ist sowohl in den Strukturen als auch bei den Planungs- und Managementakteuren ein möglichst hohes Maß an Flexibilität und Adaptivität erforderlich. Um die Systemprozesse möglichst umfassend einschätzen zu können, ist eine multiskalare und interdisziplinäre Perspektive auf das Gesamtsystem erforderlich. Ein Anspruch, der mit viel Arbeits- und Analyseaufwand sowie der notwendigen Kooperation unterschiedlichster Akteure einhergeht. Es ist fraglich, ob und wie sich dies in hierarchischen Verwaltungsprozessen abbilden lässt.

5. Resilienz

Eine weitere Besonderheit der *sozio-ökologischen Resilienz* ist die Möglichkeit der Systemtransformation. Aus planerischer Perspektive stellt sich hierbei jedoch zunächst die Frage, ob eine solche Transformation, die mit tiefgreifenden strukturellen Änderungen einhergeht, planerischen Grundsätzen gerecht werden kann. Wenn tiefgreifende Transformation – mit den entsprechenden baulich-strukturellen Veränderungen – eine stetige Entwicklungsoption darstellt, wird dadurch die Nutzbarkeit von Immobilien eingeschränkt und es bleibt fraglich, ob das gewohnte Maß der Daseinsvorsorge aufrechterhalten werden kann. Die Langfristigkeit urbaner Strukturen steht im Gegensatz zur Kurzfristigkeit der Veränderungen der Rahmenbedingungen des Städtischen. Durch die skizzierten, systembedingten Pfadabhängigkeiten sieht sich die Planung hierbei ambivalenten Herausforderungen gegenübergestellt. So erstrebenswert ein hohes Maß an Adaptivität in der *sozio-ökologischen Resilienz* auch ist, so schwierig lässt es sich mit den langfristigen Planungszeiträumen und der Trägheit der Systeme bislang übereinbringen. Ein rein auf den Grundsätzen der *sozio-ökologischen Resilienz* basierendes Handeln entspräche also wohl kaum der Zielsetzung einer nachhaltigen Stadtentwicklung.

Die Interdisziplinarität und die daraus folgenden definitorischen Unschärfen werden dem Resilienzkonzept mitunter als Schwäche ausgelegt, da sie den Transfer in die Praxis erschweren (vgl. Thorén 2014: 209; Davoudi 2012: 299). In Literaturstudien kommen einige Autoren allerdings zu dem Schluss, dass in der Unschärfe auch eine Stärke des Konzepts liegt: als „boundary object“ (Thorén 2014: 304) oder „bridging concept“ (Davoudi 2012: 306) kann das Konzept wichtige Funktionen einnehmen, nämlich den interdisziplinären Dialog zu stimulieren, zu strukturieren und Zusammenarbeit zu initiieren. Da durch das Fehlen einer eindeutigen Definition eine klare Abgrenzung zu verwandten fachspezifischen Konzepten ausbleibt, können Bezüge zu unterschiedlichen Denkschulen hergestellt werden. Gerade dadurch, dass jüngere, sozio-ökologische Resilienzverständnisse systemische Komplexität und die Vernetzung unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Ebenen in den Vordergrund stellen, wirbt das Konzept für einen Dialog zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen, die sich mit der Planung und dem Management von komplexen Stadtentwicklungsprozessen auseinandersetzen. Ein Grund dafür ist auch die Erkenntnis, dass in der Vergangenheit isolierte, fachspezifische Lösungsansätze zu keiner dauerhaften Verbesserung der Stadtentwicklungsprozesse im angestrebten Maße geführt haben (vgl. Thorén 2014: 315ff.). Resilienz kann hier als Werkzeug fungieren, um den Informationsfluss aus unterschiedlichen Disziplinen anhand eines gemeinsamen Konzepts zu kanalisieren und auch Analyseschritte auf eine gemeinsame Zielrichtung hin auszurichten. Im Spannungsfeld disziplinär normativ unterschiedlich aufgeladener Konzepte (z. B.

Nachhaltigkeit, Risiko, Klimaadaptation) bietet Resilienz eine neutrale Basis als Ausgangspunkt für weitere Diskussionen und interdisziplinäre Bestrebungen (vgl. ebd.: 304ff.).

Ein zweiter Aspekt, der aus Sicht des Autors dieser Arbeit derzeit noch die Umsetzung des Resilienzkonzepts in der Praxis einschränkt, ist der Umgang mit Unsicherheiten im Resilienzkonzept. Die Zukunft der Städte ist von großen Unsicherheiten über die Entwicklung der Rahmenbedingungen geprägt. Gesteigert wird diese Unsicherheit zusätzlich dadurch, dass die konkreten Folgen für die Städte aufgrund der Komplexität urbaner Systeme kaum vorhersehbar sind. Vor allem die Resilienzdefinitionen seit HOLLINGS wegweisendem Beitrag greifen diesen Missstand auf. Sie haben wohl auch so viel Popularität im wissenschaftlichen Diskurs erlangt, weil sie das Paradigma der technischen Kontrollierbarkeit von Umweltprozessen und der Planbarkeit künftiger Entwicklungen aufbrechen und stattdessen die Adaptivität urbaner Strukturen einfordern. Allerdings steht dieses Resilienzverständnis im Widerspruch zum klassischen, linearen Planungsparadigma und der planerischen Zielsetzung, langfristig verlässliche, rechtssichere Planungsdokumente als Grundlage für eine stringente Stadtentwicklung zu schaffen. Alle langfristigen Strategien und Wandelprozesse unterliegen dem Primat der Erhaltung der städtischen Funktionen und grundsätzlich auch dem Eigentumsschutz (vgl. Art. 14 GG). Diese Anforderungen stehen oft der kurzfristigen Nutzbarkeit von Handlungsfeldern im Sinne der Adaptivität entgegen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Integration des Adaptivitätsparadigmas in die Praxis für die Planungsakteure bisweilen schwer umsetzbar ist.

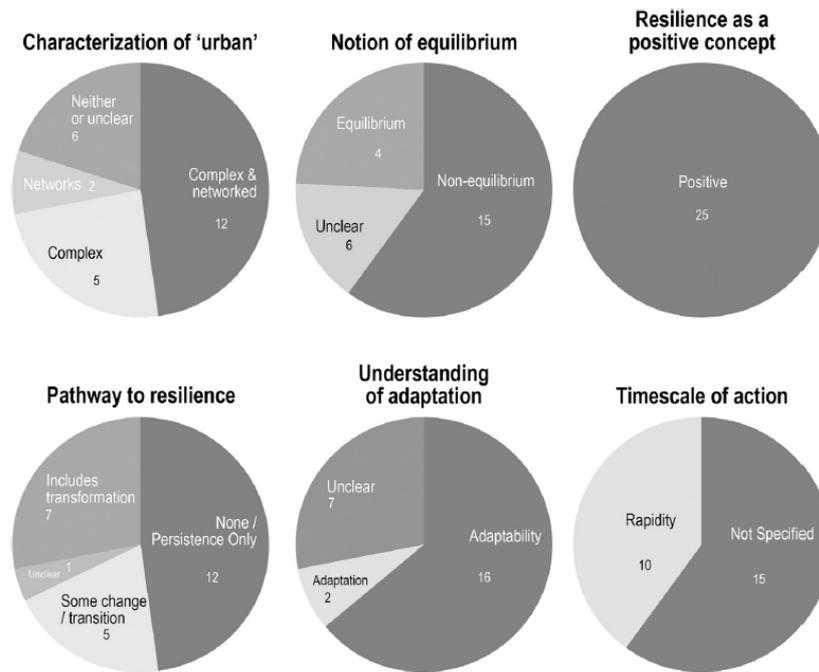
Die normative Neutralität des Konzepts ist eine wesentliche Voraussetzung, damit Resilienz seine brückenbildende Funktion zwischen den Disziplinen erfüllen kann. Erstaunlicherweise weist das Konzept in weiten Teilen der Literatur eine überwiegend positive Konnotation auf. Bei aller Diskussion um die Definition von Resilienz scheint es gemeinhin anerkannt zu sein, dass Resilienz eine positive und erstrebenswerte Systemeigenschaft ist (vgl. Thorén 2014: 304ff.; Davoudi 2012: 299; Leichenko 2011: 166). Dies lässt sich daraus ableiten, dass das Resilienzkonzept überwiegend in Kontexten diskutiert wird, bei denen es um den Umgang mit einer äußeren Störung geht und um die Abwendung von Risiken und Schaden. Es geht um den Erhalt eines als erstrebenswert betrachteten Systemzustandes. Die intuitive Wahrnehmung von Resilienz als positives Konzept vernachlässigt jedoch die Tatsache, dass sich Resilienz stets im Kontext anderer Konzepte bewegt, die stark normativ geprägt sind. Eine Klimaänderung als Störung zu interpretieren impliziert, dass der Klimazustand vor der Klimaänderung aus normativen Gründen erstrebenswerter war als nach der Klimaänderung und ein Risiko ergibt sich ebenfalls erst dadurch, dass die von einem Umwelteinfluss betroffenen Objekte als schutzwürdig deklariert werden. Diese implizite normative Aufladung der

5. Resilienz

Kontexte, in denen Resilienz angewendet wird, scheint sich auf die generelle Wahrnehmung von Resilienz übertragen zu haben. Einen ähnlichen Erklärungsansatz liefert SWANSTROM, der die positive Wahrnehmung der Resilienz auf den Ursprung des Konzeptes in der Ökologie zurückführt: so sei die Resilienz von Ökosystemen im Kern mit der Zielsetzung des nachhaltigen Erhalts der Ökosysteme gleichzusetzen (vgl. Swanstrom 2008: 19). Nachhaltigkeit als normative Zielsetzung wiederum wird gesellschaftlich positiv bewertet, was sich auf die Resilienz überträgt.

Gleich welches der generellen Resilienzverständnisse aus den Kapiteln 5.1.1–5.1.3 man zugrunde legt, lässt sich diese positive Wahrnehmung des Konzepts aber nicht aus den jeweiligen Kerngedanken ableiten: in der ingenieurtechnischen Resilienz streben Systeme stets nach ihrem Gleichgewichtszustand. Dies dient jedoch dem Selbsterhalt des Systems und ist im Kern nicht mit einer normativen Ausrichtung an gesellschaftlichen Werten oder Zielsetzungen verbunden. Auch in der ökologischen Resilienz sind die Adaptionsprozesse nur darauf ausgerichtet, den grundsätzlichen Erhalt des Systems sicherzustellen. Hierbei ist es nicht abwegig, dass es auch zu Anpassungsprozessen kommen kann, die langfristig aus gesellschaftlicher Perspektive wenig erstrebenswert erscheinen, wie das Beispiel der Eutrophierung eines Sees beweist. In der sozio-ökologischen Resilienz sind die Adaptions- und Transformationsprozesse primär auf den Erhalt der Systemfunktion ausgerichtet, ungeachtet davon wie diese Funktion normativ bewertet wird. Es lassen sich zahlreiche Beispiele finden, bei denen ein System bzw. Zustandsbedingungen zwar generell als durchaus resilient, gleichzeitig aber aus bestimmten Wertehaltungen heraus als in hohem Maße nicht-erstrebenswert bezeichnet werden könnte (vgl. Meerow et al. 2016: 44): Diktaturen, das HI-Virus, kriminelle Organisationen oder Armut im globalen Süden. Diese negativen Beispiele für resiliente Systeme verdeutlichen, dass das Resilienzkonzept neutral ist, da es sich im Kerngedanken lediglich auf die Eigenschaften eines Systems bezieht. Erst durch die Verknüpfung mit normativen Konzepten ergibt sich, ob und wie ein systemischer Entwicklungsprozess auf einen erstrebenswerten Zielzustand hin ausgerichtet ist. Im Kontext urbaner Entwicklung findet diese Verknüpfung zumeist mit dem planerischen Leitbild der Nachhaltigkeit statt, das politisch und gesellschaftlich legitimiert als „normativer Kompass“ (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2016: 142) der Stadtentwicklung gilt. Adressiert man nicht die Resilienz als generelles Konzept, sondern konkret die urbane Resilienz als disziplinäre Auslegung des Konzepts, so lässt sich durch das generelle, planerische Leitbild der Nachhaltigkeit die positive Konnotation der Resilienz nachvollziehbar argumentieren. Diese enge Vernetzung von Resilienz und Nachhaltigkeit als Stand der urbanen Resilienzforschung wird auch von LEICHENKO beschrieben: „The idea that resilience is a positive trait that contributes to sustainability is widely accepted“ (Leichenko 2011: 166).

Abbildung 26: Konzeptionelle Unterschiede zwischen Definitionen urbaner Resilienz



Quelle: Meerow et al. 2016: 43

MEEROW ET AL. belegen in ihrer Literaturstudie, dass alle 25 näher untersuchten Definitionen urbaner Resilienz die Resilienz als positives Konzept darstellen (siehe Abbildung 26). Besteht bei der Normativität also scheinbar Einigkeit zwischen unterschiedlichen Definitionen urbaner Resilienz, so identifizieren MEEROW ET AL. in fünf weiteren Kategorien deutliche konzeptionelle Unterschiede, die als Beleg für die definitorische Vielfalt gesehen werden können. Trotz dieser unterschiedlichen Auslegung der Resilienz in den Kategorien, wird deutlich, dass die sechs Kategorien Gemeinsamkeiten darstellen, die sich in allen Definitionen in unterschiedlichen Ausprägungen wiederfinden. Die Kategorien und die darin aufgegriffenen Eigenschaften spiegeln zentrale Charakteristiken, die in den vorangegangenen Kapiteln den einzelnen Definitionssträngen zugeordnet wurden, wie zum Beispiel die Bedeutung eines oder mehrerer Gleichgewichtszustände. (vgl. Meerow et al. 2016: 43) Dies kann auch als Beleg für die *boundary function* der Resilienz angesehen werden, da es ein Abbild des Diskussionsstandes zu den gleichen Kernthemen aus unterschiedlichen Perspektiven ist.

An dieser Stelle sei die auch von MEEROW ET AL. (vgl. Meerow et al. 2016: 44) erläuterte Unterscheidung zwischen *spezifischer Resilienz* und *genereller Resilienz* aufgegriffen, da sich daraus weitere Schlüsse für das Verständnis urbaner Resilienz ableiten lassen. Da sich die *spezifische Resilienz* auf bestimmbare Herausforderungen und ausgewählte Aspekte eines Gesamtsystems bezieht, erleichtert sie die Anwendung des Resilienzkonzeptes in der Praxis (vgl. Bousquet et al. 2016; Folke et al. 2010). Sie ermöglicht somit die Problemstellung zu konkretisieren, den Betrachtungsrahmen

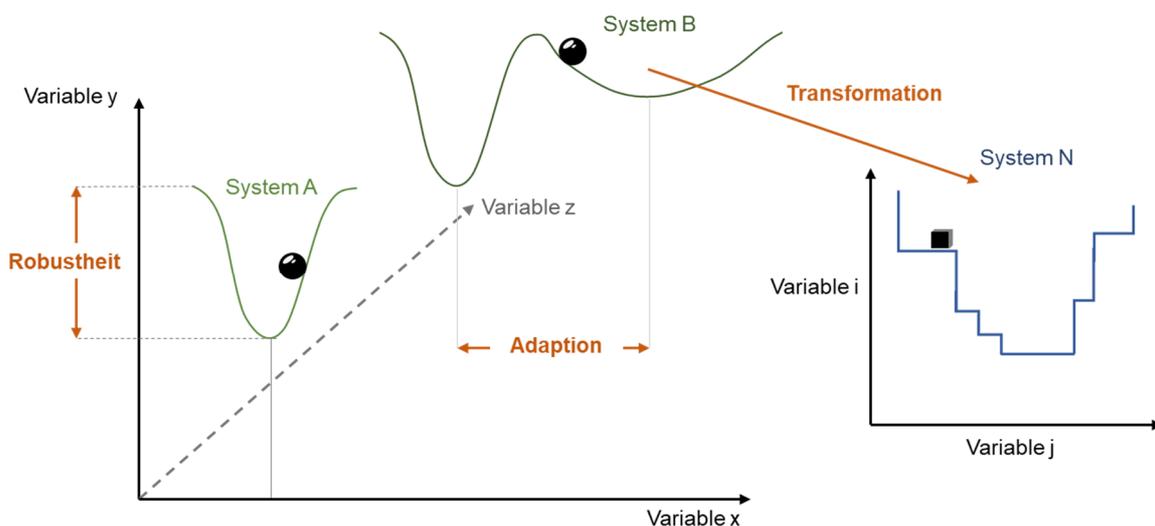
5. Resilienz

abzugrenzen und Resilienz fallbezogen zu operationalisieren, um konkrete Handlungsempfehlungen abzuleiten. Mit der spezifischen Resilienz wird in der Literatur oft die Leitfrage verbunden „resilience of what, to what?“ (Folke et al. 2010; Carpenter et al. 2001: 765). Auch wenn durch die Spezifizierung der Resilienz das Konzept besser operationalisierbar wird und sich Analysen und Maßnahmen zielspezifischer ausgestalten lassen, besteht die Gefahr, dass das System dadurch in eine Situation manövriert wird, die durch Pfadabhängigkeiten und Inflexibilität geprägt ist (vgl. Elmqvist et al. 2014: 20f.). Werden die Auswirkungen auf das Gesamtsystem vernachlässigt, kann die Steigerung der spezifischen Resilienz in einem Teilsystem einerseits zum Verlust von Flexibilität und Diversität in anderen Teilbereichen (vgl. Meerow et al. 2016: 44) und andererseits auch zu einer größeren Anfälligkeit gegenüber nicht abschätzbaren Herausforderung führen (vgl. Folke et al. 2010). Trotz der kurzfristigen Steigerung der spezifischen Resilienz sinkt also mitunter die generelle, langfristige Resilienz des Systems (vgl. Chelleri 2012: 295).

Im Hinblick auf die Vielzahl der Akteure und vernetzten Systeme im urbanen Raum ist laut MEEROW ET AL. daher eine Erweiterung der Leitfrage auf fünf W-Fragen erforderlich: „*Resilienz für wen, was, wann, wo und warum*“ (Meerow et al. 2016: 46; eigene Übersetzung, Hervorhebung im Original)? Diese Erweiterung der Leitfrage regt dazu an, unterschiedliche Akteure und deren Interessen sowie verschiedene zeitliche und räumliche Skalierungen zu berücksichtigen, die im Kontext der Resilienz von Bedeutung sein könnten. Durch die Beantwortung der Fragen lassen sich sogenannte „trade-offs“ (Thorén 2014: 44) identifizieren, also Maßnahmen oder Situationen in denen die Steigerung der Resilienz in einem Subsystem zeitlich oder räumlich versetzt zur Minderung der Resilienz in einem anderen Subsystem führt. Würde beispielsweise durch sehr strikte Umweltschutzmaßnahmen versucht, die Resilienz einer Stadt aus ökologischer Perspektive zu erhöhen, ist es denkbar, dass sich derartige Maßnahmen negativ auf die Resilienz aus ökonomischer Perspektive auswirken – und vice versa. Ebenso lassen sich solche trade-offs in einer Längsschnittanalyse eines Systems feststellen, wenn versucht wird, Resilienz durch die kurzfristige Steigerung der Robustheit zu erzielen – sogenannte „robustness trade-offs“ (Janssen und Anderies 2007: 45). Sie sind Belege für ein nicht ausreichendes generelles Systemverständnis. (vgl. Meerow et al. 2016: 46f.; Thorén 2014: 44ff.; Chelleri und Olazabal D.L. 2012: 61f.; Davoudi 2012: 305f.). Die Berücksichtigung der fünf W-Fragen um mögliche trade-offs zu minimieren und um das System resilient gegenüber verschiedensten, ambivalenten und unbekanntem Herausforderungen zu gestalten, entspricht dem Streben nach einer gesamtsystemischen Perspektive und damit dem Ansatz der *generellen Resilienz* (vgl. Folke et al. 2010).

In Abbildung 27 sind einige der zuvor beschriebenen zentralen Eigenschaften, die für die unterschiedlichen Resilienzverständnisse stehen, anhand der eigenen Erweiterung des Ball-in-a-basin-Modells grafisch verdeutlicht. Während sich die *Robustheit* auf die Größe und Form des Stabilitätsbereiches eines Systems mit fester Systemstruktur und einem Gleichgewichtspunkt bezieht, beschreibt die *Adaption*, dass sich Systemstrukturen an veränderte Rahmenbedingungen (Veränderung der Schlüsselvariablen) anpassen können, indem die Systemeigenschaften verändert werden. Die *Transformation* hingegen beschreibt den Übergang in eine gänzlich neue Systemstruktur mit anderen Schlüsselvariablen und entsprechend deutlich abweichenden Systemeigenschaften.

Abbildung 27: Verdeutlichung zentraler Resilienzeigenschaften anhand der eigenen Erweiterung des Ball-in-a-basin-Modells



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Scheffer et al. 2001: 593

Im Zuge der Genese des Resilienzkonzepts haben sich auch die Maßnahmen, die sich aus den verschiedenen Resilienzverständnissen ableiten lassen, maßgeblich verändert. Zielten die Maßnahmen in den Phasen der ingenieurstechnischen sowie der ökologischen Resilienz noch auf baustrukturelle bzw. physisch greifbare Entwicklungsschritte ab, so beziehen sich die Handlungsansätze in aktuelleren Publikationen zu großen Teilen auch auf institutionelle Schritte (vgl. Monstadt und Schmidt 2019; Romero-Lankao et al. 2016; Chmutina et al. 2016; Fath et al. 2015). Damit wird der Bedeutung der Akteure für die Adaptivität sozio-ökologischer Systeme Rechnung getragen. Für die urbane Resilienz bedeutet dies, dass neben baustrukturellen Maßnahmen auch die Planungsprozesse und gesellschaftliche Gegebenheiten als Teil des Systems Stadt im Zuge der Resilienzdebatte zu berücksichtigen sind. Zur Strukturierung von Strategien und Maßnahmen kann Resilienz in zwei Kategorien eingeteilt werden: harte Resilienz und weiche Resilienz (vgl. Proag 2014: 223f.). *Harte Resilienz* bezieht sich auf die materiellen Strukturen eines Systems und ist daher quantifizierbar. Im Sinne von

5. Resilienz

Robustheit lassen sich die Grenzwerte einer baulichen Struktur bestimmen, so zum Beispiel die Speicherkapazität einer Retentionsfläche. Diese Messbarkeit erleichtert die kontinuierliche Evaluation der Vulnerabilität bzw. Robustheit derartiger Strukturen im Kontext sich verändernder Herausforderungen. Harter Resilienz auf Basis von Mess- und Kennwerten von Systemstrukturen fehlt jedoch der Aspekt der Adaptivität. Im Sinne sozio-ökologischer Resilienzverständnisse beziehen sich Strategien und Maßnahmen der *weichen Resilienz* daher auf die eher sozialen und prozessualen Elemente des Systems Stadt. Planungsakteure und -prozesse sowie soziale Ressourcen lassen sich miteinander zwar auch messen, doch sind es gerade die emergenten Eigenschaften, die im Zusammenspiel dieser Teilelemente entstehen, die zur Steigerung der Adaptivität führen können. Die Lernfähigkeit im Planungshandeln ist beispielsweise eine komplexe Funktion aus institutionellen Voraussetzungen, sozialen Prozessen und individuellen Fähigkeiten, die sich kaum mathematisch präzise abbilden lässt. Laut PISANO sind institutionalisierte Lernprozesse nichtsdestotrotz Voraussetzung für eine adaptive Governance (vgl. Pisano 2012: 25f.). Die weiche Resilienz ist damit sicherlich auch die Kategorie, die schwieriger zu operationalisieren ist, da eben konkrete Ziel- oder Orientierungswerte kaum bestimmbar sind. (vgl. Proag 2014: 223)

Die Charakteristiken, die der sozio-ökologischen Resilienz zugeschrieben werden, lassen sich auch auf urbane Systeme anwenden. Insbesondere die Vernetzung über diverse räumliche und zeitliche Ebenen ist als Aspekt zu betrachten, der urbane Systeme und damit auch Planungshandeln prägt. Entwicklungsprozesse im urbanen Raum sind eingebunden in einen größeren (und auch kleineren) Kontext. Die Entwicklung des verfügbaren Wohnraums in einem Quartier ist abhängig von der Bevölkerungsentwicklung der Gesamtstadt sowie vom regionalen Arbeitsmarkt. Gleichzeitig kann auch der Zustand einzelner Gebäude im Quartier die Wohnraumnachfrage massiv beeinflussen – um nur ein vergleichsweise einfaches Anwendungsbeispiel für das Panarchie-Modell auf den urbanen Kontext aufzuzeigen. Verschiedene mögliche Zukünfte im Vorhinein abzuschätzen und Systemstrukturen darauf möglichst gut vorzubereiten ist eine zentrale Zielsetzung der Planung (vgl. Davoudi 2012: 303f.). Insofern sollte der Komplexitätsaspekt der sozio-ökologischen Resilienz dem Selbstverständnis der Planung entsprechen. Allerdings steht der primär lineare Steuerungsanspruch der Planung dem *panarchischen Steuerungskonzept* der sozio-ökologischen Resilienz entgegen. Die Etablierung sozio-ökologischer Resilienz in der Planung würde einen Paradigmenwechsel hin zu einem adaptiven Planungsparadigma erfordern.

5.2 Das Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz

Die dritte Forschungsfrage lautet: „Wie ist der Begriff der urbanen Resilienz zu definieren? Wodurch grenzt er sich von ähnlichen Begrifflichkeiten aus den Themenbereichen der Stadtentwicklung und Raumplanung ab?“ Als Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs ist es ein Ziel dieser Arbeit, ein Resilienzverständnis zu entwickeln, das unterschiedliche Resilienzverständnisse aus der Literatur zusammenführt und gleichzeitig Ansatzpunkte zur Operationalisierung bzw. für den Transfer in die Planungspraxis bietet.

Das Ergebnis der konzeptionellen Überlegungen auf Basis der umfassenden Literaturanalyse ist das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz*. Zur Erläuterung der Herleitung des Konzepts und der zugrundeliegenden Ideen wird zunächst aufgezeigt, welche Zielsetzungen das Konzept erfüllen soll. Daraufhin werden das Konzept und der Zusammenhang der einzelnen Dimensionen ausführlich erläutert.

5.2.1 Zielsetzungen des Konzepts

Die vorangegangenen Kapitel und insbesondere das Aufzeigen der Schwächen der gängigen Resilienzverständnisse im Hinblick auf urbane Systeme haben verdeutlicht, welche Gründe wohlmöglich dazu beigetragen haben, dass sich das Resilienzkonzept bislang in der Praxis noch nicht etablieren konnte. Zwar werden in Kapitel 5.4 exemplarisch einige Praxisbeispiele aufgezeigt, die zum Teil auch durchaus globale Popularität erlangt haben, doch sind derartige Ansätze bislang eher auf Pilotprojekte und einzelne Initiativen beschränkt. Von der Durchdringung der Planungsprozesse durch den Resilienzgedanken im Sinne eines „resilience mainstreamings“ (vgl. United Nations Office for Project Services (UNOPS) 2016: 1) kann derzeit noch keine Rede sein.

Der Autor hat sich daher zum Ziel gesetzt, ein Resilienzverständnis zu entwickeln, das explizit auf die Planung und Entwicklung urbaner Systeme ausgerichtet ist. Da die Entwicklung von Städten durch das Zusammenspiel einer Vielzahl unterschiedlichster Akteure geprägt ist, gilt es dabei allerdings, die *boundary function* des Resilienzkonzepts zu erhalten. Das zu entwickelnde Konzept muss also ausreichend Interpretationsspielraum bieten, sodass es sich auf unterschiedliche Fragestellungen im urbanen Kontext anwenden lässt. Gleichzeitig muss es Ansatzpunkte bieten, aus denen sich konkrete Maßnahmen für die Praxis ableiten lassen. Ohne eine solche Konkretisierung besteht die Gefahr, dass das Konzept die theoretische Ebene nicht verlässt und für Praxisakteure nicht greifbar bzw. operationalisierbar wird. Nicht zuletzt gilt es auch der Komplexität urbaner Systeme gerecht zu werden. Eine vollumfängliche Erfassung der Prozesse, die innerhalb und zwischen den urbanen Systemen ablaufen, wird zwar kaum möglich sein, aber zumindest sollte im Sinne eines

5. Resilienz

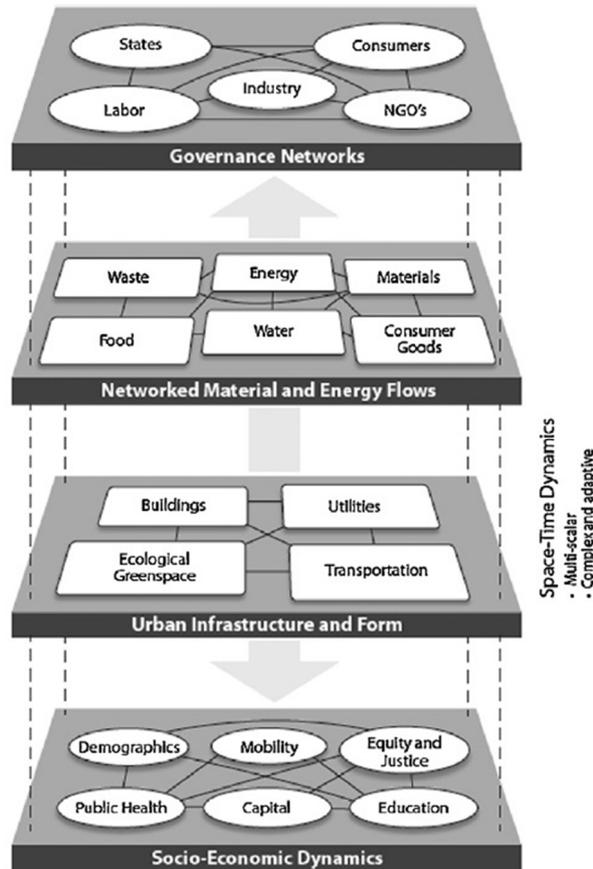
ganzheitlichen Planungsverständnisses angestrebt werden, die wichtigsten Teilsysteme zu berücksichtigen, die die Entwicklung der urbanen Systeme beeinflussen. Und dazu müssen neben den physischen Strukturen auch die institutionellen und sozialen Systeme berücksichtigt werden. So sollen auch für das Planungssystem selbst Schritte aufgezeigt werden, die zur Etablierung der Resilienz in der Planung im Sinne eines *Resilience-Mainstreamings* beitragen können.

Die Ansprüche an das zu entwickelnde Resilienzkonzept beziehen sich auf unterschiedliche Teilsysteme einer Stadt, die im Zusammenspiel die Entwicklung der urbanen Systeme und gleichzeitig auch sich gegenseitig maßgeblich prägen. Weniger systemtheoretisch ausgedrückt, werden unterschiedliche Dimensionen der urbanen Entwicklung adressiert. Dabei beziehen sich diese Dimensionen weniger auf konkrete Teilsysteme, sondern auf generelle Themen- und Handlungsbereiche der Stadtentwicklung. MEEROW ET AL. zeigen in ihrem Beitrag vier solcher Themenbereiche oder Dimensionen auf, die im Kontext des Urbanen als Gesamtsystem Berücksichtigung finden sollten: die sozio-ökonomische Dimension, die urbanen Infrastrukturen und Formen, Material- und Energieflüsse in Netzwerken und die Governance-Dimension (siehe Abbildung 28). Dabei sind die Dimensionen multi-skalar, komplex und adaptiv miteinander vernetzt.

Zudem setzt sich jede Dimension aus verschiedenen Teilsystemen zusammen, die wiederum komplex miteinander vernetzt sind. Das Governance-Netzwerk setzt sich aus den Akteuren und Institutionen zusammen, deren Handeln und Entscheidungen die urbanen Systeme ausformen. Die Material- und Energieflüsse beziehen sich auf die zahlreichen Materialien und Stoffe, die in den urbanen Kreisläufen produziert und konsumiert werden. Diese Dimension greift demzufolge die Theorie des urbanen Metabolismus auf (vgl. Kennedy et al. 2007: 43ff.). Die urbanen Infrastrukturen und Formen beziehen sich dagegen auf die gebaute Umwelt, also die physischen Teilsysteme und Strukturen, aus denen Städte zusammengesetzt sind. So beispielsweise Gebäude, technische Infrastrukturen und auch urbane Grünflächen.

Als vierte Dimension werden die sozio-ökonomischen Dynamiken innerhalb einer Stadt betrachtet. Neben den urbanen Strukturen, den Materialflüssen und den Planungsakteuren sind es auch die Stadtgesellschaft und die Handlungskapazitäten der Bürger, die die Entwicklung einer Stadt beeinflussen. Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel können planerisch und ingenieurstechnisch noch so gut durchdacht sein, werden aber langfristig nicht erfolgreich sein, wenn sie keine Akzeptanz in der Gesellschaft erfahren und nicht angewendet werden (können) oder den Alltag der Menschen einschränken. Daher gilt es, auch die Stadtgesellschaft als Dimension zu berücksichtigen, um Maßnahmen ergreifen zu können, die das vorhandene Sozialkapital aktivieren oder fördern.

Abbildung 28: Schema vernetzter urbaner Systemdimensionen



Quelle: Meerow et al. 2016: 45

Auch SWANSTROM regt an, unterschiedliche „Sphären“ der Resilienz (Swanstrom 2008: 3; eigene Übersetzung) separat voneinander zu betrachten. In seinem Beitrag liefert er spezifische Handlungsansätze zur Förderung von Resilienz im Zivilsektor, im Privatsektor und im öffentlichen Sektor. Alle drei Sektoren weisen unterschiedliche Eigenschaften auf und erfordern dementsprechend eine gesonderte Herangehensweise. (vgl. ebd. 20ff.)

Der Ansatz, die Komplexität des multi-skalaren Zusammenspiels unterschiedlicher Teilsysteme innerhalb einer Stadt zur Vereinfachung auf verschiedene Dimensionen aufzuteilen, kann helfen, die Gesamthematik zu strukturieren und so für Analysen und Maßnahmen besser zu ordnen. Er erlaubt Zusammenhänge in einem Teilbereich besser zu erfassen und Grenzen des Betrachtungshorizonts zu setzen, um Analysen und Maßnahmen handhabbar zu machen. Gleichzeitig wird durch die Berücksichtigung der Vernetzung der verschiedenen Dimensionen die Betrachtung des Gesamtsystems nicht außer Acht gelassen. Hinsichtlich der Anwendung des Dimensionen-Ansatzes auf das Thema der urbanen Resilienz stellt sich die Frage, ob die aufgeführten vier Dimensionen auch den primären Handlungsfeldern der Raumplanung entsprechen. Nach Ansicht des Autors muss die

5. Resilienz

Dimension der urbanen Infrastrukturen und Formen berücksichtigt werden, da sie das zentrale Handlungs- und Tätigkeitsfeld von Raumplanungsakteuren darstellt. Die Material- und Energieflüsse weisen zwar einen Bezug zu den planerisch gestalteten, baulichen Strukturen auf, doch obliegt ihre Planung und Steuerung eher dem Ingenieurbereich. Als gesonderte Dimension, die den Kerninteressen eines raumplanerischen Resilienzkonzepts entspricht, sind die Material- und Energieflüsse nicht anzusehen. Dagegen sind Governancestrukturen ein entscheidender Einflussfaktor, der Planungsprozesse und damit auch die urbane Entwicklung beeinflusst. Im Sinne einer kritischen Selbstreflexion sollten zur Wahrung der angestrebten Adaptivität auch die Planungs- und Governancestrukturen als Dimension berücksichtigt werden. Nicht zuletzt spielt auch die soziale Dimension eine entscheidende Rolle. Die planerisch gestaltete Umwelt prägt das gesellschaftliche Zusammenleben und damit auch soziale Prozesse. Daher sind die gesellschaftliche Akzeptanz und das Verständnis für raumplanerische Maßnahmen wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche und demokratisch legitimierte Planung. Das Partizipationsgebot im Planungsrecht (vgl. § 3 BauGB) ist Ausdruck dieses Selbstanspruches der Planung.

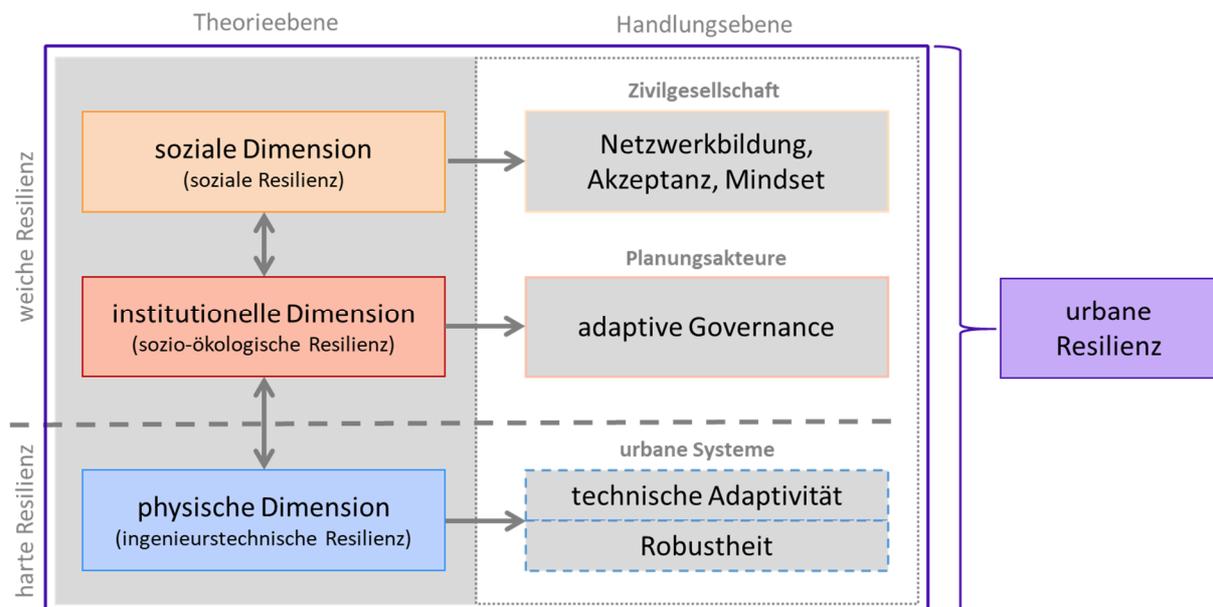
Theoretisch denkbar wäre auch noch eine fünfte Dimension, die sich auf die Umweltbedingungen einer Stadt bezieht, also die in Kapitel 3 dargestellten natürlichen und anthropogenen Rahmenbedingungen, die wechselseitig die Stadtentwicklung beeinflussen und von ihr beeinflusst werden. Allerdings würde dies bei vielen Rahmenbedingungen den zeitlichen und räumlichen Betrachtungshorizont sehr stark und deutlich über den städtischen Kontext hinaus erweitern. Beispielsweise der Klimawandel, wirtschaftliche und technologische Entwicklungen unterliegen globalen Einflüssen, die kaum von lokalen Planungsakteuren gesteuert werden können. Daher wäre es wenig zielführend die Rahmenbedingungen als Handlungsdimension einem raumplanerischen Resilienzkonzept hinzuzufügen. So kommt der Autor dieser Arbeit zu dem Schluss, dass ein planungsorientiertes Konzept zur urbanen Resilienz drei Dimensionen der urbanen Entwicklung adressieren sollte: eine Dimension, die auf die technisch-baulichen Elemente einer Stadt ausgerichtet ist. Eine weitere Dimension, die die Planungsakteure und -institutionen adressiert und so auf die Gestaltung des Planungsprozesses ausgerichtet ist. Die dritte Dimension sollte sich auf die soziale Komponente, also die Stadtgesellschaft und ihren möglichen Beitrag zur Steigerung der Resilienz fokussieren.

5.2.2 Einführung in das Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz

Um die im vorangegangenen Kapitel definierten Anforderungen zu erfüllen, adressiert das entwickelte Resilienzkonzept drei Dimensionen der Stadtentwicklung. Diese tragen auf unterschiedliche Art und Weise zur Steigerung der Resilienz einer Stadt und der Teilsysteme bei.

Wie in Abbildung 29 zu erkennen ist, stehen diese Dimensionen auf der linken Seite der schematischen Darstellung des Konzepts. Die linke Seite steht auch für die theoretische Ebene des Konzepts und stellt den Bezug zur Genese des Resilienzkonzeptes in der Literatur her. Den drei Dimensionen sind jeweils unterschiedliche, in Kapitel 5.1 beschriebene, generelle Resilienzverständnisse zugeordnet. Aus diesen theoretischen Resilienzverständnissen leiten sich die Handlungsmaximen ab, die für die Teilsysteme dieser Dimension gelten sollen. Die rechte Seite der schematischen Darstellung des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* steht für die Handlungsebene des Konzepts und führt daher strategische Zielsetzungen auf, die erreicht werden sollen und aus denen sich in der Planungspraxis Maßnahmen ableiten lassen. Zudem ist für jede Dimension aufgeführt, welche urbanen Systeme bzw. Akteure mit den strategischen Zielsetzungen adressiert werden (Zivilgesellschaft, Planungsakteure, urbane Systeme).

Abbildung 29: Das Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz



Quelle: eigene Darstellung

Des Weiteren sind die Dimensionen und Zielsetzungen in die Kategorien harte und weiche Resilienz eingeteilt, um zu verdeutlichen, dass die physische Dimension quantifizierbar ist, die soziale und die institutionelle Dimension aber vorwiegend qualitativer Analysen und Maßnahmen bedürfen. Die drei Dimensionen sind als miteinander vernetzt und voneinander abhängig zu betrachten. Im Sinne des Konzepts ist daher die Erfüllung der strategischen Zielsetzungen in allen drei Dimensionen erforderlich, um die urbane Resilienz zu steigern. Da das Konzept mit seinen verschiedenen Dimensionen und adressierten Akteuren einerseits interdisziplinär und andererseits, in der Verknüpfung der theoretischen Ebene mit der Maßnahmenebene, transformativ angelegt ist, kann davon

ausgegangen werden, dass es in der Lage ist die, angestrebte *boundary function* zu erfüllen. Es bietet Akteuren unterschiedlichster Disziplinen sowie aus Wissenschaft und Praxis Ansatzpunkte für einen gemeinsamen Diskurs unter der Zielsetzung der urbanen Resilienz.

5.2.3 Physische Dimension

Die physische Dimension des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* orientiert sich an der Dimension der urbanen Infrastrukturen und Formen, wie sie bei MEEROW ET AL. (vgl. Meerow et al. 2016: 45) beschrieben wird. Sie bezieht sich also auf die baulichen, technischen und physischen Elemente einer Stadt wie Infrastrukturen, Gebäude, Transportsysteme und Grünflächen (als grüne Infrastrukturen). Die Bezeichnung der Dimension als „physisch“ soll zum Ausdruck bringen, dass es im Sinne der harten Resilienz um die Elemente einer Stadt geht, die zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgrund ihrer Körperlichkeit messbar und quantifizierbar sind. Dies schließt neben den Infrastrukturen, den baulichen Strukturen, technischen Elementen, städtischen Grün- und Wasserflächen auch die Menschen als Bestandteil und Nutzer der städtischen Systeme ein. Als Nachfrager der Leistungen der Daseinsvorsorge sind die Einwohner einer Stadt ein wichtiger Kennwert zur Planung und Gestaltung der weiteren physischen Systeme und sollten in dieser Dimension berücksichtigt werden. Dies erfolgt jedoch in klarer Abgrenzung zur soziologischen Betrachtung der Menschen als Teil der Stadtgesellschaft in der sozialen Dimension (siehe Kapitel 5.3.6), die die gesellschaftlichen Beziehungen und Prozesse, Lebensstile, Bildung und das Humankapital adressiert. In der physischen Dimension geht es um die Quantifizierung der Einwohner einer Stadt oder eines Quartiers auf Grundlage ihrer demografischen Eigenschaften sowie der Fortschreibung der Bevölkerungsentwicklung als *Input* für weitere Stadtsysteme. Dies ermöglicht auch den Grenzfall der sozialen Infrastrukturen als Bestandteil der physischen Dimension zu betrachten. Zwar werden Bildungsleistungen, medizinische Versorgung oder Pflegeleistungen meist in Gebäuden angeboten, doch sind die eigentlichen Dienstleistungen physisch nicht greifbar. Nichtsdestotrotz ist messbar, wie viele Schulplätze unterschiedlicher Art in einer Stadt angeboten werden, ob eine ausreichende Ärztedichte vorhanden ist und ob das Pflegeangebot der sich verändernden Bevölkerungsstruktur entspricht. Auch ist die Planung sozialer Infrastrukturen untrennbar mit der physischen Dimension verbunden: beispielsweise ermöglichen Schulgebäude, Krankenhäuser und deren technische Ausstattung erst die Erfüllung der Daseinsvorsorge durch diese sozialen Infrastrukturen.

Der physischen Dimension ist als theoretisches Resilienzverständnis die *ingenieurstechnische Resilienz* zugrunde gelegt. Diese hat zum Ziel die Ausfallwahrscheinlichkeit von Systemen sowie den Zeitraum von Schwankungen der Funktionalität nach Störungen zu minimieren. Es geht darum den

identifizierten Optimalzustand eines Systems möglichst zu erhalten, oder ihn schnellstmöglich wiederherzustellen. Auch die ingenieurstechnische Planung von baulichen, urbanen Strukturen und Systemen ist auf ein Optimum und Schwellenwerte unter bestimmten Rahmenbedingungen ausgerichtet. Straßen sind auf eine bestimmte Fahrzeugmenge je Stunde mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausgelegt, Freispiegelleitungen im Abwassersystem funktionieren je nach Durchmesser mit einer bestimmten Abwassermenge am besten und Häuserdächer sind bis zu einer festgelegten Windgeschwindigkeit widerstandsfähig. Diese Beispiele zeigen, dass für die Planung solcher Strukturen und Systeme Kennwerte vorliegen. Systemtheoretisch ausgedrückt kann also der Stabilitätsbereich urbaner Bau- und In-frastrukturen quantifiziert werden. In Planungsprozessen werden für die Entwicklung der Rahmenbedingungen oft unterschiedliche Prognosen oder Szenarien berechnet, an die die urbanen Strukturen dann angepasst werden. Das Ziel ist es also, die Stabilitätsbereiche der Strukturen so zu gestalten, dass sie die Veränderungen der Rahmenbedingungen, und damit die Schwankungen der Schlüsselvariablen, möglichst abdecken. Aus ingenieurstechnischer Perspektive werden die urbanen Strukturen möglichst robust gegenüber den absehbaren Veränderungen der Rahmenbedingungen ausgestaltet. Ein gewisses Maß an Robustheit ist auch im Sinne der Resilienz urbaner Systeme und Strukturen erforderlich. Würde jede Abweichung vom Optimalzustand eine Adaption erforderlich machen, würde dies weder der Zielsetzung einer nachhaltigen Stadtentwicklung, noch dem Streben nach sicheren Lebensbedingungen entsprechen. Insofern ist die Robustheit der urbanen Systeme geradezu Voraussetzung für eine langfristige Planung, die mit Investitionskosten und Pfadabhängigkeiten einhergeht. Wie robuste Systemstrukturen erreicht werden können, ist vom jeweiligen System und der Herausforderung abhängig.

Robustheit reicht auf der Ebene der strategischen Zielsetzungen nicht aus, um die physischen urbanen Systeme als resilient bezeichnen zu können. Dies liegt einerseits daran, dass die Entwicklung der Rahmenbedingungen zahlreichen Unsicherheiten unterliegt, die auch mit Szenarien kaum adäquat abgedeckt werden können. Zu hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass künftige Entwicklungen den menschlichen Erfahrungshorizont überschreiten (vgl. Vale und Campanella 2005b). Auch Rückkopplungseffekte in komplexen sozio-technischen Systemen, wie sie eben vielfach in einer Stadt vorhanden sind, lassen sich kaum durch Robustheit allein bewältigen und bereits langfristig vorab technisch einplanen. Derartige Einschränkungen haben auch im Resilienzdiskurs dazu geführt, dass das rein auf Stabilität und Robustheit beruhende, ingenieurstechnische Resilienzkonzept um den Aspekt der Adaption zur ökologischen Resilienz erweitert wurde. Auch in der physischen Dimension sind Zielsetzungen und Maßnahmen denkbar, die den urbanen Systemen zumindest ein beschränktes Maß an Adaption an sich verändernde Rahmenbedingungen ermöglichen. Auf Ebene der

5. Resilienz

strategischen Maßnahmen wird dies in Abbildung 29 als „technische Adaptivität“ bezeichnet. Hierunter versteht der Autor einerseits technische Anpassungsmöglichkeiten und Kapazitäten, die bereits während der Planung in das jeweilige System integriert werden, um Störungen bzw. Abweichungen der Zustandsvariablen bewältigen zu können. Dabei geht es nicht unbedingt um die kurzfristige Bewältigung einer Herausforderung und die möglichst schnelle Rückkehr zum ursprünglichen Gleichgewichtszustand im Sinne von Bewältigungskapazitäten, sondern ggf. auch um die vorübergehende Adaption der Systemstrukturen an periodisch veränderte Rahmenbedingungen. Es kann sich um zu- oder abschaltbare Systembestandteile (z. B. Regenüberlaufbecken für Starkregenfälle), Pufferkapazitäten, Redundanzen oder Steuerungsmöglichkeiten im Betrieb (z. B. anpassbare Geschwindigkeitsanzeigen auf Straßen) handeln. Derartige Maßnahmen sind geeignet, um kurz- und mittelfristige Schwankungen der Zustandsvariablen, die über die eigentlichen systemischen Schwellenwerte hinausgehen, bewältigen zu können, ohne dass die Systemfunktion langfristig eingeschränkt wird oder bauliche Maßnahmen erforderlich werden. Zusammen mit den Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit wird so die längerfristige Persistenz der Systemstrukturen gefördert. Neben dem starken Fokus auf Robustheit und damit auf die ingenieurstechnische Resilienz, greift die physische Dimension mit der technischen Adaptivität und unterschiedlichen systemischen Gleichgewichtszuständen auch Aspekte der ökologischen Resilienz auf. Allerdings steht der Erhalt der Systemstruktur (einschließlich der technischen Adaptionenmöglichkeiten) im Vordergrund der Zielsetzungen. Stetige Anpassungen der Systemstrukturen an veränderte Rahmenbedingungen sind nicht vorgesehen, sodass die ingenieurstechnischen Resilienzverständnisse als theoretischer Hauptbezugspunkt für diese Resilienzdimension gewählt wird.

Auch die technischen Adaptionenmöglichkeiten können Störungen immer nur bis zu vorausgeplanten Schwellenwerten bewältigen. Über die langen Lebenszyklen urbaner Bau- und Infrastrukturen können sich die Rahmenbedingungen derart verändern, dass auch die im System integrierten Anpassungsmöglichkeiten nicht ausreichen und bauliche Anpassungen unumgänglich werden. Für derartige Fälle sollten schon bei der Planung urbaner Systeme Vorkehrungen getroffen werden, die eine bauliche Anpassung vereinfachen. Unter „technischer Adaptivität“ wird daher im *Dimensionen-Konzept der urbanen Resilienz* auch die bauliche Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der physischen Systeme verstanden. Diese eher generellen technischen Anpassungskapazitäten anstelle von konkret vorbereiteten Adaptionenmöglichkeiten sind auch der Grund, warum diese strategische Zielsetzung als „technische Adaptivität“ und nicht als „technische Adaptionen“ o. ä. bezeichnet wird. Auch die Minimierung von Pfadabhängigkeiten, vor allem technischer Infrastrukturen, kann unter der strategischen Zielsetzung der technischen Adaptivität eine Maßnahme sein. Langfristige

Abschreibungszeiträume der Investitionen und rigide Betriebsabläufe können dazu führen, dass Systemstrukturen, die sich als vulnerabel herausgestellt haben, weiter betrieben oder gar ausgebaut werden. Hier kann eine Zielsetzung sein, die Planung und Entwicklung der Systeme so zu gestalten, dass sich aus der Überschneidung unterschiedlicher Lebenszyklen der Teilsysteme in regelmäßigen Abständen Handlungsfenster ergeben, die eine Veränderung der Systemstrukturen oder gar einen weitergehenden Wandel erlauben. Auch dies ist jedoch nur in einem gewissen Rahmen möglich und erfordert auch, Handlungsnotwendigkeiten und Handlungsfenster überhaupt erst zu erkennen. Der kontinuierliche Wandel der Rahmenbedingungen kann auf der physischen Dimension allein nicht durch die Förderung ingenieurstechnischer Resilienz bewältigt werden. Es ist daher eine Erweiterung der Resilienzperspektive erforderlich, die die weiteren Dimensionen einschließt.

5.2.4 Institutionelle Dimension

Die institutionelle Dimension der urbanen Resilienz bezieht sich auf die Akteure und Institutionen, die durch ihr Handeln und ihre Entscheidungen die Entwicklung urbaner Systeme aktiv steuern. Dies umfasst die politischen Akteure, die Gesetzgebung, die öffentlichen Planungsinstitutionen, aber auch nicht-öffentliche Akteure, die sich an Planungsprozessen beteiligen. Dabei geht es exklusiv um solche Akteure, die bewusst und aktiv an formellen und informellen Planungs- oder Entscheidungsprozessen teilnehmen oder versuchen diese zu beeinflussen, z. B. im Rahmen von Partizipationsprozessen. Davon abgegrenzt werden Akteure, die primär Eigeninteressen verfolgen, damit aber unbewusst oder indirekt Planungs- und Entscheidungsprozesse beeinflussen. Derartige Handlungsweisen von Privatakteuren oder Unternehmen werden als gesellschaftlicher Rahmen in der sozialen Dimension der urbanen Resilienz betrachtet, da es hierbei eher um generelle gesellschaftliche Wertehaltungen und Interessen, denn um konkret planerisches Handeln geht. Des Weiteren ist das skizzierte private Handeln nicht zwangsläufig institutionalisiert, sodass die Zuordnung zur institutionellen Dimension der urbanen Resilienz unpassend wäre. Somit ergibt sich in Abgrenzung zur Darstellung der urbanen Dimensionen bei MEEROW ET AL. eine Unterscheidung, da in deren Ansatz die Dimension der „Governance Networks“ (Meerow et al. 2016: 45) sowohl öffentliche als auch private Akteure enthält, deren Handeln sich auf Stadtentwicklungsprozesse auswirkt. Da im *Dimensionen-Konzept der urbanen Resilienz* die aktive Förderung der Resilienz urbaner Systeme im Vordergrund stehen soll, ist eine Unterscheidung zwischen Akteuren mit demokratisch oder rechtlich legitimer Planungskompetenz und den Akteuren, die lediglich planungswirksam handeln, erforderlich. Die von den Akteuren umsetzbaren Maßnahmen können sich deutlich unterscheiden und entfalten eine unterschiedliche Bindungswirkung.

5. Resilienz

Der Fokus der institutionellen Dimension liegt im Rahmen dieser Arbeit auf dem Planungsprozess und den kommunalen Planungsakteuren. Wie sich sowohl in der Genese des Resilienzkonzepts als auch im vorangegangenen Kapitel herausgestellt hat, sind Robustheit und vereinzelte Adaptionen als Eigenschaften nicht ausreichend, um Systeme langfristig resilient gegenüber veränderlichen Rahmenbedingungen bezeichnen zu können. Im Sinne sozio-ökologischer Resilienzverständnisse sollten Systeme ein hohes Maß an Adaptivität aufweisen, um sich an veränderte Herausforderungen anpassen zu können. Die notwendige Anpassungsfähigkeit kann aber nicht allein durch die technisch-bauliche Gestaltung der physischen Systeme erreicht werden. Auch die planenden und steuernden Teilsysteme (siehe Kapitel 2.3.1) müssen sich adaptiv zeigen. Insofern ist es erforderlich, dass der gesamte Planungsprozess selbst adaptiv ausgestaltet wird, sodass durch Planung und Steuerung die Kapazitäten der physischen Systeme zur Adaption kontinuierlich auf einem möglichst hohen Niveau gehalten werden und ggf. auch die Notwendigkeit einer Transformation erkannt wird. Nach Ansicht des Autors haben die Akteure der institutionellen Dimension die dafür erforderlichen Fähigkeiten und Kompetenzen oder können sie zumindest erlangen. Sie befinden sich an der Schnittstelle zwischen dem Angebot an urbanen Funktionen in der physischen Dimension und der Nutzung der urbanen Funktionen in der gesellschaftlichen bzw. sozialen Dimension. Planungsakteure können daher eine weitgehend gesamtsystemische Perspektive einnehmen, unterschiedlichen Funktionsweisen und Entwicklungen der Teilsysteme und Dimensionen gegenüberstellen und sie gegeneinander abwägen, um die Entwicklung der urbanen Systeme bestmöglich dem Gemeinwohl entsprechend nachhaltig zu gestalten. Die institutionelle Dimension ist die Ebene, auf der normative Zielsetzungen in den Stadtentwicklungsprozess eingebracht werden können. Da Resilienz gemäß seinem theoretischen Ursprung ein neutrales Konzept ist, bedarf es einer normativen Zielsetzung, auf die ein resilienter Entwicklungsprozess ausgerichtet ist. Diese Zielsetzung, wie beispielsweise die Nachhaltigkeit, kann von den politischen Akteuren und den Planungsakteuren in die Entscheidungsfindung eingebracht werden. Sie unterliegen dabei der gesellschaftlichen Rahmung und den in der sozialen Dimension festgelegten gesellschaftlichen Wertehaltungen. Gleichzeitig beeinflussen auch politische Zielsetzungen und rechtliche Rahmenbedingungen der institutionellen Dimension den Handlungsspielraum und die Diskussionen in der sozialen Dimension. Diese reziproke Beeinflussung der drei Dimensionen wird durch die doppelseitigen Pfeile in Abbildung 29 symbolisiert.

Weiterhin haben die Planungsakteure grundsätzlich die Fähigkeiten, die langfristige Entwicklung der Rahmenbedingungen und ihre Rückwirkungen in den komplexen urbanen Systemen im Voraus abzuschätzen. Gleichwohl ist diese Fähigkeit technisch und methodisch beschränkt, sodass es immer wieder Entwicklungen der Rahmenbedingungen geben wird, die nicht langfristig vorausberechenbar

sind (siehe Kapitel 3.4). Eben darum müssen auch die Planungsprozesse selbst adaptiv ausgestaltet werden. Dies erfordert einen Paradigmenwechsel weg vom linearen Planungsselbstverständnis hin zu einem adaptiven Planungsselbstverständnis wie es beispielsweise auch MONSTADT UND SCHMIDT sowie FOLKE ET AL. einfordern (vgl. Monstadt und Schmidt 2019: 4ff.; Folke et al. 2007: 5ff.). Wenn Planungsentscheidungen nicht auf der Annahme linearer Kausalitäten beruhen, die langfristig Bestand haben, sondern urbane Strukturen als komplexe Systeme unter veränderlichen Rahmenbedingungen betrachten, wirkt sich dies auf den Fokus der Zielsetzung der Planung aus. Die theoretischen Ansätze sozio-ökologischer Resilienzverständnisse liefern hierzu Grundlagen für die Entwicklung strategischer Zielsetzungen auf der Maßnahmenebene des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz*. Da sozio-ökologische Systeme keinen dauerhaften Gleichgewichtszustand erreichen können, ist der kontinuierliche Wandel als Normalzustand anzuerkennen. Dadurch rücken die Steuerung und das Management urbaner Systeme stärker in den Vordergrund, als das im bisherigen planerischen Selbstverständnis der Fall ist. Der Abschluss eines Planungsprozesses durch Errichtung eines Systems oder Erfüllung einer Maßnahme sollte grundsätzlich nicht als dauerhaft betrachtet werden. Vielmehr sollte kontinuierlich evaluiert werden, ob veränderte Rahmenbedingungen die Vulnerabilität einzelner Teilsysteme erhöht haben oder ob sich ein Handlungsfenster zur Weiterentwicklung des Systems ergibt, auch wenn mitunter noch kein akuter Handlungsdruck besteht. Ebenso rückt der Fokus vom Erhalt etablierter Systemstrukturen auf den Erhalt erforderlicher Systemfunktionen. Wenn alleine die Funktion als oberstes Charakteristikum eines Teilsystems ausschlaggebend für die Bewertung des Zustands eines Systems ist, ermöglicht dies einen flexibleren und innovativeren Umgang mit der Gestaltung der Systemstrukturen zum Erhalt der Adaptivität des Systems. So wird die Gefahr rigider Systemstrukturen und potenziell vulnerabler lock-in-Situationen reduziert. Außerdem gilt es im Sinne der sozio-ökologischen Resilienz die komplexe Vernetzung der urbanen Systeme zu berücksichtigen. Bezugnehmend auf das Panarchie-Modell adaptiver Zyklen kann die institutionelle Dimension die Reorganisation der urbanen Systeme der physischen Dimension mit den vorhandenen Ressourcen maßgeblich unterstützen, gestalten und auf planerische Zielsetzungen ausrichten (remember-Funktion). Gleichzeitig muss sie kritische Veränderungen der physischen Systeme wahrnehmen und ihre Planungsprozesse ggf. daran anpassen (revolten-Funktion). Eine derartige kritische Selbstreflexion ist bisher zu selten geschehen, weshalb Maßnahmen zur Reduzierung der Vulnerabilität eines Teilsystems teilweise nur für einen begrenzten Zeitraum erfolgreich waren, bis sie von scheinbar unvorhersehbaren Herausforderungen außer Kraft gesetzt wurden. Dass sich Systemstrukturen unter veränderten Rahmenbedingungen als hochgradig vulnerabel herausstellen und dementsprechend eine Transformation dieser Strukturen erforderlich ist, sollte im

5. Resilienz

Sinne der *sozio-ökologischen Resilienz* als Möglichkeit Einzug in Planungsprozesse erhalten. Je mehr sich diese Möglichkeit in Planungsprozessen etabliert, desto besser können Transformationsprozesse eingeleitet werden, bevor eine Herausforderung ein schadhaftes Ereignis oder eine Krise erzeugt.

Auf der Ebene der strategischen Zielsetzungen ist der institutionellen Dimension in Abbildung 29 das Ziel der „adaptiven Governance“ zugeordnet. Ausgehend von einem weitgefassten Governance-Verständnis steht der Begriff hierbei für eine kooperative Steuerung der Entwicklung der urbanen Systeme durch politische Entscheidungsträger, den Gesetzgeber, öffentliche Planungsinstitutionen und private Akteure, die sich an den Prozessen beteiligen. Die Erkenntnis der Komplexität der Vernetzung der unterschiedlichen Teilsysteme erfordert bei der Planung und Steuerung dieser Systeme auch die interdisziplinäre Vernetzung der verschiedenen Akteure.

Im vorliegenden Konzept liegt die theoretische Grundlage für die strategische Zielsetzung einer adaptiven Governance in den sozio-ökologischen Resilienzverständnisse. Dementsprechend sollten die Planungsakteure als oberste Zielsetzung von Planungsprozessen die Wahrung der Adaptivität der urbanen Systeme in Betracht ziehen und die Planungsprozesse daraufhin ausrichten. Da dies mitunter tiefgreifende, frühzeitige strukturelle Veränderungen nach sich zieht, die in den bisherigen, langfristig ausgerichteten, linearen Planungsprozessen nicht immer abbildbar sind, erfordert eine adaptive Governance auch einen Wandel im Planungsselbstverständnis aller beteiligten Akteure. Die Adaptivität der Planung ist als Querschnittsaufgabe zu verstehen, die sich nicht nur als Bestandteil eines Planwerkes niederschlägt, sondern auch in das alltägliche Handeln der Planungsakteure Einzug erhalten muss. Im Sinne eines „resilience mainstreamings“ (United Nations Office for Project Services (UNOPS) 2016: 1) sollten Planungsprozesse und -strukturen daraufhin untersucht werden, ob sie in ihrer Ausgestaltung implizit auf die Förderung der Resilienz der urbanen Systeme, insbesondere der Wahrung oder Steigerung der Adaptivität, ausgerichtet sind. Um mögliche Handlungsfenster identifizieren und ggf. auch relativ kurzfristig (z. B. nach Eintreten eines Schadensereignisses) nutzen zu können, ist ein kontinuierliches Monitoring des Systemzustandes erforderlich sowie die Vorabschätzung der künftigen Entwicklung der Rahmenbedingungen.

Zur Nutzbarkeit identifizierter Handlungsfenster tragen nicht nur institutionelle Kapazitäten bei, sondern auch kurzfristig mobilisierbares Sozialkapital, das in der Zivilgesellschaft vorhanden ist. Nicht nur im Sinne der demokratischen Legitimierung sollte daher die Partizipation ein wesentlicher Bestandteil einer adaptiven Governance sein. Die frühzeitige Einbindung gesellschaftlicher Akteure und der Aufbau von Netzwerken erhöhen die kurzfristigen Handlungskapazitäten in

Krisensituationen oder bei kurzen Handlungsfenstern. In der Stadthistorie hat sich infolge krisenhafter Ereignisse oftmals gezeigt, dass soziale Netzwerke in der Krisenbewältigung schneller handlungsfähig sind, als öffentliche Institutionen und dass ein enormes Maß an sozialem Kapital schnell mobilisiert werden kann, wenn dies über etablierte Netzwerkstrukturen organisiert wird. (vgl. Schott 2013: 297ff.; Aldrich 2012; Vale und Campanella 2005a: 336ff.)

Wie sich zeigt, würde die Umsetzung einer adaptiven Governance tiefgreifende Veränderungen in den Planungsprozessen und auch in der Zielsetzung der Planung erfordern. Der Gesetzgeber müsste dazu die rechtlichen Voraussetzungen schaffen und Baurecht und Raumordnungsgesetz sowie sektorales Recht anpassen, damit die planenden Akteure auch eine rechtliche Handhabe haben, Maßnahmen umzusetzen, auch wenn sie mitunter (noch) nicht dringend erforderlich sind oder etablierte Systemstrukturen aufgebrochen werden.

Adaptive Governance erfordert eine Änderung der etablierten Abwägungs- und Entscheidungslogiken in der Planung. Die Steigerung der Resilienz kostet Geld. In einfachen Kosten-Nutzen-Berechnungen kann der Mehrwert eines resilienteren Systems nicht adäquat abgebildet werden, da die Investitionskosten für systemische Redundanzen oder einen Systemwechsel vielfach zwar hoch, der direkte Nutzen bzw. die Häufigkeit der Anwendung aber offenbar nur gering sind. (vgl. Anderies et al. 2006) Auch würde eine konsequente Umsetzung der adaptiven Governance kurz- und mittelfristig zu Kostensteigerungen führen, da einerseits für das kontinuierliche Monitoring des Systemzustandes und die aufwändigeren Planungsprozesse mehr Ressourcen in der Planung erforderlich werden und zudem die Anpassungsmaßnahmen voraussichtlich zusätzliche Investitionskosten verursachen würden. Zum Teil würden diese Budgets auch relativ kurzfristig erforderlich, um offene Handlungsfenster nutzen zu können. In Zeiten angespannter Kommunalhaushalte und kommunaler Haushaltssicherungskonzepte ist dies durchaus eine große Herausforderung für die Umsetzung einer adaptiven Governance in der Planung. Daher bezieht die institutionelle Dimension auch die politischen Akteure ein, da auch diese eine adaptive Governance unterstützen und mittragen müssen. Sie müssen ein Bewusstsein für die Notwendigkeit der Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz der urbanen Systeme in Zeiten ambivalenter und unsicherer Herausforderungen entwickeln, um als demokratisch legitimierte Entscheidungsträger die entsprechenden Maßnahmen zu unterstützen, aber auch die notwendigen Ressourcen für die veränderten Planungsprozesse bereitzustellen und den rechtlich notwendigen Handlungsspielraum zu schaffen.

Aber auch wenn die physischen Systeme sehr robust und adaptiv ausgestaltet werden und die Planungsakteure ihre Prozesse so anpassen können, dass sie auf die Wahrung der Adaptivität der

urbanen Systeme abzielen, sind das noch keine hinreichenden Voraussetzungen für eine insgesamt resiliente Stadtentwicklung.

5.2.5 Soziale Dimension

Wie VALE UND CAMPANELLA in ihrem Sammelband (vgl. Vale und Campanella 2005b) anhand von Beispielen aus der Stadthistorie aufgezeigt haben, war es oftmals die Stadtgesellschaft, die in Zeiten der Krise den Fortbestand einer Stadt gesichert hat.

Der Erfolg einer Maßnahme ist auch davon abhängig, ob die Nutzer das Ziel der Maßnahme verstehen. Insbesondere wenn Maßnahmen – und das ist bei den starken Veränderungen der Zukunft zu erwarten – mit Veränderungen gewohnter Strukturen oder sogar Einschränkungen einhergehen, ist es von hoher Bedeutung, dass die Stadtgesellschaft die Maßnahme versteht und unterstützt. Und dies nicht nur, damit die neuen Strukturen überhaupt genutzt werden, sondern auch damit die Stadtgesellschaft ein Verständnis für diese Strukturen entwickelt. Nur so können im Krisenfall soziale Potenziale freigesetzt werden, die zu innovativen Nutzungsweisen und Lösungen führen, die in der Stadthistorie so oft den Fortbestand urbaner Strukturen unter veränderten Rahmenbedingungen gesichert haben (vgl. Vale und Campanella 2005a: 339ff.).

Die Akteure, auf die sich die strategischen Ziele der sozialen Dimension urbaner Resilienz beziehen, sind in allererster Linie die Bürgerinnen und Bürger der Stadt, die als Nutzer, Betreiber und Gestalter der städtischen Systeme die Stadtentwicklung maßgeblich prägen. Neben den Privatakteuren besteht die Stadtgesellschaft aber auch aus Akteuren des ökonomischen Sektors, die durch ihr Handeln ebenso den städtischen Alltag und damit auch die Struktur urbaner Systeme beeinflussen. Die in der Stadtgesellschaft vorhandenen Potenziale (Wissen, Innovationsfähigkeit, Arbeitskraft, Kapital usw.) sollten im Rahmen von Überlegungen zu urbaner Resilienz nicht vernachlässigt werden.

Auf theoretischer Ebene ergibt sich die soziale Resilienz eines Individuums aus seinen individuellen Fähigkeiten und sozialen Netzwerken, die es in Krisenzeiten nutzen kann, um die Herausforderungen zu bewältigen, die es alleine nicht bewältigen könnte (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 4ff.; Pelling 2003: 61ff.). So stärkt es seine Bewältigungs-, Partizipations-, Adaptions- und Transformationsfähigkeit (siehe Kapitel 5.2.4). HUTTER UND LORENZ übertragen diesen Gedanken auf den Planungskontext (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 4ff.). Hierbei geht es um die Vernetzung unterschiedlicher organisationaler Ebenen und die Resilienzeigenschaften dieser Ebenen. Dabei messen die Autoren auf allen Ebenen vor allem der Partizipationsfähigkeit einer Organisation eine hohe Bedeutung zu, da diese den Informationsaustausch fördert und in Krisenzeiten die Mitwirkungsbereitschaft und

Innovationsfähigkeit fördert. Beides sind Voraussetzungen für Bewältigungskapazitäten, Anpassungs- und Transformationsfähigkeit (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 5).

Auf Ebene der strategischen Ziele zur Steigerung der sozialen Resilienz im *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* sollte daher die Bildung von (Unterstützungs-)Netzwerken im Vordergrund stehen – Unterstützungsnetzwerke sowohl innerhalb der Stadtgesellschaft als auch zwischen den Planungsakteuren sowie zwischen den Planungsakteuren und der Stadtgesellschaft. Über partizipative Prozesse, die über reine Informations- und Wissensvermittlung hinausgehen, können lokale Potenziale in der Stadtgesellschaft aktiviert werden. Gelingt es damit, Bewusstsein und Verständnis für die Notwendigkeit der Maßnahmen in der Stadtgesellschaft zu schaffen, ist dies ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur demokratischen Legitimierung und somit zur Akzeptanz der Maßnahmen. Hat die Stadtgesellschaft zudem die Möglichkeit, die Maßnahmen selbst zu beeinflussen, können lokale Potenziale (z. B. Wissen, Arbeitskraft, Kapital) freigesetzt werden, die zur Verbesserung der Maßnahmen beitragen. Eine adaptive Governance sollte die Potenziale des in der Stadtgesellschaft vorhandenen Sozialkapitals nicht unterschätzen. Insbesondere in plötzlichen Krisen können das lokale Wissen, die Netzwerke und auch die Arbeitskraft zur Steigerung der Bewältigungskapazität beitragen. Bei der Adaption und Transformation kann auch die städtische Ökonomie Beiträge in Form von organisationaler Unterstützung oder Kapital leisten. Ob nun als Public-Private-Partnerships (vgl. Bovaird 2004) oder in anderer Weise organisiert, lassen sich aus derartigen Kooperationen symbiotische Effekte erzielen. Da die Herausforderungen der Städte in der Zukunft zum Teil dramatisch ausfallen können, ist auch von tiefgreifenden Maßnahmen zur Bewältigung, Anpassung oder Transformation auszugehen, die mitunter dazu führen können, dass derzeitige Daseinsvorsorgestandards überdacht werden müssen. Es ist eine schwierige Aufgabe, hierfür Akzeptanz zu schaffen. In der Resilienzliteratur wird angeregt, in Planungsprozessen den Fokus nicht ausschließlich auf die Entwicklung möglichst ausfallsicherer Systeme zu legen, sondern bewusst auch die Möglichkeit des Scheiterns einzuplanen („safe-to-fail“; Ahern 2011: 341) und dies so auch zu kommunizieren. Als „Kultur des Scheiterns“ (Keupp 2016: 28) wird zudem ins Bewusstsein gerückt, dass nicht alle Lösungsansätze für eine Problemstellung von Erfolg gekrönt sein können und mit Einschränkungen zu rechnen ist. Die Etablierung dieser beiden Ansätze in Planungsprozessen bedeuten für die Planung nicht weniger als einen Paradigmenwechsel. Anstelle hoher Technikgläubigkeit in die Zuverlässigkeit städtischer Strukturen und Systeme, rückt das Bewusstsein für die Grenzen der Bewältigungskapazität eines jeden Systems und für die Möglichkeit, dass ergriffene Maßnahmen ihr Ziel nicht erfüllen. Viel mehr noch sollte eine generelle *Kultur des Scheiterns* davon ausgehen, dass die Kapazitätsgrenzen der städtischen Systeme infolge der sich stark verändernden Rahmenbedingungen in Zukunft

immer häufiger überschritten werden und die städtischen Systeme ihre Funktion nicht mehr erfüllen können. Trotzdem können auch aus gescheiterten Maßnahmen Erkenntnisse gezogen werden, die im Sinne der Lernfähigkeit (siehe Kapitel 5.2.3) zur Verbesserung der Systemstrukturen beitragen.

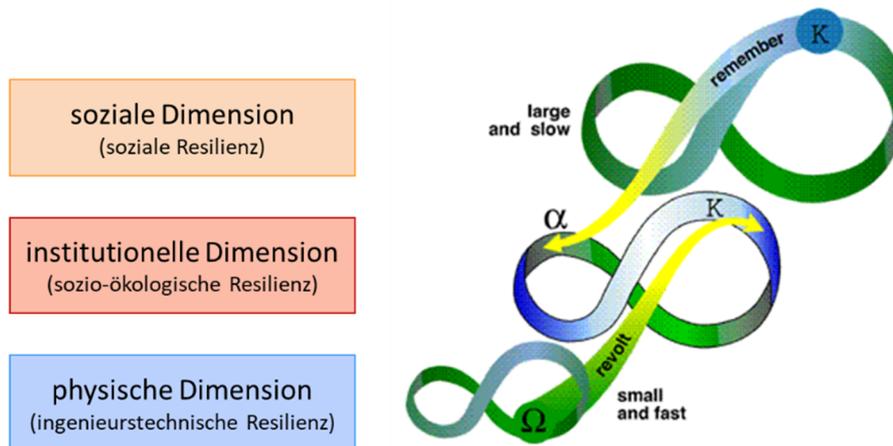
Auch bedeutet eine gelebte *Kultur des Scheiterns*, dass zur Schaffung von Innovationen neue Lösungen ausprobiert werden müssen, die auch scheitern können und dann mit Funktionseinschränkungen einhergehen würden. In der Psychologie werden Erfahrungen mit dem Scheitern als wesentliche Voraussetzungen für die Lernfähigkeit und die Schaffung von Innovationen angesehen (vgl. ebd.: 28ff.). Reallabore sind eine Methodik in der Forschung, die explizit die Möglichkeit des Scheiterns einer Maßnahme einbeziehen. Gelingt dieser Paradigmenwechsel im Denken der Stadtgesellschaft, erleichtert dies die Umsetzung von tiefgreifenden Maßnahmen und die Änderung von mitunter lang etablierten Standards der Daseinsvorsorge.

5.2.6 Zusammenführung der Dimensionen zur urbanen Resilienz

Die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten drei Dimensionen der urbanen Resilienz decken jeweils unterschiedliche räumliche und zeitliche Handlungsebenen sowie unterschiedliche thematische Handlungsfelder der Stadtplanung ab, die aus Sicht des Autors im Kontext urbaner Resilienz Berücksichtigung finden müssen. Sie sind als miteinander vernetzt zu verstehen. Bezugnehmend auf die vernetzten Zyklen im Panarchie-Modell adaptiver Zyklen (vgl. Gunderson und Holling 2002: 74ff.) muss auch im *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* von gegenseitiger Beeinflussung der Dimensionen untereinander ausgegangen werden (siehe Abbildung 30). Eine Systemkrise (Freisetzungsphase) in der physischen Dimension kann eine Reorganisation der Planung in der institutionellen Dimension auslösen (*revolten-Funktion*). Entweder weil dies systembedingt erforderlich ist oder weil eine adaptive Governance ein aufkommendes Handlungsfenster zur Weiterentwicklung eines städtischen Systems nutzen möchte. Andersherum kann eine adaptive Governance mit ihren Ressourcen und dem Know-how den Reorganisationsprozess urbaner Systeme nach einer Krise unterstützen und fördern (*remember-Funktion*). Derartige Vernetzungen lassen sich auch zwischen der institutionellen und der sozialen Dimension sowie zwischen der sozialen und der physischen Dimension finden. Der Erfolg planerischer Maßnahmen kann durch die Stadtgesellschaft gefördert, aber auch gehemmt werden (*remember*) und das gesellschaftliche Zusammenleben und die Bereitschaft zur Partizipation kann sich mitunter ändern, wenn städtische Systeme durch eine Krise in ihrer Funktion eingeschränkt oder verändert werden (*revolten*). Die Zuordnung der unterschiedlichen Zyklen des Panarchie-Modells zu den Dimensionen in Abbildung 30 ist lediglich exemplarisch zu verstehen.

Vernetzungen bestehen zwischen allen drei Dimensionen. Auch kann es in der sozialen Dimension kleine und schnelle Entwicklungszyklen geben, wohingegen die Abwasserinfrastrukturen ein Beispiel für einen üblicherweise räumlich weit ausgedehnten und zeitlich langfristigen Zyklus in der physischen Dimension sind.

Abbildung 30: Gegenüberstellung der Dimensionen urbaner Resilienz und des Panarchie-Modells adaptiver Zyklen



Quelle: eigene Darstellung und Holling et al. 1995: 75 (rechts)

Die drei Dimensionen sollen in ihrer Gesamtheit dazu dienen, eine Annäherung an die Komplexität städtischer Entwicklungsprozesse abzubilden. Ein wesentliches Merkmal der modernen, sozio-ökologischen Resilienzverständnisse ist die Erkenntnis, dass systemische Komplexität einen hohen Einfluss auf die Entwicklung und Steuerbarkeit sozio-ökologischer Systeme hat. Dementsprechend war es ein Anliegen des Autors, die Komplexität des Zusammenspiels unterschiedlicher Teilsysteme und Handlungsebenen im Modell abzubilden. Insofern trägt das Modell über die drei Dimensionen dem Resilienzgrundgedanken Rechnung, dass Teilsysteme stets im Kontext anderer, vernetzter Teilsysteme zu betrachten sind. Des Weiteren bilden die Dimensionen Handlungsfelder innerhalb einer Stadt ab, die von den künftigen Herausforderungen betroffen sein können (z. B. Einfluss des Klimawandels auf die physischen Strukturen, institutionelle Rahmenbedingungen der Planung, Einfluss des Demografischen Wandels auf die Stadtgesellschaft). Gleichzeitig bieten sie Ansatzpunkte für unterschiedliche Disziplinen, die sich mit Stadtentwicklungsprozessen im Kontext der Resilienz auseinandersetzen. Da die Dimensionen für sich inhaltlich nicht weiter ausdifferenziert werden und die strategischen Zielsetzungen nicht als abgeschlossene Liste zu verstehen sind, wird die *boundary function* des Resilienzkonzepts gewahrt. Dies wird weiterhin dadurch unterstützt, dass die drei Dimensionen unterschiedlichen Resilienzverständnissen Rechnung tragen, die im Zuge des Resilienzdiskurses Bedeutung erlangt haben und jeweils in unterschiedlichen Disziplinen als handlungsleitend angesehen werden. Das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* löst also die in den Kapiteln

5. Resilienz

5.1 und 5.2.1 aufgezeigten Schwächen der einzelnen Resilienzverständnisse damit auf, dass es gar nicht darum gehen muss, welches einzelne Resilienzverständnis mit seinen Stärken und Schwächen nun künftig handlungsleitend sein soll. Es ist die Kombination unterschiedlicher Aspekte aus den verschiedenen Resilienzverständnissen, die emergent zu einer ganzheitlichen urbanen Resilienz beitragen, die den unterschiedlichen Handlungsfeldern und Disziplinen innerhalb einer Stadt gerecht wird. Je nach Dimension stellen die betrachteten Strukturen, Systeme, Institutionen und Akteure unterschiedliche Anforderungen an eine resiliente Stadtentwicklung, sodass grundsätzlich unterschiedliche Strategien und Maßnahmen erforderlich sind, die sich nicht immer eindeutig nur einem Resilienzverständnis zuordnen lassen. Erst in der Emergenz der drei Dimensionen entsteht ein neues Resilienzverständnis, das den komplexen Voraussetzungen seines theoretischen Ursprungs gerecht wird.

Obwohl die im theoretischen Diskurs vielfach aufgegriffene Komplexität der Resilienz (z. B. Chelleri 2012; Davoudi 2012: 302ff.; Ahern 2011: 342f.; Folke 2006; Holling 2004) gewahrt wird, sind die Dimensionen gleichzeitig als Werkzeug zur Strukturierung und Vereinfachung dieser Komplexität zu verstehen. Die drei Dimensionen der urbanen Resilienz ermöglichen es, das Resilienzkonzept für die Empirie und die Praxis in handhabbare Bestandteile aufzuteilen. Um die Praxiszugänglichkeit zu illustrieren, werden den Dimensionen im Modell strategische Zielsetzungen zugeordnet, die aufzeigen, wie Resilienz in der jeweiligen Dimension umgesetzt werden kann. Die strategischen Zielsetzungen bieten damit direkte Ansatzpunkte für empirische Erhebungen oder praktische Maßnahmen. Auf Basis der Dimensionen lässt sich ein Bezugsrahmen für die Erhebung oder Maßnahme abgrenzen. Gleichzeitig wird anhand der Vernetzung der Dimensionen verdeutlicht, dass Ergebnisse oder Maßnahmen, die ein Teilsystem in einer Dimension betreffen, in den Kontext der anderen Dimensionen einzuordnen sind und immer nur ein Bestandteil der urbanen Resilienz sein können.

Die übergeordnete, handlungsleitende Zielsetzung aller Dimensionen im Konzept ist der langfristige und nachhaltige Erhalt der Funktionen der städtischen Systeme (siehe Kapitel 2.2). Dazu können Anpassungen der Strukturen und Eigenschaften der Systeme notwendig sein, wenn die Rahmenbedingungen dies erfordern. So kann sich die Art und Weise der Funktionserfüllung mitunter verändern. Dieses Verständnis der Zielsetzung einer resilienten Stadtentwicklung kann eine Grundlage für die Operationalisierung von urbaner Resilienz in der Praxis darstellen.

Aus dem *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* wird die folgende Definition urbaner Resilienz abgeleitet:

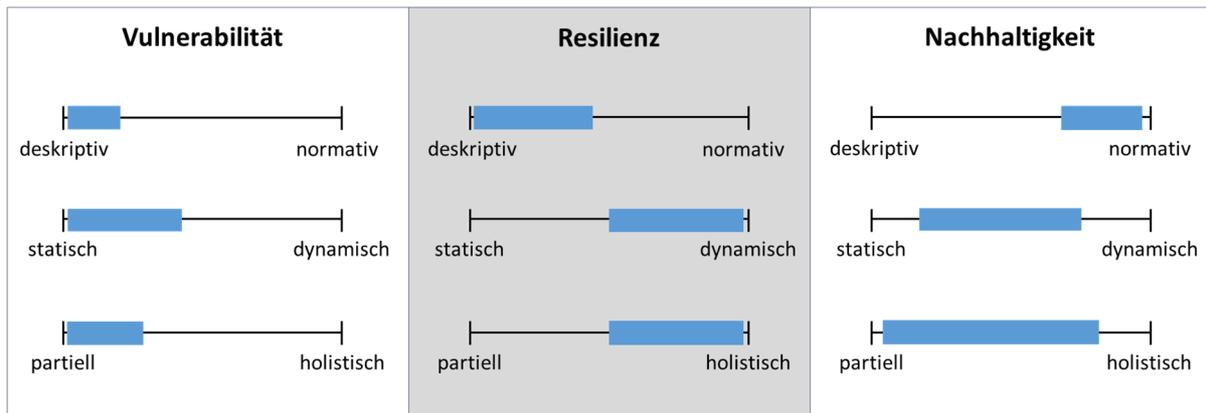
Urbane Resilienz entsteht als emergente Eigenschaft aus dem vernetzten Zusammenwirken von Strategien und Maßnahmen in der physischen Dimension, der institutionellen Dimension und der sozialen Dimension eines Siedlungsraums. Die Systeme, Strukturen, Institutionen und Akteure der unterschiedlichen Dimensionen beeinflussen sich durch ihr Handeln intra- und interdimensional. Maßnahmen zur Steigerung der urbanen Resilienz sollten diese Vernetzung berücksichtigen und entsprechend ihrer Dimension zur Erhöhung der Robustheit, der Adaptivität und der Transformativität urbaner Systeme beitragen. Im Fokus steht bei allen Maßnahmen der nachhaltige Erhalt der grundsätzlichen Funktionalität des betrachteten Systems.

5.3 Einordnung des Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz

Das Konzept urbaner Resilienz wird im Kontext weiterer Konzepte diskutiert und angewendet. Um den Mehrwert des Konzeptes darzustellen und es gegenüber verwandten oder ähnlichen Konzepten abzugrenzen, sollte eine Einordnung des Konzeptes in seinen theoretischen Kontext stattfinden. Dieser Kontext bezieht sich im Rahmen dieser Arbeit auf die städtischen Systeme und das Themenfeld der Stadtplanung. Die Einordnung kann zum Verständnis und zur Akzeptanz des Konzeptes beitragen, mögliche Synergien zu Tage fördern und die Wahrscheinlichkeit doppelter oder falscher Begriffsverwendungen reduzieren. Im folgenden Kapitel findet eine solche Einordnung statt. In den Unterkapiteln wird der Zusammenhang zwischen Resilienz und jeweils einem verwandten Konzept kurz dargestellt. Zur Erläuterung der unterschiedlichen Konzepte wird auf die Begriffserklärungen in Kapitel 1.5 bzw. 4 verwiesen. Als Resilienzdefinition wird jeweils die in Kapitel 5.2.6 angeführte Definition gemäß des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* vorausgesetzt.

Aufgrund der engen inhaltlichen Bezüge und der sich daraus ergebenden Gefahr der Verwechslung, erscheint dem Autor die Abgrenzung zu den Konzepten Vulnerabilität und Nachhaltigkeit von besonderer Bedeutung zu sein. Aus diesem Grund werden zentrale Unterschiede der drei Konzepte anhand von gegensätzlichen Begriffspaaren in Abbildung 30 herausgestellt. Die Begriffspaare *deskriptiv – normativ*, *statisch – dynamisch*, *fokussiert – ganzheitlich* können auf alle drei Konzepte angewendet werden und erlauben zentrale Charakteristika der drei Konzepte anschaulich darzustellen, um sie miteinander vergleichen zu können.

Abbildung 31: Charakterisierung von Vulnerabilität, Resilienz und Nachhaltigkeit anhand von Begriffspaaren



Quelle: eigene Darstellung

Da die unterschiedlichen Auslegungen der Konzepte in Theorie und Praxis in diesem Vergleich nicht abbildbar sind, stellen Breite und Position der Balken eine qualitative Einschätzung dar, wie unterschiedlich die Konzepte ausgelegt werden (Breite) und wo der Autor dieser Arbeit sie im Schwerpunkt im Spannungsfeld der Begriffspaare verortet (Position). In den entsprechenden Unterkapiteln wird die qualitative Einschätzung näher erläutert.

5.3.1 Abgrenzung zwischen Vulnerabilität und urbaner Resilienz

Vulnerabilität und Resilienz werden in Theorie und Praxis zum Teil als zwei Seiten der gleichen Medaille betrachtet (vgl. Bürkner 2010: 22f.). Dabei wird davon ausgegangen, dass die Resilienz proportional steigt, wenn die Vulnerabilität (siehe Kapitel 4) reduziert wird. Mag dies für die ursprünglichen, ingenieurstechnischen Resilienzverständnisse in Ansätzen noch zutreffend gewesen sein, unterscheiden sich moderne Resilienzdefinitionen deutlich stärker von der Vulnerabilität als durch die bloße Gegensätzlichkeit. Zwar sind die Konzepte eng miteinander verknüpft, doch bedeutet die Reduzierung der Verwundbarkeit nicht automatisch auch eine höhere Resilienz. Im Gegensatz zum *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* fehlen dem Vulnerabilitätskonzept die Aspekte der Adaptivität und der Transformativität. Umweltveränderungen werden in der Vulnerabilität als potenzielle Gefahren betrachtet, die es zu bewältigen gilt. Möglichkeiten zur langfristigen Weiterentwicklung des Systems und multidimensionale Effekte oder Synergien werden nur unzureichend berücksichtigt. Vielmehr ist in Vulnerabilitätsanalysen oftmals eine weitgehend statische Zustandsbeschreibung der Verletzlichkeit gegenüber einzelnen oder mehreren definierten Gefahren das Ziel der Analyse (siehe auch Einschätzungen zur Statik und Fokussierung in Abbildung 30). Im Gegensatz dazu hat die urbane Resilienz einen holistischen Ansatz, der möglichst das komplexe Zusammenspiel der unterschiedlichen Teilsysteme sowie die Ambivalenz und Unwägbarkeit der künftigen

Herausforderungen in den Fokus stellt. So wird in der Resilienz auch nicht ausschließlich die Überwindung von Herausforderungen angestrebt, sondern auch die aktive Nutzung von Herausforderungen, die einen Anlass zur Weiterentwicklung des Systems sein können. (vgl. Christmann et al. 2011: 24ff.; Bürkner 2010: 22ff.; Miller et al. 2010; Dalziell und McManus 2004;)

Vulnerabilität ist primär ein analytisch-deskriptives Konzept. Zwar kann sie auch normativ ausgelegt werden, wenn den betrachteten Objekten ein schutzwürdiger Status zugewiesen wird, doch liegt trotzdem die Analyse eines Zustands im Kern der Betrachtung. Resilienz ist in der Theorie grundsätzlich ein prozessbezogenes, normativ neutrales Konzept. Es geht darum zu identifizieren, welche Eigenschaften eines Systems dazu beitragen, dass sich das System in Anbetracht der einwirkenden Herausforderungen kontinuierlich weiterentwickeln und seine Funktionen aufrechterhalten kann. Dies setzt eine Analyse von Systemstrukturen und Wirkungsketten voraus. In der Stadtentwicklungsforschung wird urbane Resilienz allerdings meist im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung verwendet, woraus sich eine normative Prägung in diesem disziplinären Kontext ergibt.

Tatsächlich ergänzen sich Vulnerabilität und Resilienz: „Die Kenntnis der Vulnerabilität bestimmter Bevölkerungsschichten, Orte, etc. ist gleichzeitig unbedingt notwendig für die Erhöhung der Resilienz selbiger. Diese Faktoren zu kennen, erlaubt es erst politisch Verantwortlichen, Katastrophenplanern, Stadtplanern, etc. erstens verwundbare Gruppen zu identifizieren und zweitens geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um deren Resilienz zu erhöhen“ (Scharte und Thoma 2016: 137). Inzwischen entwickelte Ansätze zur Analyse der urbanen Resilienz, wie beispielsweise das City Resilience Framework (siehe Kapitel 5.4.1) oder der Stresstest Stadt (siehe Kapitel 5.4.3), zeigen jedoch, dass es im Sinne moderner, ganzheitlicher Resilienzverständnisse eine über die Vulnerabilitätsanalysen hinausgehende Methodik braucht, um den Resilienzstatus einer Stadt zu bestimmen. Insbesondere, dass Resilienz auch die Planungs- und Steuerungsprozesse selbst explizit einbezieht, kann als ein deutlicher Unterschied zu den etablierten Methoden der Vulnerabilitätsanalyse angesehen werden. (vgl. Bürkner 2010; Miller et al. 2010: 22ff.)

Um die Einleitung des Kapitels aufzugreifen wird abschließend das gegensätzliche Konzept zur Vulnerabilität identifiziert: Auf Basis des in Kapitel 5 dargelegten Standes der Forschung kann die Robustheit als Gegenpol zur Vulnerabilität betrachtet werden. Ein robustes System ist kaum anfällig für vorhersehbare Herausforderungen. Es ist gegenüber auftretenden Gefahren aufgrund seiner physischen Robustheit entweder nicht anfällig oder kann die Folgen schnell bewältigen. Somit bleibt das System, mit maximal geringfügigen Schwankungen, in seinem Normalzustand. Ein solches System würde nur eine sehr geringe Vulnerabilität aufweisen. Betrachtet man nun die Rolle der

Robustheit *im Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* (siehe Abbildung 29) wird deutlich, dass Robustheit als Gegenpol zur Vulnerabilität nur einen Teil der urbanen Resilienz darstellt. Eine Vulnerabilitätsanalyse kann demzufolge zwar notwendige, aber keine hinreichenden Informationen zur Bestimmung der urbanen Resilienz liefern.

5.3.2 Abgrenzung zwischen Nachhaltigkeit und urbaner Resilienz

Ein weiteres Konzept, das in der Literatur häufig im Kontext der urbanen Resilienz diskutiert wird, ist das Konzept der Nachhaltigkeit, das als politisches und planerisches Leitbild in den letzten Dekaden urbane Entwicklungsprozesse geprägt hat (vgl. Anderies et al. 2013; Pisano 2012; Derissen et al. 2011; Christmann et al. 2011: 9ff.; Perrings 2006; Folke et al. 2002). Wenn Resilienz als neues *buzzword* den Diskurs in den Planungswissenschaften beeinflusst, stellt sich zwangsläufig die Frage, in welchem Zusammenhang das neue Konzept zum etablierten Leitbild der Nachhaltigkeit steht? Schließen sich die beiden Konzepte gegenseitig aus? Oder ergänzen sie sich?

Beiden Konzepten gemein ist, dass sie zu einer intensiv geführten, internationalen Debatte in Forschung und Politik geführt haben. Dies wird dadurch begünstigt, dass sie als *boundary objects* einen multidisziplinären Zugang ermöglichen. Zudem sind beide Konzepte dem Metathema des globalen (Umwelt-)Wandels (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2011; Birkmann 2008; Grimm et al. 2008) zuzuordnen, der aufgrund der aktuellen Herausforderungen eine gewisse Aufmerksamkeit und Strahlkraft in Politik und Gesellschaft mit sich bringt. Das impliziert aber auch, dass sich beide Konzepte mit sehr langfristigen Fragestellungen und Entwicklungsprozessen auseinandersetzen und entsprechend langfristig ausgerichtet sind.

In Anbetracht der Langfristigkeit der Perspektive der Konzepte ist ein zentraler Unterschied, dass das Konzept der Nachhaltigkeit grundsätzlich einem linearen Planungsselbstverständnis unterliegt, das von vorhersehbaren Entwicklungspfaden und der Kontrollier- und Steuerbarkeit urbaner Entwicklungen ausgeht (vgl. Elmqvist et al. 2014: 21f.). Strategien und Maßnahmen sind daher überwiegend auf statistische Zielzustände ausgerichtet, die es zu erreichen gilt. Zwar sind auch Anpassungen der Zielsetzungen im Zuge sich verändernder Rahmenbedingungen möglich, doch dominiert tendenziell eine statische Zielperspektive. Resilienz bezieht sich dagegen auf kurz-, mittel- und langfristige Prozesse, die unvorhersehbar verlaufen können. Das betrachtete System muss sich dynamisch an diese Veränderungen anpassen können. (siehe Einschätzungen zur Statik und Dynamik in Abbildung 30)

Ein weiterer zentraler Unterschied zwischen beiden Konzepten ist, dass Nachhaltigkeit ein normatives Konzept ist, das einen erstrebenswerten Idealzustand als Ziel voraussetzt (vgl. ebd.: 21). Die

Zielsetzungen der Nachhaltigkeit leiten sich ursprünglich aus der Erkenntnis ab, dass Maßnahmen zur Vereinbarkeit von Mensch- und Umweltbelangen erforderlich sind. Allerdings handelt es sich bei der Nachhaltigkeitstrias und dem Gebot der Generationengerechtigkeit um politische Zielsetzungen, die dazu dienen, der Gesellschaft stabile Lebensbedingungen zu schaffen, die langfristig erhalten werden können. Nachhaltigkeit gilt daher nach den allgemeinen Wertennormen als erstrebenswert. Resilienz ist dagegen prinzipiell ein system- oder prozessbezogenes, neutrales Konzept, das allerdings in der Praxis zum Teil normativ ausgelegt wird.

Resilienz strebt als Konzept stets eine ganzheitliche Systemperspektive an. Selbst die Ermittlung der spezifischen Resilienz einzelner Systembestandteile ist nur als Hilfsmittel zur besseren Operationalisierung zu verstehen und muss in den Kontext des Gesamtsystemzusammenhangs gesetzt werden. Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit können auf unterschiedlichen Skalierungsebenen und, im Gegensatz zur Resilienz, auch ohne Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit dem Gesamtsystem angelegt sein. Zwar werden mit den Zielsetzungen der Nachhaltigkeitstrias und der Generationengerechtigkeit größere thematische und zeitliche Bezüge hergestellt, doch reicht dies nicht an die ganzheitliche Systemperspektive der Resilienz heran. Zudem steht die Komplexität der Vernetzungen im System auch nicht im Fokus des Konzepts, sodass die Systemperspektive der Nachhaltigkeit weniger ganzheitlich einzuschätzen ist als die der Resilienz (siehe Abbildung 30).

Im wissenschaftlichen Diskurs wird zunehmend die Frage aufgeworfen, wie sich die beiden Konzepte zusammenführen lassen und es deutet sich eine Integration des Resilienzkonzeptes in den Nachhaltigkeitsdiskurs an (vgl. Chelleri 2012: 297ff.; Pisano 2012: 4ff.; Christmann et al. 2011: 9ff.; Derissen et al. 2011: 1121ff.; Folke et al. 2002: 437ff.). „Bisweilen wird der Begriff Resilienz auch als Schlüsselbegriff zur analytischen Schärfung und theoretischen Fundierung des Nachhaltigkeitsbegriffs genutzt. Resilienz wird dabei als eine notwendige Vorbedingung für nachhaltige Entwicklung gesehen“ (Christmann et al. 2011: 12). Aus Sicht des Autors dieser Arbeit kann die gemeinsame Betrachtung der Konzepte Synergien erzeugen und theoretische Schwachstellen schließen, die in der Praxis zu holistischen, robusteren Planungsentscheidungen führen können.

Nachhaltigkeit kann für die Resilienz der „normative Kompass“ (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2016: 142) sein, der die Zielrichtung der Entwicklung vorgibt. Wenn es eine konkrete Vorstellung eines erstrebenswerten Zielzustandes gibt, fällt es leichter zu entscheiden, ob im Zweifel eher eine Adaption oder eine Transformation eines Systems anzustreben ist. Auch können, zumindest teilweise, konkrete Zielsetzungen oder Kennwerte aus Nachhaltigkeitsstrategien zur Operationalisierung der Resilienz herangezogen werden. Hinsichtlich der

5. Resilienz

Nachhaltigkeit kann das Konzept der Resilienz und seine Implikationen dazu beitragen, dass die gesetzten Ziele auch trotz sich wandelnder Umweltbedingungen erreicht werden. Urbane Räume sind komplexe Systeme, die unvorhersehbaren Herausforderungen auf dem Weg zur Nachhaltigkeit ausgesetzt sind. Die konsequente Förderung resilienter Systemeigenschaften kann dazu beitragen, dass der Weg zur Nachhaltigkeit kein einspuriger Pfad ist, der durch ein Hindernis einfach unterbrochen werden kann, sondern dass unterschiedliche Pfade mit mehreren Abzweigungen erschlossen und offengehalten werden, um das Ziel der Nachhaltigkeit trotz aller Widrigkeiten erreichen zu können. (vgl. Anderies et al. 2013)

Bei allen Synergien, die sich aus der Zusammenführung der beiden Konzepte ergeben können, soll auch ein scheinbarer Widerspruch der beiden Konzepte nicht unberücksichtigt bleiben. Zum Thema Effizienz ergeben sich aus den beiden Konzepten vermeintlich gegensätzliche Positionen: Im Nachhaltigkeitskonzept gehören eine effiziente Ökonomie (vgl. United Nations General Assembly 2015: 19f.) und Ressourcensparsamkeit (vgl. ebd.: 22f.) zu den Kernzielsetzungen bzw. den globalen Nachhaltigkeitszielen. Effiziente Wirtschafts- und Stoffkreisläufe sind Voraussetzungen für einen sparsamen Umgang mit den endlichen Ressourcen und fördern so die Regenerationsfähigkeit der Umwelt sowie die Generationengerechtigkeit. Dagegen wird ein starker Fokus auf Effizienzsteigerungen in der Resilienztheorie tendenziell negativ betrachtet (vgl. Elmqvist et al. 2014: 21; Chelleri 2012: 299). Die Steigerung der Effizienz eines Prozesses wird in den allermeisten Fällen durch Spezialisierung erreicht, die zu Lasten der Flexibilität geht. Ein Mangel an Flexibilität bedeutet einen erhöhten Grad an Pfadabhängigkeit, die im Widerspruch zum Selbstverständnis einer adaptiven Resilienz steht (vgl. Chelleri 2012: 299). Alternative Pfade im System, Diversität und Redundanzen verursachen zusätzliche Kosten und verbrauchen Ressourcen, deren Nutzen zum Zeitpunkt der Planungsentscheidung kaum abzuschätzen ist. Derartig gestaltete Systeme sind mit dem klassischen Verständnis einer ökonomischen Effizienzsteigerung kaum übereinzubringen. Ein Ansatz, um den skizzierten Widerspruch in der Theorie der beiden Konzepte zu lösen, kann die Lebenszyklusbetrachtung sein. Wird die ökonomische Effizienz eines Systems nicht allein auf Basis der Kosten-Nutzen-Betrachtung seiner Investitionskosten oder seines Status quo bewertet, sondern im Hinblick auf seinen gesamten Lebenszyklus, so relativieren sich voraussichtlich die Kosten, die durch ein höheres Maß an Flexibilität anfallen. Eine Lebenszyklusbetrachtung müsste auch die möglichen Folgekosten der mit hoher Wahrscheinlichkeit anfallenden Krisenereignisse berücksichtigen. Dann würden sich beispielsweise die Aufwendungen für Redundanzen im Verhältnis zu den Kosten eines Systemausfalls oder einer Umgestaltung des Systems deutlich relativieren. Der Aspekt der Lebenszyklusbetrachtung bei der

Bewertung der Investitionskosten für Maßnahmen zur Resilienzsteigerung wird auch in Kapitel 13.1 nochmals aufgegriffen.

Insgesamt werden durch die Integration der beiden Konzepte Lücken in der theoretischen Fundierung geschlossen und auch für die Operationalisierung und Entwicklung von Maßnahmen scheint es vor dem Hintergrund des globalen Wandels von Vorteil, Nachhaltigkeit und Resilienz gemeinsam zu betrachten.

5.3.3 Abgrenzung zwischen Klimaadaptation bzw. Klimamitigation und urbaner Resilienz

Im Kontext von Vulnerabilität, Nachhaltigkeit und Resilienz werden häufig auch Klimaadaptation und Klimamitigation diskutiert. Als eine der zentralen Ausprägungen des globalen Wandels stellt der Klimawandel zahlreiche Herausforderungen an Städte und urbane Systeme (siehe Kapitel 3.1). Insofern ist es kaum verwunderlich, dass die drei oben genannten Konzepte im Speziellen auch auf die Herausforderungen des Klimawandels angewendet werden. Hinsichtlich der Einordnung der urbanen Resilienz in einen weiter gefassten Stand der Forschung stellt sich daher die Frage, welche Bezüge das Konzept zur Klimaadaptation und zur Klimamitigation aufweist.

Klimamitigation und Klimaadaptation sind keine Konzepte wie Vulnerabilität, Nachhaltigkeit oder Resilienz, denen spezifische Eigenschaften zugeschrieben werden können. Vielmehr handelt es sich um Oberbegriffe, unter denen Strategien und Maßnahmen zusammengefasst werden, die die gleichen Ziele verfolgen. Klimaadaptation und Klimamitigation haben gemein, dass sie darauf abzielen, die negativen Folgen des Klimawandels für den Menschen kurz-, mittel- und langfristig zu reduzieren. In der Mitigation wird versucht, dies durch das Abschwächen des Klimawandels selbst zu erreichen und stabile Klimabedingungen zu erhalten. Maßnahmen der Klimaadaptation fokussieren dagegen vornehmlich die schon eingetretenen oder absehbaren negativen Folgen des Klimawandels und streben nach Strategien und Lösungen, um die anthropogenen Strukturen und Systeme an diese Folgen anzupassen und ihre Funktionalität zu erhalten. Die Parallelen zum Konzept der urbanen Resilienz sind offensichtlich: vor allem der Aspekt der Adaption ist auch zentraler Bestandteil des Resilienzdenkens (vgl. Walker und Salt 2006: 119). Des Weiteren ist auch die hinter den Konzepten liegenden Zielsetzung grundsätzlich vergleichbar: Sowohl Klimamitigation, als auch Klimaadaptation und urbane Resilienz zielen darauf ab, langfristig die Funktionsfähigkeit des Mensch-Umwelt-Systems sicherzustellen.

Eine weitere Parallele zwischen Klimaadaptation und urbaner Resilienz zeigt sich im Hinblick auf die drei Dimensionen, die jeweils durch die Strategien und Maßnahmen adressiert werden (siehe

5. Resilienz

Kapitel 1.5 & 5.2.2). Objekt-, prozess- und subjektbezogene Maßnahmen der Klimaadaptation könnten so auch auf die drei Dimensionen des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* übertragen werden.

Die Herangehensweisen unterscheiden sich jedoch zum Teil deutlich. Während die Mitigation darauf abzielt, die Herausforderungen (durch den Klimawandel) für die anthropogenen Systeme möglichst zu reduzieren, geht es bei der Klimaadaptation und der urbanen Resilienz primär um die Bewältigung der und Anpassung an die Herausforderungen. Bei eben diesen Herausforderungen liegt ein weiterer Unterschied der Konzepte: Wie auch LEICHENKO beschreibt, beschränkt sich das Resilienzkonzept nicht nur auf die Herausforderungen, die durch den Klimawandel entstehen (vgl. Leichenko 2011: 164). Vielmehr geht es darum, dass Städte künftig eine ganze Bandbreite unterschiedlichster Herausforderungen und Störereignisse bewältigen und entsprechend darauf vorbereitet werden müssen (siehe Kapitel 3 & 5.1.5). Klimamitigation und Klimaadaptation beschränken sich dagegen auf die Folgen des Klimawandels. Des Weiteren zeigt sich, dass Maßnahmen der Klimaadaptation weitgehend auf die Anpassung an bestehende oder zu erwartende Klimafolgen beschränkt bleiben. Urbane Resilienz erweitert diesen Aspekt auf das Konzept der Adaptivität, das nicht nur konkrete Anpassungsmaßnahmen vorsieht, sondern den dauerhaften Erhalt der Anpassungsfähigkeit an neuartige Herausforderung, worunter neben der strukturellen Adaptivität auch die institutionelle Adaptivität gefasst wird (vgl. Walker und Salt 2006: 119; siehe Kapitel 5.2.4). Des Weiteren werden resilienten Systemen auch die Eigenschaften der Robustheit und der Transformativität zugeschrieben. Die Steigerung der Robustheit kann auch ein Bestandteil der Anpassungsmaßnahmen im Zuge der Klimaadaptation sein. Transformativität ist dagegen in der Regel kein Bestandteil. Die Klimamitigation legt ihren Fokus primär auf die Herausforderungen des Klimawandels und deren Ursachen, wohingegen die Resilienz auf die betroffenen Systeme und Strukturen ausgerichtet ist. Klimamitigation, Klimaadaptation und Resilienz unterscheiden sich somit maßgeblich in ihren konzeptionellen Grundlagen, Zielsetzungen und den Herangehensweisen. Nichtsdestotrotz sollten auch Maßnahmen zur Klimamitigation im Zuge der urbanen Resilienz nicht gänzlich unberücksichtigt bleiben. Im Sinne einer holistischen Perspektive auf das komplexe Mensch-Umwelt-System können auch Maßnahmen zur Beschränkung des Klimawandels langfristig zu einer resilienteren Stadtentwicklung beitragen. Hier sind, auch im Sinne der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, mögliche Synergien bei Maßnahmen und Investitionen zu nutzen (vgl. Die Bundesregierung 2008: 49).

Das Konzept der urbanen Resilienz geht in seiner Perspektive weit über den Fokus von Klimaadaptation und Klimamitigation hinaus. Die beiden Rahmenkonzepte können als untergeordnete

Bestandteile eines generellen Resilienzverständnisses betrachtet werden. Im Sinne der angestrebten Lernfähigkeit sollten die umfangreichen Erkenntnisse und Praxiserfahrungen der Klimamitigation und Klimaadaptation aber in Strategien zur urbanen Resilienz Berücksichtigung finden.

5.3.4 Abgrenzung zwischen Risikomanagement und urbaner Resilienz

Betrachtet man im Sinne eines holistischen Resilienzverständnisses nicht nur den Klimawandel als Herausforderung einer Stadt, so stößt man in der Literatur schnell auf die weiter gefassten Begrifflichkeiten der Gefahren und des Risikos. Wie schon in Kapitel 1.5 beschrieben, bezieht sich das Gefahrenkonzept auf die Ursachen für potenzielle Schäden, die außerhalb der menschlichen Kontrolle liegen. Risiko umfasst dagegen die Praktiken des Umgangs mit Gefahren im menschlichen Handeln in Form von Abgrenzung, Berechnung und Zurechnung (vgl. Greiving 2002: 15). Der Umgang mit Gefahren ist auch Bestandteil des Resilienzkonzeptes, daher stellt sich die Frage, welche konzeptionellen Unterschiede zwischen Resilienz und Risiko bestehen. Weiterhin sollen auch die Bezüge und Unterschiede zu den eher handlungsorientierten Konzepten des Risikomanagements aufgezeigt werden.

In der Risikoforschung und -praxis schließen sich an die Risikoanalyse und die Kategorisierung des Risikos ggf. Maßnahmen des Risikomanagements an. Im Hinblick auf die Resilienz könnte ein hohes Risikomaß auch Ausgangspunkt für Maßnahmen in der physischen Dimension sein. Wird für ein urbanes System ein Risiko festgestellt und quantifiziert, können darauf Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit oder Adaptivität des betroffenen Systems folgen. Die Kritik am formal-normativen Risikoverständnis deckt sich in vielen Bereichen mit den Unterschieden zum Resilienzkonzept: Zum einen setzt die normative Komponente dieses Risikoverständnisses voraus, dass der zu erwartende Schaden gesellschaftlich unerwünscht und daher abzuwenden ist (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999: 36f.). Resilienz strebt zwar auch den grundsätzlichen Erhalt der Systemfunktionen an und strebt immanent danach Gefahren für Leib und Leben abzuwenden, steht aber auch tiefgreifenden Transformationen von Systemen offen gegenüber. Hier wäre im Resilienzkonzept also die Frage zu stellen, ob der zu erwartende Schaden auch wirklich negativ zu bewerten ist oder ob sich daraus nicht vielleicht auch Möglichkeiten zur Weiterentwicklung ergeben können. Zum anderen basiert die Risikobestimmung auf einer auf Daten oder sonstiger Expertise basierten Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gefahr. Diese Informationen sind stets unvollständig und ermöglichen daher nur eine eingeschränkte Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit (vgl. Pohl 2011: 13ff.). Resilienz setzt sich dagegen auch mit den nicht bestimm- baren Herausforderungen der Zukunft auseinander. „Bei Risiko kann die Eintrittswahrscheinlichkeit

5. Resilienz

eines möglichen zukünftigen Ereignisses gemessen werden, bei Ungewißheit [sic!] nicht.“ (Greiving 2002: 12). Die Entwicklung von Strategien und Maßnahmen zu Steigerung der Resilienz allein auf Basis von Risikoanalysen würden also lediglich die spezifische Resilienz gegenüber konkret definierten Ereignissen steigern und nicht die generelle Resilienz gegenüber unbekanntem Herausforderungen. Die Ungewissheit über die langfristige Entwicklung der Rahmenbedingungen und die Komplexität der urbanen Systeme lassen jedoch kaum eine umfassende und exakte Bestimmung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und möglichen Schäden zu.

Eine weitere Kritik am formal-kognitiven Risikoverständnis betrifft die Diskrepanz zwischen dem objektiv bestimmbar Risiko und der Wahrnehmung eines Risikos durch die Gesellschaft oder Individuen in der Realität (vgl. Pohl 2011: 13ff.). Die Risikowahrnehmung beeinflusst jedoch das Verhalten und die Entscheidungsfindung maßgeblich. Vor allem bei geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten und sehr hohem Schadenspotenzial überwiegt in der Wahrnehmung oft die Möglichkeit katastrophaler Schäden, sodass eine Entscheidung getroffen wird, die dem tatsächlichen Risiko nicht entspricht. Personen mit Flugangst sind ein Beispiel für ein solches Verhalten. Hier setzen die psychologisch-kognitiven und die kulturell-soziologisch geprägten Denkweisen des Risikobegriff an. Sie widmen sich der Risikowahrnehmung und -bewertung, die durch individuelle Merkmale und Verhaltensmuster (psychologisch-kognitiv) sowie durch die in der Gesellschaft verfügbaren Informationen und kulturell geprägten Werte (kulturell-soziologisch) beeinflusst werden. Es geht also um die subjektive Wahrnehmung des Risikos, die ausschlaggebend für das Handeln und die Entscheidungsfindung von Individuen innerhalb einer Gesellschaft sind. (vgl. Pohl 2011: 14f.; Greiving 2002: 13f.) Diesbezüglich können Parallelen zur sozialen und zur institutionellen Dimension des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* gezogen werden (siehe Kapitel 5.2). Auch in der sozialen Dimension der urbanen Resilienz geht es um das Bereitstellen von Informationen zu den Herausforderungen von Städten, um gesellschaftliche Normen und Wertvorstellungen. Außerdem geht es darum, wie die gesellschaftliche Wahrnehmung von Veränderungen, Gefahren und Risiken das Verhalten zivilgesellschaftlicher Akteure beeinflusst und sich damit auch auf die urbane Resilienz auswirkt. Während in Kapitel 5.2.5 dazu angeregt wird eine *Kultur des Scheiterns* zu etablieren, wurde in der soziologischen Risikoforschung analog dazu durch Beck der Begriff der „Risikogesellschaft“ (Beck 1986) geprägt. Die Risikogesellschaft hat sich aus der Industriegesellschaft herausgebildet und reflektiert die Folgen der technisch-ökonomischen Modernisierung und die dadurch entstehenden Risiken.

Risiko als analytisches Konzept umfasst für sich genommen keine Handlungskomponente. Allerdings regen identifizierte Risiken zu verändertem Handeln oder konkreten Maßnahmen an. In der

Risikoforschung schließt daher das Konzept des Risikomanagements direkt an das Risiko an. „Als Risikomanagement im engeren Sinne wird die Summe der Entscheidungen von Personen oder Organisationen zur Reduzierung, Steuerung und Regulierung von Risiken bezeichnet“ (Greiving 2002: 60). Somit werden unter dem Begriff alle Instrumente zur Risikosteuerung gefasst, wie beispielsweise politisch festgelegte Grenzwerte, Planungsmethoden, Verbote und Haftungsregelungen, ökonomische Anreize oder bildungsfördernde Maßnahmen (vgl. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 1999: 45). Ein weiter gefasstes Verständnis von Risikomanagement integriert vor dem Risikomanagement im engeren Sinne auch die Schritte der Risikoanalyse und der Risikobewertung (vgl. Pohl 2011: 16f.). Risikomanagement ist jedoch nicht mit spezifischer Gefahrenabwehr gleichzusetzen. Risikomanagement umfasst und integriert die Gesamtheit der Prozesse und Maßnahmen, die sich mit dem System und den möglichen Gefahren als Ganzes auseinandersetzen. Als Bestandteil dessen bezieht sich die konkrete Gefahrenabwehr auf einzelne Aspekte oder bauliche Maßnahmen (vgl. Greiving 2002: 60). Das Bestreben nach einer gesamtsystemischen Perspektive, die unterschiedliche Herausforderungen berücksichtigt und vielfältige Maßnahmen und Prozesse integriert, ist eine Parallele zwischen dem Risikomanagement und der Resilienz. Nichtsdestotrotz treffen einige konzeptionelle Differenzen zwischen dem Risikokzept und der Resilienz auch auf das Risikomanagement zu: die Strategien und Maßnahmen des Risikomanagements beziehen sich auf konkret definierbare Herausforderungen oder Gefahren, während Resilienz auch die Vorbereitung auf unbekannte Gefahren integriert. Zudem beziehen sich Risiken auf Einzelereignisse. Langfristige, schleichende Veränderungen werden im Gegensatz zur Resilienz nicht betrachtet. Zudem wird auch im Risikomanagement der weitgehende Erhalt des Systemzustands angestrebt. Die negative Bewertung der Herausforderungen als Gefahren unterscheidet sich zur neutraleren Perspektive der Resilienz, die die Herausforderungen auch als Chance zur Weiterentwicklung sieht, da sie Schwachstellen im System aufzeigen. Generell kann jedoch festgehalten werden, dass das Risikomanagement auf der Handlungsebene vorwiegend in die institutionelle Dimension sowie in die soziale Dimension der urbanen Resilienz integriert werden könnte. Spezifische Planungsmethoden oder Grenzwerte und Verbote zur Risikosteuerung können auch in der institutionellen Dimension zur Steigerung der Resilienz beitragen. Bildungsfördernde Maßnahmen und ökonomische Anreize wären dagegen eher der sozialen Dimension zuzuordnen, da sie zur Steigerung des Bewusstseins für Risiken beitragen und das Handeln gesellschaftlicher Akteure beeinflussen. Der ingenieurtechnischen Dimension sind die konkreteren Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zuzuordnen, die laut GREIVING auch als Bestandteil des Risikomanagements betrachtet werden können (vgl. Greiving 2002: 60).

5.3.5 Fazit zur Einordnung urbaner Resilienz

Neben den in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführten Konzepten und Begrifflichkeiten gibt es im Kontext des Metathemas des globalen Wandels mit Sicherheit noch zahlreiche weitere Konzepte, für die sich eine Beziehung zur Resilienz herstellen lässt bzw. die zur Einordnung und Abgrenzung urbaner Resilienz herangezogen werden können. Eine abschließende Liste zu erstellen, würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Daher hat der Autor mit seiner Auswahl versucht, die Konzepte auszuwählen, die die stärksten und engsten Bezüge zur urbanen Resilienz aufweisen und in der Literatur auch oftmals zur Einordnung von Resilienz herangezogen werden. Außerdem weisen die ausgewählten Konzepte einen engen Bezug zur Stadtentwicklung auf und können so zur Einordnung des Resilienzkonzepts unter raumplanerischen Gesichtspunkten herangezogen werden, was mit der Zielsetzung der Arbeit konform ist (siehe zweite Forschungsfrage).

Grundsätzlich naheliegend wäre es aber beispielsweise auch, die Bezüge zwischen der Resilienz und den Themen der Digitalisierung, der Energiewende, Terrorismusbekämpfung und Sicherheitspolitik oder der Entwicklungspolitik zu beleuchten. Aus den oben genannten Gründen ist dies jedoch nicht erfolgt. Des Weiteren sind als Kontext der urbanen Resilienz auch die folgenden Konzepte und die dazugehörigen Diskurse zu berücksichtigen: Robustheit, Persistenz, Adaption, Adaptivität, Transformation und Transformativität (siehe Kapitel 1.5). Diese Konzepte werden jedoch als Bestandteile der Resilienz im Sinne des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* betrachtet. Eine Abgrenzung zur Resilienz muss also nicht erfolgen. Welche Bezüge sie zur Resilienz aufweisen bzw. welche Funktion sie einnehmen wird ausführlich in den Kapiteln 5.1.5 und 5.2 dargestellt.

Übergreifend kann festgehalten werden, dass Resilienz ein holistisches Konzept ist, in das zahlreiche Aspekte verwandter Konzepte aus dem Themenfeld des globalen Wandels integrieren lassen und sie in einen größeren Gesamtzusammenhang stellt. Aufgrund der Berücksichtigung systemischer Komplexität und der Unsicherheit der zukünftigen Rahmenbedingungen, geht Resilienz meist über den Untersuchungs- und Handlungshorizont verwandter Konzepte hinaus, wie beispielsweise im Falle der Vulnerabilität, der Klimaanpassung oder des Risikomanagements. Die Gefahr, die damit einher geht, ist, dass das Resilienzkonzept zu einer theoretischen Worthülse verkommt, die keinen Praxisbezug besitzt. Diesbezüglich können konkretere Strategien, Maßnahmen und Expertisen aus den verwandten Konzepten Anreize liefern, wie urbane Resilienz in die Praxis transferiert werden kann. Dazu ist jedoch eine konzeptionelle Integration der Teilaspekte notwendig, die von den unterschiedlichen Konzepten abgedeckt werden. Gelingt dies, kann Resilienz als Meta-Konzept die Bestrebungen und Maßnahmen in unterschiedlichen Disziplinen unter verschiedenen konzeptionellen

Herangehensweisen zusammenführen und unter eine gemeinsame Zielsetzung stellen. Anstelle sektoraler, disziplinär geprägter Konzepte kann Resilienz ein integratives Konzept sein, das der Komplexität der realen Welt gerecht wird. Die Nachhaltigkeit ist hingegen kein Konzept, das der Resilienz unterzuordnen wäre. Als normatives Konzept gibt Nachhaltigkeit die Zielrichtung für die Entwicklung des Mensch-Umwelt-Systems vor. Damit stellt das Konzept eine wichtige Orientierung für die Entwicklungsprozesse dar, die resilient gestaltet werden sollen. Umgekehrt strebt Resilienz danach, dass die urbanen Systeme so ausgestaltet werden, dass sie trotz der unsicheren Rahmenbedingungen den Pfad oder die Pfade in Richtung Nachhaltigkeit nicht verlassen. In Zeiten des globalen Wandels und zunehmender Belastungen der Umwelt können Nachhaltigkeit und Resilienz komplementär dazu beitragen, stabile Lebensbedingungen für die Menschheit sicherzustellen und die anthropogenen Strukturen und Systeme so fortzuentwickeln, dass sie die Funktionen der Daseinsvorsorge auch langfristig erfüllen können.

5.4 Beispiele für den Praxistransfer der urbanen Resilienz

Das folgende Kapitel soll einen kurzen Eindruck davon vermitteln, wie theoretische Verständnisse und Konzepte der urbanen Resilienz bislang in die Praxis transferiert werden. Dies geschieht anhand ausgewählter, realer Beispiele, die eine gewisse Bandbreite der planerischen Ebenen und der beteiligten Akteure exemplarisch abbilden. Die aus den Beispielen gewonnenen Erkenntnisse können zur Operationalisierung der Resilienz und im konzeptionellen Teil zur Entwicklung von Handlungs- und Umsetzungsempfehlungen herangezogen werden. Eine tiefere Auseinandersetzung mit den konkreten Auswirkungen der Maßnahmen im Sinne einer Erfolgsevaluation ist unter Berücksichtigung der Zielsetzung dieser Arbeit nicht vorgesehen.

5.4.1 Rockefeller 100 Resilient Cities

Eine Initiative zum Transfer theoretischer Erkenntnisse zur urbanen Resilienz in die Praxis ist das 100 Resilient Cities-Programm (100RC) der Rockefeller-Stiftung. Zum Anlass des 100-jährigen Bestehens der Stiftung wurde das Programm im Jahr 2013 aufgelegt. Mit einer angestrebten Laufzeit von fünf Jahren und einem ursprünglichen Budget von 100 Mio. US-Dollar sollten weltweit 100 Städte dabei unterstützt werden, eine lokalspezifische, urbane Resilienzstrategie zu entwickeln. Aus über 1.000 Bewerbungen wurden bis Mai 2016 100 Städte zur Förderung ausgewählt. Im Juli 2019 hatten bereits 68 der geförderten Städte ihre Resilienzstrategie veröffentlicht. (vgl. Website 100RC 1)

Die Besonderheit des Programms lag darin, Städte unterschiedlicher Größenordnung und aus allen Weltregionen zu fördern, um so die Unterschiedlichkeit der Herausforderungen abzubilden. Neben

5. Resilienz

Städten des globalen Südens, die den Folgen des Klimawandels ausgesetzt sind und sich Fragen der Grundversorgung der Bevölkerung stellen müssen, wurden auch westliche Städte ausgewählt, deren Herausforderungen unter anderem auch aus dem Demografischen Wandel, alternden Infrastrukturen oder Cyberattacken bestehen. Zudem war das gesamte Programm darauf ausgerichtet, dass die zu entwickelnde Resilienzstrategie von innen heraus, von den Akteuren der Stadt selbst entwickelt wird. Vernetzung, Beteiligung und Selbst-Organisation wurden gefördert, um so die vorhandenen Potenziale zu nutzen. Die theoretischen Grundlagen zur Resilienz, die im Zuge des 100RC bereitgestellt und vermittelt wurden, sollten dabei ausschließlich zur inhaltlichen Inspiration und keinesfalls als Vorgabe wahrgenommen werden. (vgl. Spaans und Waterhout 2017: 110ff.)

Die Unterstützung durch die Stiftung im Rahmen der Förderung umfasste vier Aspekte:

- Einrichtung, Organisation und Finanzierung einer Stelle für einen Chief Resilience Officer in der jeweiligen Stadtverwaltung, der die Maßnahmen zur Resilienz koordiniert.
- Unterstützung durch Experten bei der Entwicklung einer Resilienzstrategie.
- Zugang zu Anbietern und Lösungen aus unterschiedlichen Sektoren zur Entwicklung und Umsetzung der Resilienzstrategien.
- Mitgliedschaft im globalen Netzwerk der Mitgliedsstädte für den gegenseitigen Austausch. (vgl. Website 100RC 1)

Ziel war die Aufstellung einer lokalspezifischen Resilienzstrategie in den Städten, die langfristig den urbanen Entwicklungsprozess prägen kann. Dazu mussten die lokalen Akteure befähigt werden, ihre lokalen Herausforderungen sowie das Resilienzkonzept zu verstehen, ihre Situation analysieren zu können, um dann eigene Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz entwickeln und umsetzen zu können. Dabei fiel auf, dass sich das Verständnis von Herausforderungen global grundsätzlich unterscheidet. Während in den angelsächsischen Staaten eher kurzfristige Katastrophenergebnisse im Fokus der Betrachtung stehen, werden in den europäischen Staaten vor allem auch die langfristigen, schleichenden Veränderungen als Herausforderungen betrachtet. Um auch den Austausch der Städte auf der gleichen inhaltlichen Basis zu fördern, wurden auf Grundlage der Resilienzliteratur und Experteneinschätzungen eine Definition urbaner Resilienz herausgegeben und mit dem City Resilience Framework ein Instrument zur Verfügung gestellt, das den Städten zu Beginn des Prozesses eine eigene Zustandsbestimmung und Einordnung in den Resilienzkontext ermöglichen sollte.

Urban Resilience is „the capacity of individuals, communities, institutions, businesses, and systems within a city to survive, adapt, and grow no matter what kinds of chronic stresses or acute shocks they experience.“

(Website 100RC 2; eigene Hervorhebung)

Die Definition kann den sozio-ökologischen Resilienzverständnissen zugeordnet werden. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz kann den Städten dabei helfen, sich auf künftige Herausforderungen vorzubereiten. Dazu ist eine holistische Betrachtungsweise der Stadt als Gesamtsystem erforderlich, die alle Teilbereiche und insbesondere die Interdependenzen der verschiedenen Teilsysteme berücksichtigt. Resilienz selbst wird in der Definition als Kapazität unterschiedlicher städtischer Akteure und Systeme verstanden, Herausforderungen bewältigen und sich anpassen zu können und trotzdem weiter zu wachsen. Insbesondere der Verzicht auf die Erwähnung eines Gleichgewichtszustandes und das stattdessen vermittelte Wachstumsparadigma, das man im Kontext der Definition auch als kontinuierliche Evolution der urbanen Systeme interpretieren kann, sind Kernmerkmale der sozio-ökologischen Resilienz. (vgl. Website 100RC 2)

Das von einem Ingenieurbüro für das 100RC entwickelte City Resilience Framework ist ein Werkzeug, das den Mitgliedsstädten zur Verfügung gestellt wird, um Anregungen für eine holistische Betrachtung der spezifischen Herausforderungen zu liefern, die im Kontext der urbanen Resilienz zu berücksichtigen sind. Auch soll es die lokalen Planungsakteure dabei unterstützen, die Komplexität der Prozesse der urbanen Entwicklung sowie die im Hinblick auf die Resilienz relevanten Treiber der Entwicklung zu erfassen, um Stärken und Schwäche der eigenen Stadt in Bezug auf Resilienz zu identifizieren. Eine solche Zustandsbestimmung kann als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Strategien und praktischen Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz in der Stadt dienen. (vgl. Spaans und Waterhout 2017: 110f.; ARUP 2015a: 2)

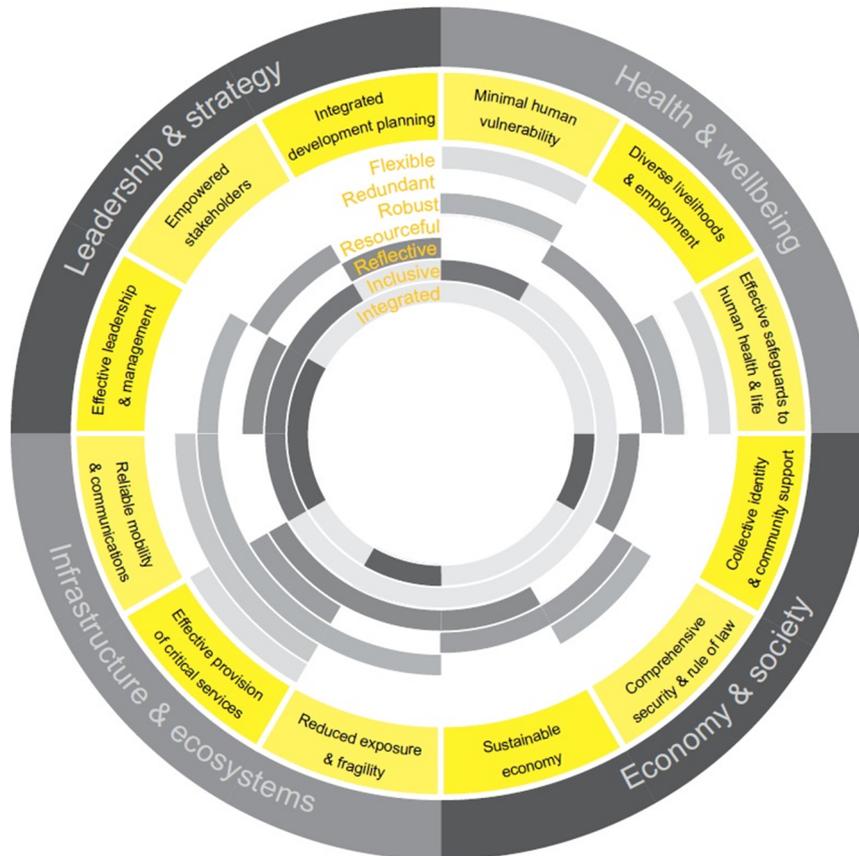
Wie in Abbildung 32 zu sehen ist, umfasst das City Resilience Framework vier Dimensionen mit insgesamt 12 Zielsetzungen (gelbe Kästchen) sowie jeweils sieben Qualitäten (graue Streifen) der Zielsetzungen. Zur Operationalisierung der Zielsetzungen werden insgesamt 56 Indikatoren herangezogen. (vgl. ARUP 2015a: 7ff.)

Die vier Dimensionen *Gesundheit & Wohlbefinden*, *Ökonomie & Gesellschaft*, *Infrastruktur & Ökosysteme* und *Führerschaft & Strategie* sollen die Bandbreite der Elemente einer Stadt abbilden und stehen für die städtische Gesellschaft, die Organisationen, die Örtlichkeiten und Strukturen bis hin zum Wissen. Mit ihren 12 Zielsetzungen sollen die vier Dimensionen dazu anregen, die Stadt mit ihren Teilelementen in ihrer Komplexität zu betrachten. Die Zielsetzungen sind normativ

5. Resilienz

ausgestaltet und weisen einen direkten Handlungsbezug auf. Sie können somit als Schnittstelle zwischen dem theoretischen Resilienzverständnis des 100RC und der konkreten Maßnahmenentwicklung in der kommunalen Praxis verstanden werden.

Abbildung 32: Darstellung des City Resilience Frameworks



Quelle: ARUP 2015a: 9

Zur Operationalisierung wurden den Zielsetzungen sieben Qualitäten (flexibel, redundant, robust usw.; siehe Abbildung 32) zugeordnet, die auch als Eigenschaften eines resilienten Systems betrachtet werden können. Laut den Autoren des City Resilience Frameworks unterscheiden die sieben Qualitäten eine wirklich resiliente Stadt von einer Stadt, die einfach nur nachhaltig, lebenswert oder florierend ist (vgl. ebd.: 8).

Zweifelsfrei stellen die vier Dimensionen und die 12 Zielsetzungen Beispiele für einen möglichen Transfer eines theoretischen Resilienzverständnisses in die kommunale Planungspraxis dar. Ihre ausführliche Beschreibung würden an dieser Stelle jedoch zu weit führen. Daher sei auf die Erläuterungen im Bericht zum City Resilience Framework verwiesen (vgl. ebd.). Die sieben Qualitäten jedoch, die einen direkten Operationalisierungsbezug aufweisen, können für die weitere Arbeit von Relevanz sein. Insbesondere, da die Qualitäten mit der Zielsetzung einer Zustandsbestimmung im Hinblick auf die Resilienz einer Stadt aufgestellt wurden, verspricht sich der Autor von den

Qualitäten Anregungen für den empirischen Teil der vorliegenden Arbeit, der sich mit der Messbarkeit von Resilienz auseinandersetzt.

Urbane Systeme, denen die Eigenschaft der *Reflektivität* zugeschrieben wird, erkennen die zunehmende Unsicherheit der künftigen Herausforderungen von Städten an. Sie haben daher Mechanismen, um sich kontinuierlich weiterentwickeln und ihre Standards verändern zu können. Sie streben viel mehr danach zunehmende Evidenzen in ihre Entwicklung einbeziehen zu können, statt nach dauerhaften Lösungen zu suchen. Dazu müssen die Akteure in der Lage sein, systematisch aus den Erfahrungen der Vergangenheit zu lernen und dieses Wissen in künftige Entscheidungen einzubringen. (vgl. ebd.: 5)

Robustheit bezieht sich auf die physischen Systeme, die so errichtet sein sollten, dass sich auch unter verschiedensten Herausforderungen ihre Funktion aufrechterhalten können. Dazu müssen mögliche Schwachstellen im System identifiziert werden, um Vorkehrungen treffen zu können, die die Ausfallwahrscheinlichkeit oder unvorhergesehene Störungen reduzieren. Unbedingt zu vermeiden sind die übermäßige Zentralität einzelner Systembestandteile oder kritische Schwellenwerte, die zu einem Zusammenbruch des Systems führen können. (vgl. ebd.)

Flexible Systeme sind in der Lage, sich in Anbetracht sich verändernder Rahmenbedingungen zu verändern, anzupassen und weiterzuentwickeln. Dezentrale Infrastrukturen, modulare Systeme sowie die Einführung neuer Technologien und Kenntnisse können dazu beitragen. Ebenso sollte lokales Expertenwissen berücksichtigt werden. (vgl. ebd.)

Einfallsreichtum ist eine Eigenschaft, die sich auf die handelnden Akteure bezieht. Sie besagt, dass die Personen und Institutionen in der Lage sind, sich flexibel und schnell auf neue Situationen einzustellen und unter Stress neue Lösungswege zu finden. Dazu sollte die Antizipationsfähigkeit gefördert, notwendige Ressourcen zur Verfügung gestellt und somit das Humankapital aktiviert werden. (vgl. ebd.)

Inklusion steht für die möglichst breite Einbeziehung der Gesellschaft und der betroffenen Akteure in die Planungs- und Entwicklungsprozesse. Dies geht einher mit einem multi-sektoralen Planungsansatz, da isolierte Betrachtungen einzelner Problemstellungen konträr zum Selbstverständnis der Resilienz stehen. Inklusion trägt zur Stärkung des Gemeinschaftssinns, zur Schaffung einer gemeinsamen Zielsetzung sowie zur Förderung des Gefühls einer gemeinsamen Verantwortlichkeit für die Stadt bei. (vgl. ebd.)

5. Resilienz

Davon abzugrenzen ist die *Integration*, die als Eigenschaft auf die Konsistenz der Entscheidungsfindung und der Investitionspolitik abzielt. Die Vernetzung der Teilsysteme über verschiedenen räumliche und zeitliche Skalen ist zu berücksichtigen und insbesondere der Informationsfluss über die verschiedenen Ebenen kann dazu beitragen, dass die Systeme kollektiv auf eine gemeinsame Zielsetzung hinarbeiten. (vgl. ebd.)

Im City Resilience Framework werden die sieben Qualitäten über unterschiedliche Indikatoren operationalisiert, um den Erfüllungsgrad der 12 Zielsetzungen bestimmen zu können. Dies liefert den Planungsakteuren Hinweise darauf, in welchen Teilbereichen Maßnahmen erforderlich sind, um die Resilienz der jeweiligen Stadt zu fördern. In der Zusammenführung bilden die vier Dimensionen, mit ihren 12 Zielsetzungen und den jeweils sieben Qualitäten den City Resilience Index (vgl. ARUP 2015b: 13), der einerseits einen Vergleich der Städte des 100RC ermöglicht und zum anderen als quantifizierbarer Messwert die Kommunikation in den politischen Gremien der Städte unterstützen kann. (vgl. ARUP 2015a: 8)

5.4.2 Resilienz-Strategie von Rotterdam

Als Beispiel für eine Resilienzstrategie, die im Rahmen des 100RC entwickelt wurde, wird die Strategie der Stadt Rotterdam in den Niederlanden herangezogen. Rotterdam gehört zu den ersten Städten, die am 100RC teilgenommen haben und hat seine Resilienzstrategie daher bereits im Mai 2016 veröffentlicht. Zudem wird angenommen, dass Rotterdam als westeuropäische Stadt zumindest in Teilen ähnlichen Herausforderungen unterliegt, wie die Kommunen der Fallregion der vorliegenden Studie. So spielt in der Resilienzstrategie von Rotterdam auch der Umgang mit Wasser in der Stadt eine zentrale Rolle, wenngleich im Vergleich zur Fallregion Reutlingen unterschiedliche Ursachen dafür verantwortlich sind.

Eine erste Zustandsbestimmung der Stadt im Hinblick auf ihre Resilienz wurde zu Beginn der Bearbeitungsphase durch das Projektteam durchgeführt. Dazu wurde das City Resilience Framework angewendet und die darin enthaltenen zwölf Zielsetzungen, wie in Abbildung 33 dargestellt, bewertet. Im Sinne einer Stärken-Schwächen-Analyse wurden die Zielsetzungen qualitativ bewertet. Es wird deutlich, dass Schwächen vor allem in der Förderung einer langfristigen, integrativen Planung, der ökonomischen Prosperität sowie der Angebote an Existenzgrundlagen und Public Health gesehen werden. Dagegen wird die Sicherung der kritischen Infrastrukturen als weitgehend positiv eingeschätzt. (vgl. Geermente Rotterdam 2016: 16ff.)

Auf Basis dieser Selbsteinschätzung wurde eine Resilienzstrategie entwickelt, die der Geschichte und den spezifischen Herausforderungen, aber auch den Potenzialen der Stadt gerecht werden soll

(vgl. ebd.). Sieben Oberzielen (z. B. Klimaschutz und -adaption, Cyber-Sicherheit, adaptive Infrastrukturen, Innovations- und Integrationsagenda für Resilience-Mainstreaming) wurden in der Resilienzstrategie insgesamt 68 Maßnahmen oder Programme zugeordnet, die zum Erreichen der Zielsetzung beitragen. Diese Maßnahmen werden jeweils in Steckbriefform auf einer Seite übersichtlich konkretisiert (siehe Abbildung 34).

Abbildung 33: Bewertung der Resilienz der Stadt Rotterdam im City Resilience Framework



Quelle: Geermente Rotterdam 2016: 19

Neben einer Kurzbeschreibung der Maßnahme und des Beitrages der Maßnahme zur Resilienz (bezogen auf die sieben Qualitäten des Resilient City Frameworks) enthält der Steckbrief Angaben über die Skalierungsebene, auf der die Maßnahme ansetzt sind, wer dafür verantwortlich ist und wer als möglicher Partner mitwirken kann. Weiterhin wird dargestellt, wer die Finanzierung trägt, ob es sich um eine neue oder eine schon laufende Maßnahme handelt und in welchem Zeithorizont die Ergebnisse zu erwarten sind. Zusätzlich werden den Programmen und Maßnahmen konkret einzelne methodische Schritte und Handlungen zugeordnet, die zur Umsetzung erforderlich sind. Die übersichtlichen Steckbriefe operationalisieren die Resilienzstrategie der Stadt somit in sehr konkrete Maßnahmenpakete, die direkt an die betroffenen Akteure gerichtet sind und so Verantwortlichkeiten schaffen. Außerdem wird der Beitrag der jeweiligen Maßnahme zur Resilienz der Stadt verdeutlicht. (vgl. ebd.: 48ff.)

Abbildung 34: Exemplarischer Maßnahmensteckbrief aus der Resilienz-Strategie von Rotterdam

WATER SENSITIVE ROTTERDAM (WSR)

EMBEDDING CLIMATE ADAPTATION INTO THE URBAN FABRIC OF THE CITY

This action will develop and enhance existing programmes aiming to prepare the city for the impacts of climate change. Measures included within this action are in line with projects already completed in Rotterdam such as Benihemplein, and will be designed to support community learning – specifically in respect of understanding the urgency of the need to take action on climate change. Measures will range in their type and scale but we envisage:

- A large number small projects that can be led by citizens and businesses under the motto “many small actions; make a big difference”
- A small selection of key projects specifically designed to inspire and create publicity and profile
- Effective large-scale projects that run quietly in the background to deepen understanding, support research and tools developed (e.g. rigorous cost / benefit analysis).

We specially want to seed a new way of thinking. To not see rain water as a problem or a threat but to recognise it as a valuable raw material that should be utilized as much as possible locally. We want to move further towards fully integrated water cycle management – integrating the water cycle into our urban environment including collection (attenuation), treatment and conveyance. We will seek to related our climate change projects to other resilience actions and to publicise the synergies.

RESILIENCE VALUE

All climate change projects and initiatives will consider how they can contribute to the further development of a liveable city; promote social cohesion whilst also increasing Rotterdam’s resilience to water stresses and shocks. It especially appeals to inclusiveness; involving property owners to participate and integration to use and enrich ongoing developments with water management actions.

| | |
|---------------------------|---|
| LENS | |
| SCALE | |
| OWNER | Municipality / Urban Maintenance Department |
| PARTNERS | Water boards, county, housing associations, citizens, Market parties. Parties may differ for each initiative. |
| FINANCE (POSSIBLE) | Municipality, partners |
| STATUS | Under development |
| RESULT | Short-term / Medium-term / Long-term |
| RELATED ACTIONS | 18 |

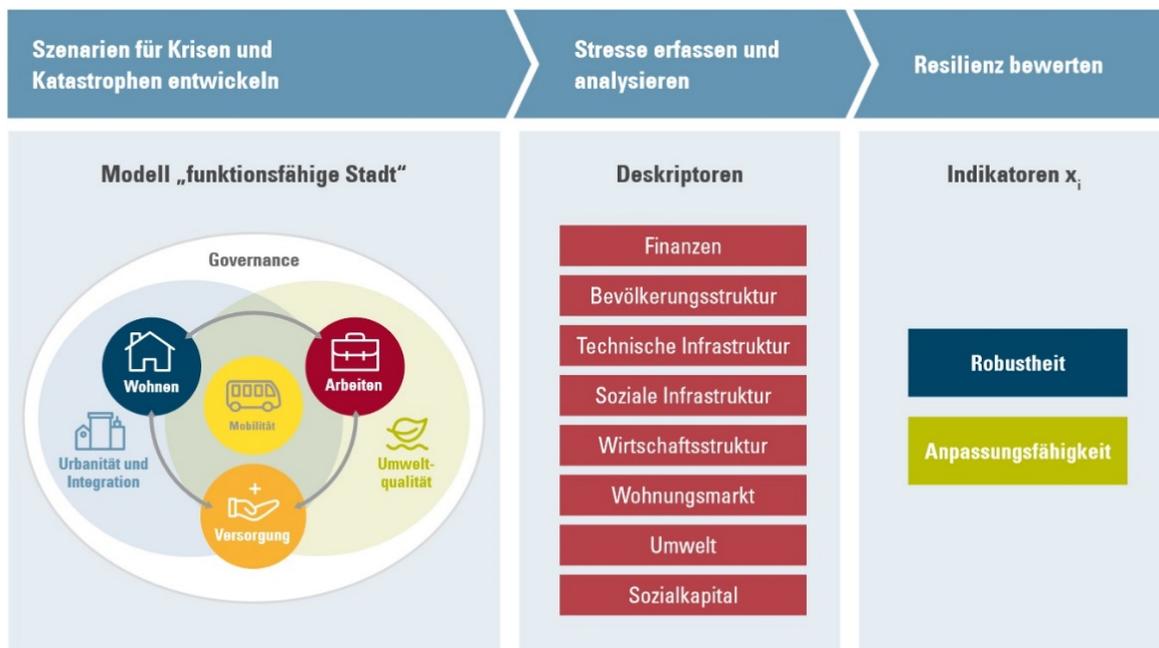
Quelle: Geermente Rotterdam 2016: 81

SPAANS UND WATERHOUT vergleichen in ihrem Beitrag die Planungsprozesse Rotterdams vor und nach Verabschiedung der Resilienzstrategie. Sie kommen zu dem Schluss, dass die Planungsprozesse in Rotterdam seit der Veröffentlichung der Resilienzstrategie deutlich integrativer ablaufen. Außerdem werden planerische Maßnahmen inzwischen in einem breiteren Kontext betrachtet, um mögliche Vernetzungen über unterschiedliche Skalierungsebenen berücksichtigen zu können. Insgesamt bewerten die beiden Autoren die Auswirkungen der Strategie positiv. Besonders hervorgehoben wird der Beitrag des City Resilience Frameworks zum Erfolg der Resilienz-Strategie, da die zur Verfügung gestellten Werkzeuge zwar Handlungsansätze bieten, trotzdem aber eine lokalspezifische Ausgestaltung der Maßnahmen ermöglichen. (vgl. Spaans und Waterhout 2017: 111ff.)

5.4.3 Stresstest Stadt – Resilienztransfer in Deutschland

Mit dem Projekt „Stresstest Stadt“ (Kötter et al. 2018: 9) hat das BBSR die Zielsetzung verfolgt „das mehrdimensionale Konzept der Resilienz für Städte in Deutschland zu operationalisieren und einen praxistauglichen Test zur Identifizierung und zur Analyse ihrer Resilienzeigenschaften zu entwickeln“ (ebd.: 10). Der Weg zur Anwendung der Resilienz in der Praxis führt dieser Zielsetzung zufolge über die schon häufig gestellte Frage der Mess- und Bewertbarkeit. Die im Zuge des Projektes entwickelte und vom BBSR veröffentlichte Methodik hat den Anspruch der Übertragbarkeit und das BBSR erhofft sich eine breite Anwendung in den Kommunen. (vgl. ebd.: 11)

Abbildung 35: Methodisches Konzept des Stresstest Stadt



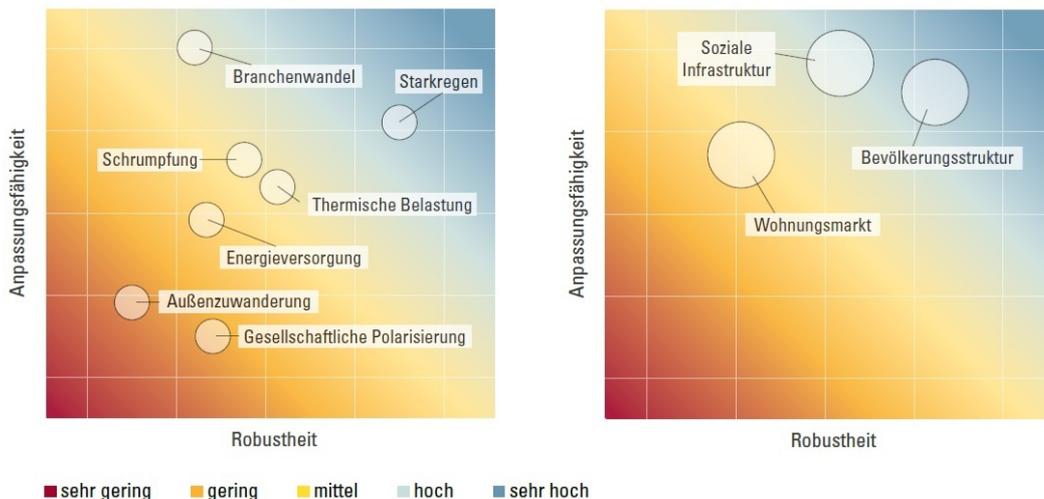
Quelle: Kötter et al. 2018: 25

In der Methodik des „Stresstest Stadt“ wird davon ausgegangen, dass eine funktionsfähige Stadt die Funktionen Wohnen, Arbeiten, Versorgung, Mobilität, Urbanität und Integration, Umweltqualität sowie Governance erfüllen muss (siehe Abbildung 35). Dies deckt sich mit den in Kapitel 2.2 aufgeführten städtischen Funktionen, die als Maßstab für diese Arbeit angesetzt wurden. In unterschiedlichen Szenarien werden diese Funktionen möglichen Krisen ausgesetzt und analysiert, welche Deskriptoren in Zeiten einer Krise zur Beschreibung des Systemzustandes herangezogen werden können. Zur Operationalisierung der Deskriptoren wurden auf Basis von Expertenbefragungen Indikatoren identifiziert, die zur Messung der Robustheit der Deskriptoren herangezogen werden können. Da die Indikatoren unterschiedliche Einheiten und Skalierungen aufweisen, müssen sie statistisch normiert werden (Skala 1–5), bevor sie in einen Robustheitskennwert zusammengeführt werden können (vgl. ebd.: 30ff.). Der Resilienz wird in der Studie jedoch nicht nur die Eigenschaft der

5. Resilienz

Robustheit zugeschrieben, sondern auch die Anpassungsfähigkeit. Hierzu wird auf Basis von Experteneinschätzungen bewertet, ob die Planungsakteure der jeweiligen Stadt in ihrem Alltagshandeln als reaktionsfähig, umsetzungsfähig und innovationsfähig beschrieben werden können. Zu den drei Eigenschaften gibt es jeweils binäre Fragen, aus denen sich die Punktevergabe von 1 bis 5 direkt ableitet (vgl. ebd.: 33ff.). Anschließend können die ermittelten Werte in mehreren Schritten zu Indexwerten zusammengeführt werden. Aus den Zwischenschritten lassen sich zudem differenziertere Aussagen zu den Stärken und Schwächen einer Stadt im Hinblick auf bestimmte Herausforderungen (Szenarien) und Handlungsbereiche (Deskriptoren) ableiten. Die linke Resilienzmatrix in Abbildung 36 zeigt die aggregierten Indexwerte der Deskriptoren in den Dimensionen Anpassungsfähigkeit und Robustheit für verschiedene Szenarien. So lässt sich beispielsweise ablesen, dass die Musterstadt gegenüber einem Branchenwandel zwar sehr anpassungsfähig, aber nur mäßig robust ist und gegenüber der Außenzuwanderung weder sonderlich robust noch anpassungsfähig. Darauf basierend lassen sich Fokuse für eine kommunale Resilienzstrategie oder konkrete Maßnahmen festlegen.

Abbildung 36: Exemplarische Darstellung von Resilienzmatrizen des Stresstests Stadt



Quelle: Kötter et al. 2018: 38

Die Kommunen erhalten mit dem Stresstest Stadt eine vergleichsweise einfache, praxistaugliche Methodik, um ihre eigenen Schwachstellen hinsichtlich der Resilienz zu bestimmen. Die indirekte Vermittlung zentraler Resilienzeigenschaften über die zwei Indikatordimensionen stellt eine Möglichkeit des Praxistransfers des theoretischen Diskussionsstandes zur urbanen Resilienz dar. Auch kann die Methodik als Werkzeug zur Initiierung konkreter Maßnahmen zur Förderung der Resilienz in der kommunalen Planung verstanden werden. Insbesondere der sektorenübergreifende Ansatz, der unterschiedliche Herausforderungen mit verschiedenen Handlungsfeldern der

Stadtentwicklung zusammenbringt, spiegelt ein holistisches Resilienzverständnis wider. Zudem kann Veröffentlichungen des BBSR aufgrund der weitreichenden Vernetzungen zu den Kommunen eine hohe Strahlkraft unterstellt werden, die zumindest eine Anwendung in einigen Kommunen erwarten lässt.

5.4.4 Einschätzung der Beispiele und Folgerungen

Die drei ausgewählten Beispiele decken eine gewisse Bandbreite and unterschiedlichen Möglichkeiten des Praxistransfers ab. Von einem Förderprogramm einer international tätigen NGO über ein Methodenpaket einer deutschen Verwaltungsinstitution auf Bundesebene bis hin zu einer kommunalen Resilienzstrategie, zeigen die Beispiele die Unterschiedlichkeit der Anwendungsmöglichkeiten des Resilienzkonzepts. Zweifellos hätten auch zahlreiche andere Beispiele für den Praxistransfer herangezogen werden können: von lokalen Maßnahmen, über regionale und nationale Strategien bis hin zu internationalen strategischen Rahmenprogrammen, wie dem Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (vgl. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) 2015). Auch die Tätigkeiten wissenschaftsnaher Institutionen, wie beispielsweise des Stockholm Resilience Centers oder der Resilience Alliance fördern immer wieder die Umsetzung des aktuellen Standes der Forschung in konkrete Praxisprojekte. Derartige Projekte können davon profitieren, dass diese nicht-öffentlichen Institutionen weniger Verwaltungsaufwand als öffentliche Planungsakteure haben und dementsprechend neue wissenschaftliche Erkenntnisse unmittelbar einfließen lassen können. Gleichzeitig kann durch die Evaluierung der Projekte und das Feedback der Stand der Forschung auf Basis von Praxiserfahrungen verifiziert und erweitert werden.

Das Beispiel des 100 Resilient Cities-Förderprogramms zeigt, wie eine nicht-staatliche Organisation den Transfer der Resilienz in die Praxis zahlreicher Kommunen international initiieren kann. Die zahlreichen Bewerbungen sowie 68 inzwischen veröffentlichten Resilienzstrategien können als Beleg dafür gesehen werden, dass der Bedarf für Transferprogramme in der Praxis groß ist. Die im Rahmen des Programms eingerichteten Koordinierungsstellen sollen als Schnittstelle zwischen dem Stand der Resilienzforschung und der praktischen Umsetzung dienen. Zudem hat die Stelle die Aufgabe unterschiedliche Verwaltungsbereiche zu vernetzen und die ganzheitliche Erfassung der Herausforderungen einer Stadt zu unterstützen. Eine solche Koordinierungsstelle könnte auch in der späteren Umsetzung der Maßnahmen wichtige Impulse für mögliche Synergieeffekte setzen und zu einem generellen *Resilience-Mainstreaming* in der Planung beitragen. Querschnittsorientierte Koordinierungsstellen sind in der Planung in zahlreichen Kommunen bereits für andere Themen integriert worden (z. B. Klimamanager, Nachhaltigkeitsmanager, Radverkehrsbeauftragte). Der Erfolg solcher

5. Resilienz

Maßnahmen ergibt sich langfristig nicht nur aus der Einrichtung der Stelle, sondern insbesondere auch aus der politischen Legitimation und der integrativen Einbindung in Planungsprozesse sowie der finanziellen und personellen Ausstattung. Diesbezüglich muss sich in den Beispielstädten des 100RC noch zeigen, welchen Stellenwert die Resilienzmanager in den kommunalen Planungs- und Verwaltungsprozessen einnehmen werden.

Mit dem City Resilience Framework wurde den Kommunen ein methodischer Werkzeugkasten zur Selbstevaluierung an die Hand gegeben, der einen schnellen Einstieg in die Thematik der urbanen Resilienz ermöglicht. Da die inhaltlichen Grundlagenarbeiten zu Beginn eines Projektes auf ein Minimum reduziert werden, kann so die Dynamik, die mitunter im Zuge des Bewerbungsprozesses und der Einrichtung der Koordinierungsstelle entsteht in das Projekt übertragen werden. Dies kann zur Anregung und kontinuierlichen Fortführung des intrakommunalen Diskussionsprozesses beitragen. Auch erleichtert der standardisierte, aber trotzdem individuell anpassbare Werkzeugkasten den Vergleich der Kommunen des Netzwerkes untereinander. Dies kann den Austausch der Kommunen mit ähnlichen Zustandsbedingungen und entsprechend das gegenseitige Voneinander-Lernen fördern. Bei allen positiven Eigenschaften, die das 100RC kennzeichnen, muss beachtet werden, dass das Programm bislang lediglich in Großstädten umgesetzt wurde, die eine große Verwaltung mit entsprechenden Ressourcen zur Verfügung haben. Insbesondere in Zeiten angespannter Kommunalhaushalte (siehe Kapitel 3.3.6) ist fragwürdig, ob sich das Konzept im Hinblick auf die notwendige zeitliche, personelle und finanzielle Ressourcenausstattung auch auf kleine bis mittelgroße Kommunen übertragen lässt.

Das Praxisbeispiel der Stadt Rotterdam zeigt, wie eine sehr anwendungs- und maßnahmenorientierte Resilienzstrategie ausgestaltet sein kann. Ob nun die Zustandsbestimmung auf Basis des City Resilience Frameworks oder auf Basis einer anderen Methodik geschieht, ist zunächst einmal unerheblich, solange eine holistische Perspektive gewahrt wird. Die Gestaltung der Resilienzstrategie in Steckbriefform erleichtert die Zugänglichkeit und verdeutlicht auch optisch die Struktur der strategischen Zielsetzungen und der konkreten Maßnahmen. Dass der Beitrag jeder Maßnahme zur urbanen Resilienz der Stadt aufgeführt wird, kann zu größerer Akzeptanz beitragen. Zudem wird nicht nur die Einordnung der jeweiligen Maßnahme aufgeführt, sondern auch ihre Vernetzung in den verschiedenen Sektoren der Stadtverwaltung und mit anderen Maßnahmen. Dies fördert bei den Akteuren eine ganzheitliche und vernetzende Perspektive auf das Thema der urbanen Resilienz. Des Weiteren unterstreicht die Zuordnung der verantwortlichen Akteure, von Finanzierungsmöglichkeiten und konkreten Handlungsabfolgen (einschließlich der Methoden) zu jeder Maßnahme die

Impulsfunktion der Strategie. Auch diesbezüglich muss sich mittel- bis langfristig zeigen, ob die im Rahmen der Strategie entwickelten Maßnahmen auch tatsächlich konsequent umgesetzt werden und die angestrebten Ziele erfüllen. Gerade im Hinblick auf ein dynamisches Resilienzverständnis sollte eine begleitende Prozessevaluation stetig untersuchen, ob die Maßnahmen zur Zielerreichung beitragen oder ob sich die Rahmenbedingungen verändert haben und dementsprechend eine Maßnahmen- oder Zielanpassung im Sinne der Adaptivität des Prozesses erforderlich ist.

Die unter dem Titel „Stresstest Stadt“ vom BBSR an die Kommunen herausgegebene Handreichung widmet sich der Frage der Messbarkeit der Resilienz von Städten. Sie greift damit eine praxisnahe Herausforderung auf, der sich viele kommunale Planungsakteure zu Beginn eines Prozesses zur Förderung urbaner Resilienz stellen müssen. Abwägungen in Planungsprozessen und politische Entscheidungen werden durch die Quantifizierung der Zustandsbedingungen und der Effekte bestimmter Maßnahmen erleichtert. Konkrete Kennwerte ermöglichen es, komplexe theoretische Konzepte allgemeinverständlich und vergleichbar zu kondensieren, ohne dass eine tiefergehende Auseinandersetzung mit dem theoretischen Diskurs zwingend erforderlich ist. So können auf einfache Art und Weise Handlungserfordernisse aufgezeigt und mögliche Erfolge verschiedener Maßnahmen miteinander verglichen werden. Derartige Index- und Kennwerte sind jedoch immer im lokalen Kontext zu betrachten und ggf. anzupassen. Für die Anwendung der Methodik ist somit ein lokaler Experte mit entsprechendem Methoden- und tiefergehendem, theoretischen Grundlagenwissen erforderlich. Auch wenn das BBSR die Beschränkungen seiner Methodik verdeutlicht (vgl. Kötter et al. 2018: 48f.), besteht die Gefahr, dass die ermittelten, statischen Kennwerte als allgemeingültig und dauerhaft betrachtet werden und kein kontinuierlicher Lern- und Entwicklungsprozess im Sinne der sozio-ökologischen Resilienzverständnisse initiiert wird. Dass im Stresstest Stadt auch das Verhalten der Planungsakteure Bestandteil der Indexwertermittlung ist, ist grundsätzlich positiv zu bewerten. Hinsichtlich des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* stellt sich jedoch die Frage, ob dadurch auch ein Beitrag zur Etablierung eines *Resilience-Mainstreamings* in allen Planungs- und Verwaltungsbereichen erzielt wird. Die Einbindung der Gesellschaft als soziale Resilienzdimension ist kein Bestandteil des BBSR-Konzeptes. Die Akzeptanz und zielorientierte Umsetzung der im Rahmen des Programms entwickelten Maßnahmen bleibt damit fraglich.

5.5 Operationalisierung des Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln auf Basis des Standes der Forschung das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* entwickelt und dieses in den theoretischen Kontext verwandter Konzepte eingeordnet wurde, stellt sich die Frage wie ein solches Resilienzverständnis für die Praxis

operationalisiert werden kann. Nachdem also in den bisherigen Unterkapiteln des fünften Kapitels vorwiegend die dritte Forschungsfrage beantwortet wurde, legt Kapitel 5.5 die theoretischen Grundlagen zur Beantwortung der vierten und fünften Forschungsfrage. Diese theoretischen Vorüberlegungen zur Operationalisierung des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* stellen die Verbindung zwischen dem theoretisch-konzeptionellen Teil der Arbeit und dem folgenden empirischen Teil dar.

5.5.1 Diskussion zur Messbarkeit von Resilienz

So sehr die Genese des Resilienzkonzepts von einer umfassenden und intensiven theoretisch-konzeptionellen Debatte gekennzeichnet ist, wurde diese Debatte auch immer von der Frage der Messbarkeit begleitet. Schon HOLLING hat sich in seinem richtungsweisenden Beitrag im Jahr 1973 explizit dem Thema der Messbarkeit gewidmet und auf deren Bedeutung hingewiesen: „If there is a worthwhile distinction between resilience and stability it is important that both be measurable“ (Holling 1973: 19). HOLLING hat sich mit der Modellierung von Tierpopulationen beschäftigt. Für ihn setzte sich die Messbarkeit der Resilienz zum damaligen Zeitpunkt aus Populationsgrößen, Reproduktions- und Sterblichkeitsraten und den kritischen Schwellenwerten zusammen (vgl. ebd.: 19ff.).

Die sich ausweitende Debatte um die Definition von Resilienz mit unterschiedlichen disziplinären Zugängen und Resilienzverständnissen hat dazu geführt, dass das Thema der Messbarkeit zunächst etwas in den Hintergrund gerückt ist. Das bedeutet nicht, dass es nicht immer wieder Ansätze zur Messung von Resilienz gab: Ob nun die ingenieurstechnische Resilienz über das Maß der Persistenz und die Rückkehrgeschwindigkeit zum Ausgangszustand messbar gemacht werden sollte (vgl. Holling 1996: 33) oder komplexere Indikatorensysteme zur Messung der ökologischen Resilienz herangezogen wurden (vgl. Carpenter et al. 2001: 775ff.). Die steigende Vielzahl der Definitionen und generell holistischere Resilienzverständnisse erschwerten die Entwicklung eines Resilienzmaßes, das dem internationalen Stand der Forschung entspricht. Für die Praxis bedeutet ein derartiger Zustand, dass ein Konzept zu einer theoretischen Worthölse verkommen kann, das sich nicht in die Anwendung transferieren lässt.

Die viel beachteten Arbeiten von GUNDERSON UND HOLLING (vgl. Gunderson und Holling 2002), WALKER UND SALT (vgl. Walker und Salt 2006) und FOLKE (vgl. Folke et al. 2010; Folke 2006) haben jedoch zur Operationalisierung des Resilienzkonzepts beigetragen. Insbesondere FOLKE hat, bezugnehmend auf die anderen genannten Autoren, den unterschiedlichen Resilienzverständnissen spezifische Eigenschaften wie Robustheit, Adaptivität, Redundanz und Transformativität zugewiesen (vgl. Folke 2006: 259ff.). Diese Resilienzeigenschaften sind Voraussetzung für die Entwicklung von Indikatoren,

die zur Messung von Resilienz herangezogen werden können. Infolgedessen lässt sich mit Beginn der 2010er-Jahre eine Zunahme an Ansätzen und Publikationen zur Messung von Resilienz feststellen (z. B. Kötter et al. 2018; Shin et al. 2018; Hosseini 2016; ARUP 2015b; Proag 2014; Petit et al. 2013; Cutter et al. 2010; Behrendt et al. 2010). Vor allem das im Auftrag der Rockefeller-Stiftung entwickelte methodische Konzept für den CityResilienceIndex (vgl. ARUP 2015b) hat aufgezeigt, dass eine auf Basis des Standes der Forschung und Expertenwissen erstellte Methodik zur Messbarkeit von Resilienz den Weg in die Praxis finden kann. In den 100 Städten des 100RC Programmes hat der Index zur Zustandsbestimmung beigetragen, die den Ausgangspunkt für den Prozess zur einer kommunalen Resilienzstrategie darstellt (vgl. ARUP 2015a). Auch in Deutschland wurde mit dem Stresstest Stadt durch das BBSR ein Instrument veröffentlicht, das den Kommunen eine vergleichbare Messung ihrer Resilienz ermöglichen soll (vgl. Kötter et al. 2018). Die Vorteile derartiger Mess- und Indexwerte liegen auf der Hand: eine eindeutige Methodik ermöglicht den Vergleich der Messwerte. So können entweder die Zustandsbedingungen unterschiedlicher Räume oder verschiedene Planungsalternativen miteinander verglichen werden. Gerade in der Kommunikation mit Politik und gesellschaftlichen Akteuren, die sich nicht tiefergehend mit Resilienztheorien auseinandergesetzt haben, kann ein solcher Kennwert die Diskussion als konkret greifbares Element bereichern oder als Impulsgeber fungieren. Auch die Abwägung von Interessen und Kosten-Nutzen-Einschätzungen von Maßnahmen können durch einen konkret bestimmten Resilienzwert vereinfacht werden und sind so besser kommunizierbar. Jedoch sieht der Autor dieser Arbeit auch einige Schwachstellen derartiger Resilienzkenwerte: zum einen trifft auch auf die Messbarkeit von Resilienz die schon von GREIVING hinsichtlich der Risikobestimmung geäußerte Kritik zur Unvollständigkeit der Informationen zu. Die verfügbaren Daten reichen nicht aus, um die zukünftig zu erwartenden Herausforderungen ausreichend konkret bestimmen zu können. Eine Fortschreibung der Daten aus der Vergangenheit oder Szenarien können immer nur auf dem menschlichen Erfahrungshorizont beruhen und nicht die Unsicherheit der künftigen Entwicklungen erfassen. Sie verleiten zu Fehlschlüssen, auf deren Basis das tatsächliche Risiko unterschätzt bzw. die Resilienz überschätzt wird (vgl. Greiving 2002: 12f.). Zum anderen kann auch die Komplexität der Interaktion urbaner Systeme nicht hinreichend genau in einem handhabbaren Modell abgebildet werden. Die notwendige Beschränkung des Betrachtungshorizonts bedeutet immer auch eine Beschränkung möglicher Einflussfaktoren, die in komplexen Systemen große Auswirkungen haben können. Zudem besteht nach Ansicht des Autors bei statischen Indexwerten die Gefahr, dass der ermittelte Messwert von den Entscheidungsträgern intuitiv als stabiler Zustand interpretiert wird, ein hoher Resilienzwert dementsprechend zum Nicht-Handeln verleitet. Urbane Resilienz ist jedoch ein dynamisches Konzept, das auf einen kontinuierlichen

5. Resilienz

Wandel im Kontext sich verändernder Rahmenbedingungen fokussiert. Wie kann also vor diesem Hintergrund festgelegt werden, welches Maß ausreichend robust, adaptiv oder resilient ist? Selbst wenn hierzu normative Entscheidungen getroffen werden würden, bleibt offen, wie sich ein solcher Indexwert im Sinne eines dynamischen Resilienzverständnisses an veränderte Rahmenbedingung anpassen müsste. Welchen Mehrwert hat ein Resilienzindex für die Entscheidungsträger, wenn er nach kurzer Zeit aufgrund eines unvorhergesehenen Extremereignisses wohlmöglich überarbeitet werden muss?

Unter Zugrundelegung des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* stellt sich zudem die Frage, wie die Resilienz der institutionellen sowie der sozialen Dimension überhaupt quantifiziert werden könnte. Die Messung über eine binäre Codierung vorhandener Plandokumente, Prozess- oder Personalstrukturen in der Stadtverwaltung (vgl. Kötter et al. 2018: 33ff.) lässt höchstens einen sehr groben Überblick über die grundsätzlich vorhanden planerisch-institutionellen Strukturen zu, sagt aber wenig über die tatsächliche Adaptivität der Planenden und Entscheidungsträger aus. Dies ist immer auch von individuellen Kompetenzen und Einstellungen der beteiligten Akteure abhängig. In letzter Instanz ist der Handlungsspielraum für Maßnahmen der Adaption auch von den politischen Konstellationen und dem politischen Klima gegenüber den gestellten Herausforderungen abhängig. Auch die soziale Resilienz innerhalb der Gesellschaft lässt sich nicht abschließend quantifizieren. Sie ist unter anderem vom Risikobewusstsein, der Akzeptanz und dem Verhalten von Individuen abhängig und verändert sich dementsprechend mit der kontinuierlichen Fluktuation innerhalb einer Stadtgesellschaft.

Diese Kritik vorausgesetzt kommt der Autor zu dem Schluss, dass sich lediglich die physische Dimension der urbanen Resilienz, mit den gebotenen Einschränkungen der Datenverfügbarkeit, quantitativ bemessen lässt. Die Robustheit baulicher Strukturen kann gemessen werden. Bei ihrer Errichtung wird meist auf Grundlage von Expertenwissen eine Bemessungsgrenze festgelegt, aus der sich das maximale Maß der Robustheit ableiten lässt. Umgekehrt kann so die Vulnerabilität der Strukturen gegenüber bestimmten Gefahren und Entwicklungen empirisch-quantitativ bestimmt werden. Auch die technische Adaptivität kann berechnet werden. Die Unbestimmtheit der künftigen Herausforderungen ist als Einschränkung der Robustheits- und Adaptivitätsmaße der physischen Dimension zu betrachten. Im Sinne des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* ist diesbezüglich eine adaptive Governance auf der institutionellen Dimension erforderlich, um die baulichen Strukturen kontinuierlich an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen, oder ggf. einen transformativen Umbruch einzuleiten.

In der institutionellen und der sozialen Dimension können qualitative Einschätzungen durch Experten zur Bemessung der Resilienz vor dem Hintergrund der lokalen Besonderheiten auf diesen beiden Dimensionen herangezogen werden. Dies geht jedoch zu Lasten der Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Nichtsdestotrotz lassen sich zur Operationalisierung der Resilienz in der institutionellen Dimension und der sozialen Dimension Eigenschaften und Maßnahmen identifizieren, die zur Operationalisierung des Konzepts beitragen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Messung der urbanen Resilienz im Sinne des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* nicht zielführend ist. Zu sehr widerspricht die Reduktion des holistischen und dynamischen Resilienzverständnisses auf einen statischen Indexwert der Komplexität realer urbaner Systeme und der Unsicherheit über die zukünftigen Entwicklungen. Das bedeutet jedoch nicht, dass die drei Dimensionen der urbanen Resilienz nicht operationalisiert werden können, wie die folgenden Kapitel aufzeigen.

5.5.2 Operationalisierung der physischen Dimension

Die physische Dimension der urbanen Resilienz bezieht sich gemäß des Dimensionen-Konzepts auf die gebauten Strukturen und umfasst ein Resilienzverständnis, das stark auf die Stabilität des betrachteten Systems ausgerichtet ist. Die oberste Zielsetzung ist, den Normalzustand des Systems möglichst zu erhalten. (siehe Kapitel 5.2.3) *Widerstandsfähigkeit* und *Robustheit* gegenüber Störungen sind daher Eigenschaften, die von zahlreichen Autoren sowie in diversen methodischen Ansätzen zur Beschreibung ingenieurstechnisch resilienter Systeme herangezogen werden (vgl. Kötter et al. 2018: 16f.; Folke 2016: 8; Fekak et al. 2016: 13; ARUP 2015b: 7; Chelleri 2012: 291; Davoudi 2012: 300; Martin-Breen und Anderies 2011: 43; Holling 1996: 33; Pimm 1984: 3ff.). Zwar werden die beiden Eigenschaften nicht von allen Autoren explizit der ingenieurstechnischen Resilienz zugeordnet, doch zeigt die häufige Verwendung, dass die beiden Eigenschaften zumindest grundsätzlich als wesentliche Charakteristika der Resilienz anzusehen sind. Auch wenn sie in einigen Studien eher der ökologischen Resilienz zugeschrieben werden (vgl. Bruijne et al. 2010: 19; Folke 2006: 259), beziehen sich die beiden Eigenschaften doch immer auf bauliche Strukturen oder zumindest Umweltsysteme (vgl. ebd.), also die physische Dimension der Resilienz. Weitgehende Einigkeit besteht dagegen im wissenschaftlichen Diskurs darüber, dass sich die ingenieurstechnische Resilienz durch das Streben nach einem Gleichgewichtszustand auszeichnet. Das bedeutet für die Operationalisierung der physischen Dimension, dass sich ingenieurstechnisch resiliente Systeme durch ein hohes Maß an *Effizienz* und die Fähigkeit, den *Ausgangszustand schnell wiederherstellen* zu können,

5. Resilienz

auszeichnen. (vgl. Chelleri 2012: 291; Davoudi 2012: 300; Bruijne et al. 2010: 19; Folke 2006: 259; Holling 1996: 33)

In der physischen Dimension ist gemäß des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* ein gewisses Maß an Anpassungsfähigkeit bzw. *Adaptivität* erforderlich. In der internationalen Literatur und Praxis ist Adaptivität wohl die Eigenschaft, die in nahezu allen Publikationen zur Charakterisierung der Resilienz herangezogen wird (siehe z. B. Kötter et al. 2018: 17ff.; Fekkek et al. 2016: 11ff.; Davoudi 2012: 300ff.; Wilkinson 2011: 152ff.; Folke et al. 2010; Walker und Salt 2006: 119; Dalziell und McManus 2004; Holling et al. 2002: 91). Dabei liegt der Adaptivität jedoch oft ein unterschiedliches Verständnis zugrunde, das einen abweichenden Betrachtungshorizont umfasst. Während sich einige Publikationen vorwiegend auf die Adaptivität der physischen Systeme beziehen (vgl. Fekkek et al. 2016: 11ff.; Davoudi 2012: 300f.; Martin-Breen und Anderies 2011: 7ff.), erweitern oder fokussieren andere Autoren die Adaptivität auch auf den Bereich der Governance und der Gesellschaft (vgl. Kötter et al. 2018: 17ff.; Hutter und Lorenz 2017: 6; Wilkinson 2011: 153; Folke et al. 2010; Walker und Salt 2006: 119). Diese doppelte Anwendung der Adaptivität spiegelt sich auch im *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* in Form der technischen Adaptivität in der physischen Dimension und der adaptiven Governance in der institutionellen Dimension wider. Generell setzt Adaptivität den Erhalt unterschiedlicher Entwicklungspfade bzw. diverser Lösungsansätze für unterschiedliche Herausforderungen voraus. Sowohl in der physischen Dimension, als auch der institutionellen und der sozialen Dimension ist *Diversität* eine Grundvoraussetzung für Adaptivität. Egal ob diverse Infrastrukturen, unterschiedliche Planalternativen oder verschiedene soziale Netzwerke; all das erhöht die Anpassungskapazitäten gegenüber unerwarteten Herausforderungen. (vgl. Walker und Salt 2006: 145f.)

Zur konkreteren Operationalisierung der *technischen Adaptivität* können weitere Eigenschaften herangezogen werden, die als getrennte oder sich ergänzende Subeigenschaften betrachtet werden können, die zur Steigerung der technischen Adaptivität beitragen. *Pufferkapazitäten* im System führen dazu, dass Schwankungen der Zustandsvariablen vom System bewältigt werden können. Sie erlauben einen störungsfreien Betrieb abseits des Normalzustandes, sodass bei vorhersehbaren Schwankungen der Zustandsvariablen, die ein vorab bemessenes Maß nicht überschreiten, ohne Funktionseinschränkungen bewältigt werden können. (vgl. Wilkinson 2011: 162; Adger 2000: 349) In *redundanten Systemen* erfüllen mehrere Systembestandteile die gleiche Funktion bzw. können zugeschaltet werden, um Systemfunktionen zu übernehmen. Dies verringert die Abhängigkeit von einzelnen Systembestandteilen, sodass die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems weitgehend gewahrt wird, falls einzelne Teilsysteme ausfallen sollten. Besonders bei kritischen Infrastrukturen sind

Redundanzen oftmals ein wichtiges Planungskriterium zur Steigerung der Resilienz. (vgl. Kötter et al. 2018: 17; Fekkak et al. 2016: 11; Bruijne et al. 2010: 23) Um bauliche Strukturen an veränderte Rahmenbedingungen und neue Herausforderungen anpassen zu können, ist ein gewisses Maß an Flexibilität erforderlich. Die *Modularität* physischer Systeme kann dazu beitragen. Modulare Systeme bestehen aus einzelnen Bestandteilen (Modulen), die auch für sich gesehen lauffähig bzw. funktionsfähig sind. So können einzelne Module, die nichtmehr funktionsfähig oder ausreichend leistungsfähig sind, ausgetauscht oder entfernt werden, ohne dass die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems davon beeinflusst wird. Auch erleichtert Modularität die Erweiterbarkeit eines Systems sowie die Möglichkeit einer grundlegenden Systemumstellung im Zuge einer Transformation. (vgl. Ahern 2011: 5; Walker und Salt 2006: 146) Modularität ist damit eine Möglichkeit, die im Rahmen der physischen Resilienzdimension angestrebte technische Adaptivität zu fördern (siehe Kapitel 5.3.3). Des Weiteren wird die Flexibilität und damit auch die technische Adaptivität eines physischen Systems durch *Multifunktionalität* erhöht. Sofern Systembestandteile verschiedene Funktionen erfüllen können, sind sie im Vergleich zu hoch spezialisierten, monofunktionalen Strukturen weniger anfällig gegenüber veränderten Rahmenbedingungen und unvorhergesehenen Nutzungsanforderungen. Es ergibt sich eine größere Vielfalt an Nutzungs- und Lösungsmöglichkeiten. (vgl. Kötter et al. 2018: 17; Fekkak et al. 2016: 13)

5.5.3 Operationalisierung der institutionellen Dimension

Die institutionelle Dimension der urbanen Resilienz wird gemäß der Handlungs-Ebene des Dimensionen-Konzepts durch eine adaptive Governance gekennzeichnet. Diese drückt sich dadurch aus, dass Planungsakteure und Entscheidungsträger auf sich verändernde Rahmenbedingungen reagieren, sowohl reaktiv als auch proaktiv. Im Sinne sozio-ökologischer Resilienzverständnisse geht es bei einer adaptiven Governance nicht nur um Vermeidung und *bouncing-back*, sondern auch um die Nutzung von Handlungsfenstern zur Weiterentwicklung des Systems.

Damit Planungsakteure die Komplexität der systemischen Prozesse sowie die Entwicklung der Rahmenbedingungen bei ihren Planungen erfassen und berücksichtigen können, ist ein umfassendes Wissen über die Systemstrukturen erforderlich. Dies setzt ein hohes Maß an *Lernfähigkeit* bei den Akteuren voraus. Auf Basis der über Generationen angesammelten Expertise und der Fähigkeit aus dem Erlebten die richtigen Schlüsse ziehen zu können, wächst das Wissen über die Systemprozesse und Abhängigkeiten. Dies erlaubt, das System besser an die künftigen Herausforderungen anpassen oder transformativ darauf vorbereiten zu können. (vgl. van der Heijden 2014: 147f.; Bruijne et al. 2010: 23ff.) Im Hinblick auf die Lernfähigkeit sollte die Planung reflektiv nicht nur den Erfolg oder

5. Resilienz

Misserfolg der Strategien und Maßnahmen evaluieren, sondern auch die Effizienz und Adaptivität der Planungsprozesse und -strukturen selbst (vgl. ebd.).

Weiterhin zeichnet sich eine resiliente, adaptive Governance dadurch aus, dass sie die verschiedenen disziplinären Ansprüche und Zielsetzungen berücksichtigt und zum Vorteil einer holistischen Planung nutzt. Ein *integrativer* Planungsansatz, der die unterschiedlichen Akteure über den ganzen Planungsprozess einbezieht, ist weniger vulnerabel für nicht berücksichtigte Herausforderungen (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 10; van der Heijden 2014: 62ff.) Ein integratives Planungsverständnis sollte dabei nicht nur die Beteiligung der unterschiedlichen Planungs- und Entscheidungsträger, sondern auch die Beteiligung der Gesellschaft einbeziehen. Durch *Partizipation* kann nicht nur lokales Wissen abgeschöpft und lokale Potenziale aktiviert werden, sondern auch Bewusstsein für die Notwendigkeit von Maßnahmen und Akzeptanz geschaffen werden. (siehe Kapitel 5.2.5 & 5.2.6)

Zieht man das Panarchie-Modell adaptiver Zyklen heran (vgl. Gunderson und Holling 2002), so bietet sich als Operationalisierungskategorie auf der institutionellen Dimension auch die Vernetzung („connectedness“; ebd.: 33ff.) der Akteure an. Je mehr Akteure in einem System tätig sind und je enger sie miteinander verknüpft sind, desto geringer ist ihre Resilienz. Komplexe Beziehungen und Abhängigkeiten führen dazu, dass Akteure in Pfadabhängigkeiten gelangen und dadurch in ihrer Handlungsfähigkeit eingeschränkt werden. Dies ist zu vermeiden. (vgl. ebd.)

5.5.4 Operationalisierung der sozialen Dimension

Die soziale Dimension der urbanen Resilienz bezieht sich auf die Stadtgesellschaft, die die urbanen Strukturen und Systeme nutzt. Als Nutzer wird die Stadtgesellschaft von Funktionseinschränkungen der städtischen Systeme direkt betroffen und die Daseinsvorsorge wird eingeschränkt, was grundsätzlich zu vermeiden ist. Ebenso müsste die Gesellschaft Einschränkungen gewohnter Standards durch neue Strategien und Maßnahmen akzeptieren und mittragen. Daher ist eine Steigerung des *Akzeptanzniveaus* für die Maßnahmen zur Resilienz erforderlich. Dies wird durch ein höheres *Bewusstsein* für die künftigen Herausforderungen erreicht. Die *Beteiligung* der Gesellschaft durch rechtzeitige Partizipationsformate erhöht die demokratische Legitimierung der notwendigen Maßnahmen und steigert so die Akzeptanz. (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 4ff. ; Renn und Klinke 2015: 37ff.; Wilkinson 2011: 160ff.)

Des Weiteren besteht ein zusätzliches Potenzial der sozialen Dimension der urbanen Resilienz darin, die in der Gesellschaft vorhandenen, sozialen Potenziale zur Steigerung der Bewältigungskapazitäten und Adaptivität mobilisieren zu können. Der Aufbau von Kommunikations- und Netzwerkstrukturen kann diesbezüglich die Handlungsfähigkeit individueller gesellschaftlicher Akteure erhöhen

(siehe Kapitel 13.2). Dementsprechend kann der Anteil der Bevölkerung, der in bestimmten sozialen Netzwerken organisiert ist als ein Operationalisierungsindikator für die soziale Dimension herangezogen werden. Im Hinblick auf die Kommunikation kann untersucht werden, wie viel Prozent einer lokalen Bevölkerung über Massenmedien (z. B. Radio, soziale Netzwerke im Internet, Telefon-Apps) oder Multiplikatoren kurzfristig erreichbar sind. Nicht zuletzt können auch die sozialen Potenziale der Zivilgesellschaft operationalisiert werden (z. B. Ressourcen in Form von möglichen Arbeitsstunden, Fortbildungsstunden, Materialien, Organisationsstrukturen).

5.6 Zwischenfazit

Im theoretischen Teil der Arbeit wurde zunächst die Ausgangslage beschrieben, die zum Bedeutungszuwachs der Resilienz im Kontext der Raumentwicklung geführt hat und auch Begründung für die Notwendigkeit des Konzeptes ist. Die Komplexität städtischer Systeme (siehe Kapitel 2) und die Unterschiedlichkeit der Rahmenbedingungen (siehe Kapitel 3) führen im Zusammenspiel dazu, dass Planungsakteure vor emergenten, ambivalenten und unsicheren Herausforderungen stehen. Um mit diesen Herausforderungen umgehen zu können, braucht es einen holistischeren konzeptionellen Ansatz, der über etablierte Konzepte hinausgeht (siehe Kapitel 5.4).

Zur Entwicklung eines eigenen Resilienzverständnisses wurde zunächst die Genese des Resilienzkonzepts in der internationalen Literatur nachgezeichnet. Aufbauend auf den umfassenden theoretischen Vorarbeiten wurde das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* entwickelt und beschrieben. Anschließend wurde das Konzept in seinem theoretischen Kontext verortet, exemplarisch Anwendungen der Resilienz in der Praxis beschrieben und die Möglichkeiten der Operationalisierung der drei Dimensionen aufgezeigt. Damit haben die vorangegangenen Kapitel die ersten drei Forschungsfragen beantwortet und Vorarbeiten zur Beantwortung der vierten und fünften Forschungsfrage geleistet.

Das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* erfüllt die Anforderungen als *boundary object* unterschiedliche disziplinäre Zugänge zu vernetzen, gleichzeitig aber Ansatzpunkte für den Praxistransfer aufzuzeigen. Die Strukturierung der Resilienz in drei Dimensionen wurde nicht nur aus inhaltlichen Gesichtspunkten so gewählt, sondern zielt auch auf die Handhabbarkeit der Methodik in der Empirie ab. Methoden und Modelle, die Teilbereiche des Ganzen erfassen scheinen in der Praxis besser handhabbar (siehe Kapitel 5.5). Die Herausforderung wird dabei sein, trotz der methodischen Fokussierung auf eine Dimension stets die Gesamtheit der urbanen Resilienz und das Zusammenspiel der drei Dimensionen zu beachten. Hierzu muss ein *Resilience-Mainstreaming* unter den Akteuren Bewusstsein schaffen und in allen Planungs- und Steuerungsprozessen die Förderung resilienter

5. Resilienz

Systemeigenschaften etablieren. Eine adaptive Governance für eine generelle Resilienz kann nur erfolgreich sein, wenn sie als integrative Querschnittsaufgabe über alle Sektoren verstanden und wahrgenommen wird. Auch die Akzeptanz in der Gesellschaft und die Mobilisierung des sozialen Kapitals ist als soziale Dimension der Resilienz erforderlich, damit Strategien und Maßnahmen langfristig erfolgreich sein können.

Im zweiten Teil der Arbeit folgt die exemplarische, empirische Anwendung des entwickelten *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* in Form von Analysen in der physischen Dimension. Der weitere Praxistransfer des Konzepts wird durch die konzeptionelle Maßnahmenbeschreibung im dritten Teil der Arbeit aufgezeigt.

Teil II – Empirie

6. Datengrundlage und Fallstudie

Im folgenden Kapitel wird der Datensatz beschrieben, der für den empirischen Teil der Arbeit zur Verfügung steht. Es handelt sich um Gebäudeversicherungs- und Schadensdaten der SV Sparkassen-Versicherung Gebäudeversicherung AG (SV AG), die in Deutschland Marktführerin im Bereich Gebäudeversicherungen ist. Anhand dieses Datensatzes soll exemplarisch die Anwendung des theoretischen *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* auf empirische Daten demonstriert werden. Da eine Eingrenzung des umfangreichen Datenbestandes notwendig ist und sich das Konzept der urbanen Resilienz neben schleichenden Veränderungen auch auf Extremereignisse bezieht, ist für die Analyse ein solches Extremereignis aus den Daten auszuwählen (siehe Kapitel 6.2). Nicht nur zeitlich (anhand eines bestimmten Ereignisses), sondern auch räumlich ist eine Eingrenzung der Analyse notwendig, um den Fokus der Analyse auf einen abgegrenzten Raum mit möglichst hoher Fallzahl legen zu können. Zwar wird durch das ausgewählte Schadensereignis schon eine gewisse regionale Abgrenzung vorgegeben, doch sind diese natürlichen Grenzen nicht trennscharf, was die Zuordnung statischer Kennwerte auf Kommunalebene erschweren würde. Daher ist die Auswahl einer konkreten Fallregion notwendig, die in Kapitel 6.3 erläutert wird. Anschließend gilt es, die ausgewählte Fallregion zu beschreiben und mit wesentlichen Kennwerten zu Bevölkerungs- und Baustruktur sowie einigen Klimadaten in Hinführung auf die empirischen Analysen zu charakterisieren.

6.1 Beschreibung der Datengrundlage

Die für diese Arbeit von der SV AG zur Verfügung gestellte Versicherungs- und Schadensdatenbank umfasst die Daten von insgesamt rund 3,9 Millionen Kunden der Jahre 2010–2015 für alle Objekte, die gegen Sturm- und Hagelschäden sowie gegen Überschwemmungen versichert sind. Zudem wurden auch die registrierten Schadensfälle für den gleichen Zeitraum bereitgestellt. Die Daten wurden als Textdateien zur Verfügung gestellt, die die geocodierten Informationen zu den einzelnen Versicherungsobjekten bzw. Schadensfällen enthalten. Auf dieser Basis konnten die Daten zunächst in das Statistikprogramm SPSS importiert und anschließend in ein für GIS auswertbares Punktshapeformat umgewandelt werden. Insgesamt stehen somit die in Tabelle 6 aufgeführten Fallzahlen für die Auswertung zur Verfügung, die sich über das gesamte deutsche Bundesgebiet, mit räumlichen

Schwerpunkten in Baden-Württemberg (BW), Hessen (HE), Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen (NRW) und Thüringen (TH), verteilen.

Die Bestandsdaten unterliegen jährlichen Schwankungen durch An- und Abmeldungen, sodass in Tabelle 6 lediglich die Minimal- und Maximalwerte des Zeitraums der Jahre 2010–2015 angegeben werden, um die Varianz der Fallzahlen aufzuzeigen. Sowohl hinsichtlich der Sturm- und Hagelschäden, als auch im Hinblick auf die Überschwemmungsschäden lässt sich für den angegebenen Zeitraum ein rückläufiger Trend der Zahl der versicherten Objekte feststellen. Die Gesamtversicherungssumme nach Baukostenindex (BKI) der im Jahr 2015 gegen Sturm- und Hagelschäden versicherten Objekte beträgt rund 1,2 Milliarden € und die der gegen Überschwemmungen versicherten Objekte etwa 912 Milliarden €. Im Zeitraum 2010–2015 wurden in Summe 969 Millionen € an Sturm- und Hagelschäden sowie 291 Millionen € an Überschwemmungsschäden durch die Versicherung reguliert. Sturm und Hagel verursachten im Durchschnitt Schäden in Höhe von 3.011 € je Schadensfall und Überschwemmungen durchschnittlich 5.329 € je Schadensfall. (siehe Anhang D) Eine detailliertere Betrachtung der versicherten Objekte und angefallener Schäden erfolgt bezogen auf die Fallregion in Kapitel 6.4.4.

Tabelle 6: Übersicht über die Fallzahlen der zugrundeliegenden Gebäudeversicherungs- und Schadensdatenbank

| Versicherungs-/Schadens-kategorie nach Elementen | Fallzahlen | Räumliche/zeitliche Schwerpunkte |
|--|--|---|
| Bestandsdaten (versicherte Objekte) | | |
| Sturm- und Hagelschäden | zwischen 2,71 (2015) und 3,14 (2010) Millionen Objekte | 61,2 % in BW; 21,4 % in HE; 3,6 % in TH (jeweils bezogen auf Objektbestand 2015) |
| Überschwemmungsschäden | zwischen 2,05 (2015) und 2,31 (2010) Millionen Objekte | 76,6 % in BW; 10,6 % in HE; je 2,5 % in Bayern und NRW (jeweils bezogen auf Objektbestand 2015) |
| Schadensdaten | | |
| Sturm- und Hagelschäden | 321.833 Fälle (2010–2015) | 83,8 % der Gesamtschadenssumme in BW; 10,7 % in HE; 69,3 % in 2013 |
| Überschwemmungsschäden | 31.837 Fälle (2010–2015) | 66,3 % der Gesamtschadenssumme in BW; 13,8 % in HE; 28,9 % in 2013 und 20,7 % in 2014 |

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: SV AG

Jedem Objekt in der Datenbank (siehe Anhang D) sind zahlreiche Informationen in mehreren Spalten zugeordnet, wobei nicht für jedes Objekt in allen Spalten Informationen zur Verfügung stehen. Neben Informationen zur Verortung des Objekts (Adresse, X-Y-Koordinaten) und

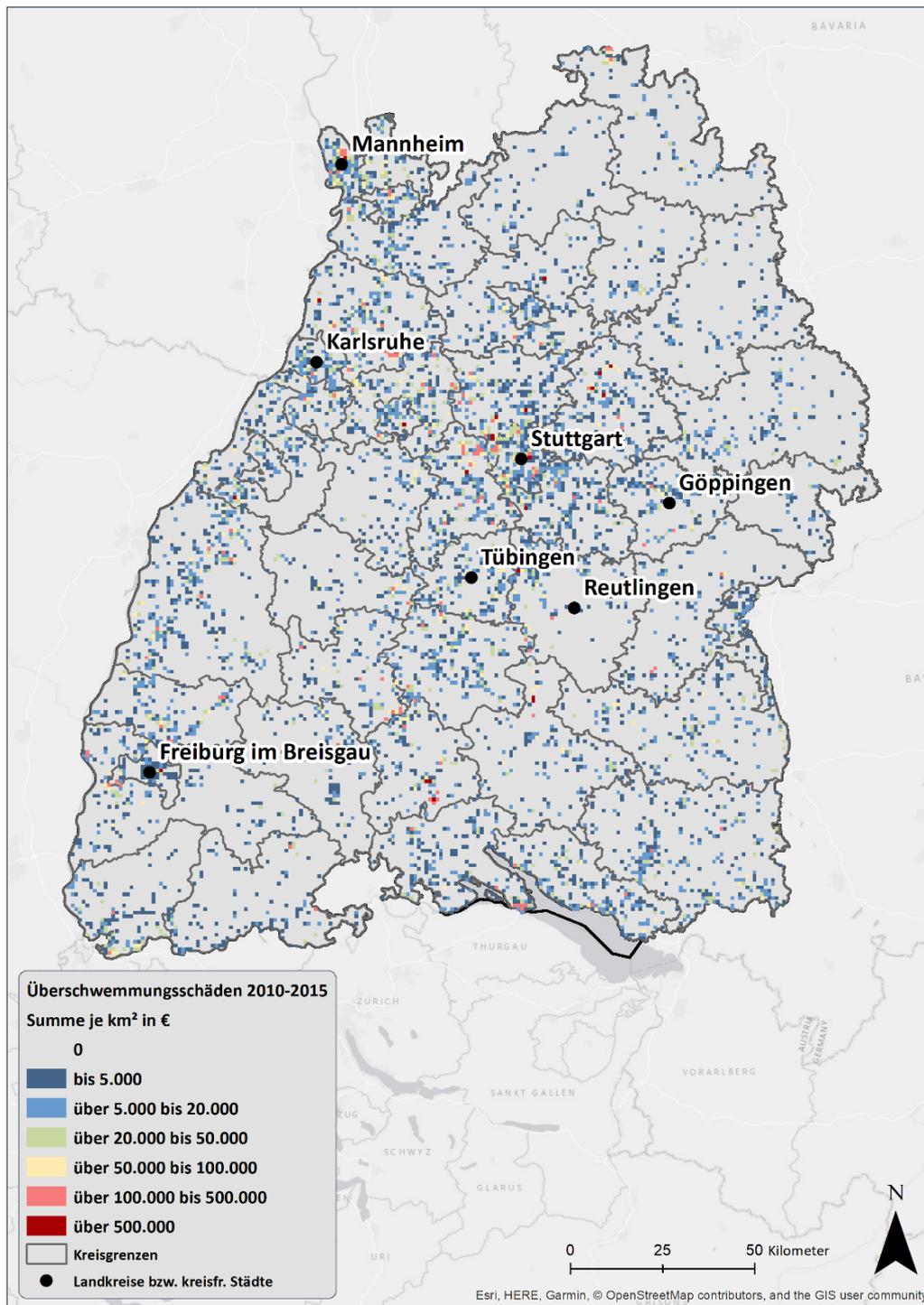
versicherungsspezifischen Daten (Objektnummer, Nummer des Schadensfalls usw.), sind auch Daten zum Objekt sowie Art und Ausmaß des Schadens vorhanden. Insbesondere diese Daten zu den Versicherungsobjekten und den Schadensfällen können für die weiteren Analysen von Relevanz sein. In Anhang D.1 ist eine vollständige Auflistung der Spaltenbezeichnungen sowie der zugehörigen Beschreibungen aufgeführt. Um den Datenschutz und die Anonymität der Versicherungsdaten zu gewährleisten, wurden nach den Analysen aus allen objektspezifischen Datensätzen die Angaben zur Versicherung, zur Adresse und den Koordinaten entfernt. Eine Zuordnung oder genaue Verortung der Versicherungsobjekte bzw. Schadensfälle (siehe Anhang D) ist damit im Nachhinein nicht mehr möglich. Einzig über die den Versicherungsobjekten zugeordneten Kennnummern der BNT-Flächen können die Objektdaten grob räumlich verortet werden. Eine objektscharfe Zuordnung im Raum ist damit aber in keinem Fall möglich.

Zentrale Kennwerte der Versicherungsdaten sind die Versicherungssummen nach gleitendem Neuwertfaktor und nach BKI, die jeweils in € angegeben sind. Der gleitende Neuwertfaktor wird in der deutschen Versicherungswirtschaft ausschließlich zur Berechnung der Prämien eines zu versichernden Gebäudes eingesetzt. Bei der Versicherungssumme nach Gleitendem-Neuwertfaktor handelt es sich also um einen fiktiven Rechenwert, der verwendet wird, um inflationsbedingte Preissteigerungen in der Prämienberechnung auszugleichen. Die eigentliche Versicherungssumme eines Objektes wird anhand des BKI bestimmt. Klassifizierungen der Versicherungsobjekte, wie die Bauart des Gebäudes oder Ausbaustufen von Dach- und Kellergeschossen, werden an dieser Stelle nicht näher erläutert, da die Zellen bei weniger als 20 % der Objekte ausgefüllt sind und somit im Verhältnis zur Gesamtzahl der versicherten Objekte keine statistisch aussagekräftige Auswertung möglich ist.

Da für die empirischen Analysen eine hohe Konzentration an Fallzahlen in einem eingrenz- und handhabbaren Gebiet notwendig sind, wird der Datensatz für die weiteren Analysen vorläufig auf seinen räumlichen Schwerpunkt, der das Bundesland Baden-Württemberg umfasst, beschränkt. In Abbildung 37 sind die für den Zeitraum 2010–2015 aggregierten Schadenssummen je km² für Schäden durch Überschwemmungen dargestellt, um mögliche räumliche Konzentrationspunkte identifizieren zu können.

Die Karte zeigt, dass in weiten Teilen des Bundeslandes keine oder nur geringe Schadenssummen registriert wurden. Lediglich in und um größere Städte, wie Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe oder Freiburg sowie entlang des Oberrheingrabens lassen sich etwas höhere Konzentrationen an Zellen mit höheren Schadenssummen erkennen. Die dort konzentrierten Fallzahlen reichen jedoch für die angestrebte Kleinräumigkeit der Analysen nicht aus.

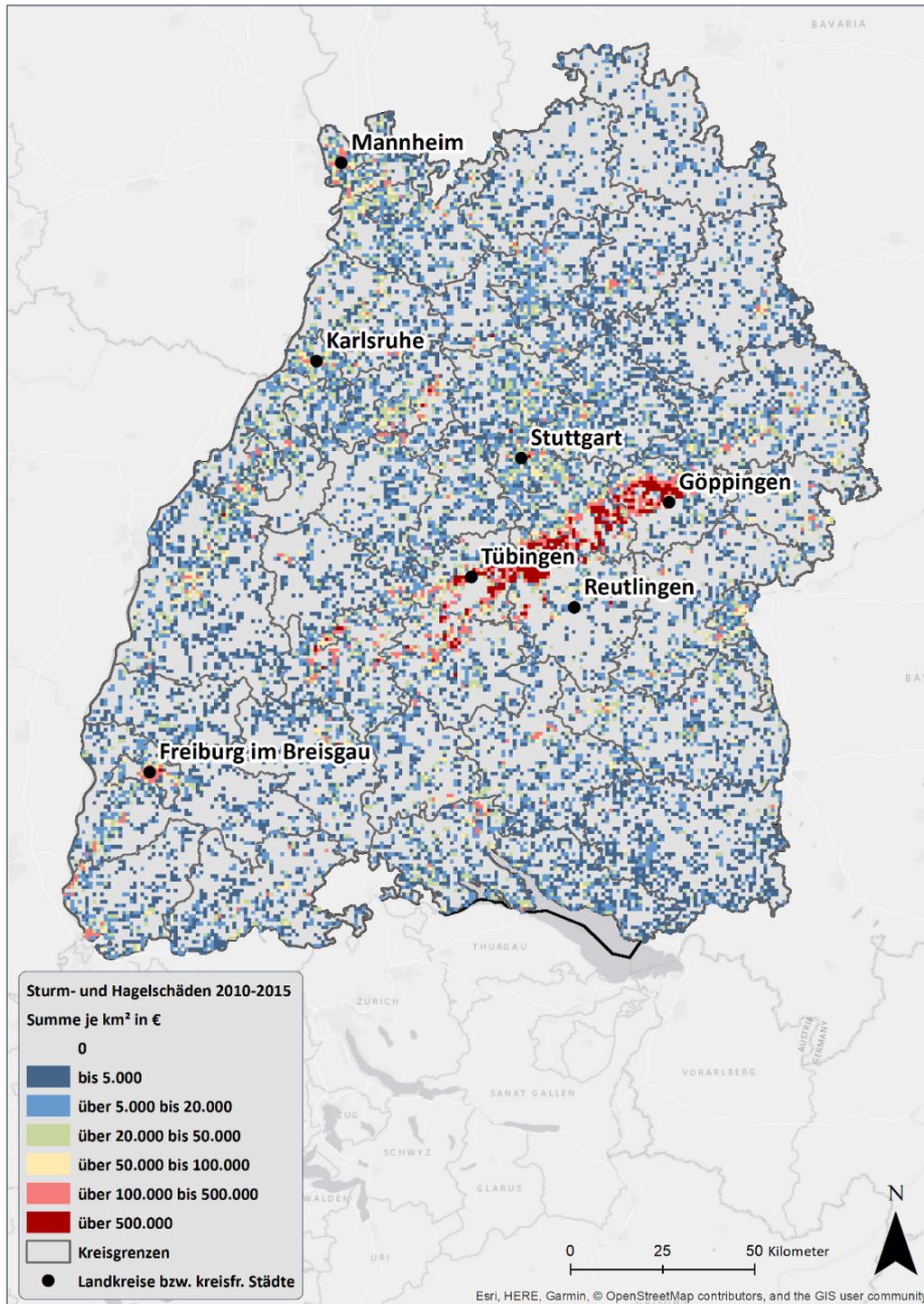
Abbildung 37: Aggregierte Überschwemmungsschäden je km² in Baden-Württemberg (Summe der Jahre 2010–2015)



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Geobasisdaten: Geobasis-DE/BKG 2017; Datengrundlage: SV AG

Anders verhält es sich im Hinblick auf die Analyse der kumulierten Sturm- und Hagelschäden für den Zeitraum 2010–2015, die in Abbildung 38 dargestellt ist. Wengleich weite Teile des Bundeslandes keine oder nur sehr geringfügige Schäden aufweisen, sticht besonders eine Schneise mit Zellen mit sehr hohen Schadenssummen hervor. Diese zieht sich etwa von Tübingen über den Norden des Kreises Reutlingen Richtung Nord-Osten bis nach Göppingen.

Abbildung 38: Aggregierte Sturm- und Hagelschäden je km² in Baden-Württemberg (Summe der Jahre 2010–2015)



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Geobasisdaten: Geobasis-DE/BKG 2017; Datengrundlage: SV AG

Daneben können erneut die größeren Städte sowie ein Band entlang des westlichen Schwarzwaldes hervorgehoben werden, die Konzentrationen mittlerer bis leicht erhöhter Schadenswerte aufweisen. Jedoch reichen diese nicht an die hohe Konzentration und Intensität der Schäden in der Region um Reutlingen heran. Es scheint daher zielführend, die Region Reutlingen als Fallregion für die weiteren empirischen Analysen in Betracht zu ziehen.

Ein detaillierter Blick in die Datenbank der Sturm- und Hagelschäden offenbart, dass knapp 70 % der Schadensfälle im Gesamtzeitraum im Jahr 2013 angefallen sind (siehe auch Tabelle 6). Diese Häufung ist insbesondere auf ein einzelnes Hagelereignis (identifizierbar anhand der eindeutigen Schadensereignisnummer in der Datenbank) zurückzuführen, datiert auf den 28.07.2013.

6.2 Der Hagelsturm von Reutlingen

Nach starken Niederschlägen und Überschwemmungen in Süddeutschland im Juni 2013 war der Juli durch eine langanhaltende und extreme Hitzewelle geprägt. Erst am 27.07.2013 änderte sich die Wetterlage mit dem Tiefdruckgebiet „Andreas“, das aus Frankreich kommend nach Westdeutschland zog und dort vor allem über Nordrhein-Westfalen erste Gewitter und Hagelniederschläge mit sich brachte. In den Nachmittagsstunden des 28.07.2013 spitzte sich die Lage zu, als zwei Hagelzellen vom Südwesten Deutschlands relativ zentral über Baden-Württemberg nach Bayern und von dort weiter in Richtung der Tschechischen Republik zogen. Die intensivsten Hagelniederschläge ergaben sich in der Region um die Stadt Reutlingen, nachdem sich die Gewitterfronten zu zwei sogenannten Superzellen formiert hatten. Besonders stark von den Niederschlägen betroffen war eine etwa 15–20 km breite und rund 120 km lange Schneise, die sich über die Landkreise Tübingen, Reutlingen, Zollernalb, Esslingen, Göppingen und den Ostalbkreis erstreckte. Da die Großstadt Reutlingen im Zentrum dieses Hagelsturms lag, wird er in den Medien und der Literatur meist dieser Stadt zugeordnet und daher auch als „Hagelsturm von Reutlingen“ (Website SWR) bezeichnet. (vgl. Kunz et al. 2018a: 231ff.; Woppowa und Odenhausen 2014)

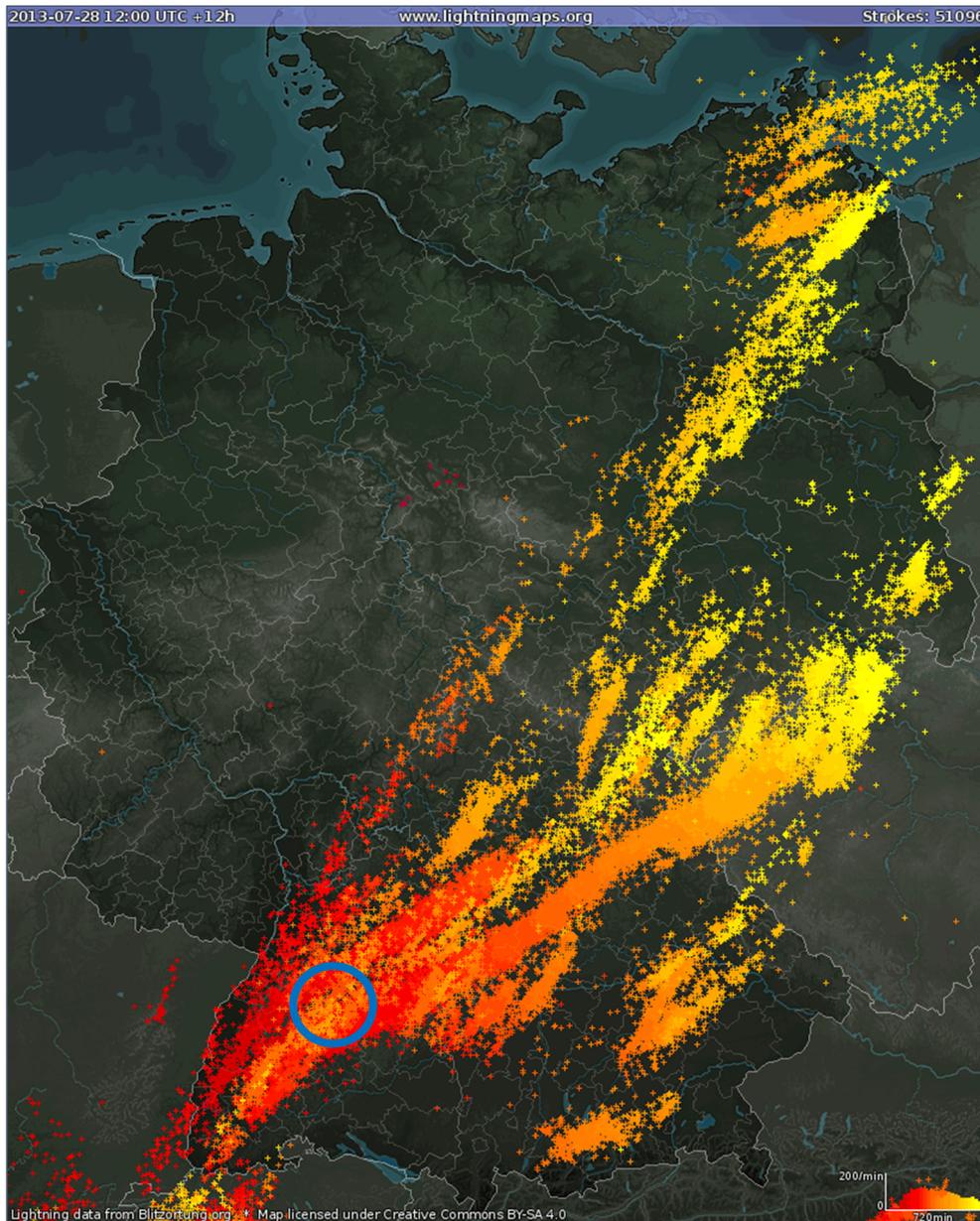
Abbildung 39 zeigt die Zugbahnen der Gewitterzellen am 28.07.2013 anhand der durch Satelliten aufgezeichneten Blitze. Jedes Kreuz steht dabei für einen einzelnen Blitz. Die Intensität des Gewitters und der (Hagel-)Niederschläge kann aus der Konzentration der Blitze abgeleitet werden. Die Farben kennzeichnen den Zeitpunkt des Blitzes, wobei die Aufzeichnung in der Karte um 12 Uhr mittags beginnt (dunkelrot) und zwölf Stunden später endet (hellgelb). Gut zu erkennen sind die Zugbahnen der beiden Gewitterzellen, von denen die nördliche Zelle ab der bayrischen Landesgrenze deutlich an Intensität verliert. Die südliche Zelle weist insbesondere über der Region Reutlingen eine besonders hohe Blitzdichte auf, woraus sich auch auf die Intensität der Hagelniederschläge schließen lässt. Gegen 17 Uhr erreichte das Zentrum der Gewitterzelle die Stadt Reutlingen.

Lokal dauerte das Gewitter zwar nur 15–20 Minuten an, doch die intensiven Niederschläge und in weiten Teilen golfballgroße Hagelkörner mit Ausschlägen bis zu einem Maximaldurchmesser von 10 cm verursachten in dieser Zeitspanne enorme Schäden. Bereits ab einem Hagelkorndurchmesser von 2 cm sind deutliche Schäden an Gebäuden und Fahrzeugen zu erwarten, da durchschnittliche

[242]

Fallgeschwindigkeiten von 70 km/h erreicht werden. Hagelkörner mit 10 cm Durchmesser erreichen dagegen Fallgeschwindigkeiten von bis zu 150 km/h, was in Kombination mit dem höheren Gewicht die Aufprallenergie um den Faktor 500 erhöht. (vgl. Woppowa und Odenhausen 2014) Zwar gab es keine Todesfälle, doch wurden einige Personen im Rahmen des Unwetters verletzt (vgl. Website Reutlingen 2).

Abbildung 39: Gewitterzugbahnen über Deutschland am 28.07.2013 ab 12:00 Uhr



Quelle: Website LightningMaps; eigene Ergänzung, *der blaue Kreis verortet die Region um die Stadt Reutlingen

Durch Sturm, Starkregen und Hagelschlag entstanden vielerorts verheerende Schäden an Gebäuden und Fahrzeugen. So gilt der Hagelsturm von Reutlingen bis heute (Stand: Ende 2019) als schadensträchtigstes Elementarereignis in der Geschichte der deutschen Versicherungswirtschaft (vgl. Website NatCatSERVICE).

6. Datengrundlage und Fallstudie

Die Rückversicherung Munich Re schätzt die Gesamtschäden, die am 28.07.2013 sowie bei den kleineren Vorläufergewittern am Vortag entstanden sind, in ihrer Schadensdatenbank NatCatSERVICE auf 3,6 Milliarden €, wovon rund 2,8 Milliarden € versichert waren. Zwar haben das Elbehochwasser 2002 (ca. 11,6 Milliarden €) und das Junihochwasser 2013 (ca. 10 Milliarden €) jeweils höhere Gesamtschäden verursacht und auch Todesopfer gefordert, jedoch waren diese Überschwemmungen aus Sicht der Versicherungswirtschaft mit jeweils nur rund 1,8 Milliarden € Versicherungsschadenssummen weniger schadensträchtig, als der Hagelsturm von Reutlingen in nur wenigen Stunden. Auch der Wintersturm Kyrill aus dem Jahr 2007 reicht als bis dato zweitgrößtes Versicherungsereignis mit 2,4 Milliarden € Versicherungsschäden (bei 4,2 Milliarden € Gesamtschaden) nicht an den Hagelsturm von Reutlingen heran. Der Hagelsturm war im Jahr 2013 damit auch weltweit das für die Versicherungswirtschaft schadensträchtigste Ereignis. Im Verhältnis dazu waren die international größten Schadensereignisse durch Naturkatastrophen, die in der Datenbank der Munich Re ab 1980 aufgelistet sind, der Tsunami in Japan 2011 (ca. 40 Milliarden US \$ Versicherungsschäden bei 210 Milliarden US \$ Gesamtschaden) sowie Hurricane Katrina, der im Jahr 2005 in der Region um die US-Stadt New Orleans Versicherungsschäden in Höhe von 60,5 Milliarden US \$ bei 125 Milliarden US \$ Gesamtschaden verursachte. (vgl. Website NatCatSERVICE)

Wenngleich der Hagelsturm von Reutlingen im internationalen, historischen Vergleich also nicht an die verheerendsten Extremereignisse heranreicht, so kann doch konstatiert werden, dass die aufgeführten Kennzahlen für den deutschen Raum ein außergewöhnliches Extremereignis indizieren. Zwar kann für ein solches Hagelereignis nicht wie bei Hochwassern anhand der Wasserhöchststände bestimmt werden, ob es sich meteorologisch um ein Ereignis mit 100-jährlicher oder 200-jährlicher Wiederkehrperiode handelt. Gleichwohl weisen die entstandenen Schäden darauf hin, dass es sich um ein Ereignis handelt, das in dieser Intensität bislang nur selten aufgetreten ist. Insofern eignet sich der Hagelsturm von Reutlingen für empirische Analysen zum Thema der urbanen Resilienz vor allem aus drei Gründen:

1. Wie aufgezeigt handelt es sich nicht um ein alltägliches Ereignis oder eine allmähliche Entwicklung, sondern um ein kurzfristiges Extremereignis, das deutlich über die üblichen Wetterschwankungen hinausgeht und somit die städtischen Systeme, baulichen Strukturen und Stadtbewohner vor eine Extremherausforderung stellt. Damit handelt es sich genau um die Art von Herausforderungen, auf die in der urbanen Resilienz ein Fokus gelegt wird, da sie den Bereich des Normalen überschreiten.

2. Das Ereignis ist zeitlich und räumlich gut abgrenzbar. Die intensivsten Hagelniederschläge traten in den Nachmittagsstunden des 28.07.2013 auf und betrafen eine Fläche von etwa 1.800 km². Dies grenzt den weiteren Suchraum für die Fallregion schon aufgrund der natürlichen Rahmenbedingungen dieses Ereignisses weiter ein. Zudem kann aufgrund der meteorologischen Eigenschaften des Ereignisses mit zwei Superzellen die These aufgestellt werden, dass die Hagelintensität in der gesamten Region zumindest vergleichbar, wenn auch nicht an allen Orten identisch war. Bei Gewitterfronten, die aus Multizellen bestehen, fällt die Niederschlagsintensität in der Regel räumlich deutlich heterogener aus als bei einer Superzelle.
3. Das Extremereignis hat in dem Bundesland stattgefunden, für das in der Gebäudeversicherungsdatenbank mit Abstand die meisten Objekte erfasst sind. Daher ist davon auszugehen, dass auch für kleinräumige Analysen ausreichend hohe Fallzahlen an versicherten Objekten und Schadensfällen vorliegen.

6.3 Auswahl der Fallregion

Nachdem der Hagelsturm von Reutlingen als zu untersuchendes Ereignis ausgewählt wurde, stellt sich die Frage nach der konkreten Abgrenzung der Untersuchungsregion. Die Zugbahnen der Gewitterzellen (siehe Abbildung 39) haben keine eindeutigen Grenzen, die eine flächenscharfe Abgrenzung zulassen. Zudem wäre auch die geschätzte Gesamtfläche von rund 1.800 km² zu umfangreich für die angestrebte kleinräumige Auswertung der Schadensdaten, die unter anderem auf einer manuellen Luftbildanalyse der Baustrukturen beruht.

Da in den weiteren Analyseschritten die Verwendung von frei verfügbaren Daten auf Kommunal- oder Kreisebene vorgesehen ist, wird angestrebt die Abgrenzung anhand der administrativen, kommunalen Grenzen vorzunehmen. In Anbetracht der verfügbaren Datengrundlage in Form der Versicherungsdatenbank bietet es sich an, die Fallstudienregion auf Basis der in dieser Datenbank vorhandenen Daten abzugrenzen, um sicherzustellen, dass hohe Fallzahlen erreicht werden. Zudem sollte die Fallregion im Hinblick auf die siedlungsstrukturtypenbezogenen Analyseschritte eine möglichst heterogene Siedlungsstruktur bieten, die alle in der Literatur identifizierten Siedlungsstrukturtypen (siehe Kapitel 7) abdeckt.

Die Abgrenzung der Region allein anhand der Bestandsdaten der versicherten Objekte scheint wenig zielführend, da ein solches Vorgehen die Schadensfälle nicht berücksichtigen würde. Im Hinblick auf Vulnerabilität und Resilienz von Baustrukturen ist aber gerade die Einbeziehung der Schadensfälle von Bedeutung. So wäre es naheliegend, eine einfache Abgrenzung anhand der Fallzahlen oder kumulierten Schadenssummen je Kommune vorzunehmen. Doch würde ein solcher Ansatz einen

starken Bias zur Folge haben, da größere Kommunen aufgrund der größeren Fläche und der höheren Einwohnerzahl mehr Gebäude aufweisen, die potenziell versichert sein und entsprechend Schaden erleiden können. Auch muss beachtet werden, dass der Anteil der in der Bestandsdatenbank enthaltenen Objekte im Verhältnis zu allen Gebäuden in einer Kommune sehr unterschiedlich ausfallen und es somit zu weiteren Verzerrungen kommen kann. Der Autor hat daher zwei Indikatoren zur Abgrenzung ausgewählt, die die Betroffenheit einer Kommune vom Hagelsturm darstellen, aber weitgehend unabhängig von der Größe der Kommune oder dem Anteil der versicherten Gebäude¹⁶ sind. Der *Betroffenheitsgrad* gibt an, für wie viel Prozent der in einer Gemeinde zum 31.12.2012 (letztes verfügbares Datum vor dem Hagelsturm) gegen Sturm- und Hagelschäden versicherten Objekte durch den Hagelsturm von Reutlingen (identifiziert anhand der eindeutigen Schadensereignisnummer) ein Schaden entstanden ist, der der Versicherung gemeldet wurde. Dabei ist dieser Indikator unabhängig von der Schadenshöhe, da er statistisch widerspiegelt, wie umfassend eine Kommune vom Hagelsturm betroffen war. Dem Indikator liegt die Annahme zugrunde, dass die versicherten Objekte annähernd flächendeckend über die gesamten Siedlungsflächen einer Kommune verteilt sind. Zwar weisen höher verdichtete Siedlungsbereiche in der Regel auch eine höhere Konzentration an Versicherungsobjekten auf, doch zeigen die Daten, dass in den Kommunen der Region generell in allen Siedlungsbereichen zumindest vereinzelte Versicherungsobjekte vorhanden sind. Ein Indikatorwert um 100 % würde aussagen, dass eine Kommune – in Bezug auf die in der Datenbank erfassten Objekte – nahezu flächendeckend vom Hagelsturm betroffen war. Ein niedriger Indikatorwert zeigt an, dass einige Siedlungsbereiche einer Kommune nicht vom Hagelsturm betroffen waren oder die Intensität so gering war, dass keine Schäden entstanden sind.

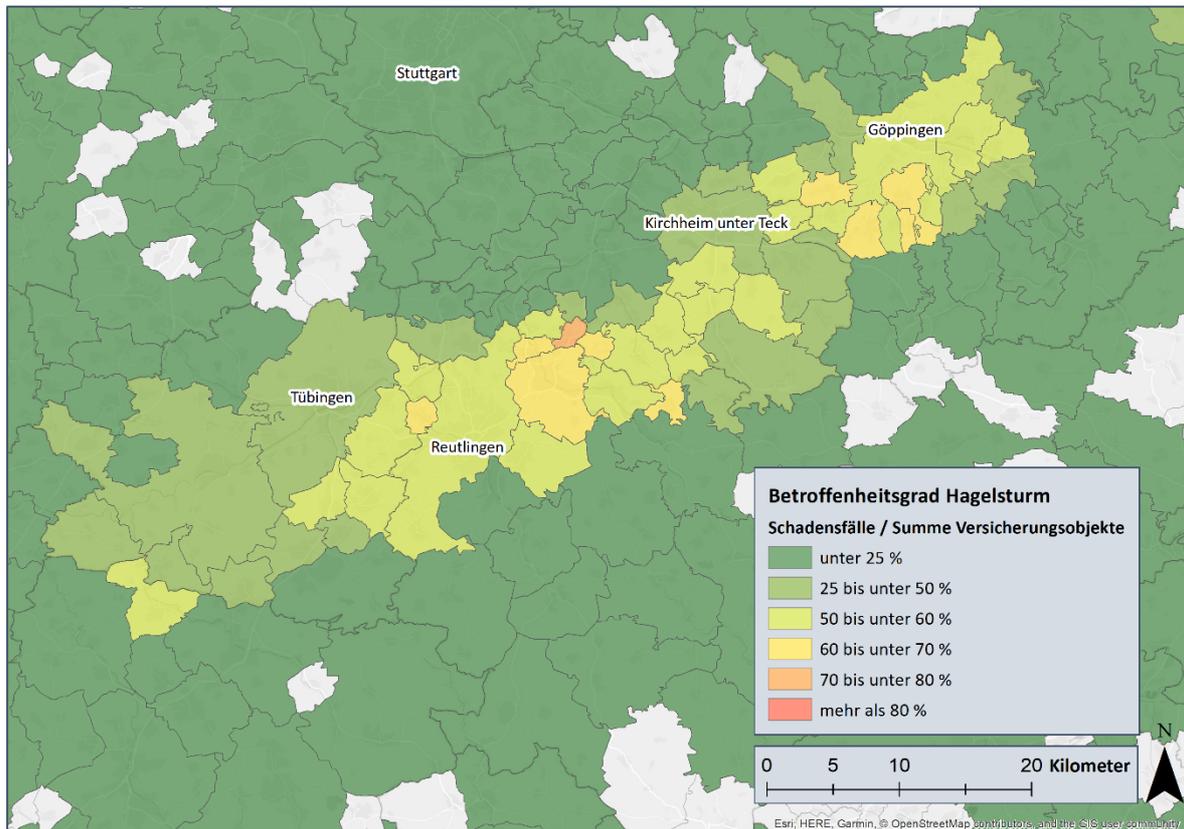
Abbildung 40 zeigt den Betroffenheitsgrad der Kommunen für einen Ausschnitt der Region um die Stadt Reutlingen. Diese Region war gemäß der Literaturquellen am stärksten vom Hagelsturmereignis am 28.07.2013 betroffen (vgl. Kunz et al. 2018a; Woppowa und Odenhausen 2014). Zu erkennen ist, in weitgehender Übereinstimmung mit den Literaturangaben, ein zwischen 15 und 20 km breites und rund 85 km langes Band an Gemeinden, die allesamt einen höheren Betroffenheitsgrad aufweisen, als die umliegenden Kommunen.

Einige Kommunen weisen hohe Betroffenheitsgrade (gelb) auf, darunter Metzingen, Riederich, Bempflingen oder Wannweil. Einen sehr hohen Betroffenheitsgrad (orange) erreicht Grafenberg. Da

¹⁶ Sofern nicht explizit anders dargestellt werden im weiteren Verlauf der Arbeit unter den *versicherten Gebäuden/Objekten* diejenigen Objekte verstanden, die in der vorliegenden Datenbank vorhanden sind. Über Objekte, die bei anderen Gebäudeversicherern versichert sind, liegen keine Informationen vor und sie werden daher von der Betrachtung ausgeschlossen.

die Kommunen mit erhöhten Betroffenheitsgraden direkt aneinander angrenzen und räumlich gut von den weniger stark betroffenen Kommunen abzugrenzen sind, eignet sich der Indikator gut als erster Schritt zur Abgrenzung der Fallregion. Daher werden alle Kommunen, deren Betroffenheitsgrad unter 25 % liegt sowie die Kommunen, die nicht an das in Abbildung 40 identifizierbare Band aus Kommunen mit hoher Betroffenheit angrenzen, von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Abbildung 40: Betroffenheitsgrade der Kommunen in der Region Reutlingen bezogen auf den Hagelsturm von Reutlingen



Quelle: eigene Darstellung; Geobasisdaten: Geobasis-DE/BKG 2017; Datengrundlage: SV AG

Da die so abgegrenzte Region zwar anhand der administrativen Grenzen flächenscharf definierbar, aber weiterhin für die angestrebten Analysen im Hinblick auf den Erhebungsaufwand zu großflächig ist, ist eine weitere Eingrenzung notwendig. Hierzu wird die anzunehmende Intensität der Hagelniederschläge herangezogen. Diese kann anhand von meteorologischen Kenndaten, wie beispielsweise der Niederschlagsmenge, ermittelt werden. Allerdings werden derartige Wetterparameter lokal punktuell an verschiedenen Wetterstationen gemessen, woraus sich Fehleinschätzungen aufgrund kleinräumiger Abweichungen in der Intensität des Ereignisses oder örtlicher Besonderheiten ergeben können. Daher wird zur Abschätzung der Hagelintensität in den Kommunen als zweiter Indikator der *Schadensquotient* ermittelt. Der Schadensquotient wird berechnet aus den für jede Kommune aufaddierten Schadenssummen dividiert durch die aufaddierten Versicherungssummen nach

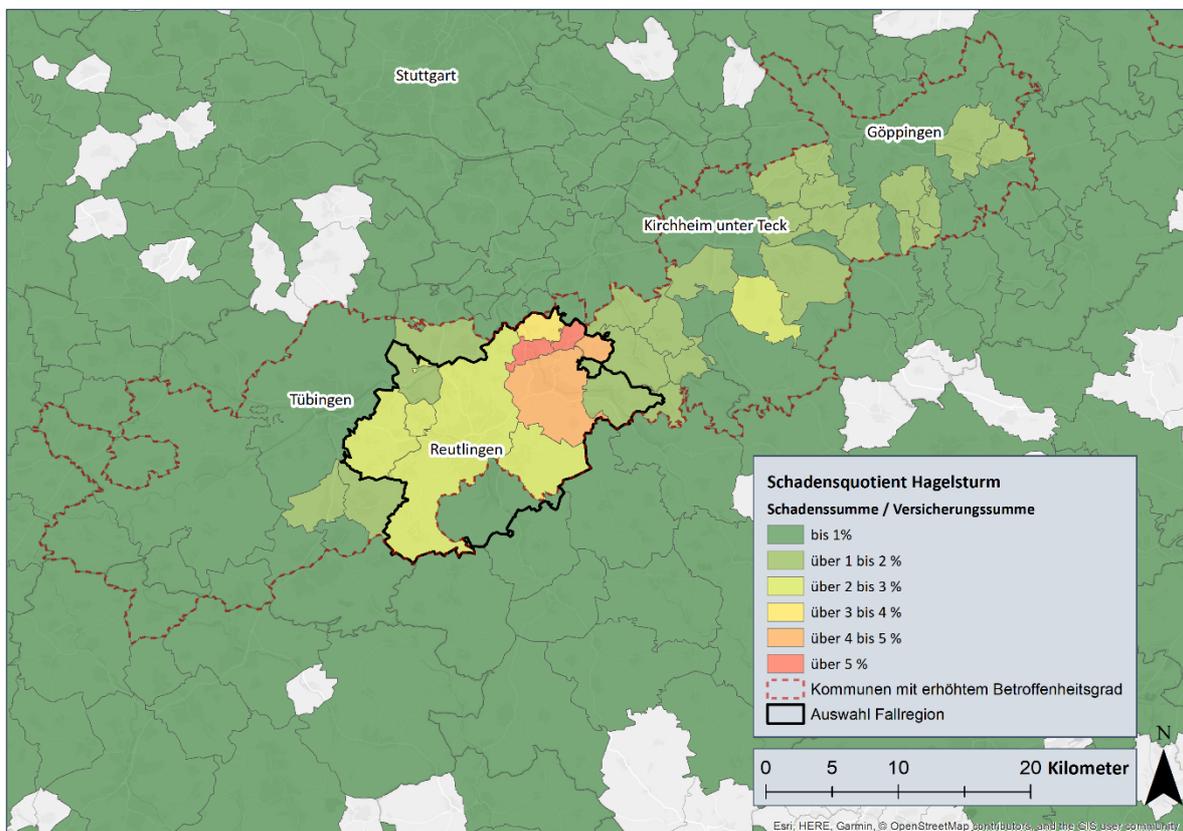
6. Datengrundlage und Fallstudie

BKI. Aus dem Dezimalwert lässt sich ablesen, wie hoch der Prozentsatz der durch den Hagelsturm von Reutlingen verursachten Schäden an der gesamten Versicherungssumme der versicherten Gebäude in einer Kommune ist. Der Indikatorwert ist weitgehend unabhängig von der Größe der Kommune und der Anzahl der versicherten Objekte, wenn eine statistisch valide Mindestfallzahl vorausgesetzt wird.

Im Vergleich der Indikatorwerte unterschiedlicher Kommunen lässt sich darauf schließen, in welchen Kommunen der Hagelsturm besonders intensiv war, da dort entsprechend hohe Schadensquotienten anzunehmen sind. Dem Indikator liegt die Annahme zugrunde, dass die Schadensanfälligkeit der Gebäude räumlich nahezu gleichverteilt ist.

Im Ergebnis weisen die nach der ersten Eingrenzung aufgrund der Betroffenheit (siehe Abbildung 40) verbleibenden Kommunen geringe Schadensquotienten im durchschnittlich niedrigen einstelligen Prozentbereich auf. Der Vergleich der Kommunen untereinander ergibt, dass zusammenhängend lediglich die Kommunen Kusterdingen, Wannweil, Reutlingen, Bempflingen, Riederich, Grafenberg, Kohlberg, Metzingen und Eningen unter Achalm Schadensquotienten über 2 % und damit geringfügig höhere Indikatorwerte aufweisen, als die übrigen Kommunen (siehe Abbildung 41).

Abbildung 41: Schadensquotienten der Kommunen in der Region Reutlingen bezogen auf den Hagelsturm von Reutlingen



Quelle: eigene Darstellung; Geobasisdaten: Geobasis-DE/BKG 2017; Datengrundlage: SV AG

Etwas weiter östlich weist auch die Gemeinde Bissingen an der Teck einen geringfügig höheren Schadensquotienten auf. Insgesamt weisen die Ergebnisse für diesen Indikator allerdings nur marginale Unterschiede zwischen den Kommunen der Region auf, die kaum aussagekräftig für die Abgrenzung der Fallregion sind. Ergänzend wird daher noch ein weiterer Aspekt in die Abgrenzung der Fallregion einbezogen.

Beide Indikatoren – Betroffenheitsgrad und Schadensquotient – sind auf der aggregierten Ebene der Kommunen nur als statistische Annäherung zu verstehen, wie flächendeckend und wie intensiv eine Kommune vom Hagelsturm von Reutlingen betroffen war. Eine weitere Anforderung an die Auswahl der Kommunen der Fallregion ist die siedlungsstrukturelle Heterogenität. Diese lässt sich auf Basis der vorliegenden Daten allerdings nicht statistisch bestimmen. Ergänzt werden die quantitativen Analysen daher um die qualitative Einschätzung der Luftbilder durch den Autor im Hinblick auf die angestrebte Heterogenität der Siedlungsstruktur. Unter der Prämisse in der Fallregion möglichst hohe Fallzahlen für alle BNT zu erreichen, werden die neun zunächst identifizierten Kommunen um die Gemeinden Dettingen an der Erms, Pfullingen und Kirchentellinsfurt ergänzt, sodass sich eine Fallregion aus zwölf aneinander angrenzenden Kommunen ergibt (siehe schwarze Umrandung in Abbildung 41).

6.4 Beschreibung der Fallregion Reutlingen

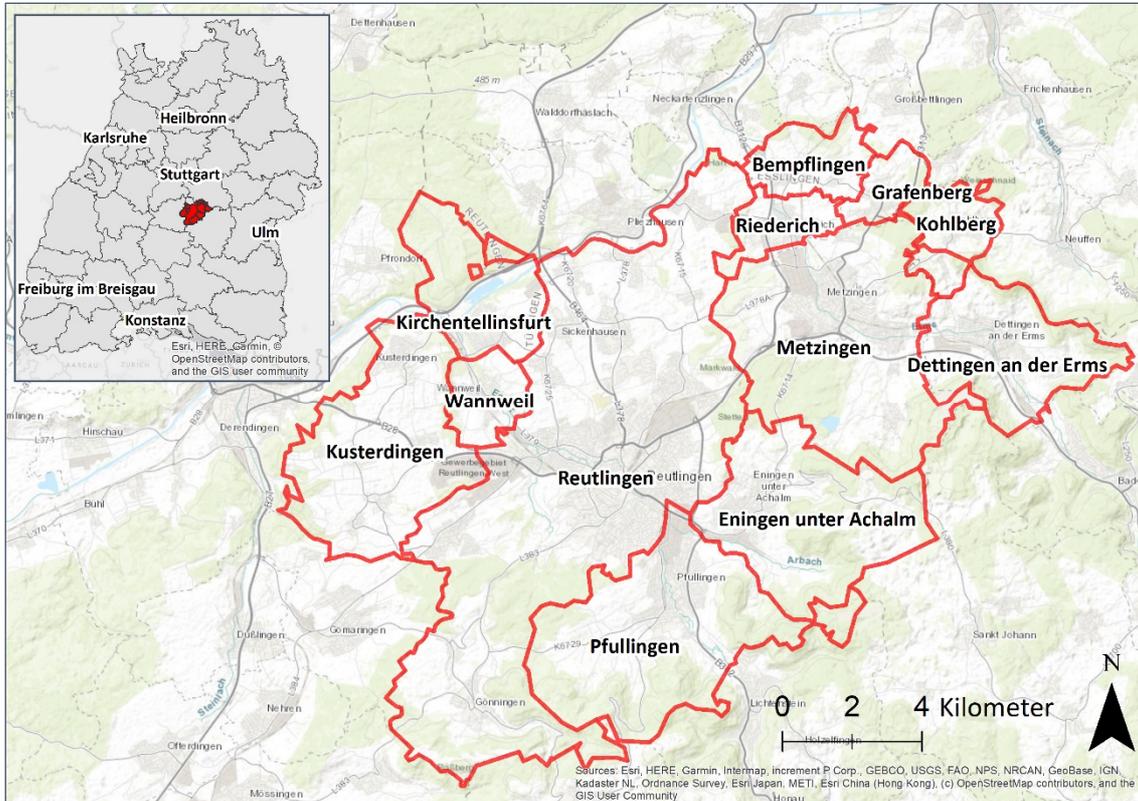
Die Fallregion aus zwölf Kommunen befindet sich im Bundesland Baden-Württemberg rund 30 km südlich der Landeshauptstadt Stuttgart. Sie erstreckt sich auf einer Fläche von rund 250 km² über etwa 24 km in Ost-West-Ausdehnung und knapp 19 km in Nord-Süd-Ausdehnung. Alle Kommunen der Fallregion sind kreisangehörige Kommunen, die zu den drei Landkreisen (LK) Reutlingen (Dettingen an der Erms, Eningen unter Achalm, Grafenberg, Metzingen, Pfullingen, Reutlingen, Riederich, Wannweil), Esslingen (Bempflingen, Kohlberg) und Tübingen (Kirchentellinsfurt, Kusterdingen) gehören. Allerdings liegt kein Landkreis vollständig in der Fallregion. Die Groß- und Kreisstadt Reutlingen erfüllt oberzentrale Funktionen in der Region. Die Nähe zur Landeshauptstadt Stuttgart wirkt sich positiv auf die verkehrliche Anbindung, die Versorgungsangebote und die wirtschaftlichen Verflechtungen aus.

Die Kreisstadt Reutlingen nimmt knapp 35 % der Gesamtfläche der Fallregion ein (siehe Die verbleibenden Kommunen weisen jeweils Flächenanteile von unter 5 % an der Gesamtfläche der Fallregion auf. Sie prägen die Fallregion im Hinblick auf die Flächenanteile nicht wesentlich.

6. Datengrundlage und Fallstudie

Abbildung 43). Zusammen mit Metzingen (13,8 %) und Pfullingen (12,1 %) entfallen etwa 60 % der Fläche der Fallregion auf die drei Städte. Die restliche Fläche entfällt überwiegend auf die drei Kommunen Eningen unter Achalm, Kusterdingen und Dettingen an der Erms.

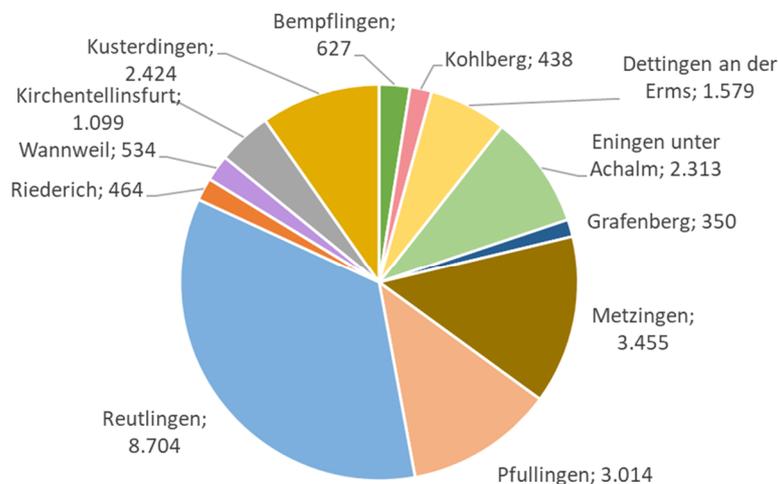
Abbildung 42: Lage und Kommunen der Fallregion Reutlingen



Quelle: eigene Darstellung; Geobasisdaten: Geobasis-DE/BKG 2017;

Die verbleibenden Kommunen weisen jeweils Flächenanteile von unter 5 % an der Gesamtfläche der Fallregion auf. Sie prägen die Fallregion im Hinblick auf die Flächenanteile nicht wesentlich.

Abbildung 43: Gesamte Bodenflächen der Kommunen der Fallregion in ha (Stand: 2016)



Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Website Regionalstatistik 2

Im Folgenden soll die Fallregion Reutlingen anhand einiger Kenndaten in ihren Grundzügen charakterisiert werden. Dazu gehört zunächst eine Darstellung der demografischen Struktur anhand einiger Kennwerte (Bevölkerungszahl und -entwicklung, Altersstruktur). Die Themen der weiteren Unterkapitel wurden als Grundlage für die empirischen Arbeiten ausgewählt: Mithilfe von Klimadaten sollen die Ereignisse des Hagelsturms von Reutlingen besser in die klimatischen Charakteristiken der Region eingeordnet werden. Die Beschreibung der Siedlungsstruktur und des Wohngebäudebestands dient als Grundlage zur späteren Analyse der BNT bzw. zur Einordnung der Daten aus der Gebäudeversicherungsdatenbank. Abschließend erfolgt eine detailliertere Auswertung der Gebäudeversicherungs- und der Schadensdatenbank für die Kommunen der Fallregion.

6.4.1 Demografische Merkmale

Um die Fallregion im Hinblick auf ihre Bevölkerungsstruktur einzuordnen, werden zunächst die Einwohnerzahlen der Region sowie der einzelnen Kommunen für den Stand 31.12.2016 sowie für den Zensus 2011 (09.05.2011) in Tabelle 7 aufgeführt. Der Vergleich der Bevölkerungszahlen der Kommunen lässt eine erste Gewichtung der Kommunen im Hinblick auf ihren Einfluss auf die späteren Ergebnisse für die Gesamtregion zu. Der zeitliche Vergleich der Jahre 2011 und 2016 zeigt einerseits die Bevölkerungsentwicklung der letzten fünf Jahre bis zum aktuellsten frei verfügbaren Datum auf. Dabei wurden die Zensusdaten als Vergleichswert herangezogen, da sie um die Fehler der Bevölkerungsfortschreibung bereinigt sind und somit als realitätsnaher Ausgangswert betrachtet werden können. Würden frühere Werte der Bevölkerungsfortschreibung als Basiswert verwendet werden, bestünde die Gefahr, dass aufgrund von *Sprüngen* der Bevölkerungszahlen im Zuge der Anpassung an die Zensusdaten Fehlschlüsse im Hinblick auf die Bevölkerungsentwicklung abgeleitet würden. Andererseits sind die Zensusdaten auch Grundlage der kleinräumigen Bevölkerungsverteilung innerhalb der Kommunen im späteren Verlauf der Arbeit (siehe Kapitel 9.2.1). Der Bevölkerungsstand zu Ende 2016 wird verwendet, da er zum Zeitpunkt der empirischen Analysen dieser Arbeit der aktuellste Bevölkerungsstand ist, der eine Differenzierung nach Altersjahren ermöglicht, die im Bevölkerungsmodell (siehe Kapitel 9.2.1) verwendet werden.

Wie Tabelle 7 zu entnehmen ist, umfasst die Fallregion eine Bevölkerung von rund 200.000 Einwohnerinnen und Einwohnern, wobei die Bevölkerungszahl zwischen dem Zensus 2011 und Ende 2016 um 4,57 % anstieg. Das entspricht nahezu der Bevölkerungsentwicklung im gesamten Bundesland, die im selben Zeitraum einen Anstieg um 4,44 % auf rund 10,95 Millionen Menschen verzeichnete. Die Fallregion wird im Hinblick auf die Bevölkerungszahl von der Kreisstadt Reutlingen dominiert, auf die über 55 % der Gesamtbevölkerung der Region entfallen. Allerdings konnten Eningen unter

Achalm und Kusterdingen im angeführten Zeitraum ein stärkeres relatives Bevölkerungswachstum als die Großstadt verzeichnen. Das Geschlechterverhältnis ist in der Fallregion bei einem Frauenanteil von 50,6 % nahezu ausgeglichen.

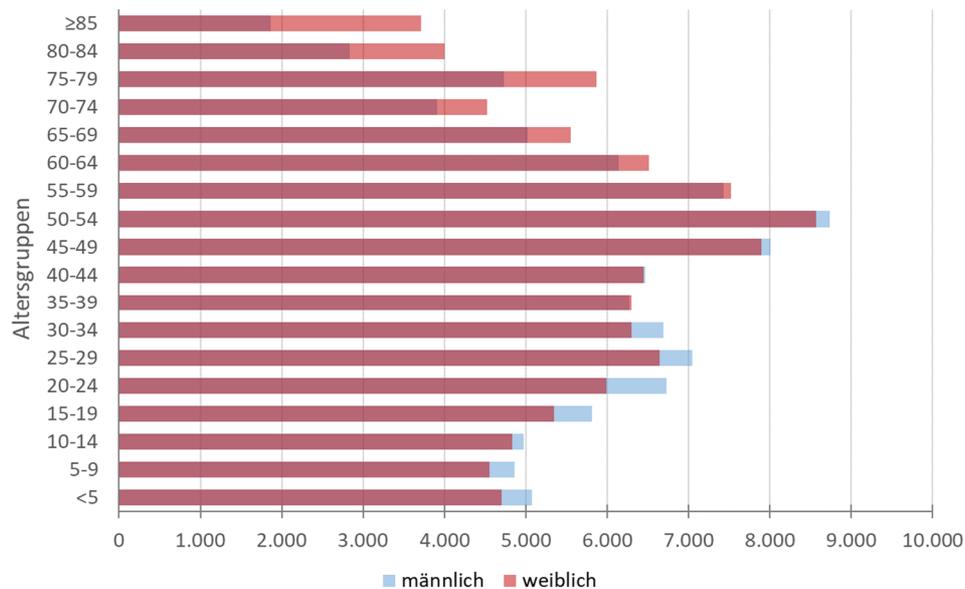
Tabelle 7: Bevölkerungsstand und -entwicklung in der Fallregion Reutlingen

| Kommune | Bevölkerungsstand Zensus 2011 | Entwicklung der Bevölkerung (2011–2016) | Bevölkerungsstand (31.12.2016) | Bevölkerungsanteil an Fallregion (2016) |
|------------------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Bempflingen | 3.390 | + 2,75 % | 3.483 | 1,68 % |
| Kohlberg | 2.286 | + 1,49 % | 2.320 | 1,12 % |
| Dettingen an der Erms | 9.135 | + 4,05 % | 9.505 | 4,57 % |
| Eningen unter Achalm | 10.552 | + 6,16 % | 11.202 | 5,39 % |
| Grafenberg | 2.614 | + 0,27 % | 2.621 | 1,26 % |
| Metzingen, Stadt | 20.795 | + 4,45 % | 21.721 | 10,45 % |
| Pfullingen, Stadt | 17.384 | + 4,99 % | 18.251 | 8,78 % |
| Reutlingen, Stadt | 109.799 | + 4,74 % | 115.006 | 55,31 % |
| Riederich | 4.190 | + 3,70 % | 4.345 | 2,09 % |
| Wannweil | 5.089 | + 3,83 % | 5.284 | 2,54 % |
| Kirchentellinsfurt | 5.510 | + 1,13 % | 5.572 | 2,68 % |
| Kusterdingen | 8.091 | + 6,33 % | 8.603 | 4,14 % |
| Fallregion Reutlingen | 198.835 | + 4,57 % | 207.913 | - |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Website Regionalstatistik 3 & 4

In Abbildung 44 ist die Bevölkerungsstruktur der Fallregion nach Altersgruppen und Geschlecht differenziert aufgeführt. Durch die transparent überlagerten Balken lässt sich für jede Altersgruppe erkennen, ob sie einen Überhang an Männern (blau überstehender Balken) oder einen Überhang an Frauen (rot überstehender Balken) aufweist.

Zu erkennen ist, dass in den jüngeren Altersgruppen bis zu einem Alter von 34 Jahren in allen Altersgruppen mehr Männer als Frauen vorhanden sind. Ab einem Alter von 60 Jahren kehrt sich dieses Verhältnis um und ist vor allem ab 75 Jahren sehr deutlich zu Gunsten der Frauen ausgeprägt. Mit einem Durchschnittsalter von 43,5 Jahren liegt die Fallregion geringfügig über dem baden-württembergischen Durchschnitt von 43,3 Jahren, wobei vor allem Bempflingen mit 44,6 Jahren und Eningen unterm Achalm mit 44,3 Jahren deutlich über dem landesweiten Altersschnitt liegen und Kusterdingen mit 41,9 Jahren deutlich darunter (Stand: 31.12.2016). (vgl. Website Regionalstatistik 5)

Abbildung 44: Bevölkerung der Fallregion Reutlingen nach Altersgruppen und Geschlecht (2016)

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: Website Regionalstatistik 4

6.4.2 Klimadaten

Die Klimadaten der Fallregion wurden dem Online-Portal des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (vgl. Website KlimafolgenOnline) entnommen, das für Deutschland auf Kreisebene Beobachtungsdaten für den Zeitraum 1901 bis 2010 enthält und diese als mittlere Dekadenwerte ausgibt. Zudem sind in dem Portal auch Klimaprojektionen bis zum Jahr 2100 in den zwei Szenarien RCP 2.6 und RCP 8.5¹⁷ hinterlegt. In Tabelle 8 sind Kennwerte und Klimakenntage, die das durchschnittliche Klima in der Fallregion charakterisieren, der drei Landkreise der Fallregion für die Dekade 2001 bis 2010 aufgeführt. Für einen ersten Überblick über die Klimadaten sind an dieser Stelle lediglich die Jahressummen bzw. Jahresdurchschnittswerte dargestellt.

Die drei Landkreise weisen recht deutliche Unterschiede der Kennwerte auf, was angesichts der Tatsache, dass die Kreise aneinander angrenzen, überrascht. Vor allem die deutlich niedrigeren Temperaturen und dementsprechend abweichende, temperaturbezogene Kenntage im LK Reutlingen stechen heraus. Alle Kreise haben gemein, dass sie ein humides Klima aufweisen. Auch Starkniederschläge sind mit durchschnittlich zwischen 20,8 und 28,5 Tagen pro Jahr keine Seltenheit. Eine Studie von KUNZ ET AL. zeigt, dass die Fallregion in einer Region liegt, die neben einer weiteren Region im Taunus nördlich von Frankfurt, die meisten Tage mit Hagelniederschlägen im gesamten Bundesgebiet aufweist. Zwischen 2005 und 2017 wurden in der Fallregion insgesamt zwischen 20 und 30, örtlich sogar bis zu 40 Hageltage registriert. (vgl. Kunz et al. 2018a: 239)

¹⁷ Zur Erläuterung der international standardisierten RCP-Klimaszenarien siehe Kapitel 3.1.1

Die abrufbaren Klimaprojektionen zeigen im Vergleich der Dekade 2091 bis 2100 mit der Basisdekade 2001 bis 2010 im RCP 2.6-Szenario kaum Veränderungen der Mitteltemperaturen. Im RCP 8.5-Szenario steigt die mittlere Tagestemperatur dagegen um 4,0–4,5 °C an. Beide Szenarien projizieren rückläufige Jahresniederschlagssummen, zwischen -50 mm und -100 mm (RCP 2.6) bzw. einem Rückgang deutlich über 100 mm (RCP 8.5). In Teilen der Region geht damit auch die Zahl der Tage mit Starkniederschlägen um bis zu 5 Tage zurück (nur RCP 8.5-Szenario).

Tabelle 8: Klimakennwerte der Landkreise der Fallregion für die Dekade 2001–2010

| Kennwert / Kenntag | LK Reutlingen | LK Esslingen | LK Tübingen |
|--|---------------|--------------|-------------|
| Mitteltemperatur | 7,7 °C | 10,5 °C | 10,2 °C |
| Minimaltemperatur ¹⁸ | 3,3 °C | 6,3 °C | 5,5 °C |
| Maximaltemperatur | 12,3 °C | 15,1 °C | 15,3 °C |
| Niederschlag | 950,1 mm | 771,3 mm | 859,2 mm |
| Sommertage | 28,7 | 51,3 | 44,9 |
| Heiße Tage | 3,5 | 10,9 | 8,9 |
| Andauer Tage ohne Niederschlag ¹⁹ | 14,9 | 15,6 | 14,8 |
| Frosttage ²⁰ | 119,9 | 72,9 | 98,2 |
| Tage mit Starkniederschlag ²¹ | 28,5 | 20,8 | 23,8 |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Website KlimafolgenOnline

Dagegen steigt im Extremszenario die Zahl der jährlichen Sommertage (mehr als +32 Tage) sowie der heißen Tage (ca. +8 bis +16 Tage) deutlich an. Das hat zur Folge, dass im RCP 2.6-Szenario noch ein humides Klima mit geringfügig positiver klimatischer Wasserbilanz gewahrt wird, im RCP 8.5-Szenario aber ein semiarides Klima mit insgesamt negativer Wasserbilanz zu erwarten ist. (vgl. Website KlimafolgenOnline)

6.4.3 Flächennutzung und Wohngebäudebestand

Einen vergleichbaren und aussagekräftigen ersten Eindruck über die Siedlungsstrukturen in den Kommunen der Fallregion, wenn auch nicht in ihrer Dreidimensionalität, liefert die Statistik der Flächennutzung.

In Abbildung 45 sind die Bodenflächenanteile in den Kommunen der Fallregion nach den Arten der Nutzung dargestellt. Zur besseren Ablesbarkeit des Diagramms wurden Flächennutzungsarten mit

¹⁸ Durchschnitt des niedrigsten Temperaturwertes im Tagesverlauf (analog dazu: Maximaltemperatur)

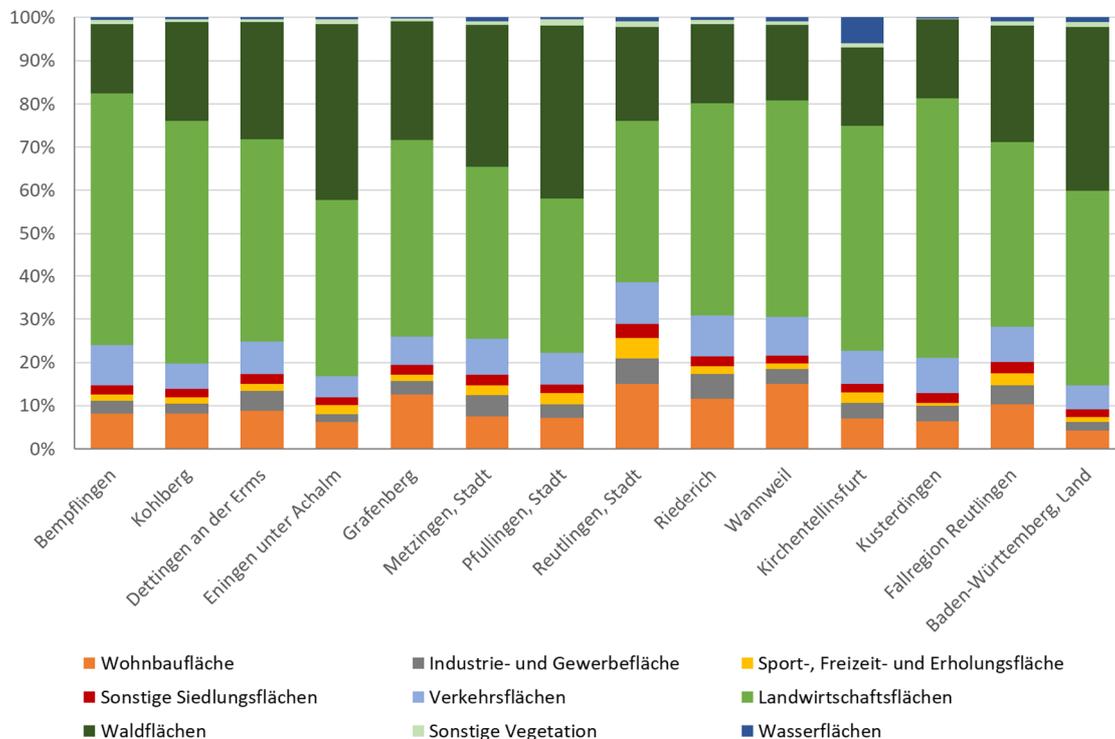
¹⁹ Längste Periode aufeinanderfolgender Tage ohne Niederschlag

²⁰ Tage mit einem Temperaturminimum unter 0 °C (Gefrierpunkt)

²¹ Tage mit Niederschlagstagesummen von mindestens 10 mm

sehr geringen Flächenanteilen unter den Kategorien „Sonstige Siedlungsflächen“ (Halden, Bergbaubetriebe, Flächen gemischter Nutzung, Flächen besonderer funktionaler Prägung, Friedhöfe) bzw. „Sonstige Vegetation“ (Gehölz, Heide, Moor, Sumpf) zusammengefasst.

Abbildung 45: Bodenflächenanteile nach Art der Nutzung in der Fallregion Reutlingen 2016



Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Website Regionalstatistik 6

Die Balken zeigen, dass die Siedlungsflächenanteile in den Kommunen der Fallregion im Durchschnitt (28,3 %) fast doppelt so hoch sind wie im Landesdurchschnitt (14,7 %). Insbesondere in Reutlingen (15,1 %) und Wannweil (15 %) ist bereits der Anteil an Wohnbauflächen an der Gesamtfläche höher als der durchschnittliche Siedlungsflächenanteil in Baden-Württemberg. Auch in allen anderen Kommunen der Fallregion liegen die Wohnbauflächenanteile mit Werten zwischen etwa 6,1 % in Eningen unter Achalm und den 15,1 % in Reutlingen über dem Landesdurchschnitt von 4,3 %. Neben den Siedlungsflächen ist die Flächennutzungsstruktur der Fallregion geprägt von Landwirtschaftsflächen (Ø 42,9 %) und Waldflächen (Ø 26,9 %).

Die Flächennutzungsanteile lassen keine verlässlichen Rückschlüsse auf die tatsächlichen Siedlungsstrukturen in der Fallregion zu. Die Siedlungsflächen können bei gleichen Flächenanteilen entweder räumlich konzentriert und hoch verdichtet oder dispers im Raum verteilt und gering verdichtet sein. Ein Maß, das zumindest Rückschlüsse auf den Verdichtungsgrad der Wohnsiedlungsflächen zulässt ist die Siedlungsdichte, die die Zahl der Einwohner je km² Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV) angibt. Sie liegt in der Fallregion bei durchschnittlich 2.935 Einwohnern/km² SuV (mind. 1.690 bis max.

3.423 Einwohner/km² SuV) und liegt damit über dem landesweiten Durchschnitt von 2.089 Einwohnern/km² SuV. (vgl. Website Regionalstatistik 4 & 6)

Einen weiteren Rückschluss auf die Siedlungsstrukturen, zumindest im Hinblick auf die Wohnflächen, lässt die Analyse des Wohngebäudebestandes zu. Je nach Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser oder Mehrfamilienhäuser ist von entsprechend niedrigeren oder höheren Siedlungsdichten auszugehen. Auch lassen sich aus den Angaben zu den Gebäudetypologien Rückschlüsse auf die Geschossigkeit und die Morphologie der Wohngebäude ziehen (siehe Kapitel 7). Ein Einfamilienhaus wird beispielsweise selten mehr als zwei Vollgeschosse aufweisen, wohingegen Mehrfamilienhäuser mindestens zwei, oftmals aber vier und mehr Vollgeschosse haben.

Tabelle 9 zeigt, dass die Wohnflächen der Fallregion vor allem durch Einfamilienhäuser geprägt sind, die einen Anteil zwischen 60 bis über 70 % an allen Wohngebäuden der Fallregion ausmachen. Damit liegt der durchschnittliche Einfamilienhausanteil in der Fallregion (66 %) über dem landesweiten Durchschnitt (61 %). Dafür ist vor allem der Anteil der Zweifamilienhäuser am Wohngebäudebestand in der Fallregion geringer als im gesamten Bundesland. Auffällig ist, dass insbesondere die kleineren Gemeinden, wie Kohlberg oder Grafenberg, einen besonders hohen Einfamilienhausanteil, aber nur einen sehr geringen Mehrfamilienhausanteil aufweisen. In den drei Städten (Reutlingen, Pfullingen, Metzingen) gibt es dagegen relativ viele Mehrfamilienhäuser. Die in der Regel geringere Wohnungsgröße in Mehrfamilienhäusern, im Vergleich zu den Wohnflächen in Einfamilienhäusern, schlägt sich in der durchschnittlichen Wohnfläche je Wohnung der Kommunen nieder. Es ist zu erkennen, dass die Gemeinden mit hohen Einfamilienhausanteilen auch die höchsten durchschnittlichen Wohnungsgrößen aufweisen. Insgesamt ist die Wohnfläche je Wohnung in der Fallregion mit durchschnittlich 89,8 m² etwas geringer als im Landesdurchschnitt (92,5 m²). Das mag angesichts des hohen Einfamilienhausanteils zunächst erstaunen, ist aber auf die hohe Anzahl an (vermutlich kleineren) Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern in den drei Städten zurückzuführen. So gibt es beispielsweise in Reutlingen bei durchschnittlich rund sieben Wohneinheiten je Mehrfamilienhaus insgesamt fast doppelt so viele Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern als in Einfamilienhäusern, obwohl etwa zwei Drittel der Wohngebäude Einfamilienhäuser sind (vgl. Website Regionalstatistik 7). Geht man von durchschnittlich zwei Wohnungen je Geschoss aus, weisen die Mehrfamilienhäuser in Reutlingen mindestens vier Geschosse auf. Das wiederum lässt darauf schließen, dass die Mehrfamilienhausgebiete in Reutlingen und den beiden anderen Städten der Fallregion höher verdichtet sind als in den übrigen Kommunen und die Siedlungsmorphologie zumindest im Hinblick auf die Verdichtung einen eher urbanen Charakter aufweist. Gleichwohl steht dies im

Kontrast zu den hohen Flächenanteilen gering verdichteter Einfamilienhausgebiete sowie zu den großen Landwirtschafts- und Waldflächen, die alle Kommunen der Region prägen.

Tabelle 9: Anteile unterschiedlicher Wohngebäudetypen am gesamten Wohngebäudebestand in den Kommunen der Fallregion (2016)

| Kommune | Einfamilien- häuser (abs. / Anteil) | Zweifamilien- häuser (abs. / Anteil) | Mehrfamilien-häu- ser (abs. / Anteil) | Ø Wohnfläche je Wohnung |
|------------------------------|---|--|---|----------------------------|
| Bempflingen | 973 / 70 % | 681 / 21 % | 87 / 9 % | 98,9 m ² |
| Kohlberg | 744 / 72 % | 537 / 23 % | 35 / 5 % | 104,8 m ² |
| Dettingen an der Erms | 2.443 / 66 % | 1.613 / 22 % | 535 / 12 % | 99,9 m ² |
| Eningen unter Achalm | 2.753 / 69 % | 1.891 / 17 % | 475 / 14 % | 95,3 m ² |
| Grafenberg | 773 / 71 % | 547 / 21 % | 163 / 8 % | 102,2 m ² |
| Metzingen, Stadt | 3.171 / 64 % | 998 / 20 % | 785 / 16 % | 91,2 m ² |
| Pfullingen, Stadt | 2.533 / 59 % | 980 / 23 % | 748 / 18 % | 91,1 m ² |
| Reutlingen, Stadt | 15.714 / 66 % | 3.581 / 15 % | 4.421 / 19 % | 85,7 m ² |
| Riederich | 748 / 67 % | 217 / 19 % | 154 / 14 % | 95,3 m ² |
| Wannweil | 951 / 67 % | 287 / 20 % | 191 / 13 % | 93,4 m ² |
| Kirchentellinsfurt | 1.015 / 67 % | 314 / 21 % | 183 / 12 % | 97,7 m ² |
| Kusterdingen | 1.663 / 70 % | 464 / 20 % | 248 / 10 % | 100,8 m ² |
| Fallregion Reutlingen | 31.064 / 66 % | 8.391 / 18 % | 7.592 / 16 % | 89,8 m² |
| Baden-Württemberg | 1.467.443 / 61 % | 504.700 / 21 % | 425.364 / 18 % | 92,5 m² |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Website Regionalstatistik 7

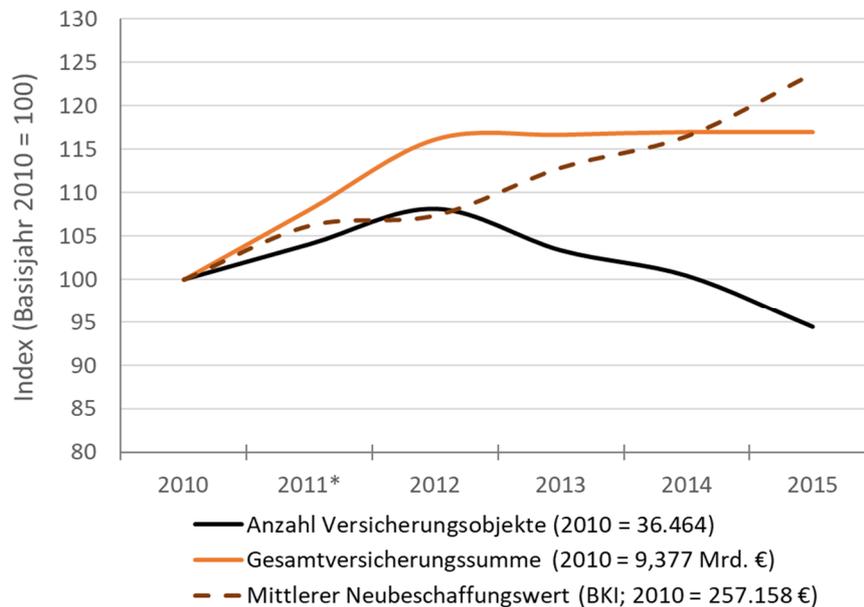
6.4.4 Überblick über die Versicherungs- und Schadensdaten für die Fallregion

Als Kontext für die bessere Einordnung der in Kapitel 8 folgenden Analyse der spezifischen Schadensdaten des Hagelsturms von Reutlingen werden in diesem Unterkapitel allgemeine Kenndaten zu den versicherten Objekten und Schadensfällen in der Fallregion dargestellt. Aufgezeigt werden die Entwicklungen der Kennwerte der versicherten Objekte im verfügbaren Zeitraum 2010–2015 sowie die verzeichneten Schadensfälle in diesem Zeitraum. Dabei liegt der Fokus auf Versicherungsobjekten und Schadensfällen, die Sturm- und Hagelschäden zuzuordnen sind, da dieser Elementarereignistypus auch im Zentrum der weiteren Analysen steht.

Die Zahl der gegen Sturm- und Hagelschäden versicherten Objekte in der Fallregion ist, nach einem zwischenzeitlichen Zuwachs um etwa 8 % zum Jahr 2012, bis Ende 2015 um rund 2.000 Objekte (ca. 5,5 %) gegenüber dem Stand von Ende 2010 zurückgegangen (siehe Abbildung 46). Gleichzeitig ist

der mittlere Neubeschaffungswert der versicherten Objekte nach BKI deutlich und kontinuierlich um insgesamt knapp ein Viertel angestiegen.

Abbildung 46: Indexentwicklung des Versicherungsbestandes (Sturm- und Hagelschäden) in der Fallregion 2010–2015



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: SV AG; *Fallzahlen und Gesamtversicherungssumme für 2011 interpoliert, da nur 10.001 Objekte in der Datenbank (Indexwerte wären demzufolge: Fälle = 27; Gesamtsumme = 29)

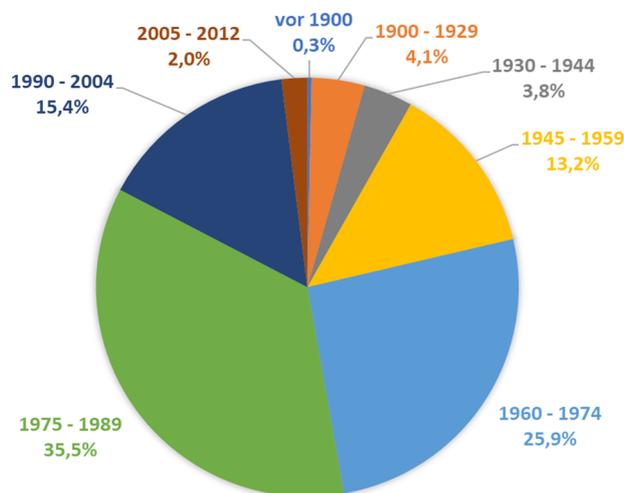
Während also die Gesamtversicherungssumme bis 2012 um rund 17 % angestiegen ist (steigende Zahl der Objekte und steigender mittlerer Neubeschaffungswert), stagnierte die Summe in den Folgejahren auf einem Niveau um 10,9 Milliarden € (steigender mittlerer Neubeschaffungswert bei rückläufiger Objektzahl). Dies ist insofern erstaunlich, als dass hätte erwartet werden können, dass die Zahl der versicherten Objekte nach einem Extremereignis, wie dem Hagelsturm von Reutlingen, ansteigt. Derartige Reaktionen im Gebäudeversicherungsbestand konnten in der Vergangenheit bereits infolge anderer Großereignisse, wie der Elbeflut 2002, beobachtet werden (vgl. Kuhlicke 2014: 25ff.). In der Fallregion war jedoch das Gegenteil der Fall.

Im Vergleich zu den gegen Sturm- und Hagelschäden versicherten Objekten, finden sich in der Versicherungsdatenbank zum 31.12.2012 für die Fallregion 37.640 gegen Überschwemmungsschäden versicherte Objekte. Bei einer durchschnittlichen Versicherungssumme von 284.900 € ergibt sich so eine Gesamtversicherungssumme von rund 10,7 Milliarden €. Damit sind zwar mehr Objekte gegen Überschwemmungen versichert als zum gleichen Zeitpunkt gegen Sturm- und Hagelschäden (s. u.), allerdings fallen die durchschnittliche und die gesamte Versicherungssumme bei den gegen Überschwemmungsschäden versicherten Objekte geringer aus.

Die folgenden, spezifischeren Bestandsdaten beziehen sich auf den Stand der versicherten Objekte zum 31.12.2012, da dies der letzte vollständige Versicherungsdatenstand vor dem zu analysierenden Schadensereignis vom 28.07.2013 ist.

Die Versicherungsdatenbank weist für die Fallregion zum 31.12.2012 34.434 gegen Sturm- und Hagelschäden versicherte Objekte mit einer durchschnittlichen Versicherungssumme von 276.150 € auf. Ein Viertel der Objekte hatte zu diesem Zeitpunkt einen Wert unter 25.000 € (1. Quartil) und ein weiteres Viertel über 323.618 € (3. Quartil). Bei den versicherten Objekten handelte es sich zu 89 % um Gebäude, zu 10,7 % um Gebäudeinhalte und zu 0,3 % um versicherte Betriebsunterbrechungen. Aufgrund fehlender Eintragungen ist eine flächendeckende Auswertung der Kategorien „Bauartenklasse“ (63,1 % fehlende Werte), „Geschossanzahl“ (94,6 %) und „Ausbaustufe Dachgeschoss“ (75,1 %) nicht möglich. Für 21,1 % der Objekte war zudem kein Baujahr eingetragen. Bei all diesen Anteilen ist zu beachten, dass Gebäudeinhalte und versicherte Betriebsunterbrechungen zusammen 11 % der Versicherungsobjekte in der Datenbank ausmachen und für diese Objekttypen generell keine Eintragungen in den oben angeführten Kategorien möglich sind. Dies relativiert insbesondere die rund 21 % fehlender Werte bei den Baujahren.

Abbildung 47: Gegen Sturm- und Hagelschäden versicherte Gebäude in der Fallregion nach Baujahren (Stand: 31.12.2012)



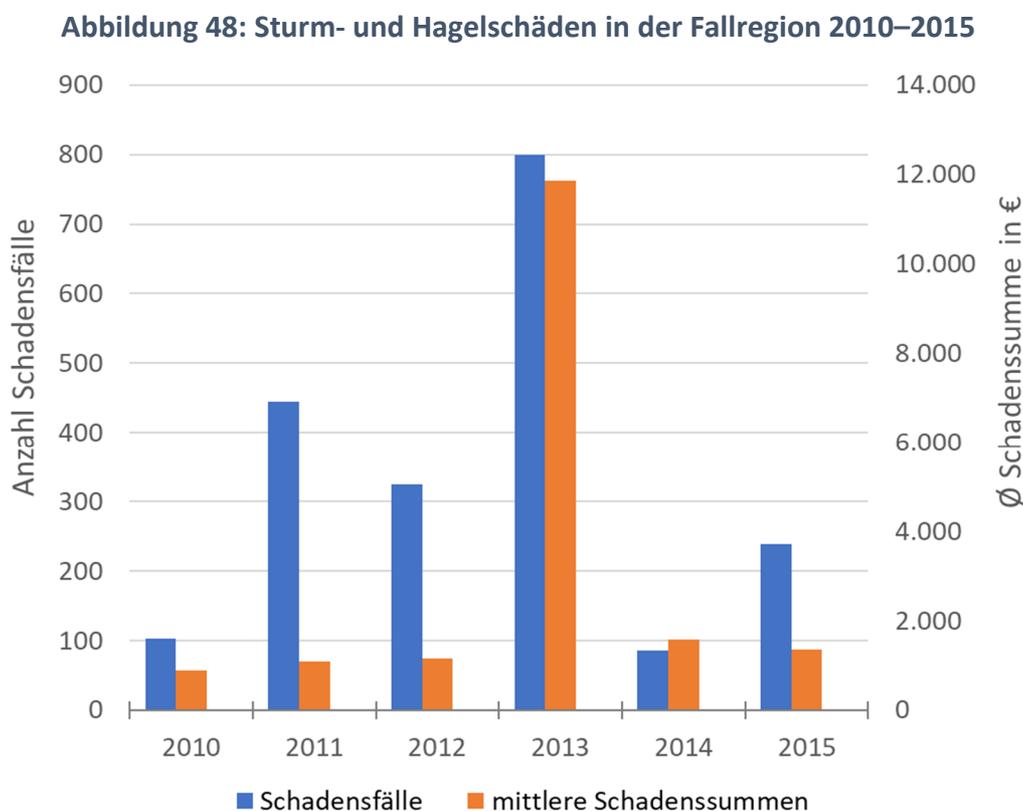
Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: SV AG; n = 31.119

So ergibt sich aus den verfügbaren Baujahren das in Abbildung 47 dargestellte Bild der Altersstruktur der versicherten Gebäude in der Fallregion. Etwa die Hälfte der Gebäude wurde ab 1975 errichtet und mehr als 90 % der Gebäude entstammen der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg ab 1945. Auffällig ist der besonders hohe Anteil der Gebäude aus den Baujahren 1975–1989 sowie die vergleichsweise geringe Zahl an Gebäuden mit einem Baujahr nach 2005, die auch unter Berücksichtigung der

6. Datengrundlage und Fallstudie

kürzeren Betrachtungsperiode sehr gering ausfällt. Aus den Daten kann nicht auf die Bautätigkeit in der Region geschlossen werden, da die Datenbank kein vollständiges Bild aller Gebäude in der Region wiedergibt.

Für die Fallregion sind für den Zeitraum 2010 bis 2015 insgesamt 23.695 Sturm- und Hagelschäden mit einer Gesamtschadenssumme von rund 296 Millionen € verzeichnet (durchschnittlicher Schaden: 12.492 €). Davon entfallen 21.701 Schäden und rund 285 Millionen € auf den Hagelsturm von Reutlingen (siehe Kapitel 8). Dies verdeutlicht die Bedeutung dieses Schadensereignisses. Ohne Einbezug des Hagelsturms von Reutlingen weisen die 1.994 Schadensereignisse in der Region lediglich eine durchschnittliche Schadenssumme von 5.458 € auf. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese Werte auch die Schadensereignisse vom 27.07.2013 beinhalten, also vom Vortag des Hagelsturms von Reutlingen, an dem auch schon stärkere Hagelschauer verzeichnet wurden.



Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: SV AG; n = 1.994 (ohne Hagelsturm von Reutlingen)

So zeigt sich in Abbildung 48, dass im Jahr 2013 im Vergleich zu den anderen Jahren mehr Schadensfälle sowie eine höhere durchschnittliche Schadenssumme registriert wurden – auch ohne Einbezug des Extremereignisses vom 28.07.2013. Zwar schwanken die Schadensfallzahlen auch in den übrigen Jahren, doch bewegt sich die durchschnittliche Schadenssummen auf einem weitgehend stabilen, niedrigen Niveau. Vergleicht man diese durchschnittlichen Schadenssummen von etwa 1.500 € je Schadensfall mit dem Durchschnittswert von 13.092 € im Jahr 2013 unter Einbeziehung des [260]

Hagelsturms von Reutlingen, so wird anhand dieser Kennwerte das extreme Ausmaß dieses Einzelereignisses deutlich.

Im Vergleich dazu wurden in der Fallregion im gesamten Zeitraum von 2010 bis 2015 nur insgesamt 358 Überschwemmungsschäden mit einer Gesamtschadenssumme von 2,2 Millionen € (Ø 6.115 €) registriert. Auch ohne den Hagelsturm von Reutlingen kann also davon ausgegangen werden, dass die Fallregion gegenüber Sturm- und Hagelereignissen stärker exponiert ist, als gegenüber Überschwemmungsereignissen

7. Baustrukturtypen in der Region Reutlingen

Im empirischen Teil der Arbeit soll exemplarisch aufgezeigt werden, wie das theoretische *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* praktisch angewendet werden kann. Die exemplarische Anwendung erfolgt anhand einer Auswertung der vorliegenden Gebäudeversicherungs- und Schadensdatenbank. Als Beispielergebnis wird der Hagelsturm von Reutlingen ausgewählt, um die Robustheit urbaner Systeme in der physischen Dimension urbaner Resilienz analysieren zu können. Zwar liegen die Versicherungsdaten auf Objektebene vor, doch ist diese Ebene zur Demonstration übertragbarer Ergebnisse zu kleinteilig und nicht für die überwiegend flächenorientierte Raumplanung geeignet. Hinzu kommt, dass im empirischen Teil auch die Diversität der Herausforderungen, die auf Städte einwirken, aufgezeigt werden soll. Aus der Vielzahl möglicher Beispiele an Herausforderungen wurde der Demografische Wandel als diejenige Herausforderung ausgewählt, die neben dem Klimawandel die künftige Entwicklung von Städten in Deutschland wohl am meisten beeinflussen wird (siehe Kapitel 3.2). Zudem handelt es sich bei dem Demografischen Wandel im Gegensatz zum Hagelsturm um eine schleichende Herausforderung und nicht um ein einzelnes Extremereignis.

Ein methodischer Ansatz, der sich zur kleinräumigen Analyse technischer Infrastruktursysteme in der Wissenschaft etabliert hat, ist die Analyse anhand von idealtypischen, städtebaulichen Bau- und Nutzungsstrukturtypen. Dieser Ansatz strebt nach der Identifizierung idealtypischer Eigenschaften von Siedlungsstrukturen, die sich in den meisten Städten finden lassen. Er ermöglicht die nahezu frei skalierbare Anwendung der BNT und der zugehörigen Eigenschaften auf andere Kommunen im Rahmen von Evaluations- oder Planungsprozessen. Insofern ist der methodische Ansatz auch für den empirischen Teil der vorliegenden Arbeit geeignet, da er im Hinblick auf die Versicherungsdaten kleinräumige Analysen auf einer vergleich- und übertragbaren Ebene oberhalb der Objektebene ermöglicht und zudem für die weitere Verwendung und Modellierung die Nutzung idealtypischer Literaturkennwerte erlaubt.

Zu Beginn dieses Kapitels wird auf Basis der Literatur zunächst der theoretische Hintergrund des BNT-Ansatzes erläutert. Anschließend folgt die Operationalisierung der BNT für die konkrete Aufgabenstellung. Das bedeutet, dass aus der Literatur diejenigen BNT ausgewählt und definiert werden, die geeignet sind, um die Siedlungsstruktur der Fallregion möglichst umfassend abdecken zu können. Daraufhin wird beschrieben, anhand welcher Eigenschaften und Kennwerte die BNT in der Fallregion zugeordnet werden können. Außerdem wird aufgeführt, welche idealtypischen Literaturkennwerte für die BNT verwendet werden. Schließlich wird die Zuordnung der BNT zu den

Siedlungsflächen der Fallregion dargestellt und beschrieben, welche räumlichen Indikatoren für die BNT der Fallregion erhoben wurden.

7.1 Der Bau- und Nutzungsstrukturtypenansatz

Sollen funktionelle und finanzielle Folgen externer Herausforderungen für städtische Systeme als Grundlage für langfristige Planungsentscheidungen ausreichend präzise analysiert bzw. modelliert werden, müssen insbesondere auch Aussagen auf kleinräumiger Ebene getroffen werden können. Einen angemessenen Kompromiss zwischen möglichst homogenen baustrukturellen Eigenschaften als Grundlage für die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse und der gleichzeitig differenzierten Abbildungen der Vielfältigkeit der kommunalen Siedlungsstrukturen bietet die Quartiers-ebene.

Grundlage der kleinräumigen Analysen und der Modellierung in dieser Arbeit ist die Bildung siedlungsräumlicher Strukturtypen, die die Bebauungsstrukturen in Kommunen möglichst umfassend repräsentieren. In den Raumwissenschaften hat sich in der Auseinandersetzung mit den Implikationen und Folgen unterschiedlicher räumlich-physischer Gegebenheiten sowie Konstruktionen des Siedlungsraumes für die Siedlungsentwicklung unter anderem der Strukturtypenansatz etabliert (siehe z. B. Hecht 2014; Arlt et al. 2010a; Schiller 2010; Westphal 2008; Siedentop et al. 2006).

Im Allgemeinen versteht man unter Struktur „das Ordnungsgefüge eines Ganzen und die Anordnung seiner Teile oder Elemente zueinander. Art und Stärke der Verknüpfung von Teilen zu einem komplexen Ganzen schaffen neue Eigenschaften, welche die Teile als solches nicht besitzen“ (Arlt et al. 2010a: 27). Bezogen auf Siedlungskörper ist das zu untersuchende Ordnungsgefüge baulich-räumlicher Natur und „entsteht aus der Art und Weise, wie bauliche (Gebäude und Infrastrukturen) und nicht bauliche Elemente (z. B. Freiflächen) zusammengesetzt und miteinander verknüpft sind“ (ebd.: 28). Als wesentliche Elemente dieses Systems müssen aber auch die Einwohner bzw. Akteure verstanden werden, die den Siedlungsraum nutzen und ausgestalten.

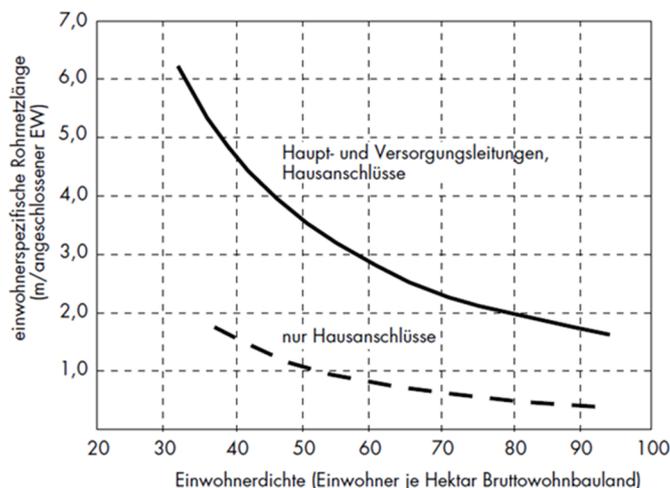
Die Definition solcher Bebauungsstrukturtypen in der Forschung unterliegt spezifischen Forschungszielen, die auch die gewählte Maßstabsebene (z. B. Region, Stadt, Stadtteil, Quartier, Grundstück, Gebäude) bestimmen. „Dabei können Strukturtypen von einem komplexen System (beispielsweise der Stadt) ausgehend durch eine detaillierte Betrachtung des räumlichen Ordnungsgefüges von Bebauung, Infrastruktur und Freiflächen ausgewählter teilstädtischer Gebiete bestimmt werden („top-down“-Zugang). Häufig wird in diesem Zusammenhang auf vordefinierte Typologien zurückgegriffen, die dann aber adaptiert werden müssen“ (ebd.). Ein ebensolcher Strukturtypenansatz eignet

7. Baustrukturtypen in der Region Reutlingen

sich besonders für die Bearbeitung der in Kapitel 1 aufgeworfenen Forschungsfragen und wird daher zur Identifikation von Vulnerabilitäts- und Resilienzprofilen unterschiedlicher Siedlungsstrukturen auf der planerisch besonders relevanten Quartiersebene angewendet. Im Hinblick auf die in Kapitel 9 vorgesehene Modellierung der Abwasserinfrastrukturentwicklung erfolgt die weitere Beschreibung der BNT am Beispiel der Wasserinfrastrukturen. In wesentlichen Teilen können die beschriebenen Zusammenhänge und Charakteristiken in abgewandelter Form auch auf andere technische Infrastrukturen, wie beispielsweise die Gasversorgung oder das Straßennetz übertragen werden.

Art und Maß der Ausstattung eines Quartiers mit technischen Infrastrukturen unterscheiden sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Bau- und Nutzungsstruktur. So sinkt mit zunehmender Siedlungsdichte der Infrastrukturaufwand je angeschlossener Einwohner, wie auch Abbildung 49 am Beispiel der Wasserinfrastrukturen zeigt. Auch wurden beispielsweise je nach Baujahr bzw. Bauphase der Siedlungsstrukturtypen unterschiedliche Materialien zur Errichtung der Kanalnetzhaltungen verwendet, die voneinander abweichende Auswirkungen auf die funktionale und bilanzielle Fortschreibung der Strukturtypenentwicklung haben.

Abbildung 49: Zusammenhang zwischen Einwohnerdichte und Wasserinfrastrukturaufwand



Quelle: Schiller und Siedentop 2005: 84

Ebenso fallen die nachgefragte Trinkwassermenge bzw. die anfallende Schmutz- und Regenwassermenge in Abhängigkeit von der spezifischen Nutzungssituation in den Quartierstypen unterschiedlich aus. Als Grundlage für die kleinräumige Analyse der Versicherungsdaten sowie für eine möglichst präzise Modellierung der künftigen Entwicklung der Abwasserinfrastrukturen, dienen in dieser Arbeit 14 sogenannte repräsentative *Bebauungs- und Nutzungsstrukturtypen*. Diese bilden die in den Städten und Gemeinden der Fallregion vorhandenen Wohn- und Gewerbegebietstypen möglichst umfassend und differenziert ab.

Grundlage zur Definition der BNT für die vorliegende Arbeit sind Typisierungen aus diversen bestehenden Untersuchungen zum Strukturtypenansatz (vgl. Blum und Gruhler 2010; Schiller 2010; Westphal 2008: 54ff.; Siedentop et al. 2006: 42ff.; Roth und Häubi 1981: 972). Bei der Auswertung der vorliegenden Studien wurde deutlich, dass sich die vorhandenen Typisierungen vorwiegend auf Wohn- und Mischgebiete beschränken. Im Sinne einer möglichst vollständigen Erfassung realer Strukturtypen werden aber auch Gewerbe-BNT einbezogen, die auf einer weniger umfangreichen Literaturlbasis basieren (vgl. Hillenbrand et al. 2016; Schulwitz und Hillenbrand 2016: 96f.; Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 128f.).

In Anlehnung an den von SIEDENTOP ET AL. verwendeten Strukturtypenansatz (vgl. Siedentop et al. 2006: 42ff.) werden die BNT im Rahmen dieser Arbeit als Raumeinheiten auf Quartiersebene verstanden, die sich durch eine homogene Bebauungs- und Nutzungsstruktur auszeichnen und eine ähnliche Entwicklung der dahinterliegenden technischen Infrastruktursysteme (technisch, betrieblich und bilanziell) unter den sich ändernden Rahmenbedingungen erwarten lassen. Damit erfüllen sie in der Modellierung der kleinräumigen Entwicklung zwei Funktionen: Sie dienen „als Projektionsfläche der intrakommunalen Bevölkerungsverteilung, was mit Hilfe von strukturtypenbezogenen Dichte- und Belegungsparametern erfolgt“ (ebd.: 43). Gleichzeitig stellen sie die Grundeinheiten dar, auf deren Basis das Mengengerüst und die Bilanzierung der technischen Infrastrukturausstattung modelliert werden können. Für die Analyse der Versicherungsdaten stellen sie Aggregations-einheiten dar, auf deren Ebene die objektbezogenen Daten analysiert werden können, um die Ergebnisse auf andere Räume übertragbar zu machen. Aufgrund der spezifischen Eigenschaften eines jeden BNT liegt der Analyse der Schadensdaten die These zugrunde, dass durch den Hagelsturm von Reutlingen in den BNT unterschiedlich starke Schäden entstanden sind und sich externe Herausforderungen generell in unterschiedlicher Intensität auf die BNT auswirken. Daher ist es notwendig, die Eigenschaften der BNT in Form eines Sets an Kennwerten zu operationalisieren, sodass sie in die Berechnung einfließen können und so Vergleichbarkeit erzielt wird.

Die im Rahmen dieser Arbeit ausgewählten BNT sollen möglichst große Teile der Siedlungsflächen in der Fallregion abbilden können. Die möglichst vielseitige und umfangreiche BNT-Auswahl zielt auf übertragbare Aussagen hinsichtlich der Vulnerabilität der untersuchten BNT ab, die im konzeptionellen Teil der Arbeit als Resilienzprofile ausgearbeitet werden sollen. Daraus ergibt sich der Anspruch, die Ergebnisse auch auf andere Regionen bzw. Siedlungsräume übertragen zu können, um entweder generelle Aussagen zur Vulnerabilität und Resilienz der lokalen Siedlungsstruktur abzuleiten oder eine eigene Modellierung konkreter Ereignisse oder Entwicklungen auf Basis der

erhobenen Kennwerte aufzubauen. Dies impliziert nicht den Anspruch einer vollständigen Modellierbarkeit aller spezifischen Einzelfälle der zum Teil sehr heterogenen Siedlungsstrukturen in den verschiedenen Regionen Deutschlands oder gar der Welt. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten BNT lassen sich zwei Nutzungskategorien zuordnen: neun BNT bieten auf einem erheblichen Teil ihrer Fläche Wohnraum an und fünf BNT sind vorwiegend durch die gewerbliche Nutzung geprägt. Zum Teil ergeben sich in realen Siedlungsstrukturen auch Durchmischungen unterschiedlicher BNT, die vom, in der Literatur aufgezeigten, Ideal abweichen. Im nachfolgenden Unterkapitel wird deshalb definiert, wie mit diesen Mischformen umgegangen wird.

7.2 Definition und Operationalisierung der BNT für die Fallregion

Im Folgenden werden aus den in der Literatur etablierten BNT diejenigen ausgewählt, die nach einer ersten Auswertung von Luftbildern der Fallregion geeignet sind, die Siedlungsstrukturen möglichst umfassend und differenziert wiederzugeben. Belegt wird dies jeweils durch eigene Aufnahmen, die den Charakter der BNT in der Fallregion zeigen (sofern nicht abweichend angegeben). Dabei wird zwischen BNT mit vorwiegender Wohnfunktion und solchen mit gewerblichem Schwerpunkt unterschieden. Wesentliche Charakteristika und Kennwerte der BNT sind in Steckbriefform übersichtlich zusammengefasst (siehe Kapitel 7.2.5 bzw. Anhang A). Nach der Zuordnung der Siedlungsflächen der Fallregion zu verschiedenen BNT anhand einer intensiven Luftbild- und Schrägluftbildanalyse wird die Erhebung der räumlichen Indikatoren beschrieben, die im Zuge der Analysen in den nachfolgenden Kapiteln verwendet werden sollen.

7.2.1 Definition von BNT mit Wohnfunktion

Die neun durch Wohnnutzung geprägten BNT entsprechen weitestgehend den schon von SIEDENTOP ET AL. vorgeschlagenen Siedlungsstrukturtypen (vgl. ebd.: 44ff.). Diese bieten auf der angestrebten Betrachtungsebene (Quartier) eine ausreichend differenzierte Erfassung unterschiedlicher Siedlungsstrukturen und lassen sich in den Kommunen der Fallregion in großer Zahl wiederfinden. Die bei SIEDENTOP ET AL. (vgl. ebd.) aufgeführten BNT werden um den Typ „innerstädtische Mischbebauung“ ergänzt, da dieser in der Fallregion zu finden ist und in der Literatur ebenfalls definiert wird (z. B. Roth und Häubi 1981: 972). Bei diesem BNT liegt eine Nutzungsmischung zwischen gewerblicher Nutzung und Wohnnutzung vor. In unterschiedlicher Zusammensetzung und unter teils abweichenden Bezeichnungen bestätigen weitere Studien die wesentlichen siedlungsstrukturellen Charakteristika der neun ausgewählten Wohnnutzungstypen, sodass ihnen eine allgemeine Passfähigkeit für die Wohnsiedlungen in Deutschland unterstellt werden kann (vgl. Dittrich-Wesbuer et al.

2015: 127ff.; Hecht 2014: 343ff.; Sigglow 2011: 187ff.; Deilmann et al. 2010: 69; Lehmann 2010: 158f.; Libbe et al. 2010: 104ff.; Westphal 2008: 54ff.; Roth und Häubi 1981: 972).

Traditionelle Blockstrukturen (Kurzbezeichnung: „Block“) sind zumeist in (vor-)gründerzeitlichen Innenstadtquartieren zu finden, die in Altbauweise errichtet wurden. Die vorwiegend in kompakter Blockrandbebauung angelegten Mehrfamilienhäuser weisen eine hohe Bebauungsdichte auf und definieren oftmals den Baublock, wobei auch einzelne Fragmente fehlen können (geschlossene oder offene Blockstrukturen). In kleineren Städten kann es sich auch um vergleichsweise große Ein- und Zweifamilienhäuser handeln, die in offener Struktur die Baublöcke bilden (siehe links in Abbildung 50).

Abbildung 50: Eindrücke aus dem BNT "Traditionelle Blockstrukturen"



Quelle: eigene Aufnahmen; rechts: Beispiel aus Dortmund

Zum Teil wurden die ursprünglichen Strukturen mit neueren Gebäuden überbaut und die Innenhöfe können durch Grünflächen oder weitere bauliche Nutzungen (Gebäude, Garagen etc.) geprägt sein. Charakteristisch sind geringe Straßenbreiten und enge Fußwege. Die Leitungstrassen befinden sich vornehmlich in dem den Block umlaufenden Straßenraum. (vgl. Siedentop et al. 2006: 45).

Zeilenbebauung (Kurzbezeichnung: „Zeile“) kann überwiegend in Quartieren gefunden werden, die den 1920er und 1930er Jahren sowie den 1950er und 1960er Jahren entstammen. Die Mehrfamilienhäuser wurden als überwiegend längere Gebäudezeilen parallel oder in Gruppen errichtet (siehe Abbildung 51). Charakteristisch ist der hohe Grünflächenanteil zwischen den Gebäuden. Häufig werden die Abstandsflächen zwischen den Gebäuden als Hausgartenanlagen genutzt (z. B. in Werksiedlungen oder Gartenstädten), weshalb sich eine mittlere Bebauungsdichte ergibt. Üblicherweise haben die Gebäude zwischen drei und fünf Vollgeschossen sowie häufig auch Balkone. Die Infrastrukturerschließung erfolgt überwiegend über den Straßenraum. (vgl. ebd.: 45f.)

Abbildung 51: Eindrücke aus dem BNT "Zeilenbebauung"



Quelle: eigene Aufnahmen

Allgemein eher unter dem Begriff „Plattenbauweise“ bekannt ist der Strukturtyp **Geschosswohnungsbau in offener Bauweise (Kurzbezeichnung: „Platte“)**. Vor allem in den neuen Bundesländern wurden in den 1970er und 1980er Jahren zahlreiche Quartiere dieser Art als kleine innerstädtische Einheiten oder als eigenständige Gebiete großen Maßstabs (Großwohnsiedlungen) errichtet. Kennzeichnend sind die industrielle Fertigbauweise mit einheitlichen Wohnungsgrundrissen sowie die hofbildende oder mäanderförmige Anordnung der Gebäude. Durch die Mehrgeschossigkeit der Mehrfamilienhäuser ergibt sich eine hohe Bebauungsdichte (siehe Abbildung 52). Die Infrastrukturerschließung erfolgt mitunter nicht nur über den Straßenraum, sondern kann bei mehreren größeren Einzelgebäuden auch direkt objektbezogen erfolgen. (vgl. ebd.: 46)

Abbildung 52: Eindrücke aus dem BNT "Geschosswohnungsbau in offener Bauweise"



Quelle: eigene Aufnahmen

Der BNT **Sonstige Mehrfamilienhäuser (Kurzbezeichnung: „MFH“)** beschreibt kleinere bis mittelgroße Mehrfamilienhäuser, die oftmals in aufgelockerter Bebauung als Einzelgebäude in offenen Blockstrukturen angeordnet sind. Sie wurden größtenteils, aber nicht ausschließlich, ab dem Jahr 1990 errichtet. Bei mittlerer bis hoher Bebauungsdichte sind die halb-öffentlichen Innenhöfe charakteristisch. Die Leitungstrassen der zentralen Ver- und Entsorgung sind im Straßenraum untergebracht. Zum Teil sind sie als sogenannte *Stadt villen* auch mit einem hohen Ausstattungsstandard errichtet (siehe Abbildung 53). (vgl. ebd.)

Abbildung 53: Eindrücke aus dem BNT "Mehrfamilienhäuser"



Quelle: eigene Aufnahmen

Im BNT **dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung (Kurzbezeichnung: „EFH_dicht“)** prägen Reihenhäuser sowie dicht angeordnete Doppelhaushälften die Baustruktur (siehe Abbildung 54). Dieser Typ ist insbesondere in Quartieren aus den 1920er und 1930er Jahren (z. B. Zechensiedlungen) in Großstädten zu finden, wurde aber auch später noch vielfach errichtet. Dadurch, dass die Baublöcke zumeist auch im inneren Bereich bebaut sind und entsprechend weniger Grünfläche vorhanden ist, ergibt sich eine mittlere Bebauungsdichte. Die Leitungstrassen liegen im öffentlichen Straßenraum. (vgl. ebd.)

Abbildung 54: Eindrücke aus dem BNT "Dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung"



Quelle: eigene Aufnahmen

Der Typ **lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung (Kurzbezeichnung: „EFH_locker“)** ist geprägt von freistehenden Ein- und Zweifamilienhäusern, die in lockerer Bauweise angeordnet sind (siehe Abbildung 55). Zum Teil finden sich in den Quartieren auch kleinere Mehrfamilienhäuser ähnlicher Baustruktur, die zwar Platz für mehrere Wohneinheiten bieten, aber durch größere Gärten bzw. Grünflächen eine ebenso geringe Bebauungsdichte der Quartiersfläche aufweisen (z. B. Stadtvillen). Die Innenbereiche der Baublöcke sind vorwiegend von Bebauung freigehalten und durch private Grünflächen geprägt. Die Erschließung erfolgt über den öffentlichen Straßenraum. (vgl. ebd.: 47)

Abbildung 55: Eindrücke aus dem BNT "Lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung"



Quelle: eigene Aufnahmen

Auch wenn die **Dorfkerne/Ortslagen (Kurzbezeichnung: „Dorf“)** vorwiegend der Wohnnutzung dienen, finden sich auch viele Nebengebäude anderer Nutzungsarten (z. B. Landwirtschaft, kleinere Gewerbe) auf den Grundstücken. Die traditionell gewachsenen, scheinbar ungeordneten Strukturen geringer Bebauungsdichte sind geprägt von Ein- und Zweifamilienhäusern sowie kleineren Mehrfamilienhäusern. Die Wohngebäude sind oft straßenbegleitend angeordnet, weitere Wohn- oder Nebengebäude sind auf die oft großen Grundstücke verstreut. Charakteristisch ist der hohe Grad der Durchmischung unterschiedlicher Nutzungsarten sowie Gebäudetypen (siehe Abbildung 56). In der Regel erfolgt die Infrastrukturerschließung über den Straßenraum. Bei eher peripheren Lagen außerhalb größerer Siedlungsbereiche kann mitunter aber auch eine dezentrale Ver- und Entsorgung gegeben sein. (vgl. ebd.: 47f.)

Abbildung 56: Eindrücke aus dem BNT "Dorfkern/Ortslage"



Quelle: eigene Aufnahmen

Streusiedlungen (Kurzbezeichnung: „Streu“) sind von ihrer Bebauungs- und Nutzungsform vergleichbar mit Dorfkernen/Ortslagen, wobei die Siedlungseinheiten deutlich kleiner sind und verstreut abseits größerer Siedlungskörper liegen. Zudem sind Versorgungsfunktionen allenfalls rudimentär vorhanden. Die jeweils eigenen Einheiten von Einzelgebäuden oder kleinen Hausgruppen (z. B. Bauernhöfe) weisen eine sehr geringe Bebauungsdichte auf und sind häufig von landwirtschaftlichen Nutzflächen umgeben (siehe Abbildung 57). Da die Gebäudegruppen in der Regel auch

Wohnräume bieten, wird dieser BNT den Wohn-BNT zugeordnet. Hinsichtlich der Abwasserinfrastruktur erfolgt die Erschließung oftmals dezentral. (vgl. Siedentop et al. 2006: 48)

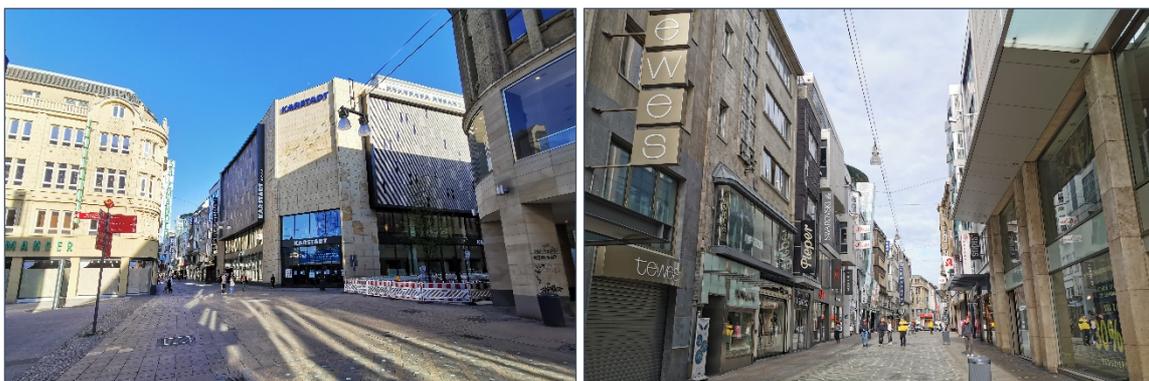
Abbildung 57: Eindrücke aus dem BNT "Streusiedlung"



Quelle: eigene Aufnahmen; beide: Kreis Borken

Innerstädtische Mischbebauungen (Kurzbezeichnung: „Misch“) sind gekennzeichnet durch Geschäftsflächen für Einzelhandel oder Dienstleistungen in den unteren Geschossen sowie Wohn-, Büro- oder Praxisnutzungen in den oberen Geschossen. Die Baustruktur entspricht einer geschlossenen Blockrandbebauung, wobei sich diese auch weit bis in das Innere des Baublocks erstreckt, um ausreichend Verkaufsfläche für die Einzelhandelsbetriebe zu bieten (siehe Abbildung 58). Dementsprechend fallen die Innenhöfe und Grünflächen sehr klein aus, wodurch sich eine sehr hohe Bebauungsdichte ergibt. Je nachdem, ob es sich um eine traditionelle Altstadt handelt oder ob die klassischen Strukturen überformt oder vollständig neu errichtet wurden, fällt der Innenhof kleiner (klassische Altstadt mit sehr hoher Dichte) oder etwas größer aus (Citybebauung ab Mitte des 19. Jhd. mit hoher Dichte). Dieser BNT könnte beiden Nutzungskategorien zugeordnet werden. Da in den oberen Geschossen in der Regel aber auch Wohnraum zur Verfügung steht, erfolgt die Zuordnung zu den Wohn-BNT. (vgl. Hillenbrand et al. 2016: 26; Schulwitz und Hillenbrand 2016: 96f.; Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 128f.; Roth und Häubi 1981: 972)

Abbildung 58: Eindrücke aus dem BNT "Innerstädtische Mischbebauung"



Quelle: eigene Aufnahmen; beide: Dortmund

7.2.2 Definition von BNT mit Gewerbefunktion

Mit Hilfe der neun zuvor definierten BNT lassen sich gängige Wohnquartierstypen deutscher Kommunen sowie Streusiedlungen und innerstädtische Mischgebiete in Analysen und Modellen abbilden. Neben Quartieren, die zumindest zu einem gewissen Grad auch Wohnfunktionen erfüllen, gibt es auch Quartiere, die nahezu ausschließlich gewerblich-industriellen Zwecken dienen und höchstens vereinzelt Wohnraum bieten. Quartierstypen mit derartigem Nutzungsschwerpunkt sind in der Fachliteratur mit Hilfe des Strukturtypenansatzes bisher jedoch eher selten behandelt und erfasst worden. Zwar führen die vorliegenden Studien vereinzelt Gewerbegebietstypen auf (vgl. Arlt et al. 2010b: 44; Roth und Häubi 1981: 972), doch fehlt es an einer umfassenden, systematischen Erfassung der unterschiedlichen Gewerbe- und Industriegebietstypen auf Basis des Strukturtypenansatzes. Die Definition der Gewerbe-BNT basiert daher auf einer weniger umfassenden Literaturbasis.

Industriegebiete (Kurzbezeichnung: „G_Indu“) sind die Produktionsstandorte der Unternehmen des produzierenden Gewerbes. Demzufolge ist die Baustruktur geprägt von großflächigen Gebäuden oder Hallen in denen, oftmals im Dreischichtbetrieb, die Produktion von industriellen Erzeugnissen stattfindet. Charakteristisch ist neben den großen Werkshallen auch die Sichtbarkeit von Teilen der technischen Produktionsanlagen (Rohrleitungen, Förderbänder, größere Schornsteine etc.). (siehe Abbildung 59) Viele Industriegebiete sind an das Schienennetz angebunden. Aufgrund der Großflächigkeit der einzelnen Grundstücke bzw. Parzellen und der meist eingeschränkten öffentlichen Zugänglichkeit der Werksgelände, gibt es je Flächeneinheit im Durchschnitt nur sehr wenig öffentliche Straßen und entsprechend auch nur wenig kommunal betriebene Leitungstrassen. Die Flächenversiegelung und Bebauungsdichte sind im Allgemeinen sehr hoch. (vgl. Hillenbrand et al. 2016: 27; Schulwitz und Hillenbrand 2016: 96f.; Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 128f.; Roth und Häubi 1981: 972)

Abbildung 59: Eindrücke aus dem BNT „Industriegebiet“



Quelle: eigene Aufnahmen; links: Duisburg

Logistikparks (Kurzbezeichnung „G_Logi“) sind baustrukturell durch große, oft quadratisch angelegte Lagerhallen mit Verloaderampen und kleinere Verwaltungsgebäude geprägt (siehe Abbildung 60). Auffällig ist, dass meist große Teile der restlichen Grundstücksflächen versiegelt sind und als weitere Lager- oder Rangier- und Stellplatzflächen für die Transportfahrzeuge dienen. Eine verkehrstechnisch günstige Lage zu bedeutenden Verkehrsstrassen (z. B. Bundesautobahnen, Schienenwege, Wasserwege) sowie eine ausreichend groß dimensionierte und strukturierte Erschließung durch öffentliche Straßen sind weitere Merkmale von Logistikparks. Insgesamt ergibt sich ein sehr hoher Versiegelungsgrad bei mittlerer Bebauungsdichte. Die Ver- und Entsorgung erfolgt über Leitungstrassen im öffentlichen Straßenraum. (vgl. Hillenbrand et al. 2016: 28ff.; Schulwitz und Hillenbrand 2016: 96f.; Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 128f.)

Abbildung 60: Eindrücke aus dem BNT "Logistikpark"



Quelle: eigene Aufnahmen; rechts: Dortmund

Kleinteilige Gewerbegebiete (Kurzbezeichnung: „G_klein“) bieten meist einen Branchenmix verschiedenster kleiner und mittlerer Unternehmen. Auf den kleinen Parzellen sind oftmals inhabergeführte Handwerksbetriebe oder Werkstätten niedergelassen, an die zum Teil auch Wohnhäuser direkt angrenzen (siehe Abbildung 61).

Abbildung 61: Eindrücke aus dem BNT "Kleinteiliges Gewerbegebiet"



Quelle: eigene Aufnahmen

7. Baustrukturtypen in der Region Reutlingen

Die Gebäude haben selten mehr als zwei Geschosse und zwischen ihnen finden sich auch Lager-, Brach- und Grünflächen. Aus der kleinteiligen Grundstücksstruktur ergibt sich ein dichtes Netz kleinerer Straßen, das einen hohen Erschließungsaufwand zur Folge hat. Versiegelungsgrad und Bebauungsdichte befinden sich auf einem mittleren Niveau. Die Erschließung erfolgt überwiegend über die öffentlichen Straßen. In kleineren, peripheren Gebieten ist aber auch eine dezentrale Abwasserentsorgung möglich. (vgl. ebd.)

Klassische Gewerbegebiete (Kurzbezeichnung: „G_klass“) weisen ebenfalls einen Branchenmix auf. Sie beherbergen Produktionsstätten und Dienstleistungsbetriebe, können aber auch Standorte für Groß- und Einzelhandel sein. Auf den mittelgroßen bis großen Parzellen befinden sich oft Filialen von Groß- und Einzelhandelsketten, die viel Verkaufs- und Ausstellungsflächen sowie Parkplätze benötigen (z. B. Möbelhäuser, Warenhäuser mit Vollsortiment, Baumärkte, Autohäuser). Je nach Nutzung fallen auch die Gebäudegrößen sehr unterschiedlich aus, wobei kleine Gebäude kaum zu finden sind. Aufgrund der Orientierung auf eine große Kundenzahl, sind die Grundstücke an ein öffentliches Straßennetz angeschlossen und bieten in der Regel gesonderte Parkflächen auf dem Grundstück (siehe Abbildung 62). Je nach konkreter Nutzung und Ausgestaltung bewegen sich Versiegelungsgrad und Bebauungsdichte auf einem mittleren bis hohen Niveau. (vgl. ebd.)

Abbildung 62: Eindrücke aus dem BNT "Klassisches Gewerbegebiet"



Quelle: eigene Aufnahmen

In **Technologieparks (Kurzbezeichnung: „G_Techno“)** siedeln sich vorwiegend Unternehmen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung sowie weitere, teilweise komplementäre Dienstleister an. Die Gebäude sind in hofbildender Blockbebauung oder als freistehende Einzelgebäude (bei größeren Laboren) angeordnet. Die mehrgeschossigen Gebäude sind von zahlreichen Grünflächen umgeben und haben in ihrer architektonischen Gestaltung oft einen repräsentativen Charakter (Gestaltung der Eingangsbereiche, Fassaden mit viel Glasflächen etc.).

Abbildung 63: Eindrücke aus dem BNT "Technologiapark"



Quelle: eigene Aufnahmen

Da Technologieparks vielfach als Gesamtkonzept geplant und errichtet wurden, sind die Bebauungsstruktur und die Gestaltung der Gebäude häufig sehr einheitlich. (siehe Abbildung 63) Technologieparks weisen geringe bis mittlere Versiegelungsgrade auf und die Bebauungsdichte befindet sich auf einem mittleren Niveau. Die Erschließung erfolgt zentral über den öffentlichen Straßenraum. (vgl. ebd.)

7.2.3 Kriterien und Kennwerte zur Abgrenzung der BNT

Um die verschiedenen BNT in Kartenwerken, Flächennutzungsdaten und Luftbildern praxistauglich voneinander abgrenzen zu können werden eindeutige und praktikable Kriterien und Kennwerte benötigt. Einige Kriterien und Kennwerte, wie die Schwarzpläne, die Geschosszahl und die Parzellengröße, werden lediglich für die Abgrenzung benötigt und haben eher qualitativen Charakter. Sie werden in den weiteren Modellierungsschritten nicht aufgegriffen. Die weiteren, quantitativen Kennwerte, wie Versiegelungsgrad, Siedlungsdichte usw., können einerseits im Zweifel zur Abgrenzung der BNT herangezogen werden, stellen andererseits aber auch die Grundlage zur Modellierung der Bevölkerungs-, Infrastruktur- und Kostenentwicklung (siehe Kapitel 9) dar.

Es werden einheitliche Kriterien benötigt, um anhand von siedlungsstrukturellen Unterschieden eine stringente, transparente Einteilung der Siedlungsflächen in die 14 zuvor definierten BNT vornehmen zu können. Die dazu verwendeten Kriterien und Kennwerte müssen die wesentlichen Charakteristika der jeweiligen Siedlungsstruktur erfassen und sich auf eine frei verfügbare oder einfach zu erhebende Datenbasis beziehen, damit eine breite Übertragbarkeit des Strukturtypenansatzes sichergestellt werden kann. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit hat sich die Abgrenzung auf Basis von Luft- und Schrägluftbildern sowie den auf dieser Ebene wahrnehmbaren, siedlungsstrukturellen Besonderheiten als praxistaugliche Vorgehensweise herausgestellt. Die Abgrenzung der BNT erfolgt grundsätzlich im Abgleich mit schematischen Schwarzplänen, die die Charakteristika der jeweiligen Siedlungsstruktur der BNT idealtypisch darstellen. In der überwiegenden Zahl der Fälle ermöglicht

dies bereits eine Einteilung des Siedlungsgebietes in die unterschiedlichen BNT. Im Zweifel dienen die zusätzlich aufgeführten Kennwerte als Arbeitshilfe für den Nutzer, um mit Hilfe von GIS eine Abgrenzung anhand raumbezogener Kennwerte vornehmen zu können. Liegen alle Messwerte im Bereich der jeweils vorgegebenen Kennwerte, so ist davon auszugehen, dass das jeweilige Quartier oder die Siedlungsfläche dem entsprechenden BNT zuzuordnen ist. Die Kennwerte beruhen auf den in der Studie von SIEDENTOP ET AL. verwendeten Werten, die durch andere Studien, mit geringfügigen Abweichungen aufgrund eines anderen Zeit- oder Raumbezugs, bestätigt werden (vgl. Hecht 2014: 343ff.; Sigglow 2011: 187ff.; Deilmann et al. 2010: 69; Lehmann 2010: 158f.; Libbe et al. 2010: 104ff.; Westphal 2008: 54ff.; Siedentop et al. 2006: 44ff.; Buchert et al. 2004: 25ff.; Roth und Häubi 1981: 972). Folgende Kriterien und Kennwerte stehen dem Nutzer als Arbeitshilfe zur Verfügung:

Schwarzplan: Zwar handelt es sich nicht um einen messbaren Wert, doch stellen Schwarzpläne einen einfachen und schnell nachvollziehbaren Zugang für ein einheitliches Verständnis der BNT dar und haben daher eine zentrale Funktion in der Abgrenzung der BNT. Die grafische Darstellung erspart eine aufwändige textliche Beschreibung und Unterscheidung der BNT mittels einer Vielzahl an Kennwerten. Für einen idealtypischen Ausschnitt jedes BNT werden durch die schematische Erfassung der Grundflächen und Stellung der Gebäude zueinander wesentliche Charakteristika der Siedlungsstruktur dargestellt, die sich in vielen Fällen auch in den Luftbildern erkennen lassen. Diese idealtypische, schematische Darstellung erhebt jedoch keinesfalls den Anspruch einer absoluten, schablonenmäßigen Anwendbarkeit auf alle, stadthistorisch heterogenen Ausprägungen der BNT. Daher wird ein gewisses Maß an Transfervermögen beim Nutzer vorausgesetzt. Im Zweifel dienen die weiteren Kennwerte zur Unterstützung bei der Abgrenzung. Vorlagen der Schwarzpläne konnten für die Wohngebiets-BNT (vgl. Sigglow 2011: 187ff.; Schiller 2010: 77; Westphal 2008: 54ff.; Siedentop et al. 2006: 42ff.) sowie in geringerem Umfang auch für die Gewerbe-BNT (vgl. Schulwitz und Hillenbrand 2016: 97; Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 129; Roth und Häubi 1981: 972) aus der Literatur entnommen werden und haben sich bei Betrachtung der Luftbilddaufnahmen der Fallregion bestätigt.

Geschossigkeit (Wohngebiets-BNT): Da die Schwarzpläne lediglich zweidimensional die Gebäudgrundflächen und deren Stellung zueinander darstellen, aber keine konkretere Einschätzung der Gebäudemorphologie zulassen, wodurch die verschiedenen BNT miteinander verwechselt werden könnten, reichen sie als alleiniges Kriterium zur Luftbildauswertung nicht aus. Die Geschossigkeit der Gebäude als Kennwert fügt der Betrachtung die dritte Dimension hinzu, sodass unter Verwendung frei verfügbarer Schrägluftbilder (z. B. Online Services Google Maps, Bing Maps) mit

vergleichsweise geringem Zusatzaufwand eine deutlich höhere Genauigkeit bei der Zuordnung der BNT erzielt werden kann. Als Datengrundlage dienen Kennwerte, die übereinstimmend in der Literatur zu finden sind; entweder direkt (vgl. Roth und Häubi 1981: 972) oder indirekt ableitbar aus den Geschossflächenzahlen (vgl. Deilmann et al. 2010: 69; Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 59).

Straßenmeter pro Hektar: Dieser Kennwert eignet sich besonders zur Abgrenzung, da Straßen auf Luftbildern meist gut zu erkennen sind und mit Hilfe von GIS-Tools einfach nachgemessen werden können. Da die Baublöcke in den allermeisten Fällen durch Straßen abgegrenzt werden, gibt der Kennwert einen Hinweis darauf, wie groß- oder kleinteilig eine Siedlungsstruktur ist. Für die Wohngebiets-BNT werden die Kennwerte von SIEDENTOP ET AL. verwendet (vgl. Siedentop et al. 2006: 109). Da diese Quelle keine Gewerbegebietstypen ausweist, werden die Kennwerte für die „Mischbebauung“ und die Gewerbe-BNT einer alternativen Quellen entnommen (vgl. Hillenbrand et al. 2016: 26ff.).

Parzellengröße (Gewerbegebiets-BNT): In verschiedenen Gewerbegebietstypen unterscheiden sich die Gebäudeflächen sowie die Gebäudemorphologie in der Regel deutlich voneinander, sodass schon die Luftbildauswertung in den meisten Fällen eine eindeutige Zuordnung der Gewerbe-BNT zulässt. Die Baublöcke haben dagegen oftmals eine ähnliche Größe, nur finden sich je nach Gewerbegebietstypus auf diesen Baublöcken dann entweder zahlreiche kleinere Unternehmen (z. B. kleinteiliges Gewerbegebiet) oder wenige bis einzelne große Unternehmen (z. B. Logistikpark, klassisches Gewerbegebiet). Das hat zur Folge, dass der zuvor aufgeführte Indikator „Straßenmeter pro Hektar“ für Gewerbegebietstypen keine hinreichend genaue Differenzierung der unterschiedlichen Gewerbe-BNT in der Praxis ermöglicht. Jedoch geht die deutlich unterschiedliche, durchschnittliche Unternehmensgröße in den verschiedenen Typen mit charakteristischen Flächenbedarfen einher, die über den Indikator Parzellengröße vergleichsweise genau abgebildet und anhand von Luftbildern erhoben werden können. Grundstücksgrenzen können anhand von Zäunen oder Mauern meist eindeutig identifiziert werden. In der vorliegenden Fallstudie hat der Indikator lediglich theoretischen Charakter, da alle Gewerbegebiete bereits anhand der Luft- und Schrägluftbilder eindeutig einem BNT zugeordnet werden können. (vgl. ebd.: 27ff.; Schulwitz und Hillenbrand 2016: 97)

Versiegelungsgrad: Ein weiterer Indikator, der zur Unterscheidung der BNT herangezogen werden kann, ist der Versiegelungsgrad. Er erfasst die siedlungsstrukturellen Charakteristika nicht nur in Form der Gebäude, sondern auch in Form der Verkehrsflächen sowie sonstigen Nutz- und Nebenflächen, die für die Gesamtfläche prägend sein können. In der Literatur wird dieser Kennwert in

7. Baustukturtypen in der Region Reutlingen

einigen Studien für die BNT angeführt. Zur Verifizierung vorhandener Kennwerte oder zur Einbindung lokaler Realdaten in die Analysen und Modelle, können die Rasterkarten des freien Online Services IÖR-Monitor (vgl. Website IÖR-Monitor) als Datengrundlage verwendet werden, da sie unter anderen Indikatoren auch den Versiegelungsgrad bis zu einer Rastergröße von 100 m x 100 m deutschlandweit für das Jahr 2015 darstellen. Manuell lässt sich so für jedes Beispielgewerbegebiet unter vertretbarem Aufwand der durchschnittliche Versiegelungsgrad näherungsweise bestimmen. (vgl. Schulwitz und Hillenbrand 2016: 97; Siedentop et al. 2006: 93)

7.2.4 Erläuterung der Kennwerte zur Modellierung der BNT

Als Grundlage der Bevölkerungs- und Infrastrukturmodellierung für einzelne BNT, auch in Kommunen für die keine Datensätze vorliegen, können der Literatur BNT-spezifische, idealtypische Kennwerte zur Einwohnerdichte, Wohnungszahl und Infrastrukturausstattung entnommen werden. Diese Kennwerte beziehen sich jeweils auf einen Hektar Brutto-BNT-Fläche. Sie stellen damit die Grundeinheiten eines Mengengerüsts für die literaturbasierte Modellierung der Bevölkerungs- und Infrastrukturentwicklung in verschiedenen BNT dar. Mit der jeweiligen BNT-Fläche als Faktor können die Bevölkerungszahl und spezifische Infrastrukturausstattungen anhand der Kennwerte hochgerechnet werden und bilden somit den Ausgangspunkt für die Modellierung der Bevölkerungsentwicklung in den BNT-Flächen sowie der Entwicklung der Infrastrukturkosten für jeden BNT.

Die konkrete Zusammenstellung der BNT-Kennwerte für die Modellierung ergibt sich im Wesentlichen aus den Anforderungen der jeweiligen Fragestellungen und des Modellierungsansatzes. In der vorliegenden Arbeit wird angestrebt, die Bevölkerungsentwicklung kleinräumig zu modellieren und die Ergebnisse in die Modellierung der Abwasserinfrastrukturentwicklung einfließen zu lassen. Dementsprechend werden die folgenden, in der Literatur für die BNT verfügbaren, Kennwerte ausgewählt:

Siedlungsdichte (Einwohner/ha BNT-Fläche): Dieser Kennwert dient der Disaggregation der auf gesamtkommunaler Ebene modellierten Bevölkerungsentwicklung (siehe Kapitel 9.2.1), also der Projektion des anzunehmenden Anteils der Gesamtbevölkerung auf die jeweilige BNT-Fläche. Für die weiteren Modellierungsschritte ist dies relevant, da sich aus der Einwohnerzahl das Abwasseraufkommen sowie die Zahl der Nutzer der Abwasserinfrastrukturen in den Wohngebiets-BNT ergibt. Die Kennwerte werden als allgemeine Datengrundlage der Literatur (vgl. Schulwitz und Hillenbrand 2016: 97; Siedentop et al. 2006: 57) entnommen. Der Indikator Siedlungsdichte wird üblicherweise definiert als Zahl der Einwohner/km² SuV (vgl. Siedentop et al. 2006: 49). Da die BNT-Flächen weite

Teile der SuV der Kommunen der Fallregion umfassen, wird der Begriff in Anlehnung an seine sonst übliche Definition in dieser Arbeit zur Beschreibung der Einwohnerzahl je ha BNT-Fläche verwendet.

Kanalmeter je Hektar (lfm/ha): Dieser Indikator beschreibt BNT-spezifisch, von wie vielen laufenden Metern an Abwasserkanalhaltungen (einschließlich Regenwasserkanälen) durchschnittlich je Hektar auszugehen ist. Je nach Baustruktur (groß- oder kleinteilig) und dem in den BNT üblichen Entwässerungssystem (Trenn- oder Mischsystem; je nach Baujahr), ergeben sich unterschiedliche Ausprägungen des Kennwertes. Damit spiegelt der Indikator die für die Wasserinfrastrukturausstattung zentralen Charakteristika eines jeden BNT wider, die sich aufgrund unterschiedlicher bau- und nutzungsstruktureller Eigenschaften ergeben. Grundlage für die Bemessung dieses Kennwertes war die Auswertung vorhandener Literatur (v. a. Westphal 2008: 239; Siedentop et al. 2006: 108). Dabei liegt für die Trink- und Abwasserinfrastruktur jeweils ein gesonderter Kennwert vor (siehe Anhang A). Für die Fallregion wird der Kennwert der Kanalmeter des Abwassersystems zudem anhand eines Umrechnungsfaktors aus dem kleinräumig vorliegenden Realwert der Straßenmeter/ha hochgerechnet (siehe Kapitel 9.2.3).

7.2.5 Steckbriefe der BNT mit Kennwerten

Für jeden der 14 in Kapitel 7.2 definierten BNT liegt ein Steckbrief vor, in dem die jeweiligen Kennwerte zur Abgrenzung (siehe Kapitel 7.2.3) und Modellierung (siehe Kapitel 7.2.4) aufgelistet sind. Die Steckbriefe sind in Anhang A aufgeführt und werden im Folgenden beschrieben. Tabelle 11 bietet einen Überblick über alle BNT und eine qualitative Einschätzung zentraler Eigenschaften der Strukturtypen.

Die ausführlichen Steckbriefe in Anhang A sind in vier Teile gegliedert: Im obersten Abschnitt sind neben dem Namen des BNT in Lang- und Kurzform (Kurzbezeichnung) auch die jeweiligen Kennwerte zur Abgrenzung sowie der schematische Schwarzplan aufgeführt. Der darunterliegende Abschnitt beinhaltet Kennwerte zur Siedlungsdichte, zur Wohnungsdichte, zur Leitungslänge der Trink- und Schmutzwasserkanäle sowie zur Geschossflächendichte. Diese Kennwerte sind differenziert nach dem Verdichtungstyp jeder Kommune, der auf Basis der durchschnittlichen Siedlungsdichte (EW/ha SuV) bestimmt wird (siehe Tabelle 10)

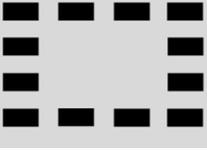
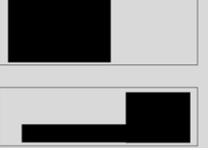
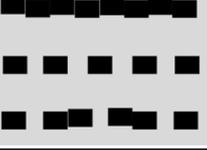
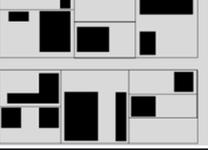
Tabelle 10: Kommunale Verdichtungstypen nach Siedlungsdichte

| Verdichtungstyp | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
|--|-------------------|--------------------|----------------|
| Siedlungsdichte (EW/km ² SuV) | weniger als 1.000 | 1.000–2.000 | mehr als 2.000 |

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von Siedentop et al. 2006: 50

7. Baustrukturtypen in der Region Reutlingen

Tabelle 11: Übersicht über zentrale Charakteristika der BNT

| | |
|---|--|
| Traditionelle Blockrandbebauung  <p>GFZ: hoch EwD: hoch NA: Wohnen lfm/Ew: gering</p> | Streusiedlung  <p>GFZ: sehr gering EwD: sehr gering NA: Wohnen/Landw. lfm/Ew: sehr hoch</p> |
| Zeilenbebauung  <p>GFZ: mittel EwD: hoch NA: Wohnen lfm/Ew: gering</p> | Mischbebauung  <p>GFZ: sehr hoch EwD: hoch NA: Einzelh./Wohnen lfm/Ew: gering</p> |
| Geschosswohnungsbau in offener Bauweise  <p>GFZ: hoch EwD: sehr hoch NA: Wohnen lfm/Ew: gering</p> | Industriegebiet  <p>GFZ: sehr hoch PG: sehr groß NA: Produktion lfm/ha: gering</p> |
| Sonstige Mehrfamilienhäuser  <p>GFZ: mittel EwD: mittel NA: Wohnen lfm/Ew: mittel</p> | Logistikpark  <p>GFZ: mittel PG: groß NA: Logistik/Handel lfm/ha: gering</p> |
| Dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung  <p>GFZ: gering EwD: gering NA: Wohnen lfm/Ew: hoch</p> | Kleinteiliges Gewerbegebiet  <p>GFZ: gering PG: klein b. sehr klein NA: diverse Gewerbe lfm/ha: hoch</p> |
| Lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung  <p>GFZ: sehr gering EwD: sehr gering NA: Wohnen lfm/Ew: sehr hoch</p> | Klassisches Gewerbegebiet  <p>GFZ: mittel bis hoch PG: mittel NA: diverse Gewerbe lfm/ha: mittel</p> |
| Dorfkern/Ortslage  <p>GFZ: gering EwD: sehr gering NA: Wohnen/Landw. lfm/Ew: sehr hoch</p> | Technologie- und Wissenschaftspark  <p>GFZ: mittel PG: mittel NA: Dienstl. (FuE) lfm/ha: hoch</p> |
| Abkürzungen: GFZ = Ø Geschossflächenzahl EwD = Ø Einwohnerdichte NA = vorwiegende Nutzungsart(en) lfm/Ew = Ø Leitungsmeter je Einwohner PG = Ø Parzellengröße lfm/ha = Ø Leitungsmeter je Hektar | |

Quelle: veränderte Darstellung nach Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 129

Die Differenzierung der Kennwerte nach diesem Indikator erhöht die Qualität der Ergebnisse, da interkommunale Unterschiede aufgrund der generellen Siedlungsstruktur der Kommune besser in der konkreten Modellierung der BNT wiedergegeben werden können (vgl. Siedentop et al. 2006: 49f.). Alle Kennwerte der ersten beiden Abschnitte sind der Literatur entnommen (vgl. Schulwitz und Hillenbrand 2016: 97; Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54–57, 107–109). Wenn in der Literatur keine Kennwerte für den jeweiligen BNT vorhanden sind, werden diese auf Basis der Kennwerte vergleichbarer BNT geschätzt.

Im dritten Abschnitt sind für die Indikatoren Siedlungsdichte, Versiegelungsgrad, Straßenmeter je Hektar und Kanalmeter je Hektar (Schmutzwasser) die Kennwerte aufgeführt, die für die BNT in der Fallregion Reutlingen erhoben wurden. Die Kanalmeter sind dabei mit dem Umrechnungsfaktor 1,05 aus den Straßenmetern berechnet (siehe Kapitel 9.2.3). Da in der Fallregion nicht für alle kommunalen Verdichtungstypen eine ausreichend hohe Fallzahl für alle BNT vorliegt, sind die Kennwerte nicht nach Verdichtungstypen differenziert. Stattdessen sind jeweils das erste und dritte Quartil sowie der Median aufgeführt, um aufzuzeigen, in welchem Wertebereich sich die überwiegende Zahl der erhobenen Werte bewegt. Im letzten Abschnitt der Steckbriefe werden die BNT in Form einer ausformulierten Kurzdefinition charakterisiert. Wesentliche Eigenschaften, wie typische Entstehungsphase(n), Nutzungsarten und baustrukturelle Auffälligkeiten sollen dem Leser mit wenigen Worten einen guten Eindruck über den Charakter der BNT vermitteln. Dazu ist auch jeweils ein Beispielfoto beigefügt, das eine für den BNT idealtypische städtebauliche Situation zeigt. Dazu wurden überwiegend Beispiele aus der Fallregion verwendet.

In die BNT-Steckbriefe sind die Bilanz- und Kostenkennwerte nicht aufgenommen, da sich diese nicht direkt in Abhängigkeit von der Bau- und Nutzungsstruktur verändern. Sie entstehen und verändern sich aufgrund der spezifischen Herstellungskosten (Material, Größe, Aufwand), des Alters und der generellen Abschreibungsmethodik. Im Rahmen dieser Arbeit wird mangels Realdaten und im Hinblick auf den Modellierungsaufwand eine vereinfachte Kostenmodellierung auf Basis allgemeiner Literaturkennwerte durchgeführt, die anhand der Leitungsmeter hochgerechnet werden. Eine Berücksichtigung unterschiedlicher Kanaldurchmesser oder Materialien kann nicht erfolgen. Das hat zur Folge, dass die Ergebnisse der Modellierung der Kostenentwicklung der Abwasserinfrastrukturen lediglich dazu herangezogen werden sollten, die Kostenentwicklung der BNT im Verhältnis zueinander zu vergleichen und daraus allgemeine Aussagen abzuleiten. Die Kostenergebnisse erheben aufgrund der zahlreichen Einschränkungen der Datenbasis und der Modellierung keinen Anspruch darauf, die tatsächliche, langfristige Kostenentwicklung exakt vorauszuberechnen.

7.3 Zuordnung der BNT in der Fallregion Reutlingen

Die Einteilung der Siedlungsflächen der Fallregion Reutlingen in die 14 BNT erfolgt primär durch Auswertung frei verfügbarer Luftbilder. Dazu werden in einem ersten Schritt die in ArcGIS vorhandenen Luftbilder des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie auf unterschiedlichen Maßstabsebenen mit den Schwarzplänen der BNT abgeglichen. Ist ein Siedlungsbereich auf dieser Basis noch nicht eindeutig einem BNT zuzuordnen, werden die Schrägluftbilder der Online Services Google Maps (vgl. Website Google Maps) und Bing Maps (vgl. Website Bing Maps) hinzugezogen, um die Geschossigkeit und Morphologie der Gebäude des jeweiligen Siedlungsbereichs einschätzen zu können. Im Falle der Gewerbegebiete können bei weiterem Zweifel zusätzlich die in den genannten Online Services hinterlegten *Orte* zur Verifizierung einer Einschätzung herangezogen werden. *Orte* sind in derartigen Kartenservices ortsgebundene Informationen, beispielsweise über eine Sehenswürdigkeit, Einrichtungen der Daseinsvorsorge oder eben Unternehmen. Die hinterlegten Ortsinformationen über ein Unternehmen enthalten neben dem Namen meist Angaben zur Branche, der das Unternehmen angehört sowie Kontaktdaten und den Hyperlink zur Internetseite. So kann aus den *Orten* der Online-Kartenservices abgeleitet werden, ob in einem Gewerbegebiet vorwiegend Logistikunternehmen oder doch Groß- und Einzelhandelsunternehmen angesiedelt sind. In der weit überwiegenden Zahl der Fälle können die Siedlungsflächen bereits auf Basis der Luft- und Schrägluftbilder sowie der Ortsinformationen eindeutig den verschiedenen BNT zugeordnet werden. Nur in Ausnahmefällen ist zusätzlich eine Messung der Straßenmeter je ha oder der Parzellengrößen notwendig. Sobald eine Siedlungsfläche eindeutig einem BNT zugeordnet werden kann, wird sie im GIS manuell als Polygon im Shape-Format eingezeichnet. Jedes Polygon erhält automatisch eine spezifische Identifikationsnummer. Zusätzlich werden der Name der Kommune, in der die Siedlungsfläche liegt sowie die BNT-Kennnummer und der BNT-Name in Kurzform in die entsprechenden Zellen der Attributtabelle des Shapes eingetragen. Außerdem berechnet das GIS automatisch die Fläche des Polygons in m². Das erstellte Shape mit den BNT-Flächen der Fallregion ist in Anhang B dokumentiert.

In der Realität weisen Quartiere eher selten Siedlungsstrukturen auf, die vollständig homogen einem einzelnen BNT zuzuordnen sind. Zum Teil wechseln sich verschiedene Siedlungsstrukturtypologien sehr kleinräumig ab. So kommt es beispielsweise vergleichsweise häufig vor, dass in weitgehend homogenen Ein- und Zweifamilienhausgebieten einzelne, kleinere Mehrfamilienhäuser zu finden sind. Diesbezüglich stellt sich für die manuelle Erfassung und Kartographierung der BNT die Frage, auf welcher Skalierungsebene die Abgrenzung der BNT in Abwägung zwischen Aufwand und

Nutzen stattfinden kann. Die Objektebene ist in Anbetracht der Gesamtfläche der Fallregion für eine manuelle Abgrenzung ungeeignet. Die Ebene von Stadtteilen oder Quartieren ist dagegen zu grob und weist oft heterogene Siedlungsstrukturen auf, die einer differenzierten Erfassung bedürfen. Die Abgrenzung der BNT erfolgt daher in der Regel auf Ebene der Baublöcke, sodass die Grenzen zwischen den BNT im Straßenraum liegen. Einzelne Gebäude eines abweichenden BNT innerhalb eines Baublocks werden nicht gesondert zugeordnet, da davon ausgegangen wird, dass sie den Charakter der Siedlungsstruktur nicht wesentlich verändern und dementsprechend ihr Einfluss auf die Analyse- und Modellierungsergebnisse im Verhältnis zum notwendigen Aufwand nur sehr gering ist. Bei größeren Baublöcken kann sich der Charakter der Siedlungsstruktur aber auch innerhalb eines Baublocks verändern. In diesen Fällen wird eine Abgrenzung der BNT vorgenommen, wenn mehr als drei zusammenliegende Gebäude einem anderen BNT zuzuordnen sind als die umliegenden Gebäude. Die Zahl von drei Gebäuden hat sich in der Anwendung für den Autor als pragmatischer Kompromiss zwischen Handhabbarkeit und Differenziertheit herausgestellt. Einzige Ausnahme hiervon sind Hochhäuser (BNT „Geschosswohnungsbau in offener Bauweise“), die zum Teil als Solitäre errichtet sind und aufgrund der hohen lokalen Einwohnerdichte und der meist umfangreichen umliegenden Freiflächen einen eigenständigen Charakter aufweisen, der andere Siedlungsstrukturtypen unterbricht. Zudem ist die Fallzahl der Geschosswohnungsbauten in offener Baustruktur in der Fallregion vergleichsweise gering, sodass angestrebt wird, alle klar identifizierbaren Objekte bzw. Siedlungsstrukturen dieses Typs in die Analysen einzubeziehen.

Die kartographische Erfassung der BNT schließt auch Haupt- und Erschließungsstraßen, Brachen sowie die innerhalb der Baublöcke gelegenen Grün- und Freiflächen, die meist privat oder halb-öffentlich sind, mit ein. Auch öffentliche Gebäude, wie Schulen, und sonstige Nutzungen, wie Krankenhäuser oder Veranstaltungsgebäude werden einbezogen, da diese Gebäude ebenfalls in der Versicherungsdatenbank erfasst und an das Abwassernetz angeschlossen sind. Der Literatur können Kennwerte entnommen werden, um für die spätere Modellierung aus der Gesamtfläche eines Polygons (BNT-Fläche) das sogenannte „Nettowohnbauland“ (NWBL) (Siedentop et al. 2006: 66) zu berechnen, also die reine Grundfläche für Wohnzwecke ohne Verkehrsflächen oder sonstige Nutzungen. Nicht in die Kartierung mit einbezogen werden Wasserflächen, größere Grünflächen (z. B. Wälder), größere Verkehrsflächen wie Autobahnen oder das Schienennetz und größere Ackerflächen ohne Siedlungskörper.

Nachdem die BNT-Kartierung für die Fallregion vorläufig abgeschlossen war, erfolgte im Dezember 2018 eine dreitägige Ortsbegehung bzw. Ortsbefahrung, um zu überprüfen, ob die Zuordnungen der

7. Baustrukturtypen in der Region Reutlingen

Siedlungsflächen zu den verschiedenen BNT auch durch die realen Eindrücke vor Ort bestätigt werden können. Aufgrund der Gesamtfläche der Fallregion war diese Überprüfung nur als Stichprobe möglich. Weder konnten alle identifizierten BNT-Flächen einzeln geprüft werden, noch konnten die Siedlungsflächen, die befahren wurden, vollständig im Hinblick auf ihre Gesamtfläche überprüft werden. Die Stichproben ermöglichten es jedoch, einen grundsätzlichen Eindruck von dem siedlungsstrukturellen Charakter weiter Teile der Siedlungsflächen der Fallregion zu gewinnen. Dabei wurde die Fallregion überwiegend mit dem Auto befahren. Die Routen wurden so ausgewählt, dass die befahrenen Straßen nach Möglichkeit die Grenze zwischen zwei BNT darstellen oder daran vorbeiführten, um zu überprüfen, ob sich der Charakter der Siedlungsstruktur an der jeweiligen Stelle tatsächlich ändert. Einzelne Stellen, die mit dem PKW unzugänglich waren oder eine hohe Heterogenität der Siedlungsstruktur auf geringer Fläche aufweisen, wurden zu Fuß begangen. Die Erkenntnisse wurden vor Ort digital mithilfe eines Tablets in eine Attributtabelle übertragen, die im Anschluss wieder den Polygon-Shapes zugeordnet wurde. Veränderte Abgrenzungen der BNT wurden in eine digitale Karte eingezeichnet. Des Weiteren wurden die aufgefundenen Siedlungsstrukturen anhand von Fotos dokumentiert, die zum Teil in der vorliegenden Arbeit verwendet werden. Insgesamt umfasste die Route an den drei Tagen eine Länge von knapp 190 km und führte an rund 500 der 812 zuvor identifizierten BNT-Flächen vorbei bzw. durch sie hindurch. In Summe wurden auf Basis der Ortsbefahrung 65 Veränderungen an den zuvor definierten BNT-Flächen vorgenommen, was einer Fehlerquote von 13 % bezogen auf die 500 überprüften Flächen entspricht. Die Veränderungen betreffen in den meisten Fällen eine Verlegung der Grenzen zwischen den BNT oder das Einfügen eines neuen Polygons. Eine fehlerhafte Zuordnung der gesamten BNT-Fläche war nur sehr selten der Fall.

Tabelle 12 führt auf, wie viele Einzelflächen in der gesamten Fallregion den verschiedenen BNT zugeordnet sind und gibt zudem die zugehörigen Summen der entsprechenden BNT-Flächen in Hektar an. Auf Basis dieser Flächen wird berechnet, welche Flächenanteile die unterschiedlichen BNT an der gesamten Fläche aller BNT in der Fallregion aufweisen. Die Streusiedlungen nehmen mit rund 62 % der Gesamtfläche einen großen Teil der BNT-Flächen in der Fallregion ein. Aufgrund dieses hohen relativen Anteils ist zu erwarten, dass die Streusiedlungen die Gesamtergebnisse überproportional stark beeinflussen. Wegen der geringen Verdichtungsgrade und hohen Ackerflächenanteile spiegeln die Streusiedlungsflächen jedoch nicht den Siedlungsflächencharakter in der Fallregion angemessen wider. Daher werden sie im weiteren Verlauf der Arbeit nichtmehr einbezogen. Hinzu kommt, dass in den Versicherungsdaten, die Streusiedlungen zuzuordnen sind, im Verhältnis zur Fläche nur wenige Versicherungsobjekte und Schadensfälle zu finden sind. Außerdem ist auch

im Hinblick auf die Modellierung der Abwasserinfrastrukturentwicklung davon auszugehen, dass Streusiedlungen vielfach dezentral entwässert werden und die Literaturkennwerte so die tatsächliche Infrastrukturausstattung kaum hinreichend genau wiedergeben können. In der Tabelle sind die Anteile der verschiedenen BNT an der gesamten BNT-Fläche daher zusätzlich auch ohne Einbeziehung der Streusiedlungsflächen aufgeführt. Ohne Berücksichtigung der Streusiedlungen stechen besonders die BNT dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung (31,8 %) sowie lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung (16,5 %) durch hohe Flächenanteile heraus. Der hohe Anteil an BNT, bei deren Wohngebäude es sich überwiegend um Ein- und Zweifamilienhäuser handelt (also einschließlich Streusiedlungen und Dorfkernen/Ortslagen), spiegelt die in Tabelle 9 (siehe S. 257) dargestellten, hohen Anteile dieser Gebäudetypen am gesamten Wohngebäudebestand der Fallregion wider.

Tabelle 12: Anzahl und akkumulierte Gesamtflächen der BNT in der Fallregion

| BNT | Anzahl Einzelflächen | Summe Flächen (ha) | Durchschnittliche Größe der BNT- Flächen (ha) | Anteil an Gesamtfläche (mit/ohne Streusiedlungen) |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|---|--|
| Traditionelle Blockrandbebauung | 13 | 97,1 | 7,47 | 0,7 % / 1,9 % |
| Zeilenbebauung | 60 | 158,5 | 2,64 | 1,2 % / 3,1 % |
| Geschosswohnungsbau | 48 | 79,1 | 1,65 | 0,6 % / 1,5 % |
| Mehrfamilienhäuser | 145 | 381,6 | 2,63 | 2,8 % / 7,4 % |
| Dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung | 233 | 1.632,4 | 7,0 | 12,1 % / 31,8 % |
| Lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung | 132 | 846,3 | 6,42 | 6,3 % / 16,5 % |
| Dorfkern/Ortslage | 39 | 475,6 | 11,96 | 3,5 % / 9,3 % |
| Streusiedlung | 58* | 8.377,1* | 144,43 | 62 %* |
| Innerstädtische Mischbebauung | 9 | 105,1 | 11,68 | 0,8 % / 2,0 % |
| Industriegebiet | 12 | 159,1 | 13,26 | 1,2 % / 3,1 % |
| Logistikpark | 4 | 78,8 | 19,7 | 0,6 % / 1,5 % |
| Kleinteiliges Gewerbegebiet | 40 | 421,2 | 10,53 | 3,1 % / 8,2 % |
| Klassisches Gewerbegebiet | 40 | 646,5 | 16,16 | 4,8 % / 12,6 % |
| Logistikpark | 6 | 46,8 | 7,8 | 0,3 % / 0,9 % |
| Gesamtsumme | 839* / 781 | 13.505* / 5.128 | 16,1* / 6,57 | - |

Quelle: eigene Darstellung; *Streusiedlungen werden im weiteren Verlauf nichtmehr einbezogen.

7. Baustrukturtypen in der Region Reutlingen

Bei Betrachtung der räumlichen Verteilung der BNT in den Kommunen der Fallregion (siehe Abbildung 64) fällt auf, dass vor allem die Stadt Reutlingen von einer heterogenen Siedlungsstruktur geprägt ist, die alle 14 BNT aufweist. Im Wesentlichen sind zwei Siedlungsbänder zu erkennen, die die Region mit einigen Ausläufern durchziehen. Das nördlichere Siedlungsband zieht sich in einem Bogen von der Gemeinde Bempflingen über Riederich und Metzingen bis nach Dettingen an der Erms und weist überwiegend dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung sowie einige klassische sowie kleinteilige Gewerbegebiete auf. In den Ortszentren sind Dorfkerne zu finden und an den Ortsrändern liegen einige lockere Einfamilienhausgebiete.

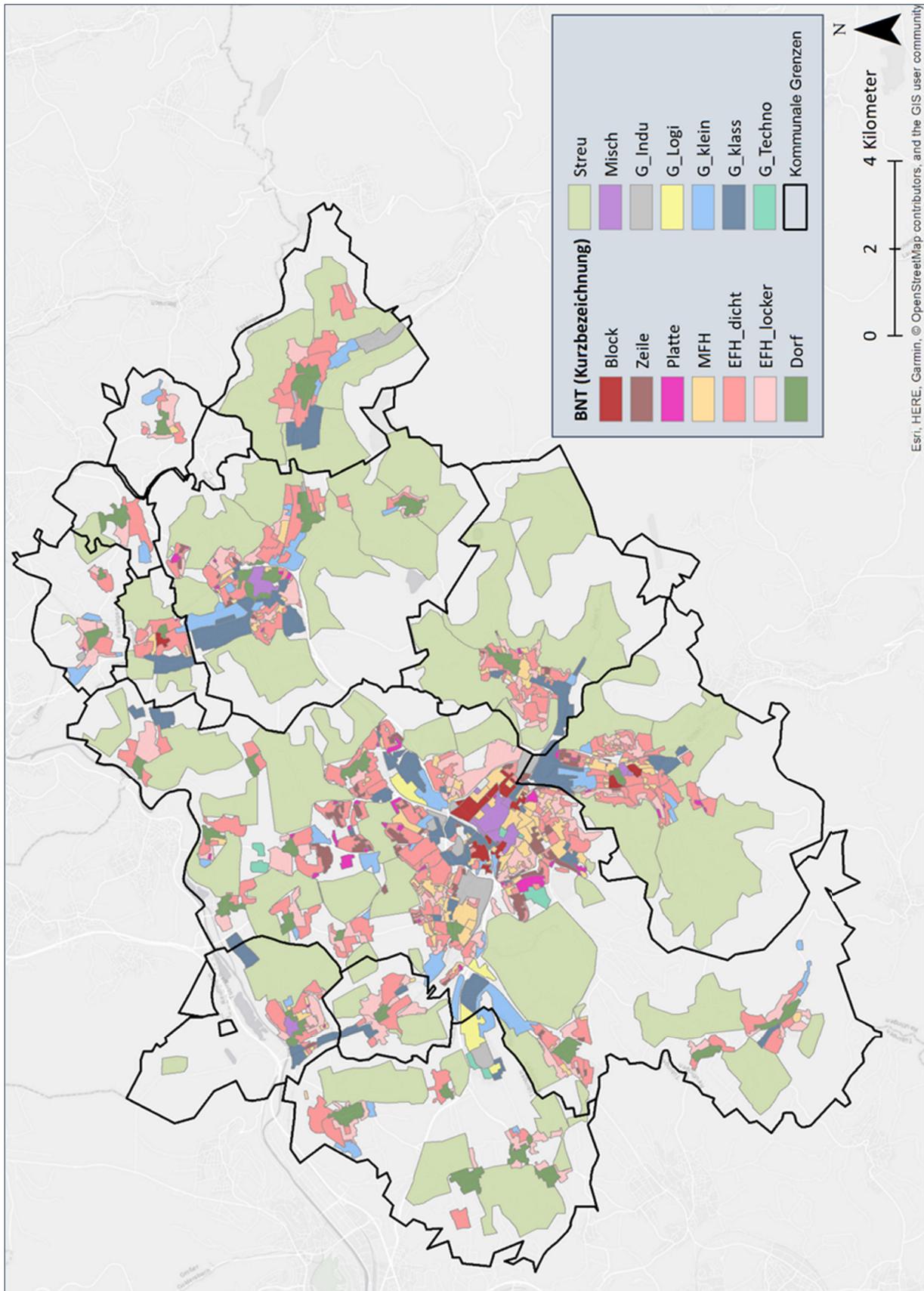
Das südlichere Siedlungsband verläuft von Kirchentellinsfurt im Norden über Wannweil nach Reutlingen und teilt sich von dort in zwei Ausläufer nach Pfullingen und Eningen unter Achalm. Vor allem in Reutlingen, aber auch in Pfullingen weitete sich das Siedlungsband deutlich aus und zeigt heterogene Siedlungsstrukturen, die unterschiedliche BNT beinhalten. Die kleinteilige Vermischung verschiedener Typologien und Nutzungsarten deutet auf einen urbanen Charakter dieser Siedlungsräume hin. Dagegen sind in den übrigen Gemeinden dieses Siedlungsbandes vor allem dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung sowie klassische Gewerbegebiete zu finden.

Neben den zwei zentralen Siedlungsbändern weist die Fallregion mehrere, kleinere Dörfer auf, deren Dorfkerne von dichter und lockerer Ein-/Zweifamilienhausbebauung umgeben sind. Mehrfamilienhäuser unterschiedlicher Bauweisen (Blockrandbebauung, Zeilenbauweise, Geschosswohnungsbau oder Mehrfamilienhäuser) sind nahezu ausschließlich innerhalb der beiden Siedlungsbänder zu finden. An die dispers verteilten Dörfer schließen sich in vielen Fällen kleinere Gewerbeflächen an.

Zwischen den Siedlungsbereichen liegen zahlreiche große Landwirtschaftsflächen, die Streusiedlungen mit Einzelgebäuden oder kleineren Gebäudeansammlungen beinhalten. Vor allem im Westen und Süden der Fallregion sowie im Südwesten von Metzingen liegen größere Waldflächen, denen kein BNT zuzuordnen ist. Sie erscheinen in Abbildung 64 daher als freie Flächen.

Insgesamt decken die Siedlungsflächen in der Fallregion die unterschiedlichen BNT nicht gleichmäßig ab. Im Hinblick auf die Flächenanteile zeigt sich ein relativer Bedeutungsüberschuss einzelner BNT, welcher durch den Ausschluss der Streusiedlungen aus der weiteren Betrachtung zumindest reduziert wird. Nichtsdestotrotz dominieren die BNT mit lockerer und dichter Ein-/Zweifamilienhausbebauung deutlich, wohingegen die BNT Blockrandbebauung, Geschosswohnungsbau oder einige Gewerbegebietstypen nur geringe Fallzahlen aufweisen.

Abbildung 64: BNT-Flächen in der Fallregion Reutlingen



Quelle: eigene Darstellung; Geobasisdaten: Geobasis-DE/BKG 2017; siehe auch Anhang B

Letztendlich werden in der Fallregion Reutlingen dennoch alle BNT abgedeckt. Die vereinzelt geringen BNT-Fallzahlen sollten daher zwar bei der Bewertung der Ergebnisse Berücksichtigung finden, sind jedoch kein Ausschlussgrund für die Auswahl der Fallregion.

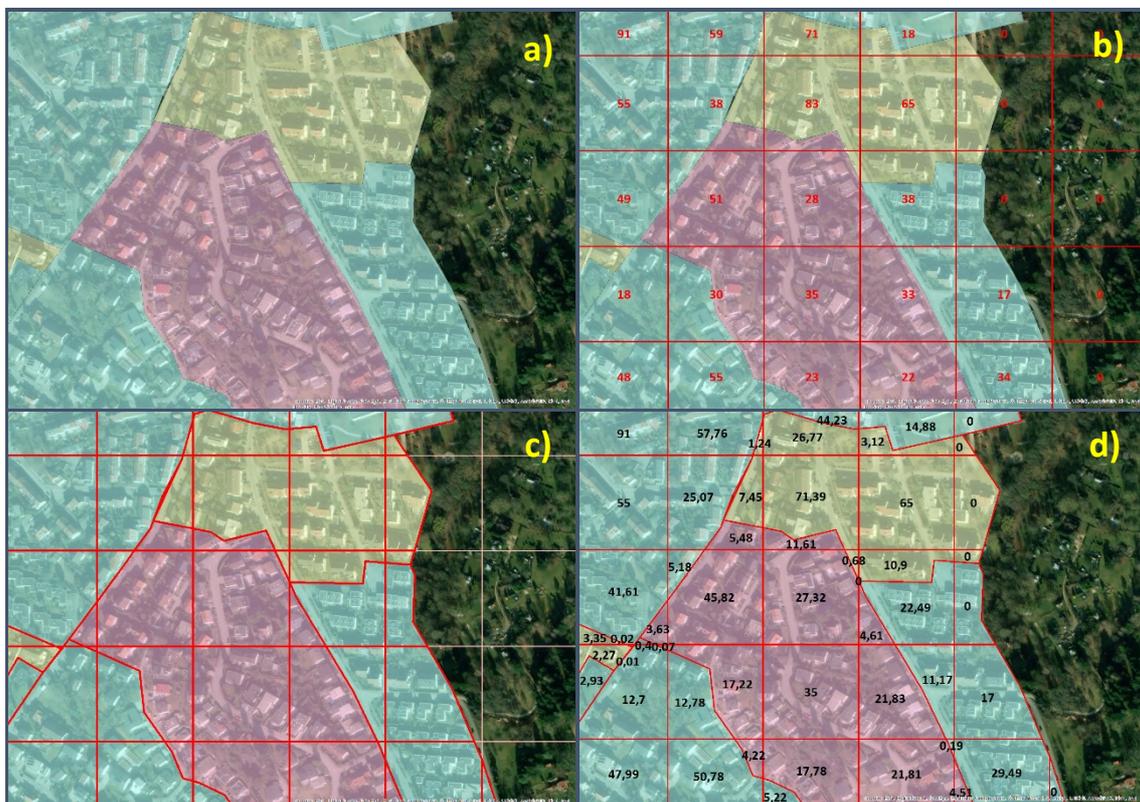
7.4 Räumliche Indikatoren der BNT in der Fallregion

Für die BNT liegen Literaturkennwerte zu räumlichen Indikatoren wie dem Versiegelungsgrad, der Einwohnerdichte und der Straßen- oder Kanalnetzlänge, vor (siehe Kapitel 7.2.4 & 7.2.5). Allerdings wurden diese Werte in anderen Fallregionen in abweichenden siedlungs- und bevölkerungsstrukturellen Kontexten ermittelt. SIEDENTOP ET AL. haben die Kennwerte ihrer Studie beispielsweise in der Planungsregion Havelland-Fläming zwischen Berlin und Potsdam erhoben (vgl. Siedentop et al. 2006: 153ff.). Zwar können derartige Kennwerte grundsätzlich als allgemeine Literaturkennwerte für Analysen oder Modellierungen herangezogen werden, doch können sie allenfalls näherungsweise die konkreten örtlichen Gegebenheiten in unterschiedlichen Fallregionen abbilden. Soweit möglich sollte daher auf reale Werte aus der jeweiligen Fallregion zurückgegriffen werden. Da auf kleinräumiger Ebene keine Realdaten aus den Kommunen der Fallregion verfügbar waren, musste der Autor dieser Arbeit auf frei verfügbare Daten zurückgreifen. Ein umfangreiches Angebot raumbezogener Kennwerte unterschiedlichster Themenfelder, die auch auf kleinräumiger Ebene für die gesamte Bundesrepublik verfügbar sind, bietet der Online Service „IÖR-Monitor“ des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (vgl. Website IÖR-Monitor). Neben Indikatoren zur Landschaftsqualität oder den Ökosystemleistungen bietet der Service auch zahlreiche Kennwerte zur Siedlungs- und Bevölkerungsstruktur sowie zu den Verkehrsflächen. So sind auch die Siedlungsdichte (Einwohner je Flächeneinheit), der Versiegelungsgrad und die Länge der Straßenmeter je Flächeneinheit abrufbar. Alle drei Indikatoren liegen nicht nur in Bezug auf die administrativen Grenzen, sondern auch auf Rasterflächenebene bis zu einer Rastergröße von 100 m x 100 m vor. Einschränkung gilt allerdings, dass die rasterflächenbezogenen Bevölkerungsdaten lediglich für den Stand des Zensus 2011 vorliegen und nicht, wie die Daten auf administrativer Ebene, in Jahresschritten abrufbar sind. Die Daten zum Versiegelungsgrad und zur Straßennetzdichte haben den Stand zum 31.12.2015. Trotzdem ist davon auszugehen, dass die kleinräumigen Daten für die vorgesehenen Analysen und die Modellierung realitätsnähere Basisdaten darstellen als allgemeine Literaturkennwerte für die BNT. Die Daten können nicht nur online im Browser abgerufen werden, sondern lassen sich auch über einen sogenannten WMS-Server-Link in eine lokale GIS-Software einladen und dort für weitere Analysen verwenden.

Allerdings werden die Daten in das lokale GIS als Rasterbild- bzw. Pixeldateien eingeladen. Sie müssen daher für die weiteren Analyseschritte erst in ein für GIS analysierfähiges Shape-Format umgewandelt werden (für die einzelnen Arbeitsschritte siehe Anhang C.1). Als Ergebnis dieses Arbeitsschrittes liegen die drei Indikatorwerte in der Attributtabelle einer Shape-Datei vor und sind den georeferenzierten 100 m x 100 m Rasterpolygonen zugeordnet.

Für die Anwendung der Indikatorwerte auf Ebene der BNT ist eine weitere räumliche Anpassung der Daten notwendig. In Form der 100 m x 100 m Rasterflächen können die Indikatorwerte nicht unmittelbar auf die einzelnen BNT-Flächen angewendet werden, da die Abgrenzungen nicht übereinstimmen. Die BNT orientieren sich nicht an den Rasterflächen, sondern an den Siedlungsstrukturen (siehe Abbildung 65a). Daher liegen oftmals mehrere Rasterflächen innerhalb einer BNT-Fläche. Da aber nicht immer alle Rasterflächen vollständig innerhalb einer BNT-Fläche liegen, kommt es vor, dass verschiedene Teile der gleichen Rasterfläche in unterschiedlichen BNT-Flächen liegen (siehe Abbildung 65b). Eine Zuordnung der rasterflächenbezogenen Indikatorwerte zu den BNT würde in dieser Form zu fehlerhaften Ergebnissen führen: Beispielsweise, wenn die Einwohnerzahl einer Rasterfläche mehreren BNT zugeschrieben würde bzw. wenn einem BNT alle Einwohner einer Rasterfläche zugerechnet würden, obwohl die BNT-Fläche nur einen geringen Teil der Rasterfläche überdeckt.

Abbildung 65: Verknüpfung der IÖR-Indikatorwerte mit den BNT in vier Schritten



Quelle: eigene Darstellung; Geobasisdaten: Geobasis-DE/BKG 2017

7. Baustukturtypen in der Region Reutlingen

Um diese Problematik zu beheben, wird eine Verschneidung der Rasterflächen mit den BNT-Flächen vorgenommen. So werden die Indikatorwerte einer Rasterzelle flächenproportional auf diejenigen BNT-Flächen verteilt, die Flächenanteile an der jeweiligen Rasterzelle haben. Ein wesentlicher Schritt besteht dabei zunächst darin, die Teilflächen zu bestimmen, die sich aus der Überlagerung der BNT-Flächen und der Rasterflächen ergeben. Die Berechnung der Indikatorwerte für diese Teilflächen wird in mehreren Schritten (siehe Abbildung 65 & Anhang C.2) so durchgeführt, dass die Indikatorwerte einer Rasterzelle immer vollständig verteilt werden, auch wenn Teile der Rasterfläche nicht bebaut sind.

Für jede Teilfläche liegen im Ergebnis geschätzte Werte für die Bevölkerungszahl, die versiegelte Fläche und die Straßenmeter vor (siehe Abbildung 65d). Anhand der Identifikationsnummer eines jeden BNT können die Indikatorwerte der Teilflächen anschließend aufsummiert werden, um Gesamtwerte für jede BNT-Fläche zu erhalten. Auch werden für jede BNT-Fläche die standardisierten Indikatorwerte je ha berechnet (Spaltenbezeichnungen: „Bev_ha“ für die Einwohnerzahl je ha, „StDi_ha“ für die Straßenmeter je ha und „Vsgl_ha“ für den Versiegelungsgrad in %). Dazu werden die aufsummierten Indikatorwerte durch die BNT-Fläche in m² dividiert und anschließend mit 10.000 multipliziert. Diese Werte wiederum können für die weiteren Analysen und die Modellierung verwendet werden. Zudem können nach einem Export der Attributtabelle der BNT-Flächen in das Programm MS Excel die flächengewichteten Durchschnittswerte für die verschiedenen BNT berechnet werden, die in der nachfolgenden Tabelle 13 aufgeführt sind und potenziell als Literaturkennwerte auf andere Fallbeispiele übertragen werden können.

Hinsichtlich der Allgemeingültigkeit dieser Kennwerte sind die spezifischen siedlungsstrukturellen und örtlichen Gegebenheiten der Fallregion sowie die unterschiedlichen Fallzahlen der BNT-Flächen zu berücksichtigen. Auch wenn die unterschiedlichen BNT jeweils grundsätzlich vergleichbare Charakteristiken in verschiedenen Fallregionen aufweisen, ist davon auszugehen, dass sich die Kennwerte in sehr unterschiedlichen Fallregionen im Detail voneinander unterscheiden. Vergleicht man beispielsweise die Fallregion Reutlingen mit dem Ruhrgebiet, so kann davon ausgegangen werden, dass Mehrfamilienhausgebiete in einem polyzentrischen Agglomerationsraum höhere Versiegelungsgrade und Einwohnerdichten aufweisen, als in der Fallregion Reutlingen. Gleiches gilt für die innerstädtische Mischbebauung oder Gebiete mit lockerer Einfamilienhausbebauung. Der grundsätzliche siedlungs- und bevölkerungsstrukturelle Charakter einer Fallregion sollte also beim Vergleich oder der Anwendung von Literaturkennwerten von BNT immer berücksichtigt werden.

Tabelle 13: Flächengewichtete durchschnittliche Indikatorkennwerte der BNT in der Fallregion Reutlingen

| BNT | Bewohner je ha | Versiegelungsgrad | Straßenmeter je ha |
|---|----------------|-------------------|--------------------|
| Blockrandbebauung | 74 | 81 % | 181 |
| Zeilenbebauung | 91 | 48 % | 144 |
| Geschosswohnungsbau in offener Bauweise | 99 | 44 % | 121 |
| Mehrfamilienhäuser | 58 | 63 % | 168 |
| Dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung | 49 | 54 % | 162 |
| Lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung | 33 | 41 % | 142 |
| Dorfkern / Ortslage | 41 | 60 % | 167 |
| Mischbebauung | 55 | 82 % | 195 |
| Industriegebiet | 5 | 65 % | 99 |
| Logistikpark | 1 | 80 % | 84 |
| Kleinteiliges Gewerbegebiet | 11 | 54 % | 105 |
| Klassisches Gewerbegebiet | 10 | 62 % | 93 |
| Technologiepark | 10 | 31 % | 59 |

Quelle: eigene Berechnung; Datengrundlage: Website IÖR-Monitor

Nichtsdestotrotz zeigt insbesondere der Vergleich mit den von SIEDENTOP ET AL. erhobenen Indikatorwerten für die Region Havelland-Fläming deutliche Überschneidungen bei der Einwohnerdichte und dem Versiegelungsgrad für die Wohngebietstypen der Fallregion Reutlingen. Hierbei kommt es dem Vergleich zugute, dass es sich bei der von SIEDENTOP ET AL. gewählten Fallregion ebenfalls um eine Region mit kleinstädtischem und dörflichem Charakter handelt. So liegen die Einwohnerdichte bei SIEDENTOP ET AL. zwar bei allen Mehrfamilienhaus-BNT deutlich höher (siehe Siedentop et al. 2006: 57), doch muss beachtet werden, dass die Einwohnerdichte in der genannten Studie für das sogenannte Nettowohnbauland (NWBL) angegeben wird. Diese umfasst die BNT-Fläche abzüglich Verkehrsflächen (20 %), Nichtwohnnutzungen und Brachen (5–45 %) und Nichtwohnnutzungen in Wohngebäuden (5–15 %), sodass je nach BNT nur zwischen 45 % (Dorfkern/Ortslage) und 70 % (Mehr- und Einfamilienhausbebauung) der Bruttostrukturtypenfläche als NWBL gewertet werden (vgl. ebd.: 66). Würde man dies auf die für die Fallregion Reutlingen ermittelten Einwohnerdichten anwenden, so müsste man die Werte mit Faktoren zwischen 1,4 (für 70 % Anteil NWBL) und 2,2 (für 45 % Anteil NWBL) multiplizieren und erhält dann auch annähernd identische Werte der Einwohnerdichte. Für die Ein-/Zweifamilienhaus-BNT sowie die Dorfkerne stimmen die Kennwerte auch ohne Faktor Anpassung schon annähernd überein. Für die Mischbebauung und die

7. Baustukturtypen in der Region Reutlingen

Gewerbegebietstypen liegen in der Literatur für diese Indikatoren dagegen keine Kennwerte vor, sodass hierfür kein Abgleich erfolgen kann.

Zumindest für die Einwohnerzahlen kann die Genauigkeit der erhobenen Kennwerte auch anhand der kommunalen Einwohnerzahlen geprüft werden. In Tabelle 14 sind die ermittelten Einwohnerzahlen aller BNT je Kommune aufsummiert und den Einwohnerwerten der Kommunen aus der Zensushebung 2011 gegenübergestellt.

Tabelle 14: Vergleich der für die BNT erhobenen Einwohnerzahlen und der Zensuswerte 2011

| Kommune | Bevölkerung durch Aufsummierung der BNT (Abweichung von Zensuswert) | Einwohner gemäß Zensus 2011 |
|------------------------------|--|--|
| Reutlingen | 109.110 (-0,6 %) | 109.799 |
| Metzingen | 20.636 (-0,8 %) | 20.795 |
| Pfullingen | 17.173 (-1,2 %) | 17.384 |
| Eningen unter Achalm | 10.501 (-0,5 %) | 10.552 |
| Dettingen an der Erms | 9.007 (-1,4 %) | 9.135 |
| Kusterdingen | 7.926 (-2,1 %) | 8.091 |
| Kirchentellinsfurt | 5.423 (-1,6 %) | 5.510 |
| Wannweil | 5.125 (+0,7 %) | 5.089 |
| Riederich | 4.144 (-0,1 %) | 4.190 |
| Bempflingen | 3.344 (-4,0 %) | 3.483 |
| Grafenberg | 2.527 (-3,4 %) | 2.614 |
| Kohlberg | 2.268 (-2,3 %) | 2.320 |

Quelle: eigene Berechnung; Datengrundlage: Website IÖR-Monitor & Website Regionalstatistik 3

Es zeigt sich, dass die erhobenen Einwohnerzahlen im geringen Prozentbereich unter den Zensuswerten liegen, was auf Rundungen und Einzelgebäude zurückzuführen sein dürfte, die bei der BNT-Abgrenzung nicht erfasst wurden. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die für die BNT anhand der Daten des IÖR-Monitors erhobenen Einwohnerzahlen mit hoher Genauigkeit den tatsächlichen Stand zum Zeitpunkt des Zensus 2011 wiedergeben.

Für den Versiegelungsgrad und die Straßenmeter würde ein derartiger Vergleich deutlich höhere Abweichungen aufzeigen, da größere Verkehrsflächen nicht in die BNT-Abgrenzungen aufgenommen werden, diese jedoch in den kommunalen Werten berücksichtigt sind. Verkehrsflächen wirken sich sowohl auf den Versiegelungsgrad, als auch auf die Straßendichte aus, sodass von einem Vergleich für diese beiden Indikatoren abgesehen wird.

Der hohe Übereinstimmungsgrad bei den Einwohnerzahlen belegt jedoch, dass die gewählte Methodik zur Übertragung der Indikatorwerte des IÖR-Monitor auf die BNT in der Fallregion

grundsätzlich mit einer relativ hohen Genauigkeit funktioniert und die erhobenen Kennwerte somit für die weiteren Analysen und Modellierungen verwendet werden können. Da es sich um die spezifischen, lokalen Werte handelt, ist auch davon auszugehen, dass sie die reale Situation besser abbilden können, als allgemeine Literaturkennwerte.

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

Im folgenden Kapitel werden die Daten der vorliegenden Gebäudeversicherungs- und Schadensdatenbank ausgewertet, um zur Beantwortung der vierten und fünften Forschungsfrage beizutragen (siehe Kapitel 1.2). Fallbeispiel der Analyse ist der Hagelsturm von Reutlingen vom 28.07.2013. Da in der Datenbank der Schadensfälle jedem Schaden auch die zugehörigen Informationen zum entsprechenden Versicherungsobjekt aus der Versicherungsdatenbank zugeordnet sind, haben die hier verwendeten Versicherungsdaten ebenfalls den Stand zum 28.07.2013.

Die Analyse der Schadensdaten hat zum Ziel, die Vulnerabilität der Siedlungsstrukturen gegenüber Hagelereignissen exemplarisch zu bestimmen und daraus Aussagen zur Robustheit der BNT im Sinne der physischen Dimension urbaner Resilienz abzuleiten. Die gewonnenen quantitativen Ergebnisse fließen in die Erstellung der Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile (siehe Kapitel 10 & 11) ein. Da diese Profile auch aus weiteren quantitativen Daten gespeist werden sollen, ist darauf zu achten, dass die verschiedenen Ergebnisse unterschiedlicher Datensätze passfähig zueinander sind und sich in ein gemeinsames Ergebnis zusammenführen lassen. Legt man der Empirie das Resilienzverständnis dieser Arbeit zugrunde (siehe Kapitel 5.2), sollte es bei den empirischen Analysen darum gehen, Verhältnismäßigkeiten abzubilden, anstatt konkrete Messwerte zu erheben, die mitunter falsch interpretiert werden könnten (siehe Kapitel 5.5.1). Die Verhältnismäßigkeiten der Reaktionen der Untersuchungsobjekte auf unterschiedliche Herausforderungen setzen die Untersuchungsobjekte in Bezug zueinander. Dies regt eine weitere Auseinandersetzung mit den urbanen Systemen in den verschiedenen BNT und den Herausforderungen an.

Im Folgenden wird zunächst beschrieben, welche Schritte notwendig sind, um die Daten für die Analysen aufzubereiten und anschließend welche Methoden zu welchem Zweck eingesetzt werden. Anschließend werden die Analyseergebnisse dargestellt und erläutert. In einem kurzen Zwischenfazit wird die Aussagekraft der Ergebnisse eingeschätzt und aufgezeigt, welche Konsequenzen daraus für die weitere Arbeit zu ziehen sind.

8.1 Beschreibung der Datenaufbereitung und Analyseschritte

Sowohl die Gebäudeversicherungs-, als auch die Schadensdaten wurden als Semikolon getrennte Textdateien zur Verfügung gestellt. Sie wurden zunächst in die Statistik-Software SPSS importiert, um die großen Datenmengen besser sichten und für die weiteren Schritte aufbereiten zu können. Da Versicherungs- und Schadenssummen der einzelnen Objekte bzw. Schadensfälle eine Varianz

von mehreren Millionen € aufweisen, wird zur besseren Vergleichbarkeit der Daten ein relativer, größenunabhängiger Indikator berechnet: Der *Schadensquotient* gibt als Dezimalwert das Verhältnis des Gesamtschadensaufwands zur Versicherungssumme nach BKI an. Er ermöglicht damit, anhand eines Wertes, eine erste Einschätzung, wie stark der Schaden an einem Objekt war. Da der Indikator unabhängig von der Versicherungssumme ist, lassen sich auch kleine Versicherungsobjekte mit großen, sehr teuren Versicherungsobjekten vergleichen.

Bezüglich des Gesamtschadensaufwands muss beachtet werden, dass dieser neben der von der Versicherung ausgezahlten Schadenssumme auch Reserven der Versicherung für den jeweiligen Schadensfall enthält. Die Summe kann nicht in ihre Bestandteile aufgeteilt werden und beinhaltet nach Angaben der Versicherung einen variablen Prozentsatz an Reserven, der für jeden Schadensfall spezifisch festgelegt wird.

Nach Betrachtung der statistischen Streuungsmaße sowie der Mini- und Maximalwerte werden aus der Schadensdatenbank folgende zwei Arten von Schadensfällen als Ausreißer aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen:

1. Schadensfälle, deren eingetragener Gesamtschaden 0 € beträgt. Nach Angaben der Versicherung handelt es sich bei derartigen Schadensfällen um von den Versicherungsnehmern gemeldete Schäden, die nach Prüfung durch einen Mitarbeiter der Gebäudeversicherung aus unterschiedlichen Gründen nicht reguliert wurden (z. B. Schaden nicht versichert, festgestellte Schadenssumme unter dem Selbstbehalt). Da die Schadenssumme in derartigen Fällen also in der Realität wohl nicht 0 € entspricht, in der Datenbank aber keine Informationen zur tatsächlichen Schadenssumme vorliegen, sind diese Fälle auszuschließen. Andernfalls würden sie die Ergebnisse fehlerhaft verzerren.
2. Schadensfälle, deren Schadensquotient 150 % übersteigt. Zwar sind Unterversicherungen in der Versicherungswirtschaft keine Seltenheit, sodass es nicht weiter verwunderlich wäre, wenn der tatsächliche Schaden die Versicherungssumme übersteigt. Jedoch handelt es sich bei der Gesamtschadenssumme um die ausgezahlten Beträge zzgl. der Reserven. Die ausgezahlten Beträge sollten daher auch bei einer Unterversicherung nicht über der Versicherungssumme liegen. Allerdings sind in der Schadensdatenbank einige Fälle zu finden, deren Gesamtschaden die Versicherungssumme um mehr als das 10-fache übersteigt. Eine genaue Betrachtung dieser Fälle zeigt unverhältnismäßig hohe Schadenssummen, die anhand der angegebenen Versicherungssummen und Gebäudekategorien nicht erklärbar sind. Ob es sich in Einzelfällen um extrem hohe Rückstellungen oder fehlerhafte Eintragungen handelt, ist nicht nachzuvollziehen. Der Großteil

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

der Schadensfälle weist einen Schadensquotienten im einstelligen Prozentbereich auf und statistisch wären alle Schadensfälle oberhalb eines Schadensquotienten von 20,2 % (95 %-Perzentil) als extreme Ausreißer auszuschließen. Zwar handelt es sich um eine Analyse eines Extremereignisses, die durchaus auch extreme Schadensfälle berücksichtigen soll, doch müssen diese Schadensfälle auch inhaltlich nachvollziehbar sein. Auszahlungen, die die Versicherungssumme um ein Vielfaches übersteigen, erscheinen unrealistisch. Als oberer Grenzwert der Betrachtung wird daher ein Schadensquotient von 150 % festgelegt, ausgehend von einer vollständigen Zerstörung des Versicherungsobjektes, die reguliert wurde, zuzüglich einer 50 %-igen Reservesumme (für unterversicherte Objekte).

Neben den direkten, physischen Gebäudeschäden beinhaltet die Schadensdatenbank auch Schäden an versicherten Gebäudeinhalten sowie wirtschaftliche Schadensfälle, die durch Betriebsunterbrechungen infolge von Elementarereignissen entstehen. Es wäre zwar möglich die Schäden an Gebäudeinhalten und Schäden durch Betriebsunterbrechungen aus der weiteren Betrachtung auszuschließen, doch ist dies unter Berücksichtigung des ganzheitlichen Resilienzverständnisses, das dieser Arbeit zugrunde liegt, nicht geschehen. Gerade wenn urbane Systeme als Ganzes in ihren komplexen Zusammenhängen in der Empirie abgebildet werden sollen, sind es auch die Folgeschäden der direkten Schäden an den baulichen Strukturen, die Berücksichtigung finden sollten.

Als nächster Schritt werden die Versicherungs- und Schadensdaten in das GIS importiert und dort in Punktshapes umgewandelt. Zudem werden den Punkten der Versicherungsobjekte die Indikatorwerte der jeweiligen BNT-Fläche zugeordnet, in der sie liegen. (siehe Anhang C.3) Auf dieser Grundlage können die allgemeinen statistischen Kennwerte und Streuungsmaße der Versicherungs- und Schadensdaten für die Fallregion ermittelt und ausgewertet werden. Für die detaillierteren Analysen im Rahmen von Kapitel 8 werden diejenigen Schadensfälle ausgewählt und in eine CSV-Datei exportiert, die die spezifische Ereignisnummer des Hagelsturms von Reutlingen vom 28.07.2013 aufweisen. Diese CSV-Datei wird anschließend zu weitergehenden Analysen in SPSS importiert und die Daten dort weitergehend analysiert.

Der Analyse der Schadensdaten liegt die These zugrunde, dass sich die spezifischen siedlungsstrukturellen Eigenschaften unterschiedlicher BNT auf deren Vulnerabilität und Robustheit gegenüber äußeren Einflüssen, wie beispielsweise Hagelereignisse, auswirken. Diese These wird mittels einer explorativen Analyse der verfügbaren Schadensdaten und den Raumindikatoren untersucht. Dazu werden in SPSS statistische Zusammenhänge zwischen den BNT sowie Raumindikatoren als unabhängige und den Schadensquotienten als abhängige Variablen analysiert. Dies soll aufzeigen, ob sich

zwischen den raumstrukturellen Eigenschaften der BNT und der Vulnerabilität gegenüber Hagel- schäden eine statistisch signifikante Korrelation nachweisen lässt und ob sich dieser Zusammenhang ggf. auch als lineare Regression quantifizieren lässt. Um die Werteverteilung des Datensatzes grafisch beurteilen zu können, werden für alle getesteten Variablenkombinationen Boxplots (im Falle der BNT) bzw. Streudiagramme (im Falle der Raumindikatoren) ausgegeben.

Als zusätzlicher Indikator zur Bestimmung der Schadensvulnerabilität der BNT wird der Schaden je m^2 Geschossfläche berechnet. Der Indikator wird im weiteren Verlauf der Arbeit als *Geschossflächenschaden* bezeichnet. Die Geschossfläche ist die Summe der Flächen aller Vollgeschosse eines Gebäudes, wobei jeweils die Außenmaße der Geschosse heranzuziehen sind. Als Maß der baulichen Nutzung gibt die Geschossflächenzahl an „wieviel Quadratmeter Geschossfläche je Quadratmeter Grundstücksfläche [...] zulässig sind“ (§ 20 BauNVO). Dieser Indikator dient der Untersuchung des Einflusses der Gebäudemorphologie in den unterschiedlichen BNT auf die Schadensvulnerabilität. Er beruht auf der Tatsache, dass größere Mehrfamilienhäuser weniger Quadratmeter Gebäudeoberfläche je Quadratmeter Geschossfläche aufweisen als Ein- und Zweifamilienhäuser. Durch die Mehrgeschossigkeit fallen Boden- und Dachfläche eines Gebäudes nur anteilig für alle Wohneinheiten des Gebäudes an. Dementsprechend bietet das Gebäude im Vergleich zu Einfamilienhäusern je Quadratmeter Geschossfläche weniger Angriffsfläche für äußere Einflüsse, wie beispielsweise Hagel. Mit dem Indikator *Geschossflächenschaden* (Schaden je m^2 Geschossfläche) soll die These untersucht werden, dass in BNT mit höherer Siedlungsdichte aufgrund der siedlungsstrukturellen Eigenschaften geringere Geschossflächenschäden anfallen. Für die Analyse der Geschossflächenschäden auf Objektebene wird die Geschossfläche je Gebäude bzw. Objekt benötigt. Dieser Kennwert liegt allerdings weder als Realwert vor, noch kann er direkt aus der Literatur entnommen werden, da in der Literatur lediglich flächenbezogene Kennwerte wie die Geschossflächendichte angegeben werden (vgl. Westphal 2008: 263ff.; SIEDENTOP ET AL. 2006: 54).

Aus diesem Grund werden verfügbare Literaturkennwerte verwendet und um eigene Schätzwerte ergänzt, um die Geschossfläche je Objekt für die BNT zu berechnen (siehe Tabelle 15). Für die Wohn-BNT ist der Ausgangswert der Berechnung die durchschnittliche Wohnungsgröße in den BNT, die der Literatur entnommen werden kann (vgl. SIEDENTOP ET AL. 2006: 54). Als Wert für die innerstädtische Mischbebauung wird der gleiche Wert wie für die Blockrandbebauung angenommen, da von einer vergleichbaren Baustruktur ausgegangen werden kann (siehe Kapitel 7.2.1). Um die gesamte Wohnfläche je Gebäude berechnen zu können, muss die Anzahl der Wohneinheiten (WE) je Objekt geschätzt werden. Dazu wird exemplarisch angenommen, dass in den Mehrfamilienhaustypen je

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

Etage zwei WE vorhanden sind, in den Gebäuden des BNT „Dorfkern/Ortslage“ im Schnitt nur eine WE je Etage. Als Anzahl der Vollgeschosse wird aus der in den BNT-Steckbriefen (siehe Anhang A) angegebenen Varianz der Geschoszahl der Mittelwert ausgewählt, wobei aufgerundet wird. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern wird generell von einer WE ausgegangen. Die Zahl der ermittelten WE je Objekt stimmt mit den Angaben von SIGGLOW für diejenigen BNT überein, die eine vergleichbare Baustruktur aufweisen (vgl. Sigglow 2011: 190ff.)

Tabelle 15: Berechnung der Geschossfläche je Objekt in den Wohn-BNT

| BNT (Kurzbezeichnung) | Wohnungs- größe (m²) | Schätzung WE/Objekt (Stockwerke * WE) | Umrechnungsfaktor Wohnfläche auf Ge- schossfläche | Geschoss- fläche je Objekt |
|----------------------------------|--|--|--|---|
| Block | 66 | 5 * 2 = 10 | 1,333 | 880 |
| Zeile | 58 | 4 * 2 = 8 | 1,083 | 503 |
| Platte | 60 | 8 * 2 = 16 | 1,071 | 1.028 |
| MFH | 70 | 4 * 2 = 8 | 1,071 | 600 |
| EFH_dicht | 91 | 1 | 1,071 | 97 |
| EFH_locker | 91 | 1 | 1,071 | 97 |
| Dorf | 91 | 2 * 1 = 2 | 1,4 | 255 |
| Misch | 66* | 3 * 2 = 6 | 2,666* | 1.056 |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Siedentop et al. 2006: 59; *Mischbebauung: eigene Schätzung auf Grundlage von Roth und Häubi 1981: 972

Die Wohnfläche entspricht nicht der Geschossfläche. Bei der Geschossfläche sind zusätzlich zur reinen Wohnfläche auch Nebenflächen wie Flure und Treppenhäuser sowie nicht zum Wohnen genutzte Flächen zu berücksichtigen. Auf Basis von Literaturwerten wird ein Umrechnungsfaktor berechnet (siehe Anhang E für Berechnung), der die Bestimmung der Geschossfläche auf Basis der Wohnfläche ermöglicht. Die Geschossfläche je Objekt ergibt sich aus dem Produkt aus der durchschnittlichen Wohnungsgröße, der geschätzten Zahl der WE je Objekt und dem Umrechnungsfaktor.

Die Abschätzung der Geschossfläche der Gebäude in den Gewerbe-BNT erfordert einen abweichenden Rechenweg, da keine durchschnittlichen Quadratmeterzahlen je Betrieb vorliegen und für die Gebäude auch nicht die Geschosshöhen von Wohngebäuden angenommen werden können. Werks- und Lagerhallen weisen oftmals deutlich höhere Raumhöhen auf, als Wohngebäude. Im Hinblick auf die daraus resultierende Gebäudeoberfläche ist die abweichende Raumhöhe für den Zweck folgenden Analysen allerdings zu berücksichtigen. Um eine Vergleichbarkeit der zu ermittelnden Schadenskennwerte zwischen Wohn- und Gewerbe-BNT zu erzielen, soll zumindest näherungsweise die Geschossfläche entsprechend der anzunehmenden Gebäudehöhe geschätzt werden. Vereinfachend wird dazu aus den BNT-Steckbriefen (siehe Anhang A) die Parzellengröße in m² mit dem

Versiegelungsgrad (Median der für die Fallregion ermittelten Versiegelungsgrade) als Dezimalwert multipliziert. Dies beruht auf der Annahme, dass in den Gewerbe-BNT je Parzelle ein Betrieb ansässig ist. Da keine Annahmen zur Zahl der Gebäude je Betrieb abgeleitet werden können, wird von einem Gebäude je Betrieb ausgegangen. Zur versiegelten Fläche je Parzelle gehören, neben den Gebäuden, auch Rangierflächen sowie meist auch Lagerflächen unter freiem Himmel. Dementsprechend wird durch die Multiplikation der Parzellenfläche mit dem Versiegelungsgrad die Grundfläche der Gebäude deutlich überschätzt. Es wird allerdings angenommen, dass die überschätzte Gebäudegrundfläche näherungsweise der Geschossfläche entspricht, die sich ergeben würde, wenn die Werk- und Lagerhallen mehrere Geschosse der Höhe der Geschosse in Wohngebäuden aufweisen würden. Dementsprechend wird das Produkt aus Parzellenfläche und Versiegelungsgrad als Schätzwert für die Geschossfläche je Objekt für die Gewerbe-BNT angenommen (siehe Tabelle 16).

Die in den beiden Tabellen aufgeführten Kennwerte der Geschossflächen je Objekt werden im GIS entsprechend der BNT den einzelnen Objekten (Schadensfälle) zugeordnet. So kann für jeden Schadensfall der spezifische Schaden je m² Geschossfläche (*Geschossflächenschaden*) als Indikator berechnet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die zugrundeliegende Geschossfläche auf diversen vereinfachenden Annahmen beruht (s. o.), die empirisch nicht belegt sind, sondern nur inhaltlich begründet wurden. Die Aussagekraft des ermittelten Schadensindikators ist für sich genommen daher eingeschränkt. Zur Untersuchung genereller Tendenzen und zum Vergleich der BNT untereinander ist der Indikator allerdings geeignet, da die vereinfachenden Annahmen auf alle BNT zutreffen.

Tabelle 16: Berechnung der Geschossfläche je Objekt in den Gewerbe-BNT

| BNT (Kurzbezeichnung) | Parzellengröße (m ²) | Versiegelungsgrad | Geschossfläche je Objekt (m ²) |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|---|
| G_Indu | 27.000 | 0,74 | 19.980 |
| G_Logi | 24.000 | 0,77 | 18.480 |
| G_klein | 6.000 | 0,53 | 3.180 |
| G_klass | 19.000 | 0,7 | 13.300 |
| G_Techno | 11.000 | 0,7 | 7.700 |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Hillenbrand et al. 2017, Anhang A

Im Hinblick auf die Zielsetzung die empirischen Ergebnisse der Arbeit in allgemeine Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile städtischer Systeme zu übertragen, ist eine Standardisierung der Daten erforderlich. In der Mathematik und Statistik werden derartige Aufgabenstellungen mit dem Verfahren der *z-Transformation* gelöst. Dabei wird eine Variable so transformiert, dass die sich ergebende Variable den Erwartungswert Null und eine Varianz von Eins aufweist. Derart standardisierte

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

Ergebnisse sind unabhängig von den Maßeinheiten ihrer Parameter. Hohe Varianzen innerhalb der Parameter werden durch die Standardisierung ausgeglichen. (vgl. Backhaus et al. 2016: 394) In Anbetracht des dieser Arbeit zugrundeliegenden Resilienzverständnisses erfüllen z-transformierte Ergebnisse noch eine weitere Funktion: Sie bilden Verhältnismäßigkeiten der Messfälle innerhalb der Untersuchung ab und geben keine konkreten Kennwerte aus, die immanent den Anspruch der Genauigkeit in sich tragen. Gerade da die Empirie dieser Arbeit auf einer explorativen Methodik beruht und der zweite Teil der Empirie eine literaturwertbasierte Modellierung ist, kann es nicht das Ziel sein zu konkreten, absoluten Messwerten zu gelangen, die mitunter zu falschen Schlüssen verleiten. Verhältnismäßigkeiten zwischen unterschiedlichen Siedlungsstrukturen können dagegen in ihrer Tendenz in einem solchen Methodenmix sehr wohl erfasst werden. Solche Verhältnismäßigkeiten sind zudem gegenüber Veränderungen der Rahmenbedingungen im Zeitverlauf robuster als absolute Kennwerte, da davon auszugehen ist, dass sich die Relationen der verschiedenen BNT zueinander auch unter zunehmenden klimatischen oder demografischen Herausforderungen weniger stark verändern als absolute Schadenswerte. Die Statistiksoftware SPSS bietet eine Funktion die z-Faktorenwerte für die beiden Schadensindikatoren zu berechnen, sodass keine manuelle Berechnung notwendig ist.

8.2 Auswertung der Schadensdaten für die BNT der Fallregion Reutlingen

Für die im folgenden Kapitel dargestellten Abbildungen gilt, dass die Skalen der abhängigen Variablen für eine bessere Ablesbarkeit zum Teil begrenzt sind. Alle Abbildungen, die auf diese Art verändert wurden, sind mit dem vollständigen Wertebereich in Anhang E aufgeführt. Die verwendeten Datengrundlagen sind in Anhang D zu finden.

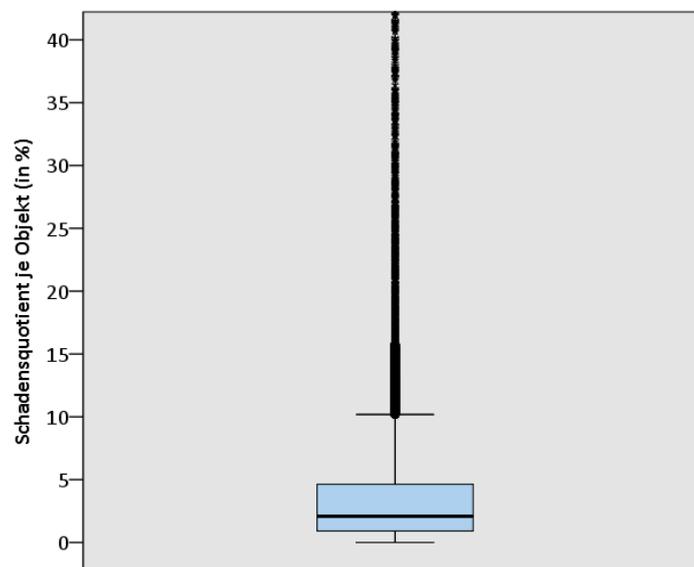
Für die Fallregion Reutlingen beinhaltet die vorliegende Schadensdatenbank insgesamt 19.708 Schadensfälle, die dem Hagelsturm von Reutlingen eindeutig zugeordnet werden können und entsprechend der in Kapitel 8.1 getroffenen Einschränkungen auswertbar sind. Die Gesamtsumme der entstandenen Schäden beträgt 271,6 Millionen €. Je Versicherungsobjekt sind im arithmetischen Mittel 13.782,91 € Schaden entstanden, was einem Schadensquotienten von 5,08 % entspricht. Einzelne Schadenssummen bewegen sich zwischen dem Minimum von 7,39 € und dem Maximum von 861.212,05 €. Der Boxplot²² der Schadensquotienten (siehe Abbildung 66) zeigt, dass drei Viertel

²² Generell stellt ein Boxplot, auch Box-Whisker-Plot, die Streuung der Messfälle dar. Die Box bildet den Interquartilsbereich zwischen dem 1. Quartil (untere Linie der Box) und dem 3. Quartil (obere Linie der Box) ab. Der Median (2. Quartil) ist durch eine dickere Querlinie innerhalb der Box eingezeichnet. Die *Antennen*, die als Whisker bezeichnet werden, kennzeichnen den 1,5-fachen Interquartilsabstand (IQA), reichen aber höchstens bis zu den Extrema der Messwerte. Liegen darüberhinausgehende Messwerte vor,

der Schadensfälle einen Schadensquotienten unterhalb von 5 % aufweisen und der Median der Werte bei 2,09 % liegt. Die anderthalbfache Erweiterung des Interquartilsbereichs, die durch die sogenannten Whisker in Form der dünnen T-Linien dargestellt ist, endet bei einem Schadensquotienten von rund 10 % und kennzeichnet damit alle Schadensfälle oberhalb dieses Wertes als statistische Ausreißer.

Im Vergleich dazu weisen alle in der Schadensdatenbank aufgeführten Schadensfälle aufgrund von Überschwemmungen (deutschlandweit, Zeitraum 2010–2015) bei einer Gesamtschadenssumme von knapp 170 Millionen € einen durchschnittlichen Schadensquotienten von 13,22 % (Median: 0,49 %) auf. Der deutliche Unterschied zwischen Mittelwert und Median weist auf schiefe Daten hin, bei dem extreme Ausreißer den arithmetischen Mittelwert stark beeinflussen. Dabei ist im Vergleich zwischen den hier aufgeführten Mittelwerten zu beachten, dass aus dem Datensatz der Hagelschäden für die Fallregion die extremen Ausreißer ausgeschlossen wurden (siehe Kapitel 8.1). Für den Gesamtdatensatz der Sturm- und Hagelschäden liegt der mittlere Schadensquotient bei 178,83 % (Median: 0,26 %) und ist ebenfalls stark durch extreme Ausreißer (Maximum: rund 15,3 Millionen %) beeinflusst.

Abbildung 66: Boxplot der Schadensquotienten der Sturm- und Hagelschäden in der Fallregion



Quelle: eigene Darstellung; n = 19.708

Tabelle 17 stellt die Lage- und Streuungsmaße der sechs Variablen dar, die im Folgenden analysiert werden. Die Varianz der Werte (Differenz von Minimum und Maximum) sowie die

werden diese als *milde Ausreißer* (meist als Kreis; $1,5-3,0 \cdot IQA$) oder *extreme Ausreißer* (meist als Kreuz; über $3 \cdot IQA$) eingezeichnet.

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

Standardabweichungen fallen sehr unterschiedlich aus und verdeutlichen damit die Heterogenität der Streuung der Werte der verschiedenen Variablen.

Tabelle 17: Deskriptive Statistiken der analysierten Indikatoren

| | Schadens-quotient (%) | Geschoss-flächen-schaden (€/m ²) | Einwohner / ha BNT-Fläche | Versiege-lungsgrad (%) | Straßen-meter / ha BNT-Fläche | Baujahr |
|--------------------|-----------------------|--|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---------|
| N Gültig | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 15940 |
| Fehlend | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mittelwert | 5,08 | 95,46 | 51,98 | 59,58 | 171,31 | 1971,42 |
| Median | 2,09 | 45,72 | 44,00 | 64,00 | 173,00 | 1975 |
| Standardabweichung | 11,12 | 164,34 | 42,35 | 25,52 | 86,34 | 22,25 |
| Schiefe | 6,38 | 7,72 | 4,08 | -,64 | ,05 | -1,58 |
| Minimum | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | 1658 |
| Maximum | 149,90 | 4329,90 | 1017,31 | 100,00 | 478,00 | 2013 |

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: SV SparkassenVersicherung Gebäudeversicherung AG

Der Vergleich der arithmetischen Mittelwerte mit den Medianen lässt zudem Rückschlüsse darauf zu, ob die Werte gleichverteilt sind oder ob es eine Schiefe gibt. Bei vollständig symmetrischen, normalverteilten Daten stimmen Median und Mittelwert überein (Schiefe = 0). Da Mittelwerte und Mediane bei vier der sechs vorliegenden Variablen aber deutlich voneinander abweichen, muss von asymmetrischen Datenverteilungen ausgegangen werden. Durch eine optische Analyse der Histogramme der Daten kann dies genauer geprüft werden.

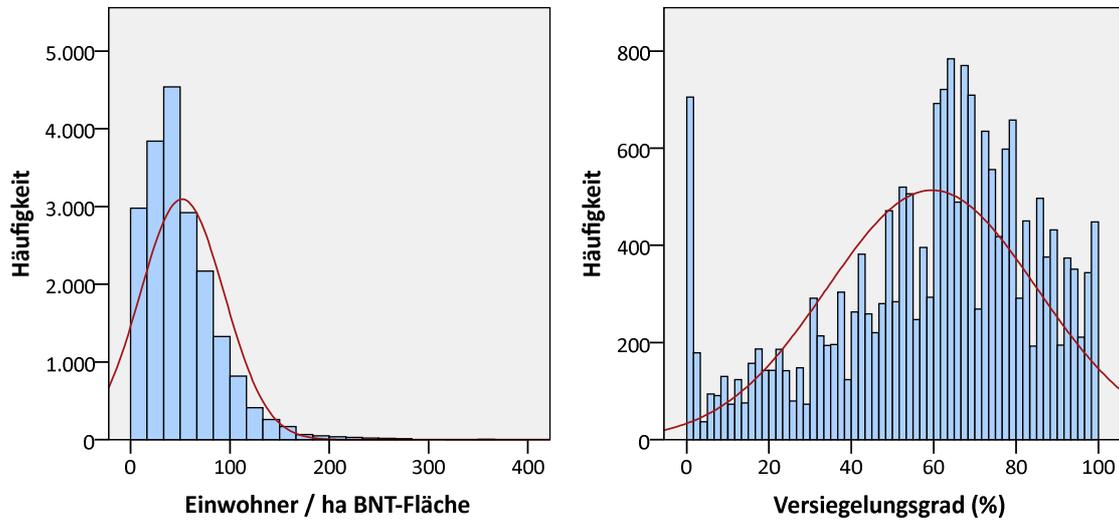
8.2.1 Optische deskriptive Analyse der Daten

Bevor die statistischen Zusammenhänge der Schadensdaten und der erhobenen Raumindikatoren untersucht werden können, ist zur Auswahl der passenden Analysemethode die Verteilung der Daten der Variablen genauer zu prüfen. Anhand der Histogramme der einzelnen Variablen kann darauf geschlossen werden, ob die beobachteten Werte der Variablen annähernd normalverteilt sind (siehe Abbildung 67). Liegen die als Balken aufgeführten Häufigkeiten der Variablenwerte annähernd im Bereich der roten Linie, die die Gaußsche Glockenfunktion einer Normalverteilung wiedergibt, so gelten die Daten als normalverteilt.

Gehen die Balken links vom Hochpunkt der Normalverteilungskurve deutlich über die Linie hinaus, so gelten die Daten als rechtsschief (synonym: linkssteil). Gehen sie rechts vom Hochpunkt über die Linie hinaus, so gelten sie als linksschief (synonym: rechtssteil). In beiden Fällen ist keine Normalverteilung gegeben. Auf rechtsschiefe Datenverteilungen (positive Schiefe) trifft zu, dass der Median

kleiner ist als das arithmetische Mittel und in linksschiefen Datenverteilungen (negative Schiefe) ist umgekehrt der Median größer als das arithmetische Mittel.

Abbildung 67: Histogramme der Siedlungsdichte und des Versiegelungsgrads



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; n = 19.708

Abbildung 67 zeigt links das Histogramm für die Variable Siedlungsdichte (Einwohner je ha BNT-Fläche). Es ist zu erkennen, dass die Siedlungsdichte besonders in niedrigen Wertebereichen deutlich höhere Häufigkeiten aufweist, als in höheren Wertebereichen. Bis zu einem Indikatorwert von rund 50 Einwohnern je ha liegen die Balken des Histogramms deutlich über der Linie der eingezeichneten Normalverteilungsfunktion. Die Daten sind damit als rechtsschief zu bewerten, wengleich sie ab dem Hochpunkt der Normalverteilungsfunktion nach rechts hin annähernd normalverteilt sind. Eine Schiefe von 4,08 (siehe Tabelle 17) belegt auch quantitativ die Einschätzung.

Das Histogramm des Versiegelungsgrads rechts in Abbildung 67 zeigt geringfügig linksschiefe Werte. Zwar gibt es einen Ausreißer hoher Häufigkeit beim Versiegelungsgrad von 0 %, davon abgesehen zeigt sich aber eindeutig eine linksschiefe Datenverteilung, die sich auch in einer negativen Schiefe von -0,64 widerspiegelt.

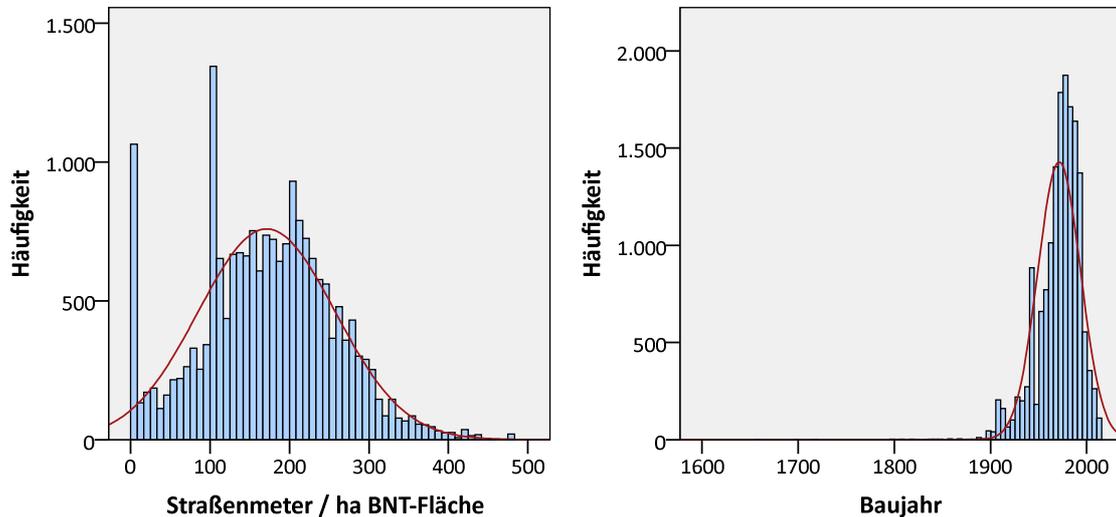
Der Indikator Straßendichte zeigt sich in seinen beobachteten Werten weitgehend normalverteilt (siehe links in Abbildung 68). Zwei deutliche Ausreißer auf der linken Seite und geringere Ausreißer auf der rechten Seite stehen dem jedoch entgegen. Da Mittelwert (171,3 Straßenmeter / ha) und Median (173 Straßenmeter / ha) jedoch nahezu übereinstimmen und die Schiefe bei 0,05 liegt, kann insgesamt von einer Normalverteilung ausgegangen werden.

Da für den Großteil der versicherten Gebäude in der Fallregion auch das Baujahr in den Daten vorliegt, wird hierfür ebenfalls untersucht, ob eine Relation zu den Schadensindikatoren nachgewiesen

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

werden kann. Die hinter dieser Untersuchung stehende These beruht auf der Annahme, dass unterschiedliche Baumaterialien eine unterschiedliche Vulnerabilität gegenüber Hagelschäden aufweisen. Wird davon ausgegangen, dass sich mit den Baujahren die Baumaterialien verbessert haben, so müsste eine negative Korrelation zwischen dem Baujahr und den Schadensindikatoren bestehen.

Abbildung 68: Histogramme der Straßendichte und der Baujahre

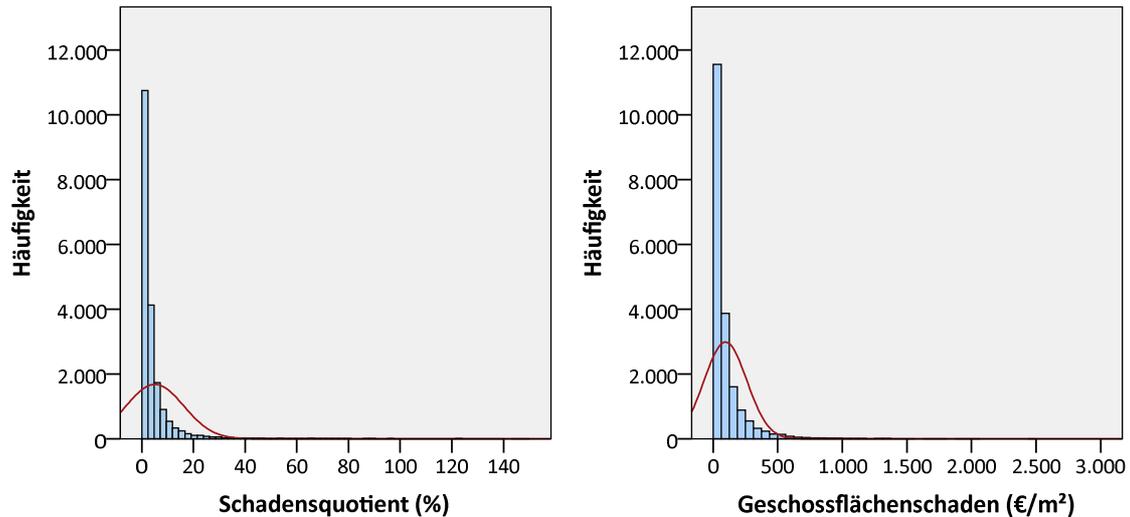


Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; n = 19.708 (links), n = 15.940 (rechts); Datengrundlage: SV AG

Da im Datensatz keine weiteren Informationen zu den Baumaterialien der Gebäude vorliegen, stellt das Baujahr die einzige Möglichkeit dar, die Zusammenhänge zwischen Baumaterialien bzw. Gebäudezustand und der Schadensanfälligkeit zu untersuchen. Daher werden die deskriptiven statistischen Analysen auch für den Indikator Baujahr vorgenommen.

Das Histogramm der Baujahre zeigt, dass die Daten nicht normalverteilt sind (siehe rechts in Abbildung 68). Vor allem die Fälle der Baujahre vor ca. 1970 liegen deutlich unter dem Erwartungswert einer Normalverteilung. Auch ab 2000 bleiben die realen Baujahre hinter den Erwartungswerten zurück. Dagegen liegen die Häufigkeiten der Baujahre 1970–2000 deutlich über dem Erwartungswert. Es liegt demzufolge eine linksschiefe Datenverteilung vor, die auch durch einen negativen Schiefewert von -1,58 belegt wird.

Gänzlich anders stellt es sich beim Schadensquotienten je Objekt dar, für den auf Basis der optischen Analyse des Histogramms in Abbildung 69 nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann. Es ist eine übermäßig hohe Fallzahl sehr kleiner Messwerte um Null festzustellen. Das heißt, dass die Schadensquotienten je Gebäude überwiegend sehr gering ausfallen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bereits vorab die extremen Ausreißer mit Schadensquotienten über 150 % aus der Betrachtung ausgeschlossen wurden (siehe Kapitel 8.1). Die Datenverteilung ist als rechtsschief zu bewerten, was durch die Schiefe von 6,38 belegt wird.

Abbildung 69: Histogramme der Schadensquotienten und der Geschossflächenschäden

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; n = 19.708; Datengrundlage: SV AG

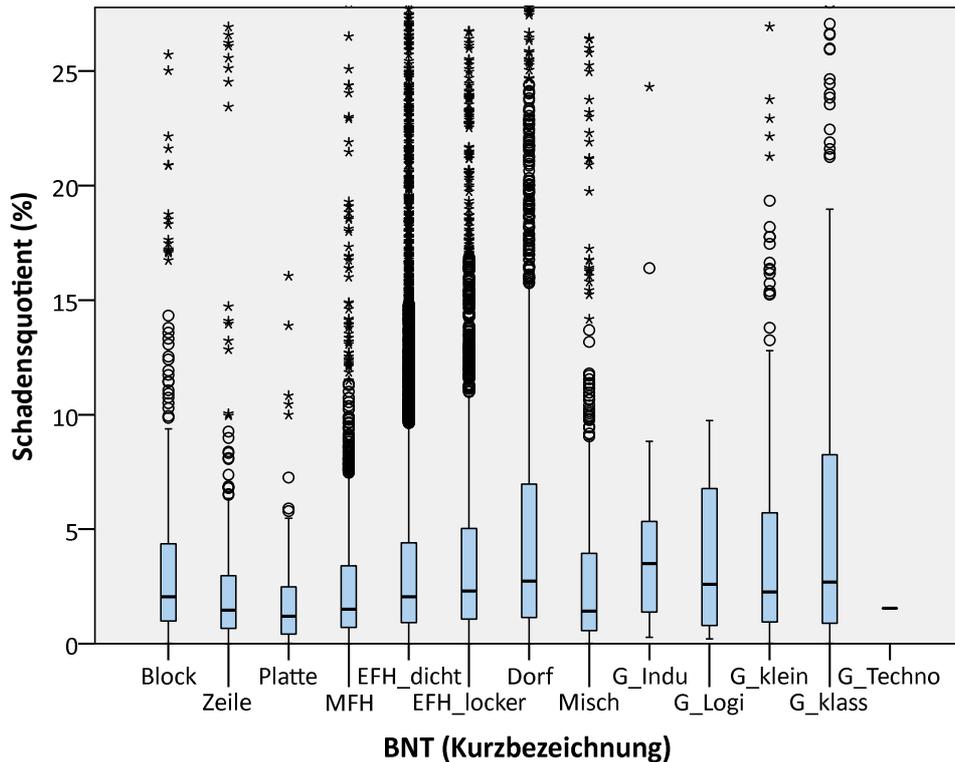
Das Histogramm der Datenverteilung des Geschossflächenschadens rechts in Abbildung 69 zeigt ein ähnliches Bild wie bei dem Indikator zuvor. Ein starkes Übergewicht an Häufigkeiten im geringen Wertebereich indiziert eine rechtsschiefe Datenverteilung (Schiefe = 7,72).

Da die beiden schadensbezogenen Variablen, die in den weiteren Analysen die abhängigen Variablen darstellen, nicht normalverteilt sind, sind bei den in Kapitel 8.2.2 folgenden Korrelationsanalysen der schließenden Statistik die nichtparametrischen Verfahren anzuwenden. Bei sehr schiefen Daten, wie es in der vorliegenden Arbeit der Fall ist, kann zudem eine geeignete Transformation der Daten helfen, statistisch aussagekräftige Ergebnisse aus den Messwerten abzuleiten. Dies wird in Kapitel 8.2.3 durchgeführt.

Im Folgenden wird zunächst geprüft, ob sich optisch Zusammenhänge zwischen den BNT und den Schadensindikatoren erkennen lassen. Da es sich bei den BNT um keine metrische, sondern eine kategoriale Variable handelt, wurde als Darstellungsform anstelle eines Streudiagramms der Boxplot gewählt.

Die absolute Schadenssumme je Objekt wäre als Variable wenig robust, da sie durch den Wert des jeweiligen Versicherungsobjekts bzw. die Versicherungssumme in ihrer Höhe beeinflusst wird. Daher wird für den Boxplot der Schadensquotient je Objekt als abhängige und der BNT-Name als unabhängige Variable gewählt. Zwar sind in Abbildung 70 alle Schadensfälle berücksichtigt, doch werden zur besseren Lesbarkeit der Ergebnisse im Vergleich der verschiedenen BNT lediglich die Fälle dargestellt, die einen Schadensquotienten bis 25 % aufweisen (für vollständige Boxplots siehe Anhang E). Dies umfasst mehr als 95 % aller Fälle. Auch wenn zahlreiche statistische Ausreißer eingezeichnet sind, scheint ein geringfügiger statistischer Zusammenhang erkennbar.

Abbildung 70: Boxplots der Schadensquotienten nach BNT



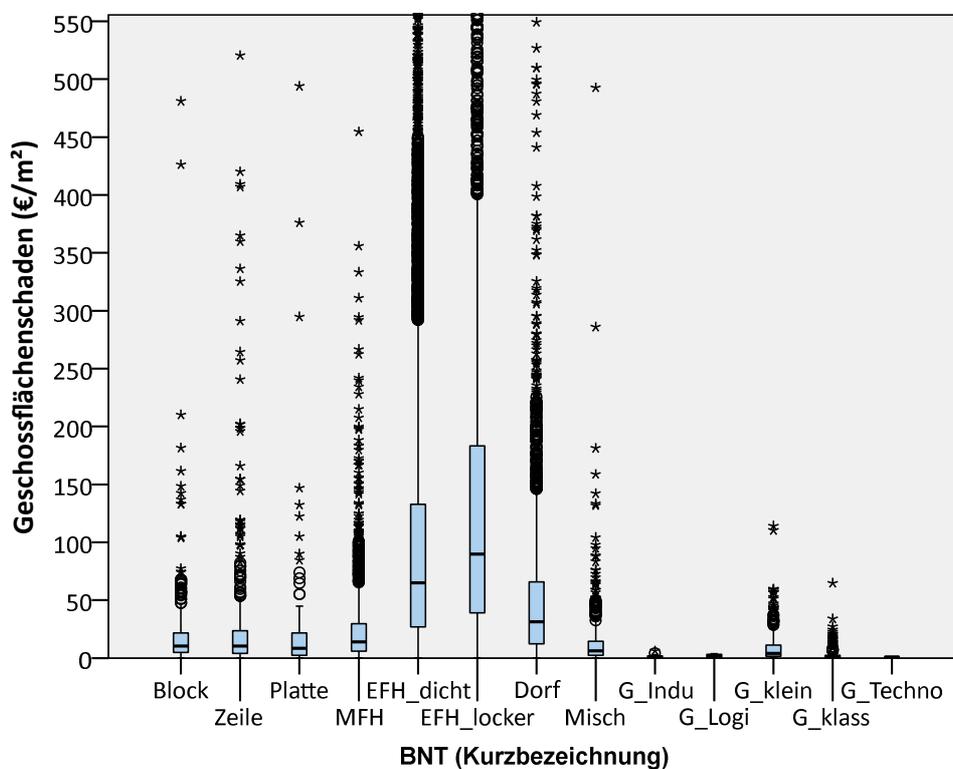
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: SV AG

Auffällig ist, dass vor allem BNT mit sehr hohen Siedlungsdichten und Versiegelungsgraden, wie Geschosswohnungsbau in offener Bauweise („Platte“) und innerstädtische Mischbebauung („Misch“) vergleichsweise geringe Schadensquotienten aufweisen. Der Median der Messwerte ist sehr gering und zudem ist auch der IQA relativ gering, was bedeutet, dass die Streuung der Messwerte nicht so groß ausfällt, wie in anderen BNT. Betrachtet man ausgehend vom BNT Geschosswohnungsbau in offener Bauweise nach links und rechts die anderen BNT, so scheint es eine negative Korrelation zwischen der Siedlungsdichte der BNT und dem Schadensquotienten zu geben. Die Mediane steigen mit abnehmender Siedlungsdichte an und die IQA weiten sich aus. So liegt das dritte Quartil des BNT Dorfkern bei ca. 7,5 %, das dritte Quartil des BNT Geschosswohnungsbau aber nur bei rund 2,5 %. Größere IQA bedeuten einerseits, dass die Messwerte weiter gestreut sind, gleichzeitig aber auch, dass die ersten 25 % der Messwerte (1. Quartil) in allen BNT relativ gleich verteilt sind und diesbezüglich geringe Unterschiede zwischen den BNT bestehen. Dies kann inhaltlich so gedeutet werden, dass alle BNT eine vergleichbare grundsätzliche Schadensanfälligkeit aufweisen, was geringfügige Schäden angeht. Geringer verdichtete BNT, wie Dorfkern oder lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung, sind aber deutlich vulnerabler für höhere Schäden durch Hagelereignisse als beispielsweise die Geschosswohnungsbauten. Die größere Streuung der Werte in den geringer verdichteten BNT kann so gedeutet werden, dass die Vulnerabilität gegenüber Hagelschäden dort wohlmöglich

stärker von den Eigenschaften der einzelnen Objekte abhängig ist, als in den höher verdichteten BNT. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass vor allem die beiden Ein-/Zweifamilienhaus-BNT besonders hohe Fallzahlen aufweisen und zusammen fast 50 % aller BNT-Flächen ausmachen (siehe Tabelle 12, S. 285). Dementsprechend ist die breitere Streuung der Schadensquotienten zum Teil auch auf die hohe Zahl der betroffenen Objekte zurückzuführen.

In den Gewerbe-BNT fallen die Schadensquotienten heterogen aus, liegen aber insgesamt auf einem etwas höheren Niveau, als die Schadensquotienten der Wohn-BNT. Insbesondere die Industriegebiete stechen mit dem höchsten Median aller BNT heraus, wohingegen für die klassischen Gewerbegebiete der höchste Wert für das 3. Quartil festzustellen ist. Die Technologieparks sind aufgrund der geringen Fallzahl nicht interpretierbar.

Abbildung 71: Boxplots der Geschossflächenschäden nach BNT



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: SV AG

Als zweiter Indikator für die Schadensintensität wird der Geschossflächenschaden berechnet. Anhand dieses Indikators soll die These untersucht werden, dass höher verdichtete BNT geringere Schäden je m² Geschossfläche aufweisen (siehe Kapitel 8.1). Die Boxplots des Indikators bezogen auf die verschiedenen BNT bestätigen diese These tendenziell. In Abbildung 71 ist zu erkennen, dass vor allem die Ein-/Zweifamilienhausgebiete („EFH_dicht“ und „EFH_locker“) höhere Schäden je m² Geschossfläche aufweisen als die übrigen BNT. Dagegen liegen bei den kompakter errichteten Geschosswohnungs- und Zeilenbauten („Platte“ und „Zeile“) die Schäden in 75 % der Fälle unter 25 €

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

je m² Geschossfläche. Auch innerstädtische Blockrand- und Mischbebauung („Block“ und „Misch“) sowie Mehrfamilienhäuser („MFH“) weisen in der überwiegenden Zahl der Fälle sehr geringe Geschossflächenschäden auf. Zwar sind für alle BNT auch zahlreiche Ausreißer zu erkennen, doch auch diesbezüglich stechen die Ein-/Zweifamilienhausgebiete („EFH_dicht“ und „EFH_locker“) mit einer deutlich höheren Zahl an statistischen Ausreißern heraus. Zur besseren Lesbarkeit der Boxplots werden in der Abbildung wie schon zuvor nicht alle Fälle dargestellt. Zwar sind bis knapp 2.000 €/m² noch zahlreiche Fälle, vor allem bei den Ein-/Zweifamilienhausgebieten („EFH_dicht“ und „EFH_locker“), vorhanden, der Maximalwert liegt aber bei 4.615,38 €/m² Geschossfläche und die Boxplots wären bei vollständiger Darstellung nicht gut ablesbar (siehe Anhang E). Erstaunlich mag erscheinen, dass der BNT Dorfkern/Ortslage („Dorf“) im Vergleich zu den beiden Ein-/Zweifamilienhaus-BNT geringere Schäden je m² Geschossfläche verzeichnet, obwohl aufgrund der relativ geringen Siedlungsdichte höhere relative Schäden erwartet werden könnten. Hier muss berücksichtigt werden, dass der BNT durch eine Durchmischung der Nutzungen und Siedlungsstrukturen gekennzeichnet ist. Neben Ein- und Zweifamilienhäusern setzt sich dieser BNT auch aus Mehrfamilienhäusern, gewerblich und landwirtschaftlich genutzten Gebäuden sowie sonstigen Nebengebäuden unterschiedlicher Kompaktheit zusammen. Diese Durchmischung wirkt sich vermutlich auf den Indikatorwert aus.

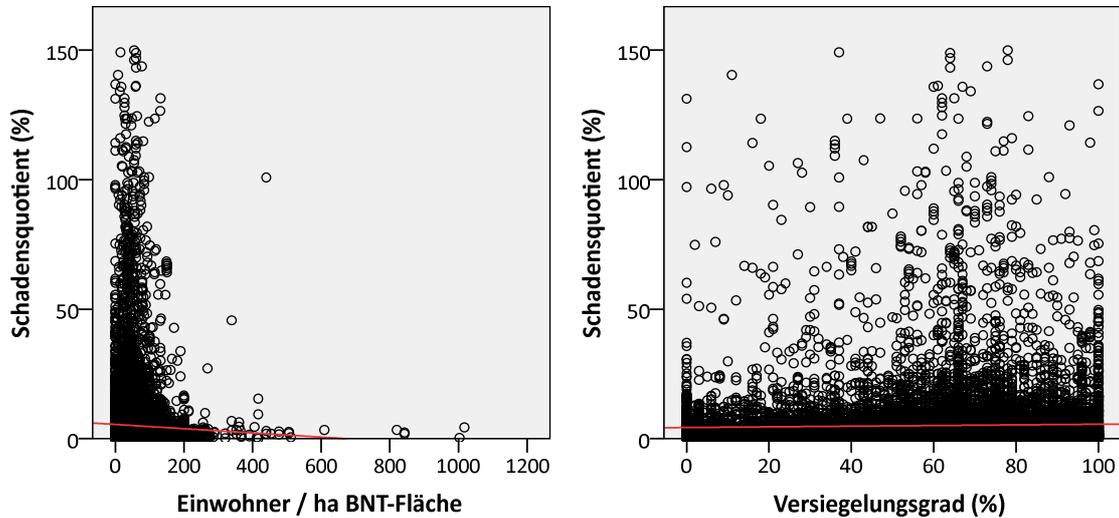
Die verzeichneten Schäden in den unterschiedlichen Gewerbe-BNT fallen je m² Geschossfläche sehr gering aus. Dies kann einerseits auf die größer dimensionierten Gebäudestrukturen zurückgeführt werden, die weniger Gebäudeoberfläche je Geschossfläche aufweisen als Wohngebäude. Andererseits müssen bei den Gewerbe-BNT auch die geringeren Fallzahlen berücksichtigt werden, die für eine Darstellung im Boxplot keine gute Grundlage bilden. Vergleicht man lediglich die Streuung der Geschossflächenschäden, fällt der Indikator in den Gewerbe-BNT deutlich homogener aus als bei den Wohngebiets-BNT.

Um vor der schließenden Analyse der Schadensdaten mögliche Korrelationen zwischen den Variablen bereits auf Basis einer optischen Analyse aufzudecken, werden Streudiagramme herangezogen. Diese eignen sich besonders gut zur Analyse zweier metrischer Variablen. In diesen Diagrammen werden jeweils die schadensbezogenen, abhängigen Variablen gegen die räumlichen, unabhängigen Variablen aufgetragen.

Abbildung 72 zeigt links das Streudiagramm der Schadensquotienten im Verhältnis zur Siedlungsdichte. Deutlich zu erkennen ist die hohe Konzentration an Fällen zwischen 0 und 200 Einwohnern je ha sowie 0 und 50 % Schadensquotient. Statistische Ausreißer der Schadensquotienten

beschränken sich überwiegend auf den Bereich sehr geringer Siedlungsdichten. Ausreißer der Siedlungsdichten beschränken sich vorwiegend auf den Bereich sehr geringer Schadensquotienten.

Abbildung 72: Streudiagramme der Schadensquotienten bezogen auf Siedlungsdichte und Versiegelungsgrad



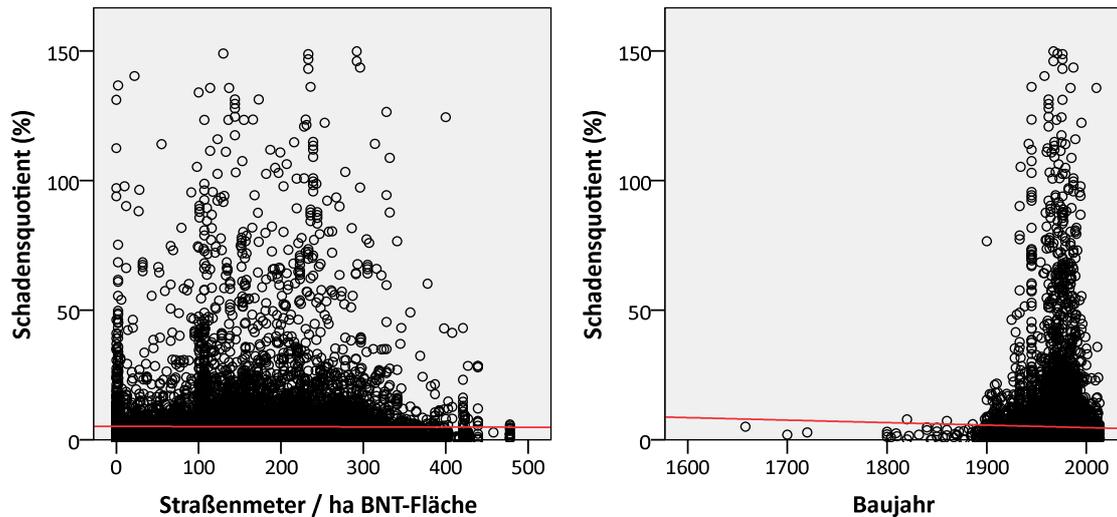
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; n = 19.708; links: $R^2 < 0,001$; rechts: $R^2 < 0,001$

Die hohe Konzentration der beobachteten Fälle sowie die Streuung der Ausreißer deuten darauf hin, dass es keine statistisch valide Korrelation zwischen den beiden Variablen gibt. Um den Zusammenhang weiter zu prüfen, wurde die Regressionsfunktion der beiden Variablen berechnet. Die daraus abzuleitende Regressionsgerade ist als rote Linie im Streudiagramm eingezeichnet. Das Bestimmtheitsmaß R^2 dieser Regressionsfunktion beträgt allerdings weniger als 0,001 und liegt damit deutlich unter dem festgelegten Schwellenwert (0,1; siehe Kapitel 1.4.2) für eine statistisch aussagekräftige Funktion. Da die Regressionsfunktion weniger als 0,1 % der Werte erklärt, ist sie zur weiteren Verwendung nicht geeignet.

Alternativ zur linearen Regressionsfunktion wurde auch die quadratische Regressionsfunktion berechnet, da die Werteverteilung die Form einer Exponentialfunktion hat. Sie weist ein R^2 von 0,001 auf und ist damit ebenfalls statistisch nicht aussagekräftig.

Aus dem Streudiagramm der Schadensquotienten unter Zugrundelegung der Versiegelungsgrade lässt sich auf keine erkennbare Korrelation schließen. Für alle Versiegelungsgrade liegen sowohl zahlreiche niedrige Schadensquotienten als auch höhere Ausreißer vor. Die nahezu waagerechte, rote Regressionsgerade belegt den optischen Eindruck, dass sich kein Zusammenhang quantifizieren lässt. Mit einem sehr geringen R^2 ist die Regressionsfunktion zudem statistisch nicht aussagekräftig.

Abbildung 73: Streudiagramme der Schadensquotienten bezogen auf Straßendichte und Baujahre



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; links: $n = 19.708$, $R^2 < 0,001$; rechts: $n = 15.940$, $R^2 < 0,001$

Das Streudiagramm der Schadensquotienten in Bezug auf die Straßendichte zeigt, ähnlich wie beim Versiegelungsgrad, keine erkennbaren Zusammenhänge (siehe Abbildung 73, links). Zwar ist im Bereich der mittleren Indikatorwerte um 200 Straßenmeter je ha eine Häufung geringfügig höherer Schadensquotienten zu erkennen, doch kann diese Beobachtung nicht als statistisch aussagekräftig beurteilt werden. Dies belegt auch die nahezu waagerechte Regressionsgerade, die aufzeigt, dass keine Beziehung zwischen den Variablen besteht ($R^2 < 0,001$).

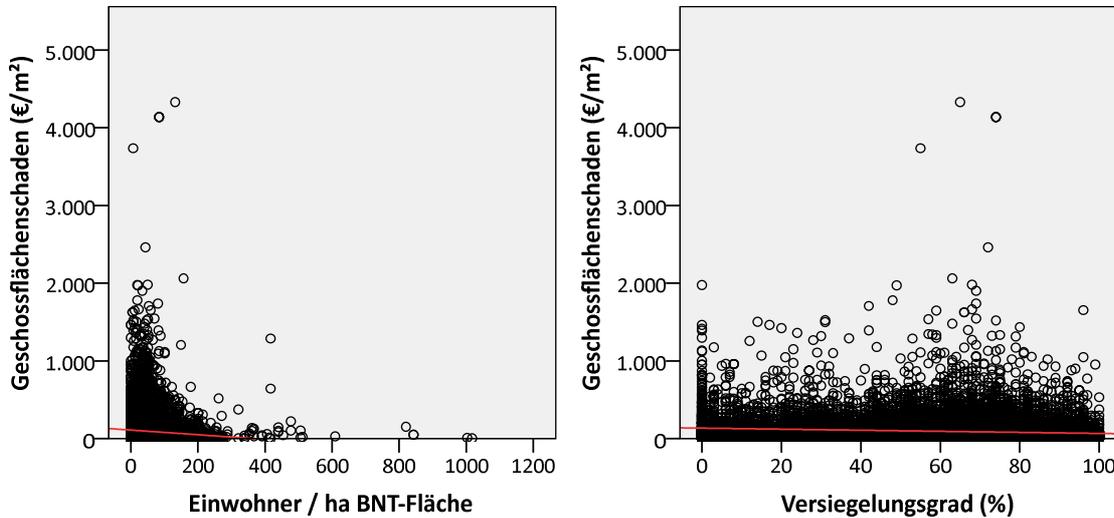
Auch im Hinblick auf die Baujahre lässt sich keine Korrelation zu den Schadensquotienten erkennen (siehe Abbildung 73, rechts). Die geringfügige Neigung der Regressionsgeraden erklärt die Werteverteilung statistisch nur unzureichend ($R^2 < 0,001$). Zwar nimmt die Streuung der Werte mit zunehmendem Baujahr zunächst zu, ab den Baujahren nach 2000 aber auch wieder ab. Die wenig aussagekräftigen Ergebnisse sind also auf die nicht normalverteilten Werte zurückzuführen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich für keinen der drei verwendeten Raumindikatoren ein statistisch signifikanter Einfluss auf den Schadensquotienten aus den Streudiagrammen und den Regressionsgeraden ableiten lässt. Gleiches gilt für die Baujahre der Gebäude. In einem zweiten Schritt wird auf die gleiche Weise geprüft, ob sich ein solcher Einfluss der Raumindikatoren auf den Geschossflächenschaden zeigt.

Im Vergleich zu den Schadensquotienten nach Siedlungsdichte (siehe Abbildung 72, links) weist das Streudiagramm des Geschossflächenschadens in Bezug auf die Siedlungsdichte eine höhere Konzentration der Fälle in den geringen Wertebereichen beider Variablen auf (siehe Abbildung 74,

links). Die Regressionsgerade lässt keinen eindeutigen statistischen Zusammenhang erkennen und die Regressionsfunktion erklärt die beobachteten Werte nicht ($R^2 = 0,006$).

Abbildung 74: Streudiagramme der Geschossflächenschäden bezogen auf Siedlungsdichte und Versiegelungsgrad



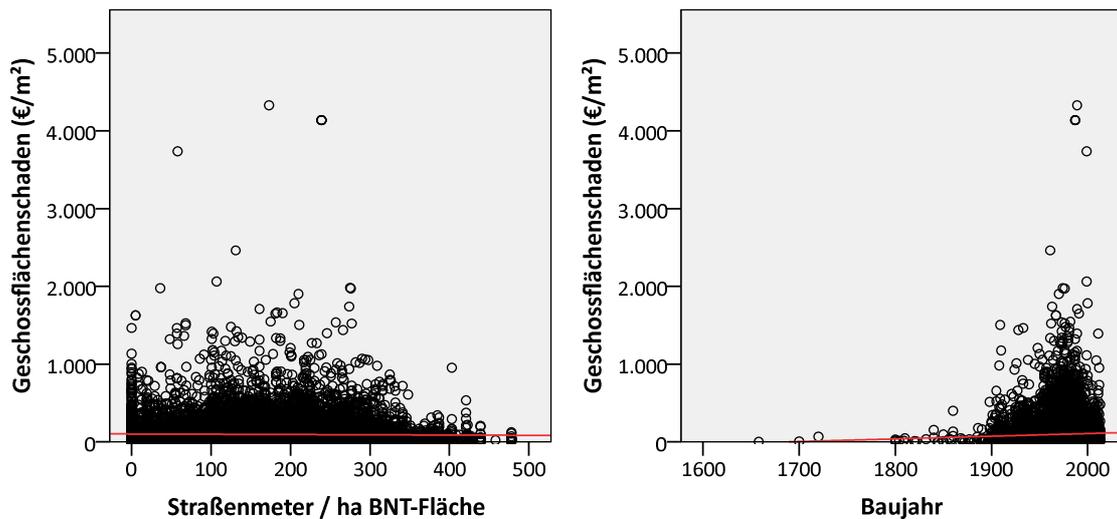
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; n = 19.708; links: $R^2 = 0,006$; rechts: $R^2 = 0,011$

Auch in Bezug auf den Versiegelungsgrad zeigen sich bei dem Geschossflächenschaden (siehe Abbildung 74, rechts) keine wesentlichen Unterschiede zum Schadensquotienten (siehe Abbildung 72, rechts). Die Punkte der einzelnen Beobachtungen sind breit über den Wertebereich gestreut und lassen keinen Zusammenhang zwischen den beiden Variablen erkennen. Dies wird auch durch die nahezu waagerechte Regressionsgerade und das sehr niedrige R^2 bestätigt.

Ebenso weist der Indikator Geschossflächenschaden auch für den dritten Raumindikator der Straßendichte keine deutlichen Abweichungen zum entsprechenden Streudiagramm der Schadensquotienten auf. Es lassen sich keine statistisch aussagekräftigen Zusammenhänge erkennen, was durch das sehr geringe R^2 der Regressionsfunktion belegt wird.

Das Streudiagramm für den Geschossflächenschaden bezogen auf die Baujahre zeigt ebenfalls sowohl mit den Baujahren ansteigende Schäden sowie eine zunehmend größere Streuung der Schäden, was sich jedoch um den Jahrtausendwechsel wieder verringert. Im Gegensatz zum Schadensquotienten wird der grundsätzliche optische Eindruck dieses Trends auch durch die Regressionsgerade bestätigt, die ebenfalls mit ansteigenden Baujahren leicht steigt. Allerdings liegt auch bei dieser Regressionsfunktion das R^2 unter der Grenze für aussagekräftiges Ergebnis, sodass der optische Eindruck nicht als aussagekräftig bewertet werden kann. Ein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen kann daher auf Basis der angewendeten Methoden noch nicht nachgewiesen werden, weshalb auch hier schließende statistische Methoden anzuwenden sind.

Abbildung 75: Streudiagramme der Geschossflächenschäden bezogen auf Straßendichte und Baujahre



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; links: $n = 19.708$, $R^2 < 0,001$, rechts: $n = 15.940$, $R^2 = 0,02$

Die deskriptive Datenanalyse zeigt auf, dass die verfügbaren Messdaten überwiegend nicht normalverteilt sind. Dies betrifft insbesondere die beiden schadensbezogenen Indikatoren, die als abhängige Variablen in alle Analysen eingehen. Anhand der Streudiagramme für die unabhängigen Raumindikatoren und die abhängigen Schadensindikatoren lässt sich zudem erkennen, dass keine auffälligen Zusammenhänge zwischen den Variablen bestehen. Dies wird durch die Regressionsanalysen bestätigt, die keine statistisch signifikanten Regressionsfunktionen berechnen konnten. Bezogen auf die BNT und die Schadensindikatoren lassen sich auf Grundlage der optischen Analyse dagegen zumindest grundsätzliche Zusammenhänge erkennen, die einer weiteren statistischen Untersuchung bedürfen.

Da die optische Analyse von Diagrammen in der deskriptiven Datenanalyse allein nicht ausreicht, um zu statistisch validen und quantifizierbaren Ergebnissen zu gelangen, können weitere Methoden und Verfahren angewendet werden. Dies erfolgt in der schließenden Datenanalyse im Folgekapitel, in dem die Korrelationen der Variablen berechnet werden. Die durchgeführten Regressionsanalysen sind bereits ein Vorgriff auf diese schließenden Analysen, wurden aber aufgrund der inhaltlichen Zusammenhänge und der eingängigen Darstellungsmöglichkeiten bereits zusammen mit den Streudiagrammen ausgewertet.

8.2.2 Schließende Analyse der Schadensdaten

Im Folgenden werden die vorliegenden metrischen Variablen auf ihre Korrelation getestet. Da keine Normalverteilung der Daten vorliegt, sind die nichtparametrischen statistischen Tests anzuwenden. Auch sollen die Zusammenhänge zwischen zwei Variablen und nicht zwischen zwei Gruppen (Mann-

Whitney-U-Test) oder zwei Messwiederholungen der gleichen Gruppe (Wilcoxon-Test) analysiert werden. Daher ist für die vorliegende Datenkonstellation der Korrelationstest nach Spearman anzuwenden. Im Gegensatz zum Pearson-Test für normalverteilte Daten ordnet der Spearman-Test die beobachteten Werte nach ihren Rängen und misst anhand dieser Ränge die Korrelationen. Der Spearman-Korrelationskoeffizient wird daher auch als Rangsummenkorrelationskoeffizient bezeichnet. Ein alternativer Rangsummenkorrelationskoeffizient ist das Kendall'sche Tau. Dieser Test ist jedoch eher für kleinere Stichproben oder intervallskalierte Daten anzuwenden und wird daher in der vorliegenden Studie nicht herangezogen. (vgl. Held 2010: 652f.)

Um den Korrelationskoeffizienten auf Signifikanz testen zu können, müssen vorab die Nullhypothese (H_0) und ein Signifikanzniveau, das die maximale Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für den Fehler 1. Art (Ablehnung der Nullhypothese, obwohl sie richtig ist) begrenzt, festgelegt werden. Als Nullhypothese H_0 wird gesetzt, dass die Raumindikatoren keinen Einfluss auf die Schadensindikatoren haben. Die Alternativhypothese H_1 dazu ist, dass eine Korrelation zwischen den Raumindikatoren und den Schadensindikatoren besteht. Als Signifikanzniveau wird eine maximale Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5 % ($p < 0,05$) festgelegt. Dabei handelt es sich um einen Wert, der in der induktiven Statistik oftmals verwendet wird. (vgl. Backhaus et al. 2016: 258f.; Berekoven et al. 2002: 234ff.) Zu beachten ist allerdings, dass der Signifikanzwert p aufgrund seiner Berechnungsweise durch eine hohe Fallzahl reduziert wird. Bei knapp 20.000 Messwerten, die in der vorliegenden Analyse in die Berechnung eingehen, sind daher sehr niedrige p -Werte zu erwarten.

In Tabelle 18 sind die Korrelationskoeffizienten r zwischen den Schadensindikatoren und den Raumindikatoren sowie dem Baujahr der Versicherungsobjekte aufgeführt. Für die Auswertung relevant sind lediglich die ersten beiden Spalten der Tabelle. Es zeigt sich, dass zwischen der Siedlungsdichte (Einwohner / ha BNT-Fläche) und dem Schadensquotienten je Objekt eine sehr geringe, negative Korrelation besteht, die mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit gegen Null statistisch signifikant ist. Das bedeutet, dass mit zunehmender Siedlungsdichte der Schadensquotient je Versicherungsobjekt geringfügig zurückgeht. Allerdings fällt die Korrelation mit $r = -0,056$ sehr gering aus und kann auch auf zufällige Zusammenhänge zurückzuführen sein. Als Beleg für die zuvor aufgestellte These, dass dichtere und kompaktere Siedlungsstrukturtypen eine geringere Schadensvulnerabilität gegenüber Hagel aufweisen, kann die geringe Korrelation daher nicht gewertet werden.

Die Korrelation zwischen dem Versiegelungsgrad und dem Schadensquotienten weist einen geringen Korrelationskoeffizienten von 0,022 auf (siehe Tabelle 18), der als statistisch signifikant beschrieben werden kann ($p < 0,05$). Bemerkenswert ist, dass der geringfügige Trend, der aus diesem

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

Korrelationskoeffizienten abgeleitet werden kann, bedeutet, dass Versiegelungsgrad und Schadensquotient positiv korreliert sind. Dies würde der These widersprechen, dass höher verdichtete Siedlungsstrukturen weniger vulnerabel für Hagelschäden sind. Aufgrund des sehr geringen r-Wertes ist diese Korrelation aber als statistisch nicht aussagekräftig zu werten.

Tabelle 18: Korrelationen zwischen den Schadensindikatoren und den Raumindikatoren bzw. den Baujahren

| | | | Schadensquotient (%) | Geschossflächenschaden (€/m ²) | Einwohner / ha BNT-Fläche | Versiegelungsgrad (%) | Straßenmeter / ha BNT-Fläche | Baujahr |
|--------------|--|-------------------------|----------------------|--|---------------------------|-----------------------|------------------------------|---------|
| Spearman-Rho | Schadensquotient (%) | Korrelationskoeffizient | 1,000 | ,630 | -,056 | ,022 | -,008 | -,069 |
| | | Sig. (2-seitig) | . | ,000 | ,000 | ,002 | ,280 | ,000 |
| | | N | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 15940 |
| | Geschossflächenschaden (€/m ²) | Korrelationskoeffizient | ,630 | 1,000 | -,093 | -,181 | ,004 | ,044 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | . | ,000 | ,000 | ,536 | ,000 |
| | | N | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 15940 |
| | Einwohner / ha BNT-Fläche | Korrelationskoeffizient | -,056 | -,093 | 1,000 | ,463 | ,383 | -,092 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | . | ,000 | ,000 | ,000 |
| | | N | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 15940 |
| | Versiegelungsgrad (%) | Korrelationskoeffizient | ,022 | -,181 | ,463 | 1,000 | ,493 | -,107 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,002 | ,000 | ,000 | . | ,000 | ,000 |
| | | N | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 15940 |
| | Straßenmeter / ha BNT-Fläche | Korrelationskoeffizient | -,008 | ,004 | ,383 | ,493 | 1,000 | -,112 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,280 | ,536 | ,000 | ,000 | . | ,000 |
| | | N | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 19708 | 15940 |
| | Baujahr | Korrelationskoeffizient | -,069 | ,044 | -,092 | -,107 | -,112 | 1,000 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | . |
| | | N | 15940 | 15940 | 15940 | 15940 | 15940 | |

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: SV AG

Der Spearman-Korrelationskoeffizient für die Straßendichte und den Schadensquotienten liegt nahe Null, sodass von keiner Korrelation ausgegangen werden kann. Zudem ist der ermittelte Wert statistisch nicht signifikant ($p = 0,28 > 0,05$). Die Ausgangshypothese (H_0) ist gültig.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen dem Baujahr der Versicherungsobjekte und dem Schadensquotienten belegen, dass eine sehr geringe, negative Korrelation zwischen den beiden Variablen vorliegt. Die festgestellte Korrelation fällt mit einer sehr geringen Fehlerwahrscheinlichkeit signifikant aus. Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass zwar tendenziell eine negative Korrelation vorliegt, diese aber so gering ausfällt, dass sie statistisch nicht relevant ist.

Insgesamt muss für die Tests der Korrelationen zwischen den Raumindikatoren und den Schadensquotienten festgehalten werden, dass in drei Fällen zwar signifikante, jedoch sehr geringe Korrelationen ermittelt werden konnten. Die niedrigen Signifikanzen belegen aufgrund der hohen Fallzahl nicht die Aussagekraft der ermittelten Koeffizienten. Dass die Korrelationen zudem unterschiedliche Vorzeichen aufweisen, geht der zu belegenden These zusätzlich zuwider. Es muss daher davon

ausgegangen werden, dass im vorliegenden Datensatz keine relevante Korrelation zwischen den Raumindikatoren, also der Siedlungsstruktur, und dem Schadensquotienten, also der Schadensanfälligkeit, besteht. Dies geht einher mit den deskriptiven Einschätzungen auf Basis der Streudiagramme in den Abbildungen 72 & 73 (siehe S. 309f.), die ebenfalls kaum einen Zusammenhang zwischen den Variablen erkennen ließen.

Als zweiter Indikator der Schadensanfälligkeit der versicherten Objekte wird der Geschossflächenschaden in die Analyse einbezogen und auf seine Korrelation zu den drei Raumindikatoren und den Baujahren getestet.

Der Korrelationskoeffizient für den Geschossflächenschaden und die Siedlungsdichte fällt mit $-0,093$ sehr gering aus, kann bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit um Null aber als signifikant angesehen werden (siehe Tabelle 18). Dass der Korrelationskoeffizient r nahe Null liegt bedeutet, dass die These, dass ein Zusammenhang zwischen der Siedlungsdichte und dem Geschossflächenschaden besteht, abzulehnen ist. Diese Einschätzung deckt sich mit der Beobachtung des Streudiagramms in Abbildung 74, aus dem sich ebenfalls keine deutliche Korrelation ableiten lässt.

Die Korrelation zwischen Versiegelungsgrad und Geschossflächenschaden ist mit einem Korrelationskoeffizienten von $-0,181$ auf einem geringen negativen Niveau. Der ermittelte Wert ist signifikant. Dies bestätigt den Eindruck, der sich auch aus dem Streudiagramm in Abbildung 74 (siehe S. 311) ergibt, dass zwar tendenziell eine negative Korrelation vorliegt, diese allerdings gering ausfällt. Zwar liefert diese Variablenkonstellation den höchsten Korrelationskoeffizienten in Tabelle 18, doch fällt der Wert nicht ausreichend hoch aus, als dass er als aussagekräftig betrachtet werden könnte.

Des Weiteren wurde mit der Spearman-Methode auf Korrelation zwischen der Straßendichte und dem Geschossflächenschaden getestet. Der Test fällt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $0,536$ nicht signifikant aus. Die Alternativhypothese (H_1) ist daher abzulehnen.

Die Korrelation zwischen den Baujahren und dem Geschossflächenschaden fällt mit $r = 0,044$ auf einem geringen Niveau positiv aus. Sie ist ebenfalls signifikant, jedoch kaum aussagekräftig. Somit zeigt sich in beiden Korrelationsanalysen der Baujahre mit den Schadensindikatoren, dass das Baujahr des Gebäudes keinen statistisch relevanten Einfluss auf dessen Schadensanfälligkeit gegenüber Hagelschäden zu haben scheint.

Insgesamt konnten in sechs der acht Korrelationsanalysen signifikante Korrelationen nachgewiesen werden, die jedoch allesamt so gering ausfallen, dass davon auszugehen ist, dass keine statistisch aussagekräftigen Korrelationen zwischen den Raumindikatoren und den Schadensindikatoren

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

bestehen. In Anbetracht der Fallzahl hätten zumindest Korrelationskoeffizienten von $r > 0,5$, also auf einem mittleren Niveau, nachgewiesen werden müssen, um von einem aussagekräftigen Zusammenhang zwischen den Variablen ausgehen zu können. In diesem Kontext ist zudem auffällig, dass die Korrelationskoeffizienten der Variablenpaare in Tabelle 18 jeweils unterschiedliche Vorzeichen aufweisen, obwohl auf Basis der Ausgangsthese anzunehmen wäre, dass bei allen untersuchten Variablenpaaren eine negative Korrelation besteht. Dies lässt, unter Berücksichtigung der insgesamt sehr geringen Korrelationskoeffizienten, darauf schließen, dass die ermittelten Korrelationen eher auf zufällige Zusammenhänge denn auf siedlungsstrukturbedingte Korrelationen zurückzuführen sind.

Um zu prüfen, ob die mangelnde Korrelation auf die breite Streuung der Schadensindikatoren zurückzuführen ist, wird die Korrelationsanalyse noch einmal mit den Schadensdaten durchgeführt, deren Werte innerhalb des Interquartilsbereiches des Schadensquotienten liegen (Schadensquotienten 0,92–4,63; $n = 9.854$). Ebenso wie in den vorangegangenen Analysen lässt sich für keine Variablenkonstellation zwischen den beiden Schadensindikatoren und den drei Raumindikatoren bzw. den Baujahren eine statistisch aussagekräftige Korrelation feststellen (siehe Anhang E.2).

Da keine deutliche Korrelation zwischen den Variablen nachgewiesen werden können, ist es nicht notwendig eine tiefergehende Regressionsanalyse durchzuführen. Bei einem Korrelationskoeffizienten gegen Null fällt die entsprechende lineare Regressionsgerade nahezu waagrecht aus. Zur Vollständigkeit wurden die zu den Variablenpaaren gehörenden linearen Regressionsgeraden in die Streudiagramme (siehe Abbildungen 72–75, S. 309–312) eingezeichnet. Die Geraden in den Abbildungen bestätigen, die zu Beginn des Absatzes aufgestellte Behauptung. Hinzu kommt, dass die quadrierten Abweichungen der beobachteten Werte von der Regressionsgeraden (R^2) für alle sechs linearen Regressionsfunktionen kleiner als 0,01 ausfallen. Das bedeutet, dass durch die Regressionsfunktionen weniger als 1 % der Messwerte erklärt werden können und die Funktionen daher statistisch nicht aussagekräftig sind.

Sowohl in der deskriptiven, als auch in der schließenden Statistik kann kein Zusammenhang zwischen den Raum- und den Schadensindikatoren nachgewiesen werden. Es gilt daher zu prüfen, ob die in den Boxplots in den Abbildungen 70 & 71 (siehe S. 306 & 307) erkennbaren Zusammenhänge zwischen den Schadensindikatoren und den BNT statistisch aussagekräftig sind. Da die BNT jedoch nicht als metrische, sondern nur als kategoriale Variable operationalisiert sind, können zur Untersuchung der statistischen Zusammenhänge keine Korrelationsanalysen angewendet werden. Auch die Testverfahren zur Untersuchung der Lageunterschiede zwischen zwei unterschiedlich skalierten

Variablen, die sogenannten Varianzanalysen (z. B. einfaktorielle ANOVA oder Kruskal-Wallis Test), können im vorliegenden Fall nicht angewendet werden, da sie neben der metrischen Variable eine ordinal skalierte Variable voraussetzen. Auch können die Nummerierungen der BNT nicht ordinal skaliert werden, da der BNT-Ansatz keine Ordnungslogik im Sinne von hoch verdichtet bis gering verdichtet darstellt, sondern lediglich die Unterschiedlichkeit der Siedlungsstrukturen abbilden soll. Die Testverfahren für kategoriale Variablen, wie der Chi-Quadrat Test oder Fishers Exakter Test, setzen wiederum zwei kategoriale Variablen voraus. Es gibt demzufolge kein etabliertes Testverfahren, um die vorliegende Datenkonstellation auf statistisch signifikante Zusammenhänge zu prüfen.

8.2.3 Auswertung z-standardisierter Schadensindikatoren

Wie sich gezeigt hat, können statistisch keine Korrelationen der Daten nachgewiesen werden. Neben möglichen Einflussfaktoren, die außerhalb der verfügbaren Daten liegen, könnte dies auch darauf zurückzuführen sein, dass die Variablen unterschiedliche Dimensionen bzw. unterschiedliche Einheiten aufweisen. So fallen die Messwerte der Variablen stark unterschiedlich aus (siehe Tabelle 17, S. 302), was die Bestimmung des Effekts einer Variable auf eine andere Variable erschwert. Ein statistisches Verfahren, um derartige Unterschiede der Variablen aufgrund deren Skalierung aus der Betrachtung auszuschließen, ist die z-Transformation. Das Ergebnis, der z-Wert, ist ein dimensionsloser Wert mit einem Erwartungswert von 0 und einer Varianz von 1.

Eine Korrelationsanalyse auf Basis der z-transformierten Werte würde die gleichen Ergebnisse liefern, wie die Korrelationsanalyse auf Basis der unveränderten Indikatorwerte, sodass sich hieraus kein zusätzlicher Erkenntnisgewinn erzielen lässt. Allerdings lässt ein Vergleich der mittleren z-Werte der Schadensindikatoren, geordnet nach BNT, Rückschlüsse darauf zu, ob einzelne BNT im Verhältnis der BNT untereinander vulnerabler gegenüber dem Hagelsturmereignis waren. Positive z-Werte der Schadensindikatoren zeigen an, dass der Schaden in einem BNT durchschnittlich höher ausgefallen ist, als im Mittel aller BNT und ein negativer z-Wert zeigt an, dass der Schaden in einem BNT durchschnittlich geringer ausgefallen ist als im Durchschnitt aller BNT. Insofern liefern die z-transformierten Schadensindikatoren eine quantitative Ergänzung zu den Einschätzungen zur unterschiedlichen Hagelvulnerabilität auf Basis der Boxplots.

In Tabelle 19 sind die arithmetischen Mittelwerte der z-transformierten Schadensindikatoren nach BNT aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass die z-Werte des Schadensquotienten überwiegend moderat ausfallen und nahe dem Erwartungswert 0 liegen. Lediglich bei sechs BNT weicht der z-Wert mehr als +/- 0,1 vom Erwartungswert ab. Die Werte +/- 0,1 werden daher als Schwellwerte für die qualitative Bewertung der z-Faktorwerte der Schadensquotienten als „moderat“ festgelegt. Dagegen

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

weichen die mittleren z-Werte des Geschossflächenschadens in allen BNT deutlich stärker von 0 ab. Dies bestätigt auch quantitativ die aus den Boxplots erkennbaren Tendenzen unterschiedlicher Vulnerabilitäten der BNT im Hinblick auf den Geschossflächenschaden (siehe Abbildung 71, S. 307). Als Grundlage zur Bewertung moderater z-Werte werden Abweichungen von +/- einem Drittel einer Standardabweichung vom Erwartungswert 0 festgelegt.

Tabelle 19: Mittlere z-Werte der Schadensindikatoren nach BNT

| BNT (Kurzbezeichnung) | | z-Faktorwert: Schadensquotient | z-Faktorwert: Geschossflächenschaden |
|-----------------------|------------|-----------------------------------|---|
| Block | Mittelwert | -,011 | -,463 |
| | N | 508 | 508 |
| Zeile | Mittelwert | ,077 | -,389 |
| | N | 433 | 433 |
| Platte | Mittelwert | -,236 | -,408 |
| | N | 151 | 151 |
| MFH | Mittelwert | -,122 | -,424 |
| | N | 1635 | 1635 |
| EFH_dicht | Mittelwert | -,037 | ,121 |
| | N | 9956 | 9956 |
| EFH_locker | Mittelwert | -,004 | ,351 |
| | N | 3419 | 3419 |
| Dorf | Mittelwert | ,216 | -,249 |
| | N | 2344 | 2344 |
| Misch | Mittelwert | -,061 | -,490 |
| | N | 519 | 519 |
| G_Indu | Mittelwert | -,007 | -,573 |
| | N | 22 | 22 |
| G_Logi | Mittelwert | -,116 | -,569 |
| | N | 4 | 4 |
| G_klein | Mittelwert | ,039 | -,520 |
| | N | 323 | 323 |
| G_klass | Mittelwert | ,270 | -,566 |
| | N | 393 | 393 |
| G_Techno | Mittelwert | -,317 | -,574 |
| | N | 1 | 1 |
| Insgesamt | Mittelwert | 0 | 0 |
| | N | 19708 | 19708 |

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Im Hinblick auf die Schadensquotienten stechen bei den Wohn-BNT die Geschosswohnungsbauten mit deutlich negativen z-Werten, als auch die Mehrfamilienhäuser mit ebenfalls negativen z-Werten heraus, was eine geringere Hagelvulnerabilität im Vergleich der BNT anzeigt. Dagegen zeigt der mittlere z-Wert des BNT Dorfkern/Ortslage an, dass in diesem BNT höhere Schadensquotienten verzeichnet wurden. Bei den Gewerbe-BNT sticht der deutlich positive z-Wert des BNT klassische

Gewerbegebiete heraus. Die deutlich negativen Werte der Logistik- und Technologieparks sind aufgrund der geringen Fallzahlen nicht verallgemeinerbar und werden daher nicht interpretiert.

Bei den mittleren z-Werten für den Geschossflächenschaden sind eindeutige Tendenzen erkennbar. Bei den Wohn-BNT weisen alle BNT mit Mehrfamilienhäusern einen deutlichen, negativen z-Wert auf. Die Schadensanfälligkeit liegt für diesen Indikator für die beschriebenen BNT zwischen -0,4 bis zu einer halben Standardabweichung unter der durchschnittlichen Schadensanfälligkeit für alle BNT. Dagegen weisen die Ein-/Zweifamilienhaus-BNT mittlere z-Werte deutlich über dem Erwartungswert auf, was eine höhere Schadensanfälligkeit indiziert. Dies trifft insbesondere auf die gering verdichtete, lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung zu. Dieser Zusammenhang stimmt mit der These überein, die im Kontext der Erläuterung des Indikators *Geschossflächenschaden* aufgestellt wurde: Die Geschossflächenzahl korreliert negativ mit der Schadensanfälligkeit. Allerdings ist diese scheinbare Korrelation statistisch nicht aussagekräftig (siehe Anhang E.2).

Die Gewerbe-BNT weisen relativ homogen einen z-Wert zwischen -0,5 und -0,6 für den Geschossflächenschaden auf, was eine vergleichsweise geringe Schadensanfälligkeit für diesen Indikator anzeigt. Auch dies scheint die These zu bestätigen, dass durch das günstigere Verhältnis von Gebäudeoberfläche zur Geschossfläche die relative Schadensanfälligkeit sinkt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Geschossfläche der Gebäude in den Gewerbe-BNT auf Grundlage zahlreicher vereinfachender Annahmen geschätzt wurde.

8.3 Aussagekraft der Daten und Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Versicherungsbestands- und Schadensdaten können keine aussagekräftigen Korrelationen zwischen den räumlichen Indikatoren bzw. dem Baujahr der Gebäude und den Schadensindikatoren abgeleitet werden. Die Korrelationskoeffizienten fallen derart gering aus, dass nur sehr geringfügige Tendenzen der Zusammenhänge auszumachen sind, die statistisch nicht aussagekräftig sind. Die verfügbaren Raumindikatoren sind demzufolge nicht geeignet, um die Vulnerabilität der Versicherungsobjekte gegenüber Hagel zu erklären. Es kann hinterfragt werden, ob die gewählten Indikatoren geeignet sind, um die Bau- und Raumstruktur zu operationalisieren. Dies wäre durch weitere Korrelationsanalysen mit anderen Indikatoren zu prüfen.

Im Hinblick auf den Einfluss der Raumindikatoren auf die Schadensindikatoren muss berücksichtigt werden, dass nur zwei der analysierten Variablen nahezu normalverteilt sind. Die Schiefe der übrigen Daten sowie zahlreiche extreme Ausreißer, insbesondere bei den Schadensdaten, liefern eine statistische Erklärung für die geringen Korrelationen.

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

Eine logistische Transformation der Daten wäre möglich, um die Schiefe der Datenverteilung aufzuheben. Dies erfordert in der Interpretation der Ergebnisse allerdings eine intensivere Auseinandersetzung mit den Daten und der Methodik, die mit der angestrebten Praxistauglichkeit des empirischen Ansatzes nicht vereinbar ist. Des Weiteren wurden in den dargestellten Regressionsanalysen lediglich lineare Zusammenhänge untersucht. Zwar wurde vereinzelt auch die quadratische Regressionsfunktion berechnet, doch führte dies ebenfalls zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen (siehe z. B. S. 309). Außerdem hätte untersucht werden können, ob logarithmische Regressionsanalysen statistisch aussagekräftigere Ergebnisse erzeugen. Die in den Streudiagrammen in den Abbildungen 72-75 dargestellten Datenverteilungen lassen dies jedoch nur bedingt erwarten.

Etwas stärkere Zusammenhänge lassen sich zwischen den Schadensindikatoren und den BNT erkennen. Die auf Basis der optischen Analyse der Boxplots gewonnenen Eindrücke tendenziell höherer Schadensanfälligkeit einzelner BNT konnten durch die Gegenüberstellung der mittleren z-Werte der Schadensindikatoren nach BNT quantifiziert werden. Insbesondere im Hinblick auf den Geschossflächenschaden kann festgehalten werden, dass bei den Wohn-BNT die Mehrfamilienhaustypen unterdurchschnittlich schadensanfällig sind und die Ein-/Zweifamilienhaustypen überdurchschnittlich anfällig. Die Gewerbe-BNT weisen im Vergleich zum Durchschnitt aller BNT einen geringeren Geschossflächenschaden auf. Zu beachten ist bei den Einschätzungen auf Basis der z-Werte, dass es sich um Kennwerte handelt, die lediglich die Relation der ermittelten Indikatorwerte zueinander wiedergeben. Daher lassen sich daraus lediglich Aussagen zur Relation der BNT zueinander ableiten, jedoch keine Rückschlüsse auf absolute Schadensanfälligkeiten der BNT ziehen. Auch bewegen sich alle in Tabelle 19 dargestellten z-Werte im Bereich zwischen etwa +/- einer halben Standardabweichung. Das bedeutet, dass die Schadensindikatoren im Mittel in keinem BNT übermäßig stark vom Durchschnitt aller BNT abweichen. Die festgestellten Unterschiede zwischen den BNT sind demzufolge als Tendenzen zu verstehen, die einer weiteren Qualifizierung bedürfen, um als statistisch aussagekräftig gelten zu können.

In Anbetracht der mangelnden statistischen Zusammenhänge stellt sich inhaltlich die Frage, worauf die Ergebnisse zurückzuführen sind. Es kann festgehalten werden, dass mit den drei Raumindikatoren und den Baujahren nur ein kleiner Teil möglicher Einflussfaktoren für die Analysen zur Verfügung steht. Weitere Aspekte wie Baumaterial, Dachform, Zustand eines Gebäudes oder lokale Standortfaktoren haben einen großen Einfluss auf die individuelle Schadensanfälligkeit eines Versicherungsobjektes (vgl. Stucki und Egli 2007: 10ff.). Schon rein physikalisch lassen sich unterschiedliche Gebäudeschäden bei gleicher Hagelintensität durch den Aufprallwinkel der Hagelkörner erklären. Der

Winkel der betroffenen Gebäudeoberfläche (Dach oder Fassade) und die Stellung des Gebäudes zur Windrichtung wirken also direkt auf die entstehende Aufprallenergie des Hagelniederschlags. So ist es inhaltlich kaum verwunderlich, dass sich dagegen für den Versiegelungsgrad oder die Siedlungsdichte als stellvertretende räumliche Indikatoren für die Siedlungsstruktur nur sehr geringe Einflüsse auf die konkret angefallenen Schäden feststellen lassen. Aus den Ergebnissen kann daher geschlossen werden, dass die Schadensanfälligkeit eines Gebäudes gegenüber Hagelschäden vermutlich deutlich stärker von den Objekteigenschaften als von den Eigenschaften der Siedlungsstruktur abhängig ist. Die festgestellten, sehr geringen Korrelationen der siedlungsstrukturellen Indikatoren mit den Schadensindikatoren können kaum als entscheidende Einflüsse bewertet werden.

Gleichzeitig muss aber auch beachtet werden, dass die Analyse nicht auf externen Einflüssen unter Laborbedingungen beruht. Das heißt, dass mit dem Hagelsturm von Reutlingen zwar ein Extremereignis ausgewählt wurde, das in kurzer Zeit weite Teile der Region in insgesamt vergleichbar hohem Ausmaß betroffen hat. Allerdings muss von einer kleinräumig unterschiedlichen Intensität des Hagelsturms ausgegangen werden. Gerade diese kleinräumige Ebene ist es jedoch, auf der die individuellen Objektschäden entstehen. Hier haben meteorologische Faktoren, wie Windstärke und Hagelkorngröße, einen entscheidenden Einfluss darauf, mit welcher Aufprallenergie die Hagelkörner auf die Versicherungsobjekte treffen.

Tabelle 20: Aufprallenergie von Hagelkörnern unterschiedlicher Durchmesser

| Durchmesser k | Masse m | Endgeschwindigkeit v | | Kinetische Energie E |
|---------------|---------|----------------------|--------|----------------------|
| [mm] | [kg] | [m/s] | [km/h] | [Joule] |
| 10 | 0.0005 | 13.8 | 49.7 | 0.04 |
| 15 | 0.0015 | 16.9 | 60.8 | 0.22 |
| 20 | 0.0036 | 19.5 | 70.2 | 0.69 |
| 25 | 0.0071 | 21.8 | 78.5 | 1.69 |
| 30 | 0.0123 | 23.9 | 86.0 | 3.5 |
| 40 | 0.0292 | 27.5 | 99.0 | 11.1 |
| 50 | 0.0569 | 30.8 | 110.9 | 27.0 |
| 60 | 0.0984 | 33.7 | 121.3 | 56.0 |
| 70 | 0.1562 | 36.4 | 131.0 | 103.7 |
| 80 | 0.2332 | 39.0 | 140.4 | 176.9 |

Quelle: Kantonale Gebäudeversicherungen 2007: 55; *Aufprallenergie ohne Einberechnung des Windes

Wie in Tabelle 20 dargestellt, führt allein schon die Steigerung des Hagelkorndurchmessers zu einer höheren Fallgeschwindigkeit und als Produkt aus höherer Masse und höherer Fallgeschwindigkeit auch zu einer exponentiellen Steigerung der kinetischen Aufprallenergie. Dabei sind in der Tabelle Winde nicht eingerechnet, die diesen Effekt noch verstärken können. Hinzu kommen die schon beschriebenen, spezifischen Parameter des Objektes (Oberflächenneigung, Stellung zum Wind), die die konkrete Exposition eines Objektes beeinflussen. All diese Faktoren können sich kleinräumig innerhalb der Region deutlich voneinander unterscheiden, sodass das gleiche Gebäude im gleichen

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

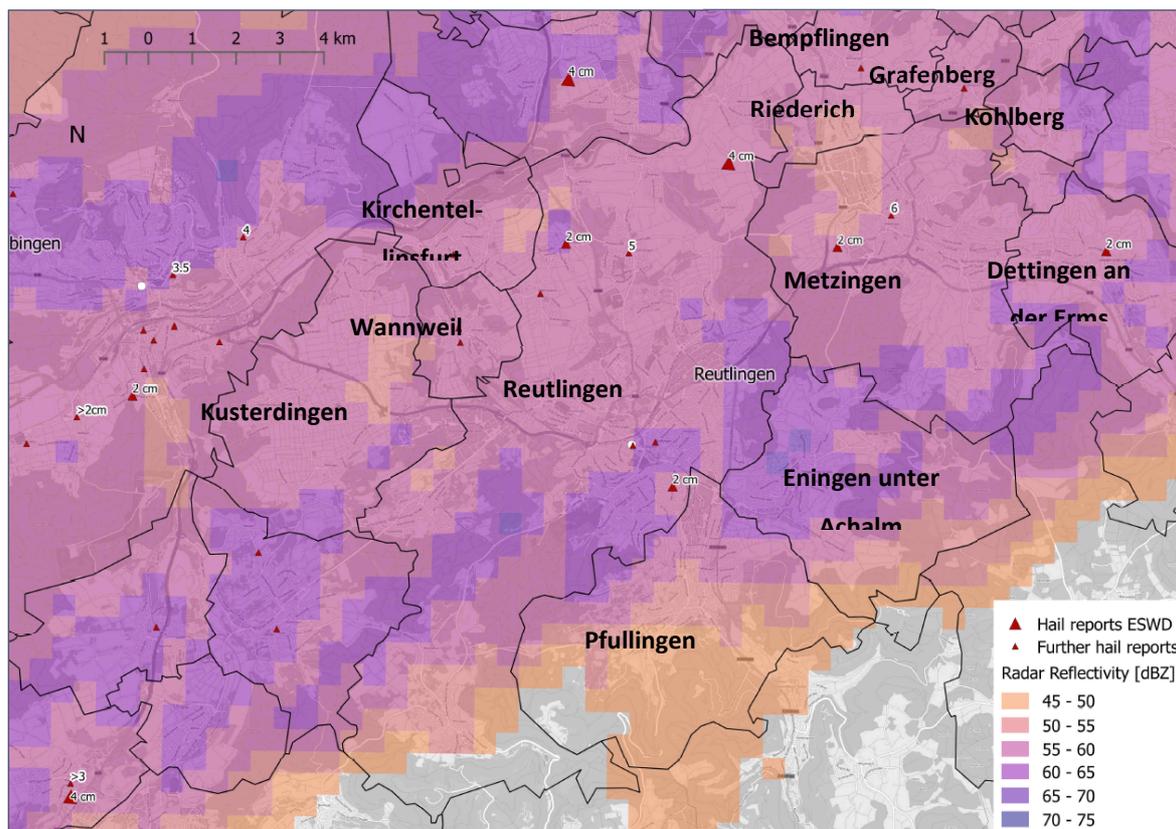
Siedlungsstrukturtyp in unterschiedlichen Bereichen der Region unterschiedliche Schäden aufweisen würde.

Zumindest die regional unterschiedlichen Intensitäten eines Gewitters können meteorologisch genauer ausdifferenziert werden. Um die Niederschlagsintensität nicht nur auf Basis von punktuellen Messdaten lokaler Wetterstationen bestimmen zu können, sondern auch eine möglichst flächendeckende Einschätzung auf Basis der Wetterparameter zu ermöglichen, wird in der Hydrometeorologie das Prinzip der Niederschlagsbestimmung mittels Radardaten angewendet. Hierbei kann der momentane Niederschlag in einer Region anhand der Radarreflektivität berechnet werden. Über ein Radar werden elektromagnetische Wellen ausgesendet, die sich an den Wasserpartikeln in der Atmosphäre (Hydrometeore) brechen und streuen. Die Radarstation kann messen, welches Volumen der elektromagnetischen Wellen reflektiert wird und daraus die Form und Intensität des aktuellen Niederschlags ableiten. Die Reflektivität wird in der logarithmischen Einheit „dBZ“ gemessen. Hierbei steht dB für „Dezibel“ und Z für die *Reflektivität*. Der Deutsche Wetterdienst geht bei einer Radarreflektivität über 40 dBZ von intensiverem Regen mit großen Tropfen und ab einer Reflektivität von 55 dBZ von Hagelniederschlägen aus. (vgl. Weigl 2015) Abbildung 76 zeigt die Radarreflektivität am 28.07.2013 (Tagesmaxima) für einen großen Ausschnitt der Fallregion.

Anhand der violetten Farben für hohe Radarreflektivitäten sind die Zugbahnen der beiden Hauptgewitterzellen deutlich zu erkennen. Sie verlaufen nördlich an Reutlingen vorbei und durch den südlichen Teil der Stadt. Nahezu die gesamte Region ist von Reflektivitäten über 55 dBZ und damit von Hagelniederschlägen betroffen. Als rote Dreiecke sind zudem bestätigte Berichte und Messdaten der Wetterstationen über die durchschnittlichen Hagelkorngrößen (Durchmesser in cm) eingezeichnet. Sie reichen von 2 bis 6 cm, was bei einer sonst üblichen Hagelkorngröße zwischen 0,5 und 2 cm (vgl. Mohr 2013: 27ff.) deutlich über dem Durchschnitt liegt. Auffällig ist jedoch, dass große und kleine Hagelkorngrößen öfter auch in unmittelbarer Nähe beobachtet wurden, wie beispielsweise die beiden Messwerte in Metzingen, nordöstlich von Reutlingen, zeigen. Ebenso erstaunlich ist, dass gerade die in Metzingen registrierte Hagelkorngröße von 6 cm direkt an einen Bereich geringerer Niederschlagsintensität angrenzt. Dieser scheinbare Widerspruch lässt sich damit erklären, dass die Radarreflektivität, in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Gewitterzelle und Radarstation, in einer Höhe zwischen 2 und 18 km (letzteres bei sehr großen Entfernungen) gemessen wird. Dementsprechend liegen zwischen der gemessenen Radarreflektivität und dem Auftreffpunkt des dazugehörigen Niederschlags auf den Boden einige Hundert Meter Luftlinie in vertikaler Richtung.

Während ihres Falls werden die Hagelkörner durch die im Rahmen eines solchen Gewitters auftretenden stürmischen Winde jedoch auch räumlich abgelenkt, sodass es auch zu einem horizontalen Versatz zwischen Mess- und Auftreffpunkt kommt. Theoretisch kann dieser Versatz bei vorliegenden Windvektoren mithilfe entsprechender Versatzvektoren auch berechnet werden. Allerdings lagen dem Autor weder ebendiese Windvektoren vor, noch waren die notwendigen Rechnerkapazitäten für die komplexen Berechnungen verfügbar. Nichtsdestotrotz belegt Abbildung 76 die Annahme, dass die Hagelintensität des Beispiereignisses in der Fallregion heterogen ausgefallen ist.

Abbildung 76: Radarreflektivität und Hagelkorngrößen vom 28.07.2013 in der Fallregion (Tagesmaxima)



Quelle: Schmidberger, M. 2018, interne Kommunikation; eigene Ergänzungen

Könnten die unterschiedlichen Windvektoren einberechnet werden, würde sich das in der Abbildung gezeichnete Bild vermutlich nochmals heterogener darstellen. Wenn also die Hagelintensität regional sehr unterschiedlich ausfällt, so liefert dies einen weiteren Erklärungsansatz dafür, warum die unterschiedlich ausfallenden Gebäude- und Objektschäden in der Schadensdatenbank nur sehr gering mit den räumlichen Indikatoren korrelieren. Es kann schlichtweg nicht von der gleichen Exposition für alle beobachteten Schadensfälle ausgegangen werden.

Zusammen mit der unterschiedlichen Anfälligkeit einzelner Gebäude auf Grundlage ihrer baulichen und ortsbezogenen Eigenschaften muss also das Fazit gezogen werden, dass Objekt- und

8. Auswertung der Gebäudeschadensdaten der Fallstudie

Gebäudeschäden von einer Vielzahl an Einflussfaktoren abhängig sind. Es muss davon ausgegangen werden, dass die konkreten, lokalen Wettereinflüsse und die objektspezifischen baulichen Eigenschaften des Gebäudes einen höheren Einfluss auf die Vulnerabilität haben, als die siedlungsstrukturellen Eigenschaften. Um auf die vierte Forschungsfrage zurückzukommen, wirken sich demzufolge objektbezogene Einflussfaktoren deutlich stärker auf die Robustheit von Wohn- und Gewerbegebäuden gegenüber Hagel aus als siedlungsstrukturelle Eigenschaften. Zumindest zur Erklärung von Hagelschäden scheint der Siedlungsstrukturtypenansatz nur sehr bedingt geeignet zu sein. Hier könnten mitunter verschiedene Gebäudetypologien sowie baustrukturelle oder architektonische Eigenschaften einen stärkeren Zusammenhang zur Schadensintensität aufweisen. Das bedeutet aber nicht, dass mit dem Siedlungsstrukturtypenansatz generell keine aussagekräftigen Ergebnisse erzielt werden können. Bei Untersuchungen zu anderen externen Einflüssen, wie beispielsweise städtischer Hitze (vgl. Hackenbruch et al. 2017) und Abwasserinfrastrukturen im Demografischen Wandel (vgl. Siedentop et al. 2006) hat sich die Methode durchaus schon bewährt.

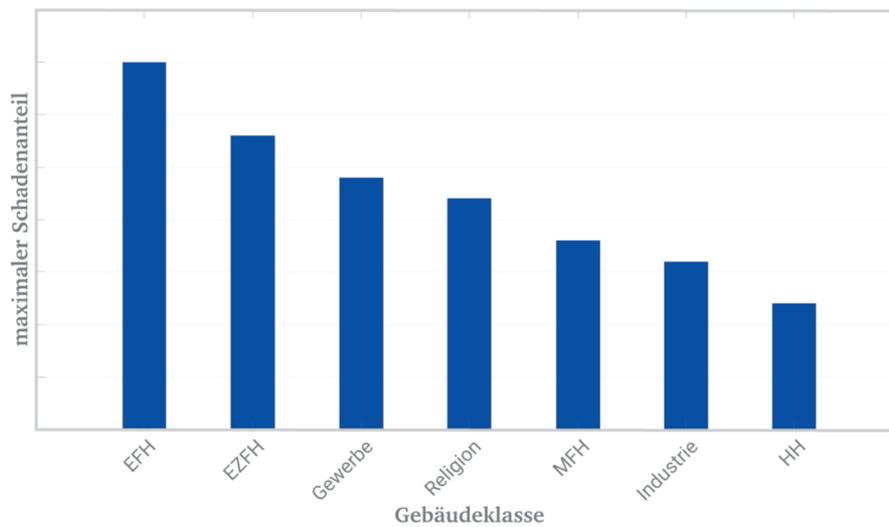
Dass grundsätzlich ein Zusammenhang zwischen Hagelschäden und unterschiedlichen Gebäudeklassen besteht, zeigt SCHMIDBERGER in seiner Untersuchung von Hagel- und Versicherungsdaten (vgl. Schmidberger 2018). Ebenso wie in der vorliegenden Arbeit nutzt er den Schadensquotienten als relativen Indikator und konnte feststellen, dass Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH bzw. EZFH) deutlich anfälliger für höhere Schäden sind, als Mehrfamilienhäuser (MFH) – insbesondere Hochhäuser (HH), wie der Abbildung 77 zu entnehmen ist. Da die y-Achse in dieser Abbildung keine differenzierten Werte ausweist, können die Unterschiede der Schadensanfälligkeit der verschiedenen Gebäudetypen nicht weiter quantifiziert werden.

Die Analysen von SCHMIDBERGER beruhen auf der Objektebene und greifen auch nicht exakt die BNT auf, die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde. Allerdings sind einige Parallelen zwischen den Typologien klar erkennbar: EFH entsprechen wohl der lockeren Ein-/Zweifamilienhausbebauung, EZFH der dichten Ein-/Zweifamilienhausbebauung, MFH den Mehrfamilienhaustypen und HH wohl am ehesten dem Geschosswohnungsbau.

In der grundsätzlichen Tendenz und dem Verhältnis der Typologien untereinander stimmen die Ergebnisse von SCHMIDBERGER deutlich mit den in Abbildung 70 (siehe S. 306) dargestellten Ergebnissen überein. Dazu sollten die oberen Enden der Whisker-Arme der Boxplots mit den Balken des maximalen Schadensgrad in Abbildung 77 verglichen werden. Die Ähnlichkeit der Ergebnisse kann als Beleg dafür angesehen werden, dass die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zur

Hagelschadensvulnerabilität der BNT in ihrer Tendenz durchaus als aussagekräftig betrachtet werden können, auch wenn sich die Korrelationen statistisch nicht nachweisen lassen.

Abbildung 77: Maximaler Schadensgrad durch Hagel anteilig am Gesamtwert eines Gebäudes



Quelle: Schmidberger 2018: 215

Für die weiteren Analysen und den konzeptionellen Teil bedeuten die Ergebnisse, dass aus den Analysen der Hagelschäden keine quantitativen Kennwerte in die Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile überführt werden können, da keine hinreichend aussagekräftigen Korrelationen vorliegen. Dementsprechend können auch nicht, wie ursprünglich angestrebt, quantitative Werte aus beiden Analyse-teilen zusammengeführt werden. Es bietet sich lediglich eine Erstellung von Vulnerabilitäts- und Resilienzprofilen auf Basis qualitativer Einschätzungen an, die die Einschränkungen der Daten berücksichtigen (siehe Kapitel 10).

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Im zweiten Abschnitt des empirischen Teils der Arbeit wird der BNT-Ansatz angewendet, um die Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu modellieren. Dabei stehen vor allem demografische Prozesse als wichtige Einflussfaktoren der Kostenentwicklung von Abwasserinfrastrukturen im Fokus. Somit werden im Vergleich zum ersten Abschnitt der Empirie sowohl ein anderes städtisches System als auch abweichende Herausforderungen einer Stadt analysiert, um so die Vielfältigkeit der Herausforderungen und urbanen Systeme in der Empirie widerzuspiegeln.

Auch wenn die in Kapitel 8 dargestellten Ergebnisse lediglich eine qualitative Einschätzung der Zusammenhänge zwischen den BNT und den Schadensindikatoren zulassen, wird im zweiten Teil der Empirie die Ermittlung quantitativer Kennwerte angestrebt. Einerseits könnten die gewonnenen Erkenntnisse dann noch auf andere Fragestellungen angewendet werden und andererseits können die quantitativen Ergebnisse anschließend auch in qualitative Einschätzungen transformiert werden, um sie dann in die Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile einfließen zu lassen.

Auf die Erläuterung der Zielsetzungen und des grundsätzlichen Konzepts des Modells folgt eine Beschreibung des konkreten Aufbaus des Modells, seiner grundsätzlichen Funktionsweise und der Datengrundlagen. Dabei beschränkt sich die Darstellung an dieser Stelle auf die inhaltliche Beschreibung der Arbeits- und Rechenschritte. Die technische Umsetzung in MS Excel wird ausführlicher in Anhang F beschrieben. Daraufhin wird erläutert, welche Szenarien in dem Modell zur Verfügung stehen und auf welchen Annahmen diese Szenarien beruhen. Es folgen die Ergebnisauswertung, die Bewertung der Ergebnisse sowie die Einschätzung der Übertragbarkeit auf andere Fallregionen und Anwendungsfälle.

9.1 Zielsetzungen und Konzeption des Modells

Gemäß der fünften Forschungsfrage ist es ein Ziel der Arbeit herauszuarbeiten, ob sich für die BNT unterschiedliche Eigenschaften im Hinblick auf Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile identifizieren lassen. Dazu wurden im ersten Abschnitt der Empirie bereits Hagelschäden an Versicherungsobjekten auf Ebene der BNT analysiert. Bei Hagelschäden handelt es sich um eine unter vielen möglichen Herausforderungen einer Stadt und auch die betroffenen Objekte bzw. Gebäude repräsentieren lediglich eine Art städtischer Systeme. Um die in der Theorie identifizierte Vielfalt und Heterogenität der Herausforderungen und der urbanen Systeme auch in Ansätzen in der Empirie abzubilden, ist

zumindest eine zweite Analyse notwendig, die sich sowohl in der Art der Herausforderungen, als auch in der Art des betroffenen städtischen Systems deutlich vom ersten Empirieabschnitt unterscheidet. Zwar stellen auch zwei unterschiedliche Analysen lediglich einen Ausschnitt der komplexen Realität dar, doch würde eine eindimensionale empirische Analyse dem zugrundeliegenden, komplexen Resilienzverständnis nicht gerecht.

Nachdem im ersten Abschnitt der Empirie die Anwendung des BNT-Ansatzes auf empirische Primärdaten demonstriert wurde, wird im zweiten Abschnitt aufgezeigt, dass sich der Ansatz auch auf theoretische Kennwerte anwenden lässt. So wird ebenfalls demonstriert, dass das Konzept auch auf andere Fallregionen übertragen werden kann, für die mitunter keine Realdaten vorliegen. Hinzu kommt, dass auch aufgrund der Datenverfügbarkeit und aus arbeitsökonomischer Perspektive keine zweite Datenerhebung möglich war. Die Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung wurde als Modellierungsbeispiel für den zweiten Abschnitt der Empirie gewählt, da sich die Abwasserinfrastrukturkosten besonders demografiesensitiv zeigen, was auch schon in zahlreichen Studien herausgearbeitet wurde (siehe z. B. Dittrich-Wesbuer et al. 2015; Blum und Gruhler 2010; Hillenbrand et al. 2010; Schiller 2010; Westphal 2008; Siedentop et al. 2006). In einigen der aufgeführten Studien wurde die Kostenentwicklung auf Basis von Baustrukturtypenansätzen und typenspezifischer Kennwerte modelliert. Da diesen Studien ein grundsätzlich vergleichbarer Modellierungsansatz zugrunde liegt, kann davon ausgegangen werden, dass sich der methodische Ansatz der Baustrukturtypen auf für derartige Fragestellungen etabliert hat und verwendet werden kann. Dies war ein weiterer Grund für die Auswahl der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung als Fallbeispiel für den zweiten Abschnitt der Empirie.

Anhand der Modellierungsergebnisse soll aufgezeigt werden, wie robust sich die Abwasserinfrastrukturkosten in unterschiedlichen Baustrukturtypen gegenüber demografischen Veränderungen verhalten. Im Vergleich der unterschiedlichen BNT können daraus Rückschlüsse für die Entwicklung von Vulnerabilitäts- und Resilienzprofilen gezogen werden. Die Abwasserinfrastrukturkosten dienen dabei als Indikator zur Operationalisierung der Sensitivität des Systems der Abwasserinfrastruktur.

Das Modell ermöglicht als deterministisches Modell eine vereinfachte Abbildung der Realität. Ziel ist nicht mit einer möglichst hohen Eintrittswahrscheinlichkeit die exakte Kostenentwicklung der Abwasserinfrastrukturen weit in die Zukunft zu modellieren. Ein solcher Versuch wäre durch nicht vorausberechenbare Einflussfaktoren fehleranfällig. Außerdem wären für eine sehr genaue Kostenkalkulation die kleinräumige Infrastrukturausstattung sowie die Bevölkerungszahl als Realdaten notwendig. Vielmehr soll das Modell möglichst flexibel die unterschiedlichen Reaktionen der BNT auf

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

verschiedene Szenarien in ihren Verhältnismäßigkeiten darstellen. Die Erkenntnisse daraus können für die Planung aufzeigen, welche BNT generell als besonders demografiesensibel einzuschätzen sind und welche BNT unter verschiedenen Entwicklungen der Rahmenbedingungen (Szenarien) einer genaueren Betrachtung bedürfen. Zudem lässt sich ein solches Modell unter vergleichsweise geringem Aufwand auf andere Fallregionen übertragen und anwenden.

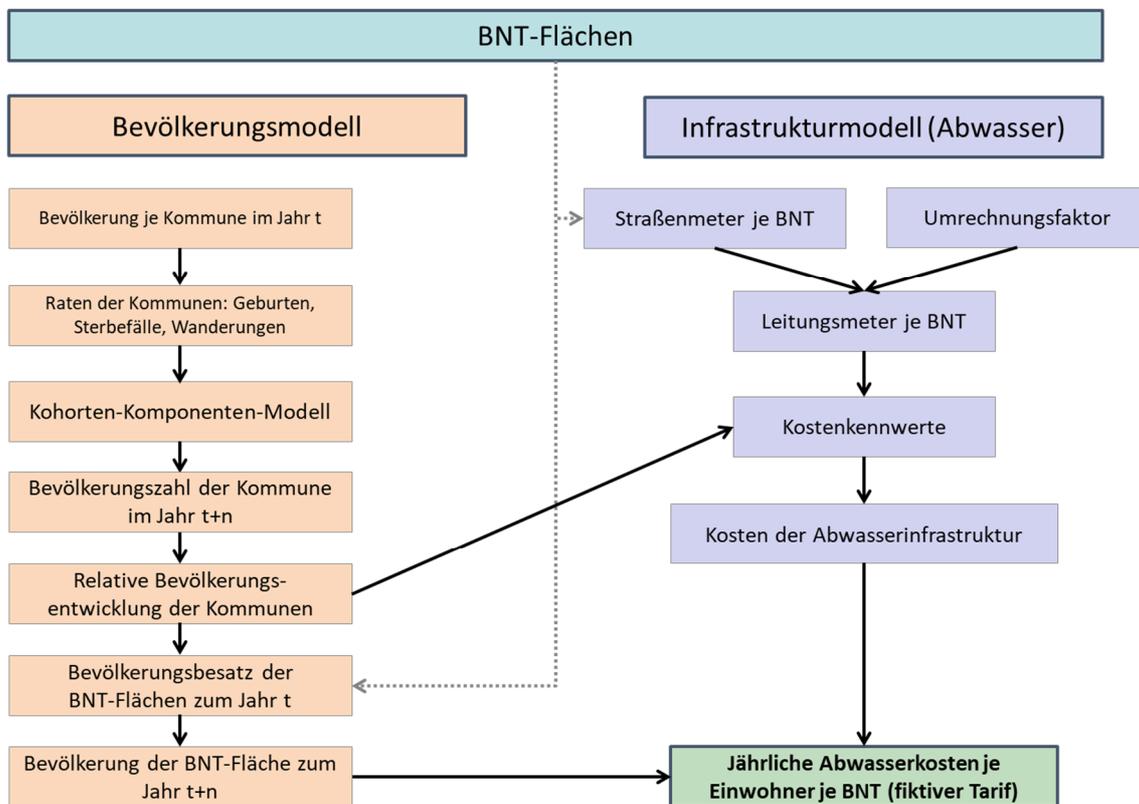
Die Modellierung der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung in Form eines fiktiven Abwassertarifs basiert im Kern auf zwei Modulen: der Modellierung der kleinräumigen Einwohnerentwicklung und der Modellierung der kleinräumigen Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung auf Ebene der BNT, wobei die Kostenentwicklung durch die Bevölkerungsentwicklung beeinflusst werden kann (siehe Abbildung 78). Das Konzept des deterministischen Modells ist so angelegt, dass beide Module auf den BNT-Flächen als Ausgangsmultiplikator basieren. Der Literatur können idealtypische, BNT-spezifische Kennwerte zur Bevölkerungszahl und Infrastrukturausstattung je Hektar entnommen werden. Diese Werte sind im Modell auch als Literaturkennwerte hinterlegt. Für die Fallregion wurden auf Grundlage der Daten des IÖR-Monitors kleinräumige Realwerte zur Bevölkerungszahl ermittelt (siehe Kapitel 7.4). Die Abwasserinfrastrukturausstattung jedes BNT wird über einen Umrechnungsfaktor anhand der Straßennetzlänge bestimmt (siehe Kapitel 9.2). Im Falle fehlender Realwerte dienen die BNT-Flächen sowohl zur Bestimmung der kleinräumigen Einwohnerzahl als auch zur Hochrechnung des Infrastrukturmengengerüsts.

Die Fortschreibung der Einwohnerentwicklung basiert auf einer vereinfachten Variante der Kohorten-Komponenten Methode (siehe Kapitel 1.4.4). Je nach ausgewählter Ebene wird für die Gesamtregion oder einzelne Kommunen anhand der Methode die Bevölkerungsentwicklung vorausberechnet. Als Faktoren auf die Komponenten der Bevölkerungsentwicklung (Geburten, Sterbefälle, Wanderungen) können Szenarien in die Modellierung der Bevölkerungsentwicklung eingespielt werden. Die so berechnete, relative Bevölkerungsentwicklung nach Altersgruppen auf kommunaler oder regionaler Ebene wird auf den Bevölkerungsbesatz der einzelnen BNT angewendet, wobei mangels kleinräumiger Realdaten die gesamtkommunale bzw. regionale Altersstruktur auf die Einwohnerzahlen der einzelnen BNT angewendet wird. So wird für jede BNT-Fläche die künftige Bevölkerungsentwicklung unter verschiedenen Szenarien vorausberechnet. (siehe Abbildung 78)

Im Infrastrukturmodul wird je nach Datenverfügbarkeit die Infrastrukturausstattung in Kanalmetern entweder anhand BNT-spezifischer, flächenbezogener Literaturkennwerte berechnet oder anhand von Realdaten bestimmt. Darauf aufbauend werden zur Ermittlung der Kostenentwicklung je BNT die berechneten Kanalmetern als Multiplikator für die Kostenkennwerte aus der Literatur verwendet.

Dabei sind die Kostenkennwerte mit der kleinräumigen Bevölkerungsentwicklung verknüpft, um sich ändernde Betriebs- oder Instandhaltungskosten aufgrund einer veränderten Bevölkerungszahl in die Berechnung einfließen zu lassen.

Abbildung 78: Schematische Darstellung der Berechnung des fiktiven Abwassertarifes im Abwasserinfrastrukturkostenmodell



Quelle: eigene Darstellung

Wie Abbildung 78 auch zeigt, ist das Ergebnis der Modellierung der Kennwert der „Jährlichen Abwasserkosten je Einwohner je BNT“, der in € pro Jahr angegeben wird. Der Kennwert wird in dieser Arbeit als „fiktiver Abwassertarif“ bezeichnet, um zu verdeutlichen, dass es sich um keine exakte Berechnung auf Basis von Realdaten handelt. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der BNT wird ein einwohnerbezogener, relativer Kennwert anstelle eines absoluten gewählt. Hinzu kommt, dass in der Abwasserinfrastrukturkostenrechnung entsprechend der Kommunalabgabegesetze der Länder die Gesamtkosten der Abwasserinfrastruktur aufgrund des Kostendeckungsprinzips auf alle Nutzer verteilt werden (vgl. Westphal 2008: 177). Das kann beispielsweise zu der Problematik führen, dass trotz gleichbleibender Gesamtkosten bei rückläufigen Einwohnerzahlen die Tarife steigen. Der relative Kennwert ist in der Lage dieses Phänomen als Ergebnis der Modellierung abzubilden. Er dient als Indikator zur Bestimmung der Robustheit der Abwasserinfrastrukturen gegenüber demografischen Veränderungen. Die absehbaren demografischen Veränderungen werden kein Maß erreichen, das die Funktionsfähigkeit der Abwasserinfrastrukturen als Gesamtsystem ernsthaft

gefährdet und selbst denkbare betriebliche Einschränkungen, durch Unter- oder Überauslastung, können durch technische oder bauliche Maßnahmen behoben werden. Daher ist die einwohnerspezifische Kostenentwicklung zur quantitativen Erfassung der Demografiesensitivität von Abwasserinfrastrukturen im Rahmen dieser Arbeit ein geeigneter Indikator. Zudem handelt es sich bei den einwohnerspezifischen Abwasserkosten um einen Kennwert, der sich mit realen Abwassergebühren sowie der längerfristigen Entwicklung von Abwassertarifen vergleichen lässt und so eine Einschätzung der kleinräumigen demografischen Effekte ermöglicht.

Um verschiedene Entwicklungspfade der Rahmenbedingungen im Modell abbilden zu können, ist vorgesehen, im Modell unterschiedliche Szenarien modellieren zu können. Da diese Szenarien an unterschiedlichen Rechenschritten der Modellierung ansetzen (z. B. Raten der Bevölkerungsentwicklung, Kostenkennwerte, BNT-Flächen), sind sie in Abbildung 78 nicht explizit dargestellt. Sie werden ausführlich in Kapitel 9.3 erläutert.

9.2 Aufbau des Modells und Datengrundlagen

Das Abwasserinfrastrukturkostenmodell ist im Programm MS Excel umgesetzt. In den unterschiedlichen Tabellenblättern der Datei (siehe Anhang F) befinden sich zum Teil die Datengrundlagen und zum Teil mehrere Rechenschritte, die jeweils zu einem Zwischenergebnis führen. Im Tabellenblatt „Konfigurator“ können die zentralen Parameter der Berechnung eingestellt und Szenarien ausgewählt werden. Im Tabellenblatt „Übersicht“ werden zentrale Ergebnisse der Modellierung automatisiert in mehreren Tabellen und Abbildungen dargestellt. Die weiteren Nutzungsmöglichkeiten des Modells werden spezifischer in Kapitel 9.2.5 dargestellt. In der Datei sind im Tabellenblatt „BNT_RegR“ die aus dem GIS exportierten BNT-Informationen der Fallregion enthalten. Im Tabellenblatt „BNT_Region“ wurden die für die weiteren Modellierungsschritte verwendeten Kennwerte je Kommune und je BNT aggregiert bzw. flächengewichtete Mittelwerte (im Falle des Versiegelungsgrades) berechnet. Diese Werte werden verwendet, wenn im „Konfigurator“ ausgewählt wird, dass die Realwerte der Fallregion für die Berechnung zu verwenden sind.

9.2.1 Vereinfachte Bevölkerungsvorausberechnung im Modell

Im Rahmen des Abwasserinfrastrukturkostenmodells wird eine vereinfachte Variante der Kohorten-Komponenten-Methode (siehe Kapitel 1.4.4) angewendet. Grund dafür ist, dass das Modell auf die Berechnung der sehr langfristigen Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung und einer langfristigen Bevölkerungsentwicklung abzielt. Da derart langfristige Bevölkerungsentwicklungen per se mit hohen Unsicherheiten verbunden sind, werden im Modell verschiedene Varianten (Szenarien)

möglicher Bevölkerungsentwicklungen berechnet. Unter dieser Voraussetzung ist es vertretbar, dass der Aufwand der Datenerhebung und der Modellierung geringfügig zu Lasten der Genauigkeit der Ergebnisse reduziert wird. Dies betrifft zwei Aspekte:

1. Die Sterberaten werden nicht anhand spezifischer Sterbewahrscheinlichkeiten der einzelnen Geburtsjahrgänge (Sterbetafeln) berechnet, sondern basieren auf den durchschnittlichen alters- und geschlechtsspezifischen Sterberaten des Basiszeitraums (2014–2016). Dementsprechend bleiben die Sterberaten im Status quo-Szenario stabil und verändern sich nicht aufgrund der nachrückenden Jahrgänge mit einer höheren Lebenserwartung.
2. Für die Fallregion liegen die notwendigen Daten zu den Komponenten der Bevölkerungsentwicklung und der Altersstruktur nicht differenziert nach Altersjahren vor, sondern lediglich für Altersgruppen. Im Falle der natürlichen Bevölkerungsentwicklung sowie für die Altersstruktur der Gemeinden der Fallregion sind jeweils fünf Altersjahre zu einer Gruppe zusammengefasst, im Falle der Migration liegen die Wanderungsdaten differenziert nach insgesamt sechs Altersgruppen vor. Alle Daten werden so umgerechnet, dass die Bevölkerungsentwicklung für 5er-Altersgruppen zwischen „unter 5 Jahre“ und „85 Jahre und mehr“ berechnet werden kann (siehe unten). Dies hat zur Folge, dass die Fortschreibung nicht jährlich, sondern immer in fünf-Jahres-Perioden erfolgt.

Die Reduzierung der Prognosegenauigkeit, die mit den beiden Einschränkungen verbunden sind, sind in Anbetracht des langfristigen Prognosehorizonts bis zum Jahr 2100 vertretbar. So sind die real zu beobachtenden Veränderungen der Sterblichkeit zwar nicht unerheblich, allerdings haben sie weniger starken Einfluss auf die Bevölkerungsentwicklung insgesamt, als die Wanderungsbewegungen, die einer deutlich höheren Fluktuation unterliegen. Zudem kann die steigende Lebenserwartung auch als Szenario rückläufiger Sterblichkeit in die Berechnung eingespielt werden. Demgegenüber steht der erhöhte Aufwand, der mit der Datenerhebung und Einbeziehung von Sterbetafeln in das Modell verbunden wäre. Für jeden Geburtsjahrgang müsste differenziert nach Geschlecht eine spezifische Sterbewahrscheinlichkeit berechnet und in die Zukunft fortgeschrieben werden. In Anbetracht des Anspruchs an die Genauigkeit des Modells wird daher die vereinfachte Variante gewählt.

Ähnlich verhält es sich bezüglich der Datengrundlagen differenziert nach Alter. Weder die Komponenten der Bevölkerungsentwicklung noch die Altersstruktur selbst liegen differenziert nach Altersjahren vor. Frei verfügbar sind lediglich nach verschiedenen Altersgruppen zusammengefasste Daten. Zwar wäre eine Umrechnung der Daten auf einzelne Altersjahre möglich, doch müssten dazu

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

entweder Bevölkerungsdaten auf Kreisebene als Bezugsgrößen herangezogen oder aber Annahmen zur Verteilung der Bevölkerung innerhalb der Altersgruppen getroffen werden. Beide Vorgehensweisen sind durch größere Unsicherheiten geprägt und könnten kaum die spezifische Altersstruktur der unterschiedlichen Kommunen der Fallregion wiedergeben. Daher werden die auf Kommunal-ebene verfügbaren Daten verwendet, die weitgehend auf 5er-Altersgruppen basieren. Die Daten zu den Komponenten der natürlichen Bevölkerungsentwicklung sind lediglich auf Kreisebene verfügbar, sodass diese Werte gewichtet nach den Bevölkerungsanteilen der Kommunen aus den jeweiligen Kreisen an der Fallregion verwendet werden. Im Gegensatz zum Wanderungsverhalten ist im Hinblick auf Geburten- und Sterberaten keine wesentliche Differenz zwischen den Kommunen zu erwarten, sodass die Kennwerte auf Kreisebene als solide Datengrundlage verwendet werden können. Von einem Kauf weiter ausdifferenzierter Bevölkerungsdaten wurde abgesehen, zumal der mögliche Mehrgewinn an Genauigkeit der Datengrundlage durch den langfristigen Prognosezeitraum und weitere verallgemeinernde Annahmen im gesamten Modell die Aussagekraft nur geringfügig verbessern würde.

Die für die Bevölkerungsprognose verwendeten Daten wurden von der Website „Regionaldatenbank Deutschland“ (vgl. z. B. Website Regionaldatenbank 1) heruntergeladen. Dabei handelt es sich um eine gemeinsame Datenbank der statistischen Ämter der Länder und des Bundes. Da die Daten durch die Statistischen Ämter erhoben wurden, können sie als valide angesehen werden. Die überwiegende Zahl der Daten liegt deutschlandweit als Zeitreihen auf Kreisebene und teilweise auch bis hin zur kommunalen Ebene vor.

Die Bevölkerungsprognose wird mit Hilfe der Kohorten-Komponenten-Methode auf Ebene der Kommunen der Fallregion durchgeführt. Da die dafür notwendigen Daten nicht in geeigneter Form vorliegen, müssen an einigen Stellen Anpassungen der Daten vorgenommen werden, die in den folgenden Absätzen kurz skizziert werden.

Für die Gemeinden der Fallregion liegt die Bevölkerungsstruktur differenziert nach Geschlecht und 17 Altersgruppen vor. Zwar setzen sich die Altersgruppen überwiegend aus fünf Altersjahren zusammen, doch sind die unter 20-Jährigen Kinder und Jugendlichen in insgesamt sechs Altersgruppen aufgeteilt und ab einem Alter von 75 Jahren ist das Alter nicht weiter differenziert. Zur Gewährleistung der Passfähigkeit der Daten und einer einheitlichen Modellierung, muss die Differenzierung der Altersstruktur so umgestellt werden, dass über alle Altersjahre hinweg immer fünf Altersjahre zu einer Gruppe zusammengefasst sind. Auch wird die Altersgruppe der über 74-Jährigen weiter ausdifferenziert, da sich insbesondere die Sterberaten im höheren Alter deutlich voneinander

unterscheiden und die älteste der modellierten Altersgruppen nicht zu groß ausfallen sollte. Aus diesen Gründen werden die für die Kommunen verfügbaren Altersgruppen auf Basis der Altersstruktur der Kreise in 5er-Altersgruppen zwischen „unter 5 Jahren“ und „85 Jahre und mehr“ umgerechnet. Wo nötig werden die Komponenten der Bevölkerungsentwicklung so umgerechnet, dass sie passfähig zu den 5er-Altersgruppen sind. Als Grundlage der Ratenbildung für die Komponenten der Bevölkerungsentwicklung werden die Basisjahre 2014–2016 herangezogen. (Rechenschritte siehe Anhang F.1).

Nach Umsetzung der Datenaufbereitung liegen sowohl die Altersstruktur als auch die vier Komponenten der Bevölkerungsentwicklung differenziert nach Geschlecht und 5er-Altersgruppen für alle Kommunen der Fallregion vor. Auf dieser Datengrundlage kann die Kohorten-Komponenten-Methode angewendet werden.

Die Rechenschritte der Bevölkerungsfortschreibung werden zunächst ohne Einbeziehung möglicher Szenarien beschrieben. Ausgangspunkt der Berechnung im Tabellenblatt „Bevölkerungsfortschreibung“ ist die Altersstruktur der ausgewählten Kommune nach Geschlecht und 5er-Altersgruppen zum 31.12.2016 (siehe Zelle A9ff.). Auf diese Ausgangsbevölkerung werden die altersgruppenspezifischen Geburtenquoten nach Alter der Mutter angewendet, um die Zahl der Geburten zu berechnen. Da die Fortschreibung immer in 5-Jahres-Schritten erfolgt, wird die ermittelte Zahl der Geburten mit fünf multipliziert. Auf gleiche Weise werden die anzunehmenden Sterbefälle, Zu- und Abwanderungen je Altersgruppe und Geschlecht berechnet.

Tabelle 21: Exemplarische Darstellung der Bevölkerungsfortschreibung für vier Altersgruppen anhand fiktiver Daten

| Altersgruppe (Jahre) | Stand 2016 (weiblich) | Geburten (weiblich) | Sterbefälle (weiblich) | Zuwanderung (weiblich) | Abwanderung (weiblich) | Stand 2021 (weiblich) |
|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| unter 5 | 200 | 0 | 20 | 60 | 50 | 150 |
| 5 – unter 10 | 250 | 0 | 5 | 75 | 70 | 190 |
| 10 – unter 15 | 300 | 0 | 6 | 40 | 54 | 250 |
| 15 – unter 20 | 200 | 8 | 5 | 50 | 50 | 280 |
| ... | ... | 142 | ... | ... | ... | ... |

Quelle: eigene Darstellung

Die Bevölkerung zum nächsten Betrachtungszeitpunkt 31.12.2021 ergibt sich, indem von der Ausgangsbevölkerung nach Altersgruppe und Geschlecht die spezifischen Sterbefälle sowie die anzunehmenden Fortzüge subtrahiert und die berechneten Zuzüge hinzuaddiert werden. Das Ergebnis dieser Rechnung ist dann der neue Bestand der um eine Altersgruppe gealterten

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Bevölkerungsgruppe im Jahr 2021 (siehe Tabelle 21). Die aufsummierten Geburten aller 5er-Altersgruppen stellen zum Folgezeitpunkt die neue Altersgruppe der „unter 5-Jährigen“ dar. Die Überlebenden der letzten Altersgruppe „85 Jahre und mehr“ werden zum Folgezeitpunkt erneut in diese Altersgruppe übernommen. In dieser Form kann die Bevölkerungsentwicklung in beliebiger Iteration fortgeschrieben werden. Durch das *Aufrücken* der Altersgruppen mit jeder Fortschreibungsperiode wird die Alterung der Gesellschaft im Zeitverlauf abgebildet.

Das Ergebnis dieser Bevölkerungsfortschreibung ist die Bevölkerungsstruktur der Gemeinden der Fallregion, die für einen beliebigen 5-Jahres-Zeitpunkt innerhalb des Prognosezeitraums bis 2101 angegeben werden kann.

Es ist zu beachten, dass das Modell keine intraperiodischen Veränderungen der Altersstruktur abbildet. Das heißt, es wird davon ausgegangen, dass die Altersstruktur des jeweiligen Basisjahres über die fünfjährige Fortschreibungsperiode stagniert und somit die Geburten-, Sterbe- und Wanderungszahlen für jedes Jahr der Periode gleich ausfallen und daher summiert für die gesamte Periode angewendet werden können. In der Realität ergeben sich durch Alterung, Wanderungen und Todesfälle sich ändernde Geburten-, Todes- und Wanderungszahlen. Klassische Kohorten-Komponenten-Modelle mit jährlichem Fortschreibungsrhythmus tragen zum Teil sogar der unterjährigen Veränderung der Altersstruktur durch Anpassung der Raten Rechnung. In seiner vereinfachten Anwendung der Methode für fünfjährige Fortschreibungsperioden wird auf derartige Ausdifferenzierungen im vorliegenden Modell verzichtet.

Im Kern ist die Zielsetzung des Modells die Abbildung der kleinräumigen Entwicklung der Abwasserinfrastrukturkosten je BNT. Dementsprechend muss auch die Bevölkerungsentwicklung auf Ebene der BNT berechnet werden. Für die BNT liegen allerdings lediglich Literaturkennwerte zu idealtypischen Einwohnerdichten und die erhobenen Einwohnerzahlen der BNT-Flächen der Fallregion vor (siehe Kapitel 7.4). Diese Bevölkerungsdaten sind weder geschlechts- oder altersdifferenziert, noch liegen kleinräumige Daten zu den Komponenten der Bevölkerungsentwicklung vor. Aus diesem Grund kann die Kohorten-Komponenten-Methode nicht auf Ebene der BNT angewendet werden. Daher wird die berechnete, altersgruppenspezifische, relative Bevölkerungsentwicklung der kommunalen Ebene auf die Einwohnerzahlen der BNT-Flächen, die auf Basis der IÖR-Daten berechnet wurden, angewendet. Real vorliegende Unterschiede der Altersstruktur oder der Geburten- und Wanderungsquoten in unterschiedlichen Baustrukturtypen können aufgrund der fehlenden Datengrundlage im Modell nicht abgebildet werden. Selbst verallgemeinerte Literaturkennwerte könnten die realen, kleinräumigen Unterschiede der Altersstruktur nur unzureichend wiedergeben, da die

Altersstruktur stark von lokalen Faktoren, wie dem Wanderungsgeschehen oder dem Alter bzw. der Entwicklungszyklusphase des jeweiligen Quartiers, abhängig ist. Daher ist die Anwendung der kommunalen Altersstruktur auf die BNT mit genauso großen Ungenauigkeiten verbunden wie die Anwendung idealtypischer Literaturkennwerte, die in anderen Beispielregionen erhoben wurden. Die Berechnung der Altersstruktur je BNT-Fläche und die Anpassungsmöglichkeiten durch den Nutzer sind in Anhang F.2 beschrieben.

Die für die einzelnen BNT-Flächen auf Basis der Daten des IÖR-Monitors berechneten Einwohnerzahlen haben den Stand zum Zensus 2011. Um die Daten für die Bevölkerungsfortschreibung aufzubereiten, wird jeweils die relative Bevölkerungsentwicklung jeder Kommune der Fallregion zwischen dem Zensus 2011 (Stichtag: 09.05.2011) und den Werten der Bevölkerungsfortschreibung zum 31.12.2016 berechnet. Anhand dieser kommunalspezifischen, relativen Bevölkerungsveränderung werden die Bevölkerungszahlen aller BNT-Flächen in der Fallregion bis zum 31.12.2016 fortgeschrieben. Ziel ist es, zu einem möglichst genauen Basiswert der kleinräumigen Bevölkerungsverteilung in der Fallregion zu gelangen, auch wenn kleinräumige Abweichungen von der kommunalen Bevölkerungsentwicklung nicht einberechnet werden können. Beim Versiegelungsgrad und der Straßennetzlänge wird davon ausgegangen, dass die seit Ende 2015 stattgefundenen Veränderungen im Durchschnitt aller Rasterflächen so gering sind, dass der Aufwand der Erfassung der kleinräumigen Entwicklungen in keinem angemessenen Verhältnis zu dem zu erwartenden Nutzen steht. Es werden daher die vorhandenen Werte unverändert verwendet. (siehe Tabellenblatt „BNT_Region“)

Um den Umfang der Modellierung zu begrenzen, erfolgt die Vorausberechnung der BNT-spezifischen Bevölkerungsentwicklung auf Basis der aggregierten Einwohnerzahlen aller Einzelflächen eines jeden BNT je Kommune (siehe Tabellenblatt „Bevölkerungsfortschreibung“, Zellen C34ff.). Für jede Kommune wird demzufolge die Bevölkerungsentwicklung für die 14 Einwohnergruppen der 14 BNT modelliert, wobei für den BNT „Streusiedlungen“ keine Werte vorliegen (siehe Kapitel 7.3).

9.2.2 Entwicklung gewerblicher Abwassermengen

Neben den Abwässern der Privathaushalte entsteht Abwasser auch in gewerblichen Betrieben. Einerseits durch die Abwässer der Mitarbeiter, die in den Betrieben tätig sind und andererseits im Rahmen industrieller Produktionsprozesse. Gewerbegebiete können je nach Größe und Art der Betriebe also maßgeblich das Abwasseraufkommen in einer Kommune beeinflussen. Auch unterscheiden sich betriebliche Abwasser je nach Branche in ihrer biologischen und chemischen Schadstoffkonzentration, wodurch der Aufwand zur Klärung des Abwassers erhöht wird. Im Gegensatz dazu kann für Wohngebiete relativ zur Einwohnerzahl ein vergleichbares Abwasseraufkommen und eine

ähnliche Schadstoffkonzentration angenommen werden. Geht man davon aus, dass das verbrauchte Trinkwasser weitgehend wieder als Abwasser in die Kanalisationen gelangt, liegt das tägliche, häusliche Abwasseraufkommen in Baden-Württemberg mit 116 l je Einwohner leicht unter dem bundesdeutschen Durchschnitt von 121 l pro Person und Tag (vgl. Umweltbundesamt 2017: 59f.). Für die Bemessung von Kläranlagen müssen neben den häuslichen Abwässern auch gewerbliche Abwässer, Regenwasser (sofern nicht dezentral versickert) und Fremdwassereinträge (z. B. durch undichte Kanalleitungen) einberechnet werden.

Tabelle 22: Angenommene Wassermenge und Schadstoffbelastung je Einwohnergleichwert

| Kennwert | Tägliche Menge je Einwohner |
|--|------------------------------------|
| Wasserverbrauch | 180 l |
| Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB₅) | 60 g |
| Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) | 120 g |
| Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) | 45 g |
| Schwebstoffe | 70 g |
| Kjeldahl-Stickstoff | 11 g |
| Phosphor | 1,8 g |

Quelle: eigene Darstellung nach Gujer 2007: 71

Aufgrund normierter Grenzwerte in Produkten, die im Alltag in Privathaushalten verwendet werden, enthält das häusliche Abwasser nur eine begrenzte, vergleichbare Schadstoffkonzentration. Betriebliche Abwässer können sich dagegen in Abhängigkeit von den Produktionsprozessen deutlich in ihrer Schadstoffkonzentration voneinander unterscheiden. Auch wenn Betriebe mit stark schadstoffbelastetem Abwasser bereits innerbetrieblich vorreinigen müssen, liegen Unterschiede in der Schadstoffkonzentration vor. Um das Abwasseraufkommen und die Abwasserkosten von Gewerbe- und Wohngebieten miteinander vergleichen sowie anhand idealtypischer Kennwerte die Kostenentwicklung modellieren zu können, wird der Kennwert des *Einwohnergleichwertes* (EGW) verwendet. Dieser Indikator soll theoretisch der durchschnittlichen, täglichen Abwasser- und Schadstoffmenge eines Bundesbürgers entsprechen (siehe Tabelle 22), weicht aber zumindest im Hinblick auf den Wasserverbrauch deutlich von den Realwerten des Landes Baden-Württemberg ab.

In der Planung werden EGW verwendet, um die anzunehmenden Abwassermengen und Schmutzfrachten eines Gewerbegebiets abzuschätzen und auf dieser Basis die zugehörige Kläranlage zu bemessen. Auch können Industriebetriebe die von ihnen eingeleiteten Abwässer anhand des EGW zur Bemessung der Gebühren veranlassen. (vgl. Gujer 2007: 71, 93) Allerdings hat jede Kommune auch

die Möglichkeit eigene Kennwerte der anzunehmenden Abwassermenge und Schadstoffbelastung in ihrer kommunalen Abwasserentgeltsatzung festzulegen.

Im Abwasserinfrastrukturkostenmodell werden die EGW synonym zur Einwohnerentwicklung in den Wohngebiets-BNT verwendet, um die relative Kostenentwicklung in den Gewerbegebiets-BNT modellieren zu können. Sie dienen einerseits als Divisor zur Berechnung des Tarifs und andererseits als Indikator für Betriebskostensteigerungen aufgrund rückläufiger oder stark steigender Abwassermengen. Die konkret in einem Gewerbegebiet anfallenden Abwassermengen und Schadstoffbelastungen sind sehr stark von den Betrieben bzw. den Branchen abhängig, denen die Betriebe zuzuordnen sind. So verursachen beispielsweise Betriebe aus der chemischen Industrie oder der Papier- und Holzverarbeitung nicht nur generell höhere Abwassermengen als Betriebe aus dem Energiesektor oder der Lebensmittelindustrie, sondern es unterscheiden sich auch die Schadstoffbelastungen deutlich voneinander. (vgl. Umweltbundesamt 2017: 75ff)

Dementsprechend ist die Abschätzung der EGW für ein Gewerbegebiet ohne Informationen über den konkreten Branchenmix mit großen Unsicherheiten behaftet. Und selbst wenn der Branchenmix für den Status quo bekannt wäre, können sich die anfallenden EGW im Modellierungszeitraum durch konjunkturelle Zyklen, Betriebsverlagerungen und -gründungen deutlich verändern. Da der Entwicklung der Gewerbe-BNT kein Modell zur Fortschreibung der wirtschaftlichen Entwicklung zugrunde liegt, können Veränderungen der EGW in den Gewerbe-BNT ausschließlich über Szenarien einfließen. Im Tabellenblatt „Gewerbe“ sind Kennwerte zu den idealtypischen EGW je ha BNT-Fläche hinterlegt (siehe Tabelle 23), die auf Basis des Arbeitsblattes 118 der DWA (vgl. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: 11) und den Abgleich mit einer Literaturquelle geschätzt wurden. Auch die vordefinierten Szenarien sind dort hinterlegt und können nach Bedarf ergänzt und angepasst werden. Wie auch bei den Wohn-BNT wirken die Szenarien in Form von Faktoren, die auf die EGW angewendet werden.

Tabelle 23: Angenommene tägliche EGW je ha in den Gewerbe-BNT

| BNT | angenommene EGW je ha |
|------------------------------------|------------------------------|
| Mischgebiet | 240 |
| Industriegebiet | 720 |
| Logistikpark | 240 |
| klassisches Gewerbegebiet | 480 |
| kleinteiliges Gewerbegebiet | 480 |
| Technologiepark | 240 |

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: ebd.; Bischof und Hosang 1998: 4)

9.2.3 Infrastrukturausstattung der Fallregion

Zur Ausstattung der BNT-Flächen der Fallregion mit Abwasserinfrastrukturen liegen keine Realdaten vor. Daher müssen für die Modellierung Schätzwerte angenommen werden. Im Hinblick auf die innere Erschließung der BNT wurden in einigen Fallstudien idealtypische Kennwerte zu den Leitungsmetern je Hektar erhoben (vgl. Siedentop et al. 2006: 108; Buchert et al. 2004: Anhang I, S.19ff.). Derartige Kennwerte können im Falle mangelnder Realdaten durchaus als Schätzwerte der Infrastrukturausstattung angenommen werden und werden im Modell als solche hinterlegt (siehe Tabellenblatt „BNT-Kennwerte“). In der Fallregion Reutlingen verspricht eine alternative Abschätzung der vorhandenen Kanalmeter eine genauere Abbildung der Realität: im IÖR-Monitor ist der Indikator „Straßenmeter je ha“ als Datensatz auf 100 m-Rasterebene zum Stand 2015 verfügbar (siehe Website IÖR-Monitor). Dieser Indikator wird auf die festgelegten BNT-Flächen umgerechnet, sodass für jede BNT-Fläche die geschätzten Straßenmeter vorliegen (siehe Kapitel 7.4). In Tabelle 13 auf Seite 291 sind die für die BNT der Fallregion ermittelten, flächengewichteten Durchschnittswerte der *Straßenmeter je ha* dargestellt.

Der Annahme folgend, dass kommunale Kanalleitungen üblicherweise im öffentlichen Raum und nicht auf Privatgrundstücken verlegt werden, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Leitungen der Abwasserinfrastrukturen überwiegend unter den öffentlichen Straßen befinden. BUCHERT ET AL. haben diese These untersucht und bestätigt (vgl. Buchert et al. 2004: 43ff.). Zudem haben sie den Zusammenhang zwischen Straßen- und Leitungslängen empirisch untersucht und Korrekturfaktoren zur Abschätzung der Leitungslängen anhand der Straßenmeter ermittelt. Für Schmutzwasserleitungen kommen sie auf einen Korrekturfaktor von 1,1. Bei diesem Korrekturfaktor ist zu beachten, dass er sich ausschließlich auf die Abwasserleitungen bezieht. SIEDENTOP ET AL. haben als Umrechnungsfaktoren im Mittel den Faktor 1,0 für Schmutzwasserleitungen ermittelt, führen den geringeren Wert aber auf die Spezifika der kleinstädtischen und dörflichen Fallregion zurück (vgl. Siedentop et al. 2006: 110). Die Fallregion Reutlingen bietet einen siedlungsstrukturellen Mix aus dörflichen, klein- und mittelstädtischen Strukturen. Daher wird als Mittelwert der beiden Literaturquellen der Umrechnungsfaktor 1,05 verwendet. Da neben den Schmutzwasserleitungen auch die Regenwasserleitungen in der Modellierung berücksichtigt werden sollen, wird in Summe ein Umrechnungsfaktor von 2,1 zur Bestimmung der Leitungsmeter anhand der Straßenmeter angewendet. Dieser Wert überschätzt zwar die Leitungsmeter in Siedlungsbereichen, die im Mischsystem (gemeinsame Ableitung von Schmutz- und Regenwasser in einer Leitung) erschlossen sind. Es liegen jedoch keine Informationen über die konkrete Erschließung der BNT-Flächen vor und es muss davon ausgegangen werden, dass seit rund 20 Jahren Netzerweiterungen oder -erneuerungen

nahezu ausschließlich im Trennsystem durchgeführt werden. Auch sind für das Mischsystem größere Leitungsdurchmesser und damit ein höherer Kostenaufwand je Leitungsmeter anzunehmen, sodass der verwendete Korrekturfaktor für die Modellierung geeignet erscheint. Da die so ermittelten Werte aus der spezifischen Siedlungsstruktur der BNT-Flächen abgeleitet sind, ist davon auszugehen, dass sie näher an den tatsächlichen Leitungsnetzlängen liegen, als dies bei Verwendung verallgemeinerter Literaturkennwerte der Fall wäre.

Die Abwasserinfrastruktur besteht nicht nur aus Kanalleitungen der inneren Erschließung eines Quartiers, sondern auch aus größeren Leitungen, die das Abwasser gesammelt zu den Kläranlagen abführen (sogenannte Hauptsammler) sowie aus Punktinfrastrukturen, wie Kläranlagen, Pumpwerken oder Sammelbecken. Die Lage dieser Punktinfrastrukturen ergibt sich aus lokalen Standortfaktoren, wie der Nähe zu größeren Oberflächengewässern oder dem Höhenprofil einer Kommune, da der überwiegende Teil der Kanalleitungen als sogenannte Freispiegelleitungen das natürliche Gefälle zur Bewegung des Abwassers nutzt. Demensprechend sind die zentralen Infrastrukturen weitgehend unabhängig von der konkreten Siedlungsstruktur und damit auch von den BNT. Im Modell erfolgt daher keine mengenmäßige Abschätzung der Anzahl der Kläranlagen, Pumpwerke oder Leitungsmeter der Hauptsammler in einer Kommune. Angelehnt an die Infrastrukturkostenmodellierung bei SIEDENTOP ET AL. und WESTPHAL werden der Aufwand für die zentrale Ableitung und Reinigung des Abwassers in den allgemeinen Betriebs- und Verwaltungskosten, die abschlägig je Leitungsmeter berechnet werden, berücksichtigt (vgl. Westphal 2008: 57; Siedentop et al. 2006: 145ff.).

Für die Modellierung der Infrastrukturausstattung in der Fallregion ist nicht nur der Bestand an BNT-Flächen relevant, sondern auch die künftige Siedlungsflächenentwicklung. Ein deutlicher Bevölkerungszuwachs kann nicht ohne ein entsprechend steigendes Wohnraumangebot realisiert werden. Auch sind zusätzliche Arbeitsplätze für die zuziehende Bevölkerung anzunehmen, woraus sich ein größerer Gewerbeflächenbedarf ergibt. Beides geht mit zusätzlichen SuV einher, die abwassertechnisch zu erschließen sind und dementsprechend die Infrastrukturausstattung in der Fallregion erhöhen, was im Modell berücksichtigt werden sollte. Da allerdings in Anbetracht des Aufwands weder eine differenzierte Haushalts- noch eine Wohnraummodellierung vorgesehen ist, wird eine vereinfachte Abschätzung der Siedlungsflächenentwicklung angewendet. Basierend auf der realen Siedlungsflächenentwicklung in den drei Landkreisen der Fallregion zwischen 2007 und 2016 wird im Tabellenblatt „Flächenentwicklung“ der durchschnittliche Faktorwert berechnet, der das Verhältnis der relativen Entwicklung der Wohn- bzw. Gewerbeflächen in der Fallregion zur relativen Entwicklung der Bevölkerung in diesem Zeitraum wiedergibt. Es ergeben sich für die Wohn-BNT ein

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Faktorwert von 1,0063 und für die Gewerbe-BNT von 1,0108. Diese Faktoren können im Modell auf die relative Bevölkerungsentwicklung angewendet werden, um die BNT-Flächenentwicklung zu simulieren. Der so berechnete Flächenzuwachs wird um die Hälfte reduziert, da davon ausgegangen wird, dass die politischen Zielsetzungen zur Reduzierung des Siedlungsflächenzuwachses weiter konsequent verfolgt werden und dementsprechend der Siedlungsflächenzuwachs künftig weniger stark ausfällt, als in der Vergangenheit (siehe Tabelle 24). Derzeit liegt der tägliche Siedlungsflächenzuwachs in der Bundesrepublik mit rund 60 ha doppelt so hoch, wie die normative Zielsetzung des *30-ha-Ziels* vorgibt (vgl. Die Bundesregierung 2016: 38), woraus sich der Faktor 0,5 ergibt, der auf den berechneten Flächenzuwachs angewendet wird. Im Tabellenblatt „Konfigurator“ kann diese bevölkerungsbezogene Flächenentwicklung ein- oder ausgeschaltet werden. Im Status quo-Szenario wird die bevölkerungsbezogene Flächenentwicklung einberechnet.

Tabelle 24: Exemplarische Berechnung der einwohnerbezogenen Flächenentwicklung in einem fiktiven Wohn-BNT

| | 2016 | 2036 |
|--|--|---------------------|
| Bevölkerung | 10.000 | 11.000 (Faktor 1,1) |
| Fläche | 100 ha | 105,35 ha |
| Exemplarische Berechnung der Flächenentwicklung | <ul style="list-style-type: none">• $1,1$ (Faktor Bevölkerung) * $1,0063$ (Faktor Wohn-BNT) = $1,10693$• 100 ha * $1,10693$ = $110,693$ ha (Flächenzuwachs = $10,693$ ha)• $10,693$ ha * $0,5$ (Faktor 30-ha-Ziel) = $5,3465$ ha• 100 ha + $5,35$ ha = $105,35$ ha | |

Quelle: eigene Darstellung

9.2.4 Infrastrukturkostenkalkulation im Modell

Ebenso wie bei der Infrastrukturausstattung liegen keine Daten zu den real in der Fallregion anfallenden Infrastrukturkosten vor. Es bietet sich daher die Verwendung von idealtypischen Literaturkennwerten zur Abschätzung der anfallenden Kosten der Abwasserentsorgung an. Etwaige Ungenauigkeiten und Unterschiede zwischen den real anfallenden Kosten und den Schätzwerten sind in Anbetracht der zahlreichen Annahmen und Literaturkennwerte im Bevölkerungs- und Infrastrukturmodell sowie unter Berücksichtigung der Zielsetzung des Modells vertretbar.

Vergleichbare Studien, die die kleinräumige Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung in einer Fallregion modelliert haben, haben dafür ebenfalls idealtypische Literaturkennwerte verwendet (vgl. Westphal 2008; Siedentop et al. 2006). Da die aufgeführten Studien zudem, den auch in dieser Arbeit verwendeten BNT-Ansatz angewendet haben, werden die dort verwendeten Kostenkennwerte gleichermaßen für das vorliegende Modell verwendet. Der Großteil der Kosten der Abwasserinfrastruktur entfällt auf die Investitionskosten für die baulichen und technischen Anlagen

(Kanalleitungen, Bauwerke und Anlagen), die meist über viele Jahre im Haushalt des jeweiligen Betreibers abgeschrieben werden (siehe Kapitel 2.5). Bei Kanalleitungen kann eine durchschnittliche Nutzungs- und Abschreibungsdauer von 80 Jahren und bei technischen Anlagen (z. B. Kläranlagen) eine Abschreibungsdauer von 15 Jahren angenommen werden (vgl. Siedentop et al. 2006: 145; Sander 2003: 183f.). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Kanalleitungen mit einem größeren Durchmesser höhere Investitionskosten durch den höheren Materialaufwand und die aufwändigere Verlegung verursachen. Auch Kläranlagen und Pumpwerke, die auf eine höhere Einwohnerzahl ausgerichtet sind, erzeugen höhere Investitionskosten (vgl. Siedentop et al. 2006: 145; Sander 2003: 90ff.). Dementsprechend sind aufgrund des höheren Erschließungsaufwands in höher verdichteten Quartieren, in denen eine größere Abwassermenge je Flächeneinheit anfällt, höhere Kapitalkosten je Leitungsmeter anzunehmen. SIEDENTOP ET AL. und WESTPHAL gehen in ihren Modellierungen auf diese Tatsache in Form von drei Siedlungsdichtetypen ein, anhand denen die Kapitalkosten der Abwasserinfrastruktur bestimmt werden (vgl. Westphal 2008: 57; Siedentop et al. 2006: 50). Je nach Zahl der Einwohner/km² SuV einer Gemeinde, sind die in Tabelle 25 aufgeführten Kennwerte anzuwenden. Da 80–90 % der Kapitalkosten auf die Finanzierung der Kanalleitungen entfallen und somit ein hoher Einfluss der Siedlungsstruktur auf die Investitionskosten anzunehmen ist, sind in dieser Arbeit jeweils die durchschnittlichen Siedlungsdichten der BNT der Fallregion ausschlaggebend für die Anwendung der entsprechenden Kostenkennwerte aus Tabelle 25. Als Siedlungsdichtetypen werden die drei bei WESTPHAL sowie SIEDENTOP ET AL. verwendeten Typisierungen herangezogen, doch werden die in der Literatur angegebenen Kennwerte (vgl. ebd.) durch 100 dividiert, da die Kennwerte fälschlicherweise mit der Einheit Einwohner/ha SuV anstelle Einwohner/km² SuV angegeben wurden. Rechnet man die in den beiden Quellen angegebenen Kennwerte auf den Quadratkilometer hoch, so erscheint ein unterer Grenzwert von 100.000 Einwohnern/km² SuV für „moderat verdichtete“ Siedlungen unrealistisch (vgl. ebd.). Wenn man berücksichtigt, dass die durchschnittliche Siedlungsdichte in Deutschland bei rund 1.900 Einwohnern/km² SuV liegt (vgl. Website IÖR-Monitor), ist die Annahme, dass die Einheiten vertauscht wurden sehr wahrscheinlich. So ergeben sich zur Abgrenzung der drei Siedlungsdichtetypen folgende Kennwerte:

- gering verdichtet: < 10 Einwohner/ha SuV
- moderat verdichtet: 10–20 Einwohner/ha SuV
- verdichtet: > 20 Einwohner/ha SuV

Bei SIEDENTOP ET AL. und WESTPHAL werden die Kostenkennwerte der Abwasserinfrastruktur bezogen auf den Kanalleitungsmeter angegeben (vgl. Westphal 2008: 196; Siedentop et al. 2006: 145). Dabei

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

wird zwischen Abwasser- und Regenwasserleitungen differenziert. Da in dem für diese Arbeit verwendeten Abwasserinfrastrukturmodell keine nach Regen- und Abwasserleitungen differenzierte Modellierung vorgesehen ist, wird jeweils der Durchschnitt der in der Literatur für Regen- und Abwasserleitungen angegebenen Kostenkennwerte angewendet. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass die in der Literatur aufgeführten Kapitalkostenkennwerte im Jahr 2006 veröffentlicht wurden, zwischenzeitlich aber inflationsbedingte Kostensteigerungen anzunehmen sind. Der vom Statistischen Bundesamt herausgegebene Verbraucherpreisindex quantifiziert die jährliche Inflationsrate (vgl. Website Destatis 10). Auf Basis des Verbraucherpreisindex kann so berechnet werden, dass die von SIEDENTOP ET AL. angegebenen Kostenkennwerte mit dem Faktor 1,147 multipliziert werden müssen, um die durchschnittlichen Preisentwicklungen zwischen 2006 und 2016 (Ausgangsjahr des Kostenmodells) in den Kostenkennwerten zu berücksichtigen.

Tabelle 25: Kapitalkosten je Leitungsmeter und Jahr

| | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
|---|------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Schmutzwasser (Literatur) | 10,70 €/m | 12,80 €/m | 14,90 €/m |
| Regenwasser (Literatur) | 12,80 €/m | 15,40 €/m | 18,00 €/m |
| Durchschnitt Literaturwerte | 11,75 €/m | 14,10 €/m | 16,45 €/m |
| Inflationsbereinigte Kapitalkosten | 13,48 €/m | 16,18 €/m | 18,87 €/m |

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Siedentop et al. 2006: 145

Die Kosten der Abwasserinfrastruktur sind zu einem überwiegenden Teil auf die Investitionskosten der Leitungen und baulichen sowie technischen Anlagen zurückzuführen. Da diese hohen Investitionskosten über viele Jahre abgeschrieben werden, belasten sie einschließlich der Zinskosten als jährliche Fixkosten die Haushalte der Netz- und Anlagenbetreiber. In der Modellierung stellen die Kapitalkosten aufgrund ihres hohen Anteils an den Gesamtkosten die Basis der Kostenmodellierung dar. Auf Basis der Literaturkennwerte und der vorgenommenen Anpassungen ergeben sich für die Modellierung die in Tabelle 25 dargestellten jährlichen Kapitalkosten je Leitungsmeter.

Als zweiter Kostenfaktor fallen bei dem Betrieb von Leitungen und Anlagen sowie im Zuge der Abwasserreinigung Betriebskosten an, beispielsweise durch den Stromverbrauch in Pump- und Kläranlagen, den Materialaufwand in Kläranlagen oder durch Reinigungsarbeiten. Grundsätzlich sind diese Kosten abhängig vom betrieblichen Aufwand. Allerdings korreliert dieser betriebliche Aufwand nicht direkt proportional mit der anfallenden Abwassermenge, sodass davon ausgegangen werden könnte, dass die Betriebskosten in gleichem Maße steigen wie die Abwassermenge und bei rückläufigen Abwassermengen auch proportional sinken. Es ist vielmehr so, dass bei Unterauslastung der Leitungen der Betriebsaufwand durch zusätzlich notwendige Kanaldurchspülungen steigt [342]

und auch Kläranlagen gewisse Mindestmengen benötigen, damit die biologischen Reinigungsstufen wie vorgesehen funktionieren. Bei steigenden Abwassermengen können dagegen durch Skaleneffekte oft Betriebskosteneinsparungen erzielt werden. Die tatsächlich anfallenden Betriebskosten sind dementsprechend stark von den lokalen Gegebenheiten (z. B. Höhenprofil des Kanalnetzes und Leitungsdurchmesser) und der konkreten Ausgestaltung der Abwasseranlagen abhängig. Wie auch in der zugrundeliegenden Studie von SIEDENTOP ET AL. werden die Betriebskosten daher überschlägig als Prozentsatz der Kapitalkosten berechnet (siehe Tabelle 26) und dann zu den jährlichen Kapitalkosten hinzugerechnet.

Tabelle 26: Betriebskosten je Leitungsmeter und Jahr

| | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Prozentsatz der Kapitalkosten | 25 % | 25 % | 25 % |
| Jährliche Betriebskosten | 3,37 €/m | 4,05 €/m | 4,72 €/m |

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Siedentop et al. 2006: 146

Um der Tatsache zu entsprechen, dass die Betriebskosten bei Unterauslastungen des Kanalnetzes steigen, sind im Modell Schwellenwerte des Bevölkerungsrückgangs hinterlegt, ab denen die in Tabelle 27 aufgeführten Faktoren auf die Betriebskosten angewendet werden, um den zusätzlichen Betriebsaufwand in den Kosten abzubilden. Diese Schwellenwerte und Kostenfaktoren sind flexibel einstellbar. In der Grundeinstellung des Modells sind die bei SIEDENTOP ET AL. verwendeten Kennwerte hinterlegt (vgl. Siedentop et al. 2006: 147). Die Schwellenwerte beziehen sich auf die Entwicklung der Einwohnerzahl bzw. der EGW in Gewerbegebieten, wobei der aus der Literatur entnommene idealtypische Wert zur Siedlungsdichte je BNT-Fläche als Idealwert für den Normalbetrieb des Abwassersystems herangezogen wird.

Tabelle 27: Betriebskostensteigerungen bei Einwohnerrückgang

| Schwellenwert der Einwohnerentwicklung gegenüber idealtypischer Einwohnerzahl | Faktor auf Betriebskosten |
|--|--------------------------------------|
| 75 % | 1,15 |
| 50 % | 1,35 |

Quelle eigene Berechnung auf Basis von Siedentop et al. 2006: 147

Neben den Kosten für den Betrieb der Kanäle und Anlagen fallen auch regelmäßige Kosten für Wartungen und Instandhaltungsarbeiten an. Bei Kanalleitung müssen beispielsweise aufgetretene Einrisse oder Baumeinwüchse beseitigt werden. Bei technischen Anlagen können einzelne Bestandteile ausfallen oder turnusmäßige Wartungen anfallen. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

werden pauschal mit 7,5 % der Kapitalkosten berechnet (vgl. ebd.: 148) und stellen sich, wie in Tabelle 28 angegeben, dar.

Tabelle 28: Wartungs- und Instandhaltungskosten je Leitungsmeter und Jahr

| | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
|--|------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Prozentsatz der Kapitalkosten | 7,5 % | 7,5 % | 7,5 % |
| Jährliche Instandhaltungskosten | 1,01 €/m | 1,21 €/m | 1,42 €/m |

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Siedentop et al. 2006: 148

Als vierte Kostenart sind bei der Kostenmodellierung die Personal- und Verwaltungskosten zu berücksichtigen, die im Rahmen des Betriebs und der Verwaltung von Abwasserinfrastrukturen anfallen. Dies deckt überwiegend die Personalkosten, aber auch Beiträge an die Abwasserverbänden und ggf. Mieten für Verwaltungsgebäude und entsprechende Materialien ab. In Tabelle 29 sind die entsprechenden Kostensätze dargestellt, die ebenfalls als pauschaler Aufschlag auf die jährlichen Kapitalkosten berechnet werden.

Tabelle 29: Personal- und Verwaltungskosten je Leitungsmeter und Jahr

| | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Prozentsatz der Kapitalkosten | 9,0 % | 9,0 % | 9,0 % |
| Jährliche Verwaltungskosten | 1,21 €/m | 1,46 €/m | 1,70 €/m |

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Siedentop et al. 2006: 147

Durch Addition der einzelnen Kostenkennwerte ergeben sich die Gesamtkosten der Abwasserinfrastruktur je Leitungsmeter im Normalbetrieb. Durch Multiplikation mit den ermittelten Leitungsmetern je BNT lassen sich so die anzunehmenden, jährlichen Abwasserinfrastrukturkosten für jeden BNT berechnen. Durch Betriebskostenaufschläge aufgrund der Einwohnerentwicklung (s. o.) oder Anwendung von Szenarien auf die Kostenkennwerte (siehe Kapitel 9.3) können sich die jährlichen Gesamtkosten der BNT im Modellierungszeitraum verändern. In der Grundkonfiguration wird jedoch davon ausgegangen, dass die Kosten stabil bleiben. Da keine Informationen zum Kanalalter und den konkreten Abschreibungszeiträumen vorliegen, wird im Modell davon ausgegangen, dass die Kanäle und Anlagen erneuert werden, sobald die Abschreibungen auslaufen und sich die Kapitalkosten daher nicht reduzieren.

9.2.5 Konfigurationsmöglichkeiten und Funktionsweise des Modells

Dem Nutzer stehen im Tabellenblatt „Konfigurator“ diverse Einstellungsmöglichkeiten zur Verfügung. Es können eine Beispielkommune und unterschiedliche Szenarien ausgewählt oder eigene Annahmen zur Altersstruktur und BNT-Flächenverteilung eingegeben werden. Im Tabellenblatt

„Übersicht“ werden die wesentlichen Ergebnisse des Modells zentral dargestellt. Die Einstellungsmöglichkeiten sowie die Wirkweisen der Einstellungen sind ausführlich in Anhang F.3 erläutert.

Die Funktionsweise des Modells basiert auf dem schematisch in Abbildung 78 (siehe S. 329) dargestellten Konzept. Zentrale Rechenschritte sind:

- Die kommunale Bevölkerungsmodellierung wird auf die aufsummierten BNT-Flächen je Typ und Kommune disaggregiert, um die kleinräumige Bevölkerungsentwicklung abbilden zu können, die sich auf die Betriebskostenentwicklung auswirken kann. Die in der Fortschreibung ermittelte Bevölkerungszahl stellt den Divisor zur Berechnung des fiktiven Tarifs dar (siehe Kapitel 9.2.1). Analog dazu wird auch das gewerbliche Abwasseraufkommen, in Form von EGW, vereinfacht modelliert (siehe Kapitel 9.2.2).
- Die Infrastrukturausstattung der BNT wird durch Multiplikation der BNT-Flächen mit den Literaturkennwerten ermittelt (siehe Kapitel 9.2.3).
- Die anzunehmenden Gesamtkosten der Abwasserinfrastruktur in den BNT ergibt sich aus der Multiplikation der errechneten Infrastrukturausstattung in Form von Leitungsmetern mit den in Kapitel 9.2.4 dargestellten Kostenkennwerten. Dabei können sich die Bevölkerungsentwicklung sowie Szenarioannahmen auf die Kostenkennwerte auswirken.
- Der Quotient aus den jährlichen Gesamtkosten je BNT und der berechneten Einwohnerzahl je BNT ergibt den fiktiven Abwassertarif.

Die BNT-spezifischen fiktiven Abwassertarife stellen das zentrale Endergebnis des Modells dar. Die Entwicklung dieser fiktiven Abwassertarife kann als Indikator für die Vulnerabilität der Abwasserinfrastrukturen der BNT gegenüber demografischen Veränderungen für weitere Analysen verwendet werden.

Die konkreten Rechenschritte sowie die Verknüpfungen zwischen den einzelnen Tabellenblättern des Modells sind in Anhang F.4 ausführlicher erläutert.

9.3 Szenarien im Modell

Wesentlicher Bestandteil des Modells sind die Szenarien, die sich differenziert einstellen und flexibel definieren lassen. Grundsätzlich wirken alle Szenarien als Faktoren auf den jeweiligen Kennwert, also beispielsweise die Geburtenrate oder die Betriebskosten je Leitungsmeter. Mittels dieser Szenarien können im Zeitverlauf verschiedenartige demografische Entwicklungen, Kostenveränderungen, Schwankungen der gewerblichen Abwassermenge und auch die BNT-Flächenentwicklung abgebildet werden. Die Szenarien ermöglichen die Berechnung der Kostenfolgen unterschiedlicher

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Herausforderungen für die Abwasserinfrastruktur. In der Grundeinstellung des Modells sind alle Einstellungsmöglichkeiten für die Szenarien auf „Status quo“ gesetzt. Das bedeutet, dass jeweils der Faktor 1 angewendet und die Kennwerte unverändert in die Zukunft fortgeschrieben werden. Die Entwicklung der BNT-Flächen wird auf Grundlage der Bevölkerungsentwicklung fortgeschrieben.

Im Folgenden werden die Konfigurationsmöglichkeiten für Szenarien beschrieben und erläutert, an welcher Stelle die Szenarien jeweils verändert werden bzw. neue Szenarien hinzugefügt werden können. Einzelne Einstellungsoptionen werden als „Teilszenarien“ bezeichnet, da hieraus die Szenarien zusammengesetzt werden können. Im Modell sind für jedes Teilszenario bereits mehrere Beispielszenarien hinterlegt, die in Anhang F.5 aufgelistet und erklärt sind. Da die vielfältigen Konfigurationsmöglichkeiten eine unüberschaubare Anzahl an denkbaren Szenarien ermöglichen, werden zusätzlich zum Status quo-Szenario drei Gesamtszenarien definiert. Diese Gesamtszenarien können über Makro-Buttons im Tabellenblatt „Konfigurator“ aktiviert werden und nehmen jeweils mehrere Teilszenarioeinstellungen an unterschiedlichen Stellen im Modell vor, die zusammen ein inhaltlich schlüssiges Zukunftsbild ergeben. Die Gesamtszenarien ermöglichen, auf einfache Art, für mehrere Modelldurchläufe für unterschiedliche Gemeinden komplexere Szenariokonfigurationen repetitiv wiederaufzurufen. Zudem erlauben sie anderen Nutzern, die den Ergebnissen in Kapitel 9.4 zugrundeliegenden Modelleinstellungen zu reproduzieren und die Ergebnisse zu überprüfen. Die drei Gesamtszenarien haben die Funktion als Extremszenarien die Grenzen des Szenariokorridors zu definieren. Ihnen liegen daher zum Teil Annahmen zugrunde, die über den erwartbaren Horizont künftiger Entwicklungen hinausgehen. Im Kontext der Resilienz können derartige Annahmen in Positiv- und Negativszenarien aber durchaus zur Diskussion anregen und erfüllen somit eine wichtige Funktion (vgl. Kapitel 1.1).

Da in der Ergebnisauswertung ausschließlich auf die drei Gesamtszenarien und die Status quo Einstellung Bezug genommen wird, werden in diesem Kapitel lediglich die Gesamtszenarien ausführlicher erläutert. Die Einstellungsmöglichkeiten für unterschiedliche Teilszenarien und das Anlegen eigener Szenarien sind in Anhang F.5 beschrieben.

9.3.1 Gesamtszenario „Wirtschaftskrise“

Das Gesamtszenario „Wirtschaftskrise“ soll die Auswirkungen eines regionalen, wirtschaftlichen Strukturbruchs auf die demografische Entwicklung simulieren. Es wird davon ausgegangen, dass die wirtschaftlichen Folgen dieses Strukturbruchs von 2036 bis 2055 anhalten und über diesen Zeitraum die Komponenten der Bevölkerungsentwicklung beeinflussen. Das Szenario erfüllt im Rahmen der drei Gesamtszenarien die Funktion des Negativszenarios.

Der Modellkonfiguration liegen mehrere Szenarioannahmen zugrunde. Diese basieren auf der übergreifenden Ausgangssituation, dass in der Region durch den wirtschaftlichen Strukturbruch die wirtschaftliche Produktivität sinkt und Unternehmen ihre Standorte verlagern bzw. schließen müssen und somit zahlreiche Arbeitsplätze verloren gehen. Folgende Annahmen werden daher getroffen:

- Zuwanderungsrate der 0–50-Jährigen: -30 % (männlich & weiblich)
- Abwanderungsrate der 0–50-Jährigen: +20 % (männlich & weiblich)
- Geburtenrate (alle Altersjahre): -10 %
- Betriebliche Abwassermengen: -10 % (je 5 Jahre)
- Die bevölkerungsbezogene Flächenentwicklung wird einberechnet.

Alle weiteren Einstellungsmöglichkeiten bleiben in der Ausgangskonfiguration „Status quo“. Aufgrund der angespannten Arbeitsmarktlage wird im Szenario davon ausgegangen, dass sich das Wanderungssaldo sehr negativ entwickelt. Dabei sind die Zuwanderungsraten stärker betroffen als die Abwanderungsraten, da vor einer Wohnstandortverlagerung mitunter andere Optionen, wie die multilokale Lebensführung, Teilzeitarbeit oder Umschulungen, ergriffen werden. Die veränderten Wanderungsraten werden lediglich auf die 0 bis 50-Jährigen angewendet, da davon ausgegangen wird, dass Kinder und Jugendliche mit ihren berufstätigen Eltern umziehen und über 50-Jährige weniger Bereitschaft zur Wohnstandortverlagerung zeigen und eher andere Optionen ergreifen (z. B. Altersteilzeit oder Frührente). Aufgrund der unsicheren Arbeits- und Lebensverhältnisse wird des Weiteren von einem Rückgang der Geburtenrate ausgegangen. Zudem wirkt sich im Szenario die rückläufige wirtschaftliche Produktivität auch in Form schrittweise rückläufiger Abwassermengen in den Gewerbe-BNT aus. Die bevölkerungsbezogene Flächenentwicklung wird in die Modellierung einbezogen, sodass bis zum Jahr 2036 von einem BNT-Flächenzuwachs aufgrund der positiven Bevölkerungsentwicklung ausgegangen wird. Nach dem anzunehmenden wirtschaftsstrukturellen Wandel werden im Szenario zum Jahr 2056 alle Parameter wieder auf den Status quo zurückgesetzt.

9.3.2 Gesamtszenario „Familienpolitik“

Das Gesamtszenario „Familienpolitik“ stellt das Positivszenario dar. Es beruht auf der Annahme, dass in der Fallregion Reutlingen von Seiten der Politik Maßnahmen ergriffen werden, um die Region attraktiv für Familien zu machen, wie beispielsweise finanzielle Unterstützungsleistungen oder steuerliche Erleichterungen, die Förderung eines entsprechenden Wohnraumangebots sowie die Schaffung ausreichender und günstiger Kinderbetreuungsangebote. Hinzu kommt die Annahme, dass die Lebenserwartung aufgrund sich weiter verbessernder medizinischer Versorgung ansteigt. Die

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

dahinterliegenden Parameterannahmen wirken im Zeitraum 2016–2035 und sind folgendermaßen gewählt:

- Zuwanderungsrate der 0–20 und 25–39-Jährigen: +15 % (Männer & Frauen)
- Abwanderungsrate der 0–20 und 25–39-Jährigen: -30 % (Männer & Frauen)
- Geburtenrate bei Müttern im Alter von 25 bis 34 Jahren: +15 %
- Sterberate der 60–80-Jährigen: -10 % (Männer & Frauen)
- Sterberate der über 80-Jährigen: -5 % (Männer & Frauen)
- Die bevölkerungsbezogene Flächenentwicklung wird einberechnet.

Ab dem Jahr 2036 werden die Parameter wieder auf den Status quo zurückgesetzt. Es wird im Szenario davon ausgegangen, dass aufgrund der politischen Maßnahmen das Wanderungssaldo der Personen im Familiengründungsalter (25–39 Jahre) sowie der Kinder und Jugendlichen positiv ansteigt. Vor allem wird erwartet, dass deutlich weniger Familien abwandern. Hinzu kommt die Annahme, dass die Maßnahmen auch einen Anstieg der Geburtenraten bewirken. Aufgrund besserer medizinischer Versorgung und einer Ausweitung der Betreuungsangebote im Rahmen politischer Maßnahmen wird zusätzlich ein Anstieg der Lebenserwartung, insbesondere durch geringere Sterberaten bei Menschen ab 60 Jahren, erwartet. Die bevölkerungsbezogene Flächenentwicklung wird einberechnet, sodass der Wohnflächenbedarf für die zusätzliche Bevölkerung im Modell abgebildet wird.

9.3.3 Gesamtszenario „Hitzewellen“

Als drittes Gesamtszenario verknüpft das Szenario „Hitzewellen“ die Herausforderungen des Klimawandels mit den demografischen Herausforderungen und spiegelt so die Komplexität des Zusammenwirkens unterschiedlicher Herausforderungen wider. Das Szenario wirkt überwiegend in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts.

Das Szenario beruht auf der Annahme, dass die Fallregion ab Mitte des 21. Jahrhunderts verstärkt von extremen Hitzewellen betroffen sein wird, die sich negativ auf die Mortalität, insbesondere älterer Menschen, auswirken. Aber auch die Effekte der längeren Trockenperioden auf die Funktionsfähigkeit der Abwasserinfrastrukturen wird in Form steigender Kostensätze simuliert:

- Sterberate aller Altersjahre (vor 2056): -5 % (Männer & Frauen)
- Sterberate der ab 75-Jährigen: +10 % (Männer & Frauen)
- Sterberate unter 5-Jährigen & 60–74-Jährigen: +5 % (Männer & Frauen)
- Sterberate alle übrigen Altersjahre: +2 % (Männer & Frauen)

- Investitionskosten: +25 % (inkrementelle Steigerung ab 2036)
- Betriebskosten: +25 % (inkrementelle Steigerung ab 2036)
- Instandhaltungskosten: +10 % (inkrementelle Steigerung ab 2036)
- Personalkosten: +15 % (inkrementelle Steigerung ab 2036)
- Die bevölkerungsbezogene Flächenentwicklung wird einbezogen.

Aufgrund der steigenden Lebenserwartung wird bis zum Einsetzen der Parameterannahmen von einem Rückgang der Sterberate in allen Jahrgängen um 5 % ausgegangen. Mit Einsetzen der Hitzewellen steigt die Mortalität, insbesondere bei den älteren Jahrgängen, aber auch bei den Kleinkindern. Generell ist in allen Altersjahrgängen ein leichter Anstieg der Sterblichkeit zu verzeichnen. Die Hitzewellen und Trockenphasen wirken sich auch auf die Abwasserinfrastruktur, in Form steigender Betriebskosten für Leitungsspülungen und den effizienten Kläranlagenbetrieb, aus. Auch fallen höhere Kosten für zusätzliche Investitionen und Instandhaltungsmaßnahmen an. Bei den Personalkosten wird höherer Aufwand zur Netzsteuerung und aufgrund der allgemein steigenden Personalkosten erwartet. Die bevölkerungsbezogene Flächenentwicklung wird einberechnet, um dem zu erwartenden Siedlungsflächenzuwachs Rechnung zu tragen.

9.4 Ergebnisauswertung

Ziel der Auswertung ist es, die unterschiedlichen Kostenreaktionen in den BNT unter verschiedenen Szenarien miteinander zu vergleichen. Die Modellierung soll daher eine gewisse Mindestanzahl an Modelldurchläufen aufweisen, um überhaupt statistische Auswertungen der Ergebnisse durchführen zu können. Auch sollen die Ergebnisse eine möglichst große Bandbreite künftiger Entwicklungen aufzeigen, also einen möglichst breiten Szenariotrichter abbilden. Gleichzeitig sollen die Ergebnisse und die zugrundeliegenden Einstellungen nachvollziehbar und reproduzierbar sein, sodass das Gütekriterium der Objektivität erfüllt wird. Damit diese unterschiedlichen Ansprüche erfüllt werden, wird gesondert für alle BNT in jeder Gemeinde der Fallregion die relative Kostenentwicklung des fiktiven Abwassertarifs in den drei Gesamtszenarien (Wirtschaftskrise, Familienpolitik, Hitzewellen) sowie der Referenzeinstellung (Status quo) zwischen dem Ausgangsjahr 2016 und dem Endzeitpunkt der Modellierung 2101 berechnet. So ergeben sich bei 13 BNT (da Streusiedlungen nicht berücksichtigt werden) und zwölf Gemeinden insgesamt 624 Kostenverläufe, die die Grundlage für die statistische Auswertung der Kostenvulnerabilität der BNT darstellen. Da allerdings nicht in allen Gemeinden auch alle BNT vorhanden sind, müssen von den 624 potenziellen Kostenverläufen 244 abgezogen werden. Insgesamt können 380 Kostenverläufe ausgewertet werden.

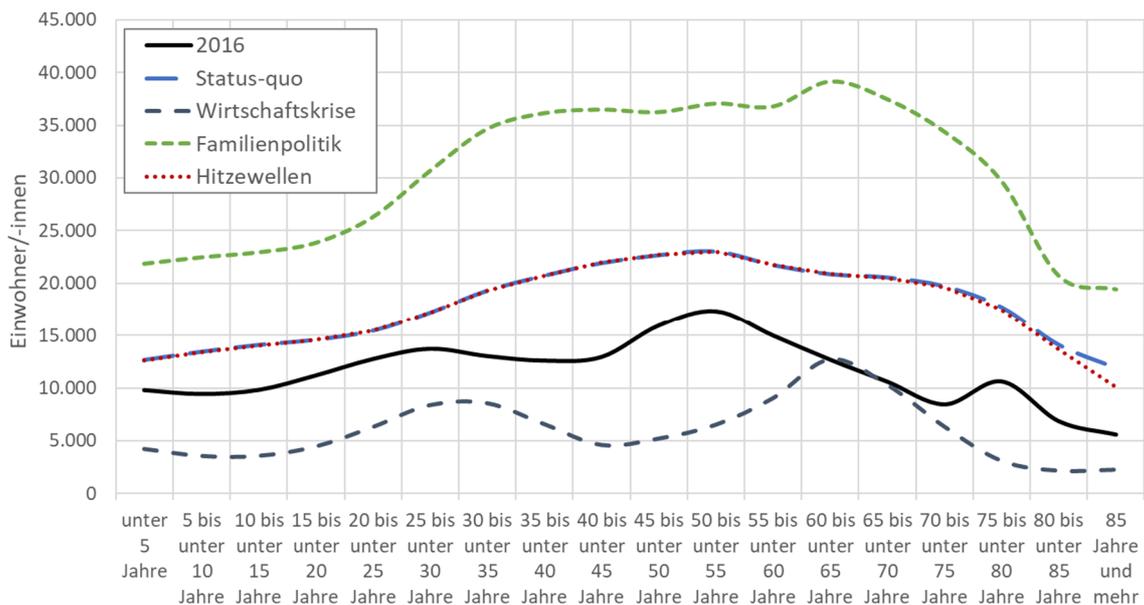
9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse gesondert für die einzelnen Szenarien dargestellt. Um den Umfang der Auswertung zu begrenzen, werden lediglich die Ergebnisse für die Gesamregion und nicht differenziert nach einzelnen Gemeinden aufgeführt. Auch auf die Unterschiede zwischen einzelnen BNT in den unterschiedlichen Szenarien wird nur in ausgewählten Fällen eingegangen. Die vollständige Auflistung aller 624 modellierten Kostenverläufe ist im Modell im Tabellenblatt „Modellierungsergebnisse“ zu finden (siehe Anhang F). Nach der Beschreibung der Ergebnisse für die vier Gesamtszenarien wird in Kapitel 9.4.5 erläutert, wie die Modellergebnisse zusammengeführt werden. Dazu werden die Kostenverläufe in SPSS importiert und auf Basis aller Modellierungsergebnisse eine z-Transformation der relativen Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs durchgeführt. So können über alle Gemeinden und Szenarien hinweg die BNT identifiziert werden, deren Abwasserkosten je Einwohner stärker oder schwächer auf die Entwicklungen der Szenarien reagieren, als im Durchschnitt aller BNT.

9.4.1 Ergebnisse im Gesamtszenario „Status quo“

Das Szenario „Status quo“ dient als Referenzszenario, da in diesem Szenario in der Bevölkerungsfortschreibung von stagnierenden Komponenten der Bevölkerungsentwicklung ausgegangen wird und auch die Kostenkennwerte unverändert in die Zukunft fortgeschrieben werden. Das Szenario bildet also auch nicht die als sehr wahrscheinlich geltenden Veränderungen, wie eine steigende Lebenserwartung im Bereich der Bevölkerungsfortschreibung oder allgemeine Kostensteigerungen im Zuge der Inflation, ab.

Abbildung 79: Altersstruktur zum Jahr 2101 in den vier Szenarien sowie im Ausgangsjahr 2016

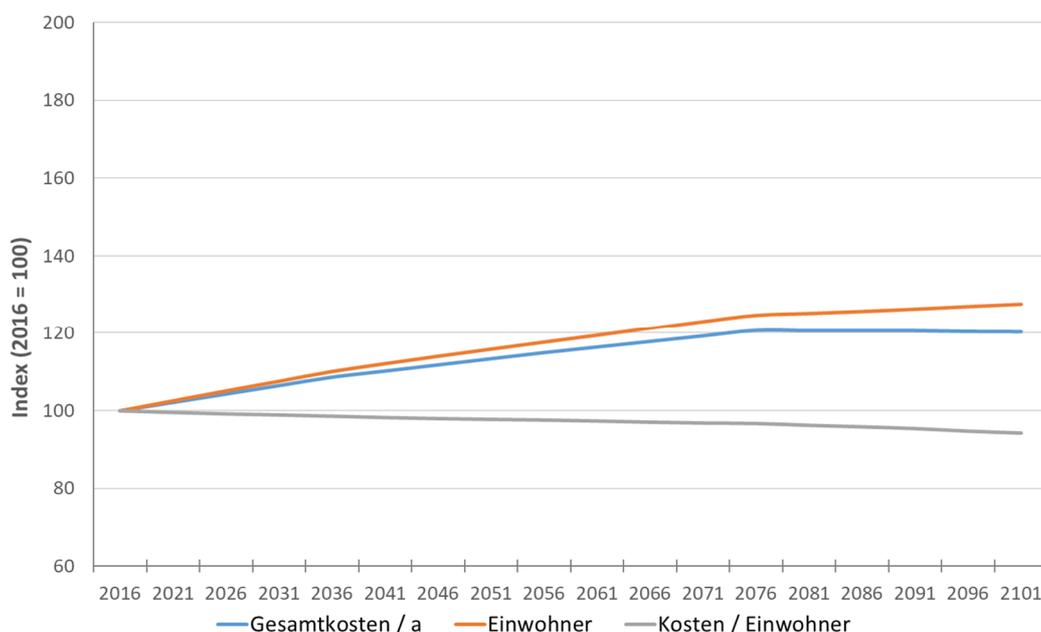


Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Da im Basiszeitraum 2014–2016 die Bevölkerungszahl in den Gemeinden der Fallregion, vor allem durch eine hohe Zuwanderung, im Durchschnitt um 2,28 % gestiegen ist, schlägt sich dieser Trend auch in der Bevölkerungsfortschreibung nieder. So zeigt sich in Abbildung 79 neben den Veränderungen in der Altersstruktur, dass alle Altersgruppen bis Ende des Modellierungszeitraums an Einwohnern gewinnen werden. Im Vergleich zu 2016 steigen bis 2101 besonders deutlich die Altersgruppengrößen im Alter ab 30 Jahre bis etwa 75 Jahre an. Abbildung 79 stellt die Altersstrukturen zum Jahr 2101 für die vier Szenarien und die Altersstruktur zum Jahr 2016 gegenüber, sodass die Auswirkungen der Szenarioannahmen auf die Altersstruktur direkt miteinander verglichen werden können. In Anhang F sind getrennt für jedes Szenario die Entwicklungen der Altersstruktur zu verschiedenen Zeitschnitten aufgeführt.

In Abbildung 79 fällt auf, dass die Altersstruktur im Szenario „Hitzewellen“ zum Jahr 2101 nahezu der Altersstruktur des Szenarios „Status quo“ entspricht. Lediglich die Zahl der älteren Personen ab einem Alter von 75 Jahren liegt etwas niedriger, als im Referenzszenario. Die höhere Mortalität hat also langfristig nur geringfügige Auswirkungen auf die Altersstruktur. Dagegen führen die Szenarioannahmen im Szenario „Wirtschaftskrise“ zu einer insgesamt geringeren Einwohnerzahl sowie zu einem höheren Anteil älterer Personen ab 55 Jahren an der Gesamtbevölkerung im Vergleich zur Altersstruktur im Ausgangsjahr 2016. Das Szenario „Familienpolitik“ hat hingegen zur Folge, dass bis zum Jahr 2101 alle Altersgruppen deutlich wachsen, insbesondere aber die Altersgruppen zwischen 25 und 70 Jahren jeweils etwa 15.000 Personen mehr umfassen, als noch 2016.

Abbildung 80: Entwicklung der Einwohnerzahl und Abwasserkosten im Szenario "Status quo"



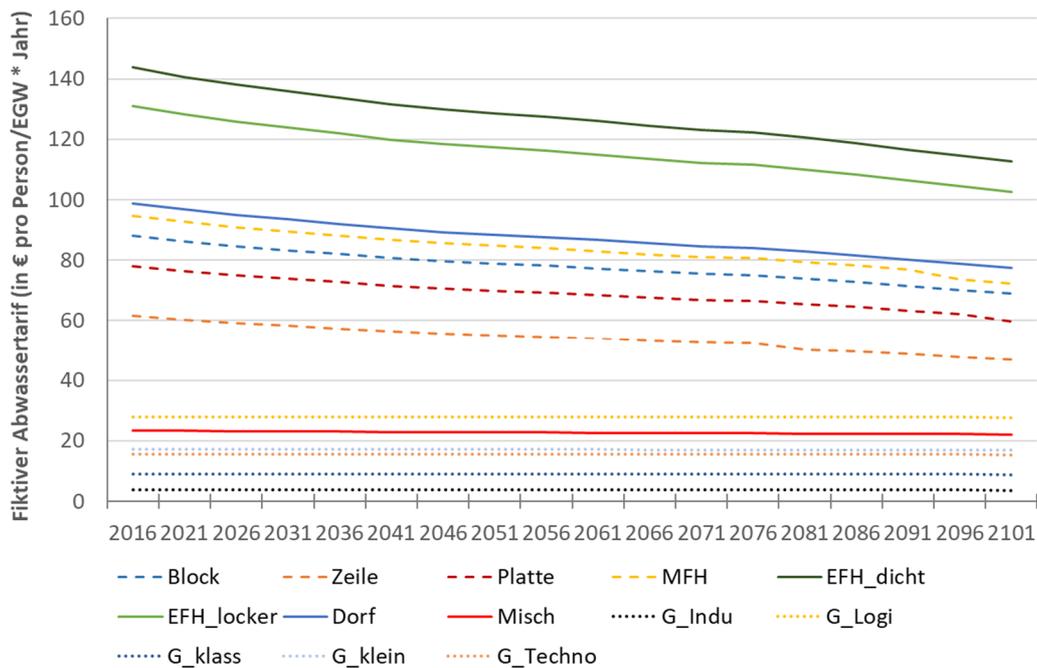
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Im Szenario „Status quo“ resultiert aus dem modellierten Bevölkerungszuwachs um rund 25 % bis zum Jahr 2076 und aus der Annahme der bevölkerungsbezogenen Flächenentwicklung einem Anstieg der BNT-Flächen. Daraus folgt der in Abbildung 80 erkennbare Anstieg der Gesamtkosten der Abwasserinfrastruktur um rund 20 %. Da aufgrund der Modellannahmen die BNT-Fläche weniger stark zunimmt, als die Einwohnerzahl, steigen auch die Gesamtkosten weniger stark als die Einwohnerzahl und die pro-Kopf-Kosten sinken geringfügig um etwa fünf Indexwertpunkte bis zum Jahr 2101.

Die in Abbildung 81 dargestellten Entwicklungen des fiktiven Abwassertarifs je BNT zeigen den Kosteneffekt der modellierten Einwohnerentwicklung in den verschiedenen BNT. Zu beachten ist hierbei, dass die Skalierung der y-Achse in den Graphen zur fiktiven Tarifentwicklung in diesem Kapitel (siehe Abbildung 81, Abbildung 83, Abbildung 85, Abbildung 87) im Sinne der besseren Ablesbarkeit voneinander abweicht.

Abbildung 81: Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs nach BNT im Szenario "Status quo"



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Bei den Wohngebiets-BNT stehen die Ein-/Zweifamilienhausgebiete (lockere und dichte Typologie) mit vergleichsweise hohen Tarifkosten hervor, die im Laufe des Modellierungszeitraums jedoch deutlich sinken. Die Tarife der Gewerbe-BNT stagnieren im Referenzszenario, da für die Gewerbeflächen keine Wohnbevölkerung angenommen wird und sich dementsprechend die Bevölkerungsfortschreibung auch nicht auf die Tarifentwicklung auswirkt. Da zudem auch keine Gewerbeszenarien eingestellt sind, stagnieren die fiktiven Tarife der Gewerbe-BNT.

9.4.2 Ergebnisse im Gesamtszenario „Wirtschaftskrise“

Das Szenario „Wirtschaftskrise“ basiert auf Annahmen zu den potenziellen Auswirkungen eines regionalen, wirtschaftlichen Strukturbruchs auf die demografische Entwicklung, die gewerblichen Abwassermengen und die Kosten der Abwasserentsorgung. Es wirkt im Zeitraum 2036–2055, was sich auch in den Modellierungsergebnissen nachvollziehen lässt.

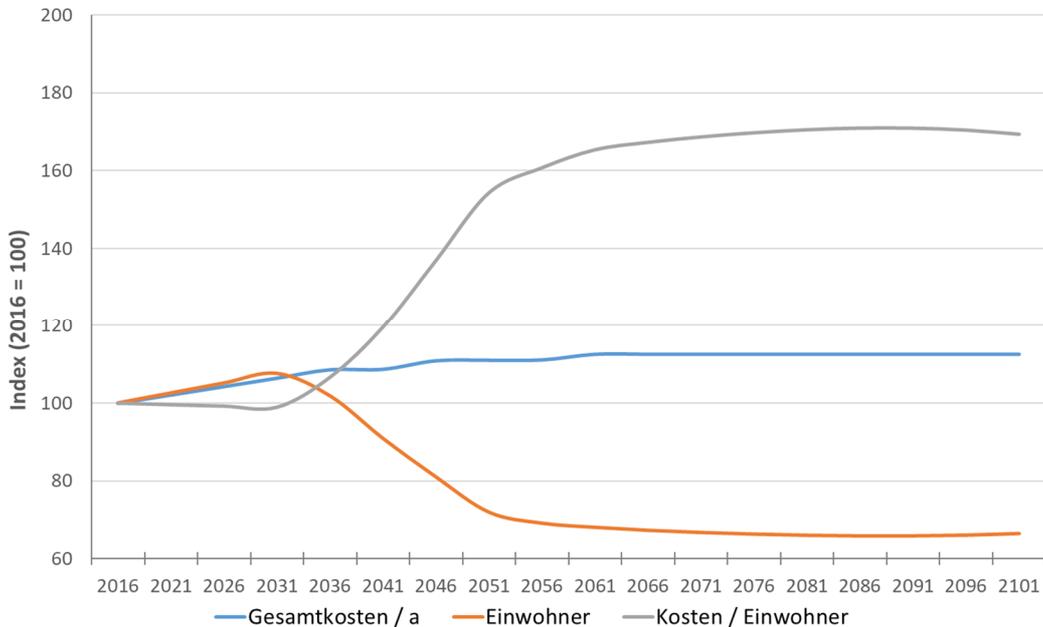
Betrachtet man die relative Einwohnerentwicklung in Abbildung 82, so wird deutlich, dass zunächst noch der positive Entwicklungstrend des Status quo auf die Einwohnerzahl wirkt, bis im Jahr 2036 die Szenarioannahmen des Szenarios „Wirtschaftskrise“ einsetzen und sich die Bevölkerungszahl der Fallregion bis 2056 auf rund 70 % des Ausgangsniveaus reduziert. Interessant ist, dass auch nach Ende der direkten Einflüsse des Szenarios auf die Komponenten im Jahr 2055 in den Folgejahren aufgrund der veränderten Altersstruktur die Bevölkerungszahl weiter geringfügig sinkt, bevor nach einer Stagnationsphase die Bevölkerungszahl zum Ende des Modellierungszeitraums wieder leicht steigt. Mit den rückläufigen Einwohnerzahlen steigen aufgrund der eingerechneten Betriebskostensteigerungen im Modellierungszeitraum auch die Gesamtkosten der Abwasserinfrastruktur. Bei genauer Betrachtung ist zu erkennen, dass die Gesamtkosten in mehreren kleinen Schritten steigen und zwar immer dann, wenn in einem BNT die Schwellenwerte des Bevölkerungsrückgangs überschritten und höhere Betriebskosten angesetzt werden. Da in den ersten Jahren des Szenariozeitraums mit der steigenden Bevölkerungszahl auch eine Siedlungsflächenerweiterung angenommen wird, steigen auch die Gesamtkosten an. Diese Gesamtkosten reduzieren sich allerdings mit der rückläufigen Bevölkerungszahl nicht. Die Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs (Kosten/Einwohner) verläuft gegensätzlich zur Einwohnerentwicklung. Aufgrund der steigenden Betriebskosten ist aber auch nach Ende der direkten Wirkungen des Szenarios im Jahr 2055 noch ein weiterer Anstieg des fiktiven Abwassertarifs erkennbar, der stärker ausfällt, als der Rückgang der Einwohnerzahl. Nahezu parallel zur Entwicklung der Einwohnerzahl ist auch bei dem fiktiven Abwassertarif zum Ende des Modellierungszeitraums eine Trendumkehr erkennbar.

Bei Betrachtung der Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs nach BNT fällt im Vergleich zum Status-quo-Szenario ins Auge, dass sich das Szenario auch auf die Annahmen zu den EGW in den Gewerbe-BNT auswirkt (siehe Abbildung 83). Da angenommen wird, dass die in Gewerbegebieten entstehenden Abwassermengen im Zuge einer Wirtschaftskrise zurückgehen, steigt der fiktive Abwassertarif in diesem Szenario in allen Gewerbe-BNT an. Auch wenn der absolute Anstieg im Vergleich zu den Wohn-BNT nur gering ausfällt, handelt es sich relativ betrachtet, um einen hohen Anstieg, der zum Teil rund 40 % entspricht. Hohe relative Anstiege sind in diesem Szenario in den Gewerbe-BNT zu

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

erkennen, für die als Ausgangswert geringe EGW je Flächeneinheit angenommen werden, also in Logistikparks oder kleinteiligen Gewerbegebieten. In Industriegebieten fällt der relative Kostenanstieg je EWG dagegen geringer aus.

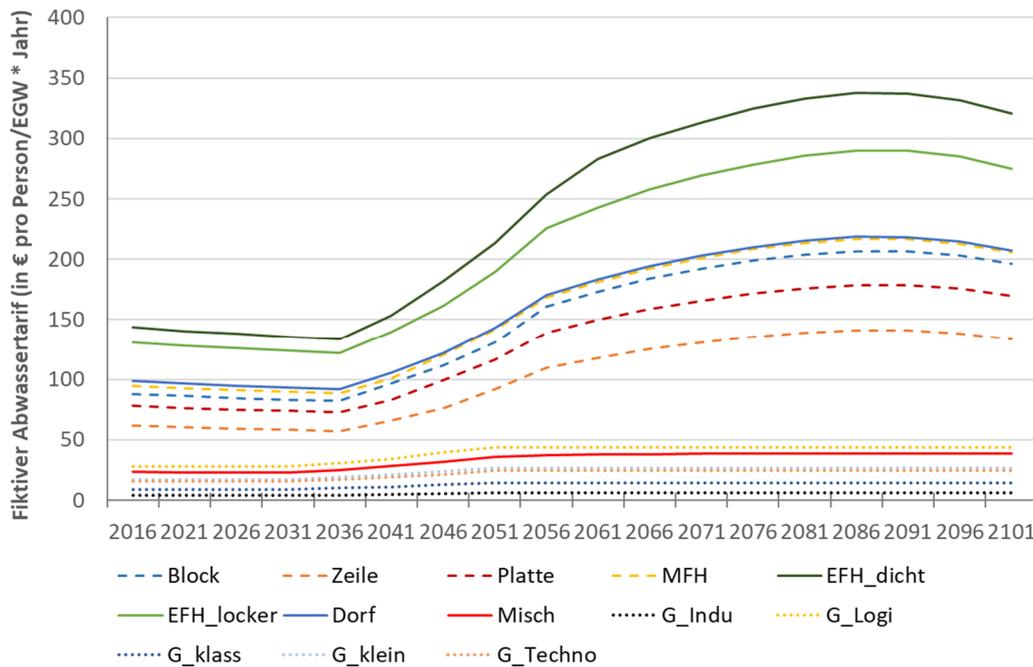
Abbildung 82: Entwicklung der Einwohnerzahl und Abwasserinfrastrukturkosten im Szenario "Wirtschaftskrise"



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

In den Wohn-BNT schlägt sich im fiktiven Abwassertarif die Einwohnerentwicklung nieder. Zunächst stagnieren die pro-Kopf-Kosten, bis ab Einsetzen des Szenarios im Jahr 2036 die Kosten deutlich ansteigen und sich dieser Trend auch über die direkte Wirksamkeit des Szenarios bis 2055 hinaus fortsetzt. Erst zum Ende des Jahrhunderts lässt sich eine Trendumkehr feststellen. Im Vergleich der Wohn-BNT untereinander fällt auf, dass die Entwicklung in den beiden Ein-/Zweifamilienhaustypen scheinbar deutlich dynamischer verläuft, als in den übrigen Wohn-BNT. Berücksichtigt man allerdings die Ausgangswerte und die relative Entwicklung anstatt der absoluten, so zeigt sich für alle Wohn-BNT eine vergleichbare Entwicklung: der Endwert des fiktiven Abwassertarifs für den Modellierungszeitraum liegt rund doppelt so hoch wie der Ausgangswert, wobei in allen Wohn-BNT 2086 Höchstwerte erreicht werden, die zwischen dem Faktor 2,21 (lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung und Dorfkerne) bis 2,35 (innerstädtische Blockrandbebauung und dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung) über dem Ausgangswert liegen.

Abbildung 83: Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs nach BNT im Szenario "Wirtschaftskrise"



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Dass die einwohnerbezogenen Abwasserkosten im Szenario „Wirtschaftskrise“ derart deutlich steigen, ist auf den für Abwasserinfrastrukturen typischen Remanenzkosteneffekt zurückzuführen (siehe Kapitel 2.5), der sich aus dem hohen Fixkostenanteil ableitet.

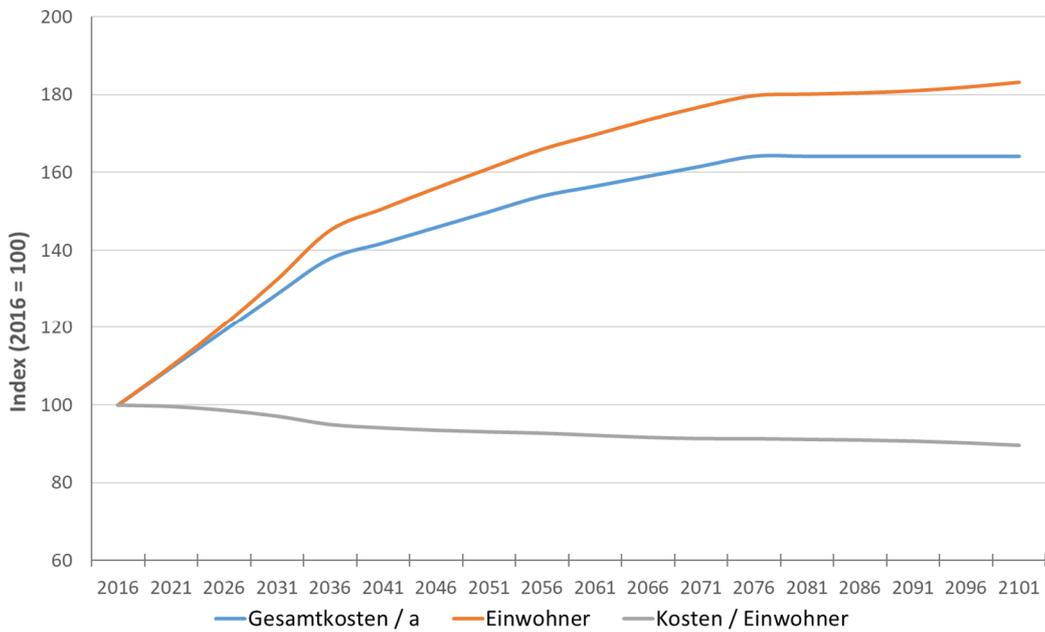
9.4.3 Ergebnisse im Gesamtszenario „Familienpolitik“

Als Kontrast zum Szenario „Wirtschaftskrise“, das von rückläufigen Einwohnerzahlen ausgeht, bildet das Szenario „Familienpolitik“ eine sehr positive Bevölkerungsentwicklung ab. Es wirkt direkt von Beginn der Bevölkerungsfortschreibung bis zum Jahr 2035 vor allem auf die Wanderungs- und Geburtenraten. Es werden aber auch Annahmen zur Flächenentwicklung in Wohngebieten und zu einer positiven konjunkturellen Entwicklung einbezogen.

Die Szenarioeffekte, die sich schon bei der Altersstruktur beobachten lassen, zeichnen sich auch bei Betrachtung der relativen Entwicklung der Gesamteinwohnerzahl in Abbildung 84 ab. Nachdem bereits bis 2035 ein Einwohneranstieg um mehr als 40 % zu verzeichnen ist, steigt die Einwohnerzahl bis etwa 2076 weiter auf rund 180 % des Ausgangswertes an, um anschließend weiter, aber deutlich schwächer, anzusteigen. Da im Szenario die Bevölkerungszuwächse mit einer Siedlungsflächenerweiterung einhergehen, steigen die Gesamtkosten der Abwasserinfrastruktur in vergleichbarem Ausmaß, wenn auch insgesamt weniger stark. Die einwohnerspezifischen Kosten sinken aufgrund der modellimpliziten Annahme steigender Siedlungsdichten.

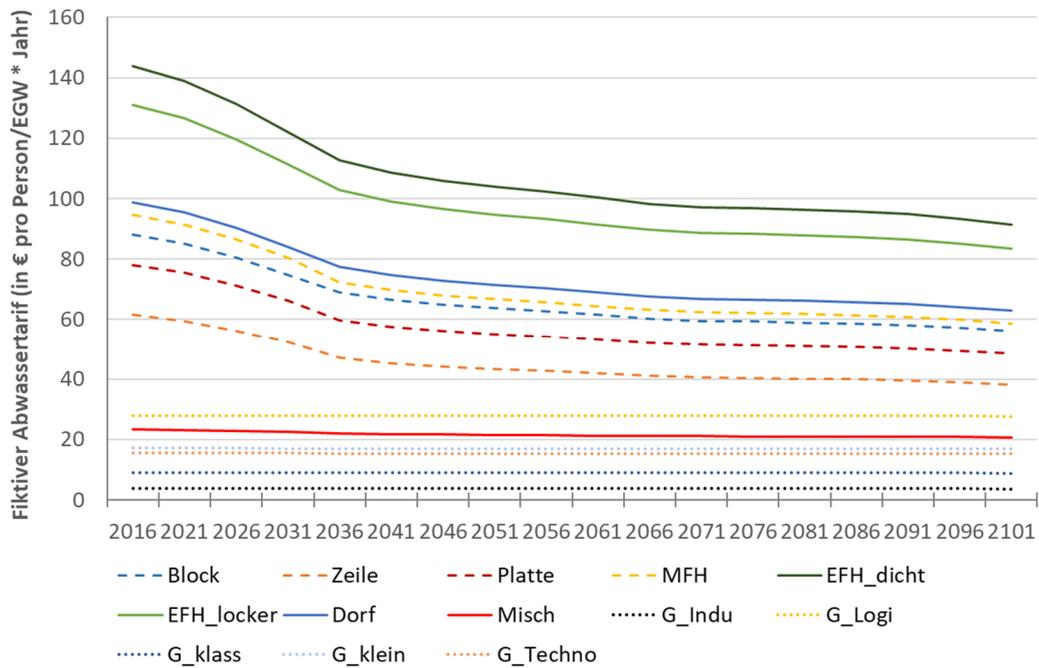
9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Abbildung 84: Entwicklung der Einwohnerzahl und Abwasserinfrastrukturkosten im Szenario "Familienpolitik"



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Abbildung 85: Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs je BNT im Szenario "Familienpolitik"



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Die in Abbildung 85 dargestellten Entwicklungen der modellierten fiktiven Abwassertarife je BNT zeigen insgesamt in den Wohn-BNT zunächst deutlich sinkende Tarife, die nach Auslaufen der Szenarioeffekte ab dem Jahr 2036 weniger stark, aber weiterhin kontinuierlich sinken. Erst ab 2071

stagnieren die fiktiven Tarife weitgehend. In den Gewerbe-BNT bleiben die fiktiven Tarife über den gesamten Modellierungszeitraum stabil.

9.4.4 Ergebnisse im Gesamtszenario „Hitzewellen“

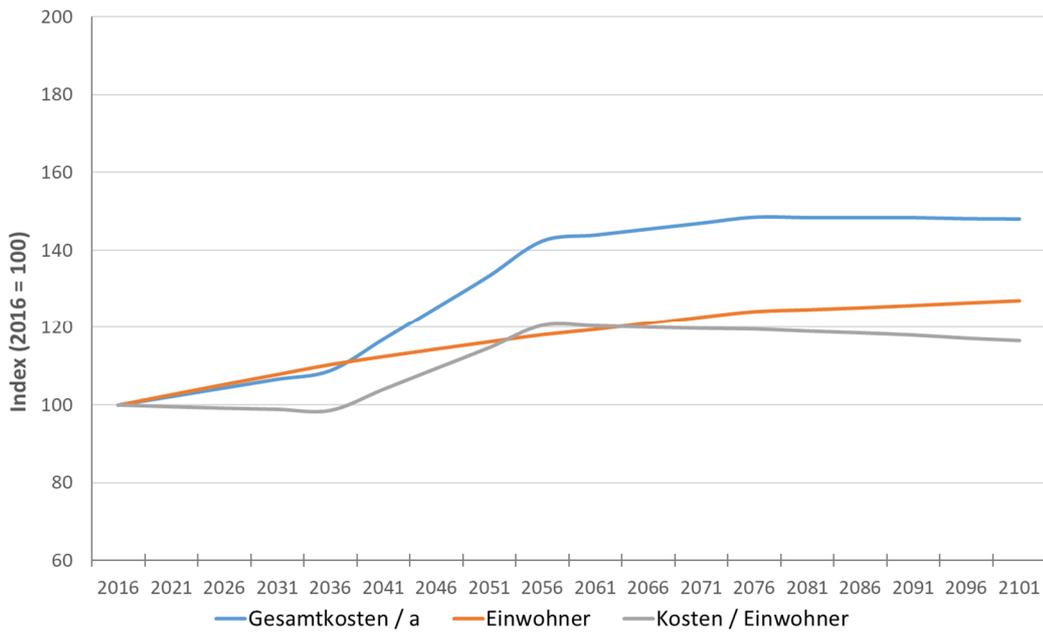
Das Szenario „Hitzewellen“ bündelt Erwartungen an demografische und klimatische Entwicklungen und unterlegt diese mit Annahmen, die für den Zeitraum 2056–2101 auf die Modellierung einwirken. Im Vergleich zur Altersstrukturentwicklung im Referenzszenario zeigen sich bei der modellierten Altersstruktur für das Szenario „Hitzewellen“ kaum Unterschiede (siehe Abbildung 79, S. 350), was in Anbetracht der zugrundeliegenden Annahmen auch kaum verwunderlich ist. So steigt die Einwohnerzahl im Hitzewellen-Szenario zunächst kontinuierlich an, bevor sie ab 2076 nur noch geringfügig steigt. Die Gesamtkosten der Abwasserinfrastruktur nehmen ab 2036 deutlich zu und erreichen im Jahr 2076 ein Niveau rund 50 % über dem Ausgangswert. Da die Gesamtkosten ein stärkeres relatives Wachstum aufweisen als die Einwohnerzahl, steigen auch die einwohnerspezifischen Kosten bis 2056 zunächst deutlich an. Daran anschließend sinken sie kontinuierlich geringfügig (siehe Abbildung 86).

Die in Abbildung 87 aufgeführten Entwicklungen des fiktiven Abwassertarifs nach BNT zeigen für die Gewerbe-BNT, dass die Tarifkosten mit Ausnahme der angenommenen Kostensteigerungen zum Jahr 2056 über den gesamten Zeitraum stagnieren. In den Wohn-BNT schlägt sich der Bevölkerungszuwachs zunächst in geringfügig sinkenden Tarifen nieder, bevor ab 2036 die Szenarioannahmen zu den Kostensteigerungen wirken und die fiktiven Tarife deutlich steigen. Ab 2056 sinken die fiktiven Tarife dann wiederum. Auch in diesem Szenario weisen die beiden Ein-/Zweifamilienhaustypen die höchste absolute Dynamik auf, wenngleich die fiktiven Tarife zum Ende des Modellierungszeitraums nur geringfügig unter dem Ausgangswert liegen. Insgesamt zeigt sich, dass sich die im Szenario angenommenen, veränderten Sterberaten kaum in der Tarifentwicklung widerspiegeln. Vielmehr beeinflusst der allgemeine Bevölkerungswachstumstrend die fiktive Tarifentwicklung. Annahmen zu steigenden Kosten der Abwasserentsorgung wirken sich dagegen deutlich auf die Tarife aus.

Im Vergleich der Tarifentwicklung in verschiedenen Szenarien kann festgehalten werden, dass das Wirtschaftskrisen- und das Familienpolitik-Szenario die höchsten Veränderungen der fiktiven Tarife aufweisen. Im Hitzewellen- und im Status quo-Szenario fallen die Tarifunterschiede zwischen 2016 und 2101 deutlich geringer aus. Allerdings ist zu beachten, dass die Tarifentwicklung im Hitzewellen-Szenario dynamischer verläuft als im Referenzszenario und einigen Schwankungen unterliegt.

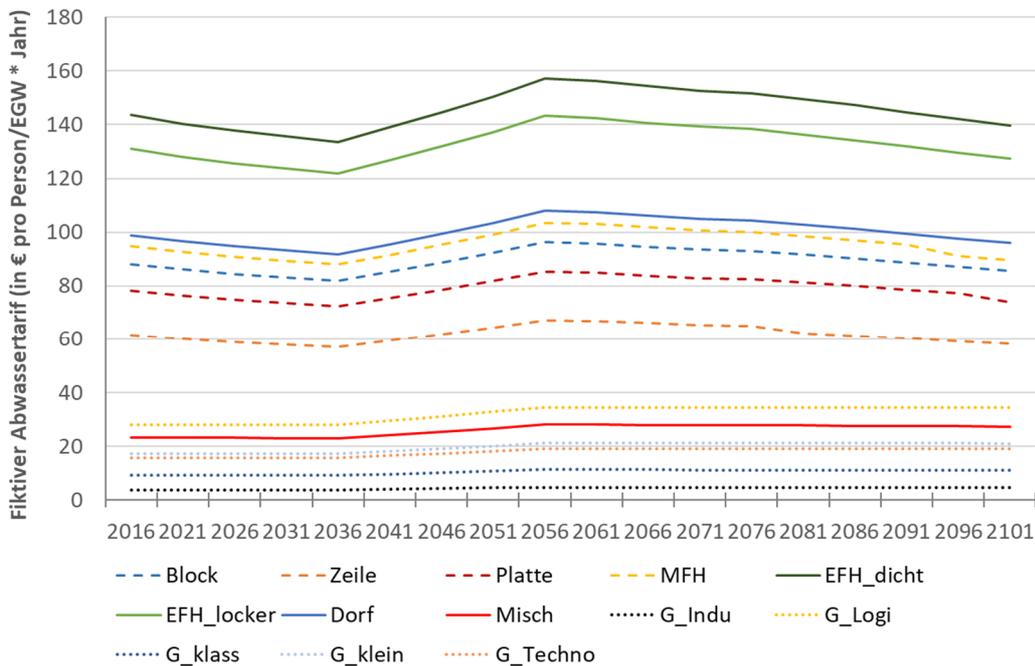
9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Abbildung 86: Entwicklung der Einwohnerzahl und Abwasserinfrastrukturkosten im Szenario "Hitzewellen"



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Abbildung 87: Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs nach BNT im Szenario "Hitzewellen"



Quelle: eigene Darstellung und eigene Berechnung

Bezüglich der Unterschiede zwischen den BNT im Vergleich aller Szenarien kann festgehalten werden, dass bei den Wohn-BNT die Ein-/Zweifamilienhausgebiete die höchsten Ausgangswerte der fiktiven Abwassertarife und auch die absolut höchste Entwicklungsdynamik aufweisen. Höher verdichtete Typen, wie Zeilenbebauung, Geschosswohnungsbau oder innerstädtische

Blockrandbebauung, haben dagegen geringere Ausgangswerte und auch eine geringere absolute Entwicklungsdynamik in den Szenarien. Hinsichtlich der relativen Entwicklungsdynamik liegen alle Wohn-BNT jedoch recht eng beieinander. Für die Gewerbe-BNT lassen sich derartige Vergleiche kaum anstellen, da die gewerblichen Abwassermengen nicht auf Basis eines dynamischen Modells modelliert werden, sondern statischen Szenarioannahmen entstammen. Dementsprechend verlaufen auch die Tarifkostenentwicklungen in den Gewerbe-BNT symmetrisch zueinander und es lassen sich keine Unterschiede in der Dynamik der Entwicklungen erkennen. Es kann lediglich festgehalten werden, dass die Modellierungsergebnisse aufzeigen, dass bei den Gewerbe-BNT die Logistikparks die höchsten Abwasserkosten je EGW verursachen, gefolgt von den kleinteiligen Gewerbegebieten. Dagegen verursachen Industriegebiete nur geringe Abwasserkosten je EGW, auch im Vergleich zu den Wohn-BNT. Dies lässt sich zumindest in Teilen darauf zurückführen, dass großflächige Industriegebiete oft durch betriebseigene Straßen und auch eigene Abwasserleitungen erschlossen sind. Dementsprechend fallen je Flächeneinheit weniger Leitungsmeter der öffentlichen Kanalisation und geringere Abwasserinfrastrukturkosten an.

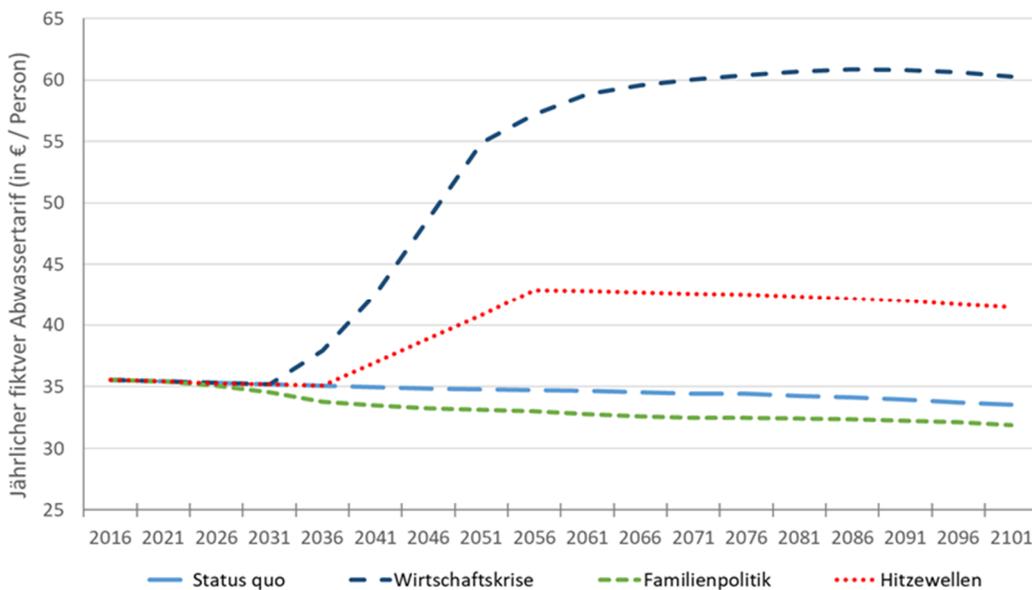
Des Weiteren kann übergreifend festgehalten werden, dass sich Änderungen im Wanderungsverhalten stärker und langfristiger auf die fiktiven Abwassertarife auswirken, als Änderungen in der natürlichen Bevölkerungsentwicklung oder Kostensteigerungen. Auch wenn es sich nur um ein vereinfachtes und deterministisches Modell handelt, wird deutlich, dass die Einwohnerzahl in einer Region unter den Voraussetzungen des Kostendeckungsprinzips die wesentliche Stellschraube für die Höhe der Abwasserkosten pro Person darstellt, da die Gesamtkosten bei rückläufiger Bevölkerungszahl durch den hohen Fixkostenanteil nahezu unveränderlich sind.

9.4.5 Zusammenführung und Standardisierung der Modellierungsergebnisse

Nachdem die Ergebnisse der vier Szenarien in ihren wesentlichen Grundzügen beschrieben wurden, gilt es, sie im Hinblick auf die Analyse der Robustheit der einzelnen BNT zusammenzuführen und übergreifend auszuwerten. Dafür müssen die Ergebnisse standardisiert werden, um die relative Entwicklung unterschiedlich hoher fiktiver Tarife in den verschiedenen BNT miteinander vergleichen zu können.

Wie Abbildung 88 noch einmal übergreifend für alle BNT-Flächen der Fallregion aufzeigt, spannen die vier Szenarien mit ihren Annahmen einen breiten Korridor möglicher zukünftiger Abwassertarifentwicklungen auf. Somit scheinen sie geeignet, die BNT auf ihre Kostenvulnerabilität gegenüber sich verändernden Rahmenbedingungen zu testen.

Abbildung 88: Vergleich der Entwicklung der fiktiven Abwassertarife in den Szenarien für die gesamte Fallregion (\emptyset aller BNT)



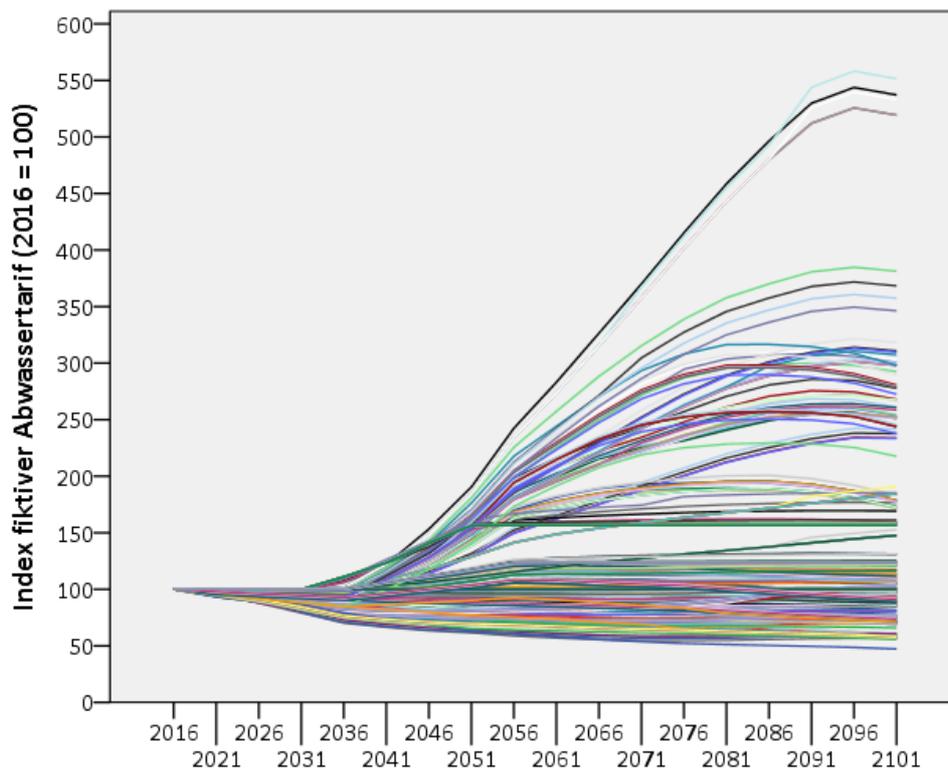
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Dabei sollen in der Analyse alle Ergebnisse zur Bestimmung der Vulnerabilität herangezogen werden. Auch wenn in der Realität steigende Einwohnerzahlen und sinkende Abwassertarife sicherlich positiv zu bewerten wären und der Bezug zum Vulnerabilitätskonzept zumindest angezweifelt werden kann, wird in der vorliegenden Analyse die vollständige Varianz der Ergebnisse einbezogen. Daraus können Aussagen über die Robustheit der fiktiven Abwassertarife in den BNT abgeleitet werden. Durch die Gegenüberstellung eines Positiv- und eines Negativszenarios wird der Szenariotrichter weit aufgespannt.

Abbildung 89 zeigt, dass die 380 auswertbaren Modelldurchläufe (Kombination aller Kommunen, Szenarien und vorhandenen BNT) bis zum Ende des Szenariozeitraums eine große Varianz der Indexwerte des fiktiven Abwassertarifs aufweisen. Die Indexwerte liegen bei einem Mittelwert von 115,6 zwischen 47,4 und 558,2. Die Abbildung zeigt aber auch, dass der Großteil der Modelldurchläufe im Bereich moderater Veränderungen um +/- 50 Indexwertpunkte liegt.

Sehr hohe Tarifsteigerungen sind als statistische Ausreißer zu betrachten. Dagegen ergeben sich im Bereich der negativen Indexwertentwicklung keine extremen Ausreißer. Das kann so interpretiert werden, dass die Szenarioannahmen tendenziell eher zu Tarifsteigerungen und vereinzelt auch zu extremen Tarifsteigerungen führen, sich aber lediglich moderate Tarifsenkungen ergeben. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass der deterministische Modellansatz aufgrund der hohen Fixkosten bei rückläufigen Einwohnerzahlen lediglich Tarifkostensteigerungen modellieren kann und auch in den Szenarien lediglich Kostensteigerungen angenommen werden.

**Abbildung 89: Indexwertentwicklung des fiktiven Abwassertarifs
in allen Modelldurchläufen (2016–2101)**



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; n = 380

Deutliche Kosteneinsparungen aufgrund von Skaleneffekten oder Siedlungsrückbau bei Bevölkerungsrückgang werden in der Grundanlage des Modells nicht abgebildet. Dies könnte lediglich durch Eingabe der anzunehmenden Siedlungsflächen oder zusätzliche Szenarien modelliert werden. Insofern sind die in der Abbildung aufgeführten Ergebnisse in dieser Form auch auf den deterministischen Modellansatz zurückzuführen. Nichtsdestotrotz wird ein ausreichend großer Szenariotrichter aufgespannt, der eine differenzierte Analyse der Tarifentwicklung in einzelnen BNT im Vergleich zur durchschnittlichen Tarifentwicklung ermöglicht.

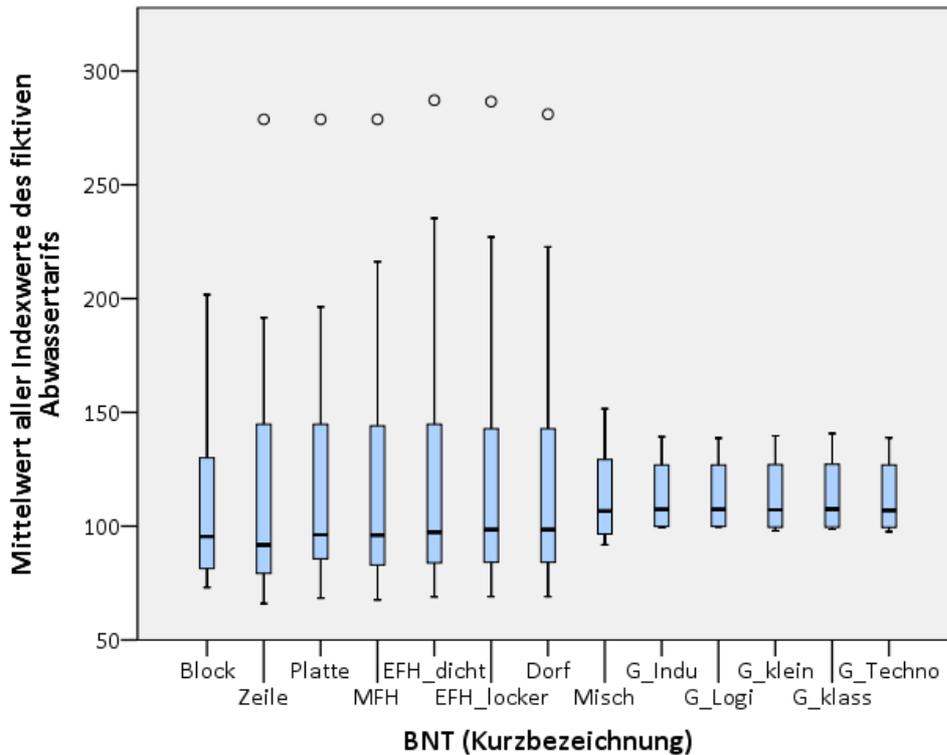
Für die weiteren Analysen wird die Indexwertentwicklung als Grundlage herangezogen, da der Index mit dem Basisjahr 2016 für alle Modellkonstellationen den gleichen Ausgangswert 100 hat und somit nur die relative Entwicklung der Ergebnisse der einzelnen Modelldurchläufe miteinander verglichen wird. Hohe absolute Veränderungen bei hohen Ausgangswerten würden relativ stärker in einen Mittelwert einfließen, als niedrige absolute Veränderungen, die aber mitunter relativ gesehen deutlicher ausfallen können als die absoluten Veränderungen.

Die Boxplots der mittleren Indexwerte für die Gesamtperiode 2016–2101 nach BNT zeigen lediglich geringfügige Unterschiede zwischen den BNT auf (siehe Abbildung 90). Während die Ein-

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

/Zweifamilienhausgebiete, die Dorfkerne und die Mehrfamilienhausgebiete nahezu identische Lagemaße aufweisen, sticht die innerstädtische Blockrandbebauung mit niedrigeren Indexwerten heraus.

Abbildung 90: Boxplots der arithmetischen Mittelwerte aller Indexwerte (2016–2101) des fiktiven Abwassertarifs nach BNT



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; n = 380

So liegt der Median zwar in etwa auf dem Niveau der Ein-/Zweifamilienhausgebiete und der Dorfkerne, jedoch fällt der IQA kleiner aus als in den übrigen BNT und auch der Whisker-Arm endet bei einem niedrigeren Indikatorenwert. Das deutet darauf hin, dass dieser BNT weniger anfällig für starke Abwasserkostensteigerungen durch demografische Veränderungen ist. Auch die innerstädtischen Mischgebiete weisen im Vergleich zu den übrigen BNT eine geringere Varianz der Werte auf, wobei der Median allerdings etwas höher liegt als bei den meisten anderen Wohn-BNT. Die Gewerbe-BNT weisen im Vergleich zu den Wohn-BNT Mediane der Indexwerte auf, die auf einem ähnlichen Niveau liegen. Allerdings fällt der IQA deutlich kleiner aus und endet auf einem niedrigeren Wertenniveau. Auch die Whisker-Arme gehen nur geringfügig über das dritte Quantil hinaus. Das könnte so interpretiert werden, dass die Entwicklung des Abwassertarifs in Gewerbegebieten ziemlich homogen verläuft und nur eine vergleichsweise geringe Anfälligkeit für Tarifschwankungen besitzt. Insbesondere zeigen sich keine statistischen Ausreißer, die deutlich über die üblichen Tarifschwankungen hinausgehen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass der

Tarifikostenmodellierung der Gewerbegebiete kein eigenständiges, dynamisches Modell zugrunde liegt, sondern lediglich aus der kommunalen Bevölkerungsentwicklung die Flächen- und damit die EGW-Entwicklung auf Basis von Faktoren abgeleitet werden. Das erklärt die Homogenität der Tarifentwicklungen in den Gewerbe-BNT sowie die fehlenden Ausreißer.

Das Ziel der Analyse der Modellergebnisse ist die Quantifizierung der unterschiedlichen Vulnerabilität der BNT im Hinblick auf die fiktiven Tarifikosten. Es wird untersucht, wie sensitiv die fiktiven Tarifikosten in den verschiedenen BNT auf die Szenarioannahmen reagieren. Dazu kann der zuvor genutzte Indexwert mit Basisjahr 2016 nicht genutzt werden, da er zu Fehleinschätzungen führen würde, wenn durch ein Szenario zwar schnell ein relativ deutlicher Tarifsprung stattfindet, der Tarif dann aber auf dem neuen Niveau stagniert. Hierbei würden die durchschnittlichen Tarifschwankungen aufgrund der vielen Folgejahre mit hohem oder niedrigem Indexwert überschätzt werden. Aus diesem Grund werden die relativen Tarifschwankungen zwischen den fünfjährigen Modellierungsperioden als Prozentwerte der Entwicklung zur jeweiligen Vorperiode berechnet. Damit sich bei der Mittelwertbildung für den gesamten Modellierungszeitraum positive und negative Tarifschwankungen nicht gegenseitig aufheben, werden die Variablen als absolute Werte berechnet. Der sich ergebende Wert wird in dieser Arbeit als periodischer „Tarifentwicklungskennwert“ (TEK) bezeichnet.

In SPSS (siehe Anhang F) werden die Kennwerte nach folgender Formel berechnet:

Formel 3: Berechnung des Tarifentwicklungskennwerts

$$TEK_t = ABS\left(\left(\frac{T_t}{T_{t-5}} - 1\right) * 100\right)$$

mit:

TEK_t = Tarifentwicklungskennwert im Jahr t

T_t = fiktiver Tarif im Jahr t

T_{t-5} = fiktiver Tarif in der Vorperiode (Jahr t - 5 Jahre)

Quelle: eigene Darstellung

Aus den Ergebnissen für alle Modellierungsperioden wird für alle 380 Modelldurchläufe jeweils der durchschnittliche TEK berechnet. Dieser gibt die durchschnittliche, absolute, prozentuale Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs je fünfjähriger Modellierungsperiode an. In Tabelle 30 sind für die BNT die Mittelwerte der durchschnittlichen TEK aufgelistet. Daneben sind die standardisierten z-Faktorwerte der durchschnittlichen TEK nach BNT angeführt. Aus den z-Faktorwerten lässt sich ableiten, wie stark die mittleren TEK der BNT vom Durchschnitt aller BNT abweichen. Aus der gemeinsamen Betrachtung beider Kennwerte kann eine qualitative Bewertung der unterschiedlichen

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Sensitivität der Tarifentwicklung in den BNT erfolgen, die eine Grundlage für die Ableitung von Vulnerabilitätsprofilen in Kapitel 10 darstellt. In Anbetracht der z-Werte aller BNT werden für den Bereich moderater Entwicklung Grenzwerte von -0,33 bzw. +0,33 festgelegt. Abweichungen von mehr als einem Drittel einer Standardabweichung vom Erwartungswert sind dementsprechend als niedrigere bzw. höherer Sensitivität zu bewerten.

Tabelle 30: Mittlere Tarifentwicklungskennwerte und zugehörige z-Faktorwerte nach BNT

| BNT-Nr. | | Mittelwert des Tarifentwicklungskennwerts | z-Faktorwert des mittleren Tarifentwicklungskennwerts |
|------------|------------|---|---|
| Block | Mittelwert | 3,241 | ,258 |
| | N | 12 | 12 |
| Zeile | Mittelwert | 3,844 | ,504 |
| | N | 24 | 24 |
| Platte | Mittelwert | 3,518 | ,371 |
| | N | 28 | 28 |
| MFH | Mittelwert | 3,448 | ,342 |
| | N | 40 | 40 |
| EFH_dicht | Mittelwert | 3,388 | ,318 |
| | N | 48 | 48 |
| EFH_locker | Mittelwert | 3,286 | ,276 |
| | N | 48 | 48 |
| Dorf | Mittelwert | 3,266 | ,268 |
| | N | 48 | 48 |
| Misch | Mittelwert | 1,515 | -,447 |
| | N | 16 | 16 |
| G_Indu | Mittelwert | 1,034 | -,644 |
| | N | 24 | 24 |
| G_Logi | Mittelwert | 1,028 | -,646 |
| | N | 8 | 8 |
| G_klein | Mittelwert | 1,068 | -,629 |
| | N | 40 | 40 |
| G_klass | Mittelwert | 1,068 | -,630 |
| | N | 36 | 36 |
| G_Techno | Mittelwert | 1,092 | -,620 |
| | N | 8 | 8 |
| Insgesamt | Mittelwert | 2,610 | ,000 |
| | N | 380 | 380 |

Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; n = 380

Für den BNT Blockrandbebauung ergibt sich ein überdurchschnittlicher mittlerer TEK. Im Durchschnitt dieses BNT verändert sich der fiktive Abwassertarif um rund 3,24 % gegenüber der Vorperiode (positive und negative Veränderungen). Dies liegt über dem Durchschnittswert aller BNT von 2,61 %. Dementsprechend zeigt auch der z-Wert für den BNT Blockrandbebauung einen [364]

überdurchschnittlichen Wert in Relation zu den übrigen BNT an, der aber nur moderat vom Erwartungswert 0 abweicht.

Dagegen zeigt sich beim BNT Zeilenbebauung mit einem mittleren TEK von 3,84 % und einem z-Wert von rund 0,5 eine deutlichere Abweichung, die als höhere Sensitivität im Vergleich zu den übrigen BNT interpretiert werden kann. Auch Geschosswohnungsbauten und Mehrfamilienhäuser weisen mit mittleren TEK um 3,5 % und z-Faktorwerten über 0,33 im Vergleich aller BNT eine höhere Sensitivität auf. Für die beiden Ein-/Zweifamilienhaustypen sowie den BNT Dorfkern/Ortslage ergeben sich geringere durchschnittliche TEK sowie z-Faktorwerte unter 0,33, sodass von einer moderaten Sensitivität der Tarifentwicklung gegenüber den Szenarioannahmen ausgegangen werden kann.

Mit einem mittleren TEK von 1,5 % und einem z-Faktorwert von -0,45 ist die Sensitivität des BNT Mischbebauung hinsichtlich der Tarifentwicklung niedriger als im Durchschnitt der BNT. Alle Gewerbe-BNT weisen einen mittleren TEK um 1 sowie z-Faktorwerte unter -0,6 auf, sodass für die Gewerbe-BNT ebenfalls eine niedrigere Sensitivität der Tarifentwicklung angenommen werden muss. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass für die Gewerbe-BNT keine Einwohnerentwicklung modelliert wird und in den Szenarien nur sehr eingeschränkt Veränderungen des Abwasseraufkommens für die Gewerbeflächen angenommen werden. Dementsprechend ergibt sich aus dem Modellansatz in Kombination mit den Szenarioannahmen, dass die fiktiven Abwassertarife in den Gewerbe-BNT im Mittel deutlich weniger schwanken als in den BNT für die die Einwohnerentwicklung modelliert wird.

Die Auflistung der relativen Entwicklung der fiktiven Abwassertarife nach BNT zeigt ein anderes Bild als die in den Kapiteln 9.4.1–9.4.4 aufgeführten absoluten Entwicklungen der fiktiven Abwassertarife. Die hohen absoluten Schwankungen der fiktiven Abwassertarife in den Ein-/Zweifamilienhaus-BNT fallen relativ betrachtet weniger stark aus. Dagegen fallen die relativen Tarifentwicklungen der BNT Zeilenbebauung, Geschosswohnungsbau und Mehrfamilienhäuser stärker aus, als dies auf Basis der Darstellung der absoluten Tarifentwicklungen zu vermuten wäre.

Diese unterschiedlichen Eindrücke hinsichtlich der Tarifentwicklung in den BNT sind auf die deutlichen Unterschiede der Höhe der fiktiven Tarife im Ausgangsjahr 2016 zurückzuführen. Da die Ein-/Zweifamilienhaus-BNT bei einem vergleichsweise hohen fiktiven Tarif im Jahr 2016 beginnen, erzeugen auch die vergleichsweise moderaten relativen Tarifentwicklungen hohe absolute Tarifschwankungen. Da die Mehrfamilienhaus-Typen von geringeren Tarifen als Ausgangswert ausgehen, resultieren auch höhere relative Tarifentwicklungen in geringeren absoluten Tarifentwicklungen, als bei den Ein-/Zweifamilienhaus-Typen.

9.5 Bewertung und Übertragbarkeit der Ergebnisse

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass es sich um ein deterministisches Modell handelt. Die Ergebnisse werden dementsprechend durch die zugrundeliegenden Annahmen vorherbestimmt. Zufällige Abweichungen, wie sie in der Realität aufgrund spezifischer Konstellationen vorkommen, gibt es in einem deterministischen Modell nicht. Stochastische oder probabilistische Modelle können Abweichungen aufgrund zufälliger Entwicklungen einzelner Variablen und Faktoren umfänglicher abbilden. Im vorliegenden, deterministischen Modell werden Abweichungen von der zu erwartenden Durchschnittsentwicklung lediglich in Form der Szenarien modelliert. Auch weist das Modell deutlich einschränkende Systemgrenzen auf, die sich auf den Kern der untersuchten Fragestellungen beziehen. Vernetzungen zu anderen städtischen Systemen oder Einflüsse anderer Rahmenbedingungen werden nicht berücksichtigt.

Des Weiteren liegen sowohl dem kleinräumigen Bevölkerungsmodell als auch dem Infrastrukturkostenmodell vereinfachende und idealtypische Annahmen zugrunde. Demzufolge kann es nicht der Anspruch sein, die lokalspezifische Kostenentwicklung exakt vorauszuberechnen. Vielmehr kann das Modell auf Basis einer eingeschränkten Datengrundlage die Verhältnismäßigkeiten der Abwasserkostenentwicklung für unterschiedliche BNT in verschiedenen Szenarien vorausberechnen. Insofern leistet es einen Beitrag zur empirischen Bestimmung der Vulnerabilität und Robustheit idealtypischer BNT gegenüber unterschiedlichen Herausforderungen durch die Rahmenbedingungen. Die Ergebnisse sind also mehr als verallgemeinerbare Tendenzen denn als lokalspezifische, exakte Kennwerte zu verstehen und auch dementsprechend zu interpretieren. Wie auch schon bei der Analyse der Hagelschäden (siehe Kapitel 8.4) können unterschiedliche Vulnerabilitäts- und Resilienzeigenschaften der BNT demzufolge lediglich auf Basis qualitativer Interpretation der empirischen Ergebnisse abgeleitet werden.

Weiterhin einschränkend zu berücksichtigen ist, dass die Szenarien aus Annahmen abgeleitet wurden, die der Autor getroffen hat. Sie beruhen also weder auf Szenarien aus anderen, in der Literatur diskutierten Studien, wie beispielsweise den koordinierten Bevölkerungsvorausberechnungen des Statistischen Bundesamtes, noch liegen ihnen literaturbasierte Annahmen zu den wahrscheinlichen Entwicklungen einzelner Komponenten zugrunde. Die Szenarien der vorliegenden Arbeit wurden so ausgewählt, dass sie den Korridor potenzieller Entwicklungen in wenigen Szenarien möglichst weit abdecken. Zudem wurden den Szenarien eingängige Titel zugeordnet, die anstelle kryptischer Zahlen-Buchstaben-Kombinationen bereits durch die Bezeichnung beim Betrachter Assoziationen wecken sollen, die eine einfachere Verknüpfung mit den dahinterliegenden Annahmen erlauben.

Nichtsdestotrotz hat das Modell aufgezeigt, wie auf Basis frei verfügbarer Daten und unter relativ geringem Aufwand – im Vergleich zu einem hydrologischen und fiskalischen Abwassermodell – die Abwasserkostenentwicklung in einer Fallregion in verschiedenen Szenarien abgeschätzt werden kann. Der Vergleich mit realen Daten zeigt, dass der im Modell berechnete, fiktive Abwassertarif nur geringfügig vom tatsächlichen Abwassertarif abweicht: So gibt beispielsweise die Stadtentwässerung Reutlingen für 2020 für einen exemplarischen Haushalt²³ Abwassergebühren von 102,20 € pro Person und Jahr an (vgl. Website SER). Das Modell berechnet im Status quo-Szenario für 2021 für die Wohn-BNT in der Stadt Reutlingen durchschnittlich einen fiktiven Abwassertarif von gerundet 104 € pro Person und Jahr (siehe Tabellenblatt „Infrastrukturkostenmodell“, Zelle D299). Für Eningen unter Achalm berechnet das Modell für 2021 einen fiktiven Tarif von 106 €, wohingegen die realen Gebühren in 2020 mit 100,62 € pro Person und Jahr (vgl. § 40 Abwassersatzung Eningen unter Achalm) geringer ausfallen.

Im Gegensatz zur Analyse der Hagelschadensdaten in Kapitel 8 ist keine Auswertung eines möglichen Einflusses der räumlichen Indikatoren Siedlungsdichte, Versiegelungsgrad und Straßendichte auf die Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs erfolgt. Dies ist wie folgt zu begründen: Das theoriebasierte Modell der Abwasserkostenentwicklung ist so angelegt, dass die Tarifentwicklungen aggregiert nach BNT je Kommune berechnet werden. Die Hochrechnung von Infrastrukturausstattung und -kosten erfolgt demzufolge anhand der Summe aller Flächen eines jeden BNT je Kommune und nicht spezifisch für jede BNT-Fläche. Der Einfluss der BNT-spezifisch erhobenen Raumindikatoren (siehe Kapitel 7.4) auf den fiktiven Abwassertarif kann demzufolge nicht bestimmt werden. Den fiktiven Abwassertarif spezifisch für einzelne BNT-Flächen zu berechnen wäre mit dem Modell zwar möglich, doch würde der Aufwand dafür exponentiell steigen. Demgegenüber muss von einer geringen Aussagekraft der potenziellen Ergebnisse ausgegangen werden, da das Modell deterministisch angelegt ist und nicht auf Realdaten basiert. Es wäre nicht nachvollziehbar, ob mögliche Korrelationen auch reale Zusammenhänge wiedergeben oder sich lediglich aus den idealtypischen Annahmen ergeben, die dem Modell zugrunde liegen.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass bei der Berechnung der Mittelwerte und z-Faktorwerte in Kapitel 9.4.5 keine Flächengewichtung erfolgt. Jeder Modelldurchlauf fließt in der gleichen Gewichtung in die Ergebnisse ein, auch wenn sich die zugrundeliegenden BNT-Flächen deutlich unterscheiden. Die Berücksichtigung der BNT-Flächen in allen 672 Modelldurchläufen hätte in den folgenden

²³ Annahme: Vier-Personen-Haushalt mit jährlich 160 m³ Abwasser und 132 m² versiegelter Grundstücksfläche, die an die Regenwasserentsorgung angeschlossen ist.

9. Analyse der Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung

Analyseschritten einen erheblichen Mehraufwand bedeutet und wurde daher nicht umgesetzt. Da die BNT zumindest in unterschiedlicher Anzahl in die Berechnung der Kennwerte eingeflossen sind (siehe unterschiedliche n in Tabelle 30), werden somit zumindest tendenziell die unterschiedlichen BNT-Flächenanteile an der Fallregion in den Kennwerten wiedergegeben.

Zur Übertragung des Modells auf eine andere Fallregion müssten die demografischen Kenndaten der Kommunen eingegeben, die BNT-Flächen abgegrenzt und die kleinräumigen Kennwerte aus dem IÖR-Monitor exportiert werden. Die Transferierbarkeit des methodischen Ansatzes in die Praxis ist folglich gegeben. In der praktischen Anwendung für lokale Planungsprozesse könnten die Modellierungsergebnisse beispielsweise verwendet werden, um tendenziell vulnerablere Siedlungsbereiche zu identifizieren und diese dann einer detaillierten Untersuchung auf Basis der konkreten Gegebenheiten zu unterziehen.

10. Relative Vulnerabilitätsprofile

Im Fazit zur Empirie werden die Ergebnisse der beiden empirischen Teile zusammengeführt und die Bezüge zwischen den Ergebnissen hergestellt. Anschließend werden aus den Ergebnissen die Vulnerabilitätsprofile je BNT abgeleitet. Im abschließenden Unterkapitel werden die dem empirischen Teil zuzuordnenden Forschungsfragen beantwortet und erläutert, welchen Beitrag die Ergebnisse zur Bestimmung urbaner Resilienz leisten können und welche Aspekte gegebenenfalls fehlen. Zudem wird diskutiert, inwiefern die verwendeten Methoden und Ergebnisse auch das gesetzte Ziel der Transferierbarkeit in die Planungspraxis erfüllen.

10.1 Zusammenführung der beiden empirischen Teile

Die Zielsetzung des empirischen Abschnitts der Arbeit lautet, anhand ausgewählter Herausforderungen und urbaner Systeme exemplarisch die Vulnerabilität unterschiedlicher Baustrukturtypen zu ermitteln. Die Ergebnisse dienen der Bestimmung der Robustheit der BNT und decken damit einen Teil der physischen Dimension der urbanen Resilienz ab. Der empirische Teil sollte zudem widerspiegeln, dass das Resilienzkonzept im theoretischen Diskurs die Unwägbarkeiten und Ambivalenz der Entwicklung der Rahmenbedingungen sowie die Komplexität urbaner Systeme adressiert. Daher wurde als Grundlage zur Bestimmung der Robustheit, anstelle der Fokussierung auf eine empirische Analyse für ein urbanes System unter einer Herausforderung, ein zweiteiliger empirischer Ansatz gewählt. Die empirischen Beispiele der Analyse von Hagelschäden bei Gebäuden und Abwasserkostensteigerungen im Zuge demografischer Entwicklungen unterscheiden sich sowohl im Hinblick auf die Herausforderungen (Klimawandel und Demografischer Wandel) als auch auf die betroffenen Systemarten (bauliche Strukturen und Leitungsinfrastrukturen) deutlich voneinander. Sie spiegeln damit die Spannweite der Komplexität des Resilienzkonzeptes zumindest ansatzweise wider. Zur besseren Handhabbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Analyseschritte wurden die Analysen in den beiden empirischen Teilen zunächst getrennt voneinander durchgeführt. Die Ergebnisse werden nun in diesem Kapitel zusammengeführt. Neben der inhaltlichen Verknüpfung durch die Zielsetzung der Ermittlung der Robustheit verbindet beide Teile der methodische Ansatz der BNT, der die Analyseebene vorgibt.

Mit dem Klimawandel und dem Demografischen Wandel wurden für die empirischen Analysen zwei Megatrends als Rahmenbedingungen der urbanen Systeme gewählt, die in der Risikoforschung, in der Resilienzforschung und auch in der Planungsliteratur intensiv diskutiert werden (siehe Kapitel 3

10. Relative Vulnerabilitätsprofile

& 5) und sich in unterschiedlicher Weise auf urbane Systeme auswirken. Auch die exemplarisch ausgewählten urbanen Systeme unterscheiden sich in ihrer Art und den Einflussfaktoren deutlich voneinander. Dass für die beiden Analysen eine derartige Konstellation unterschiedlicher Herausforderungen und urbaner Systeme gewählt wurde, ist auch als Abgrenzung auf methodischer Ebene gegenüber klassischen Vulnerabilitätsanalysen zu verstehen, die überwiegend ein urbanes System einer konkreten Herausforderung aussetzen.

Durch die Zusammenführung der BNT-spezifischen Ergebnisse der beiden empirischen Teile möchte der Autor explorativ untersuchen, ob sich im Hinblick auf die Vulnerabilität gegenüber unterschiedlichen Herausforderungen BNT identifizieren lassen, die aufgrund ihrer baustrukturellen Eigenschaften eine generell höhere oder niedriger Vulnerabilität aufweisen (siehe fünfte Forschungsfrage). Die Ergebnisse können im positiven Fall Erkenntnisse für die Planung liefern, die in künftige Planungsentscheidungen einfließen können. Sollten sich keine generell unterschiedlichen Vulnerabilitäten identifizieren lassen, kann dies als Hinweis darauf verstanden werden, dass die generelle Vulnerabilität eher auf der Objektebene analysiert werden sollte. In jedem Fall werden die Ergebnisse aber aufzeigen, in welche Richtung weiterer Forschungsbedarf besteht.

10.2 Vulnerabilitätsprofile der BNT

Die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der beiden empirischen Teile hat bereits aufgezeigt, dass sich auf Basis der Daten keine quantitativen Vulnerabilitätskennwerte der BNT bestimmen lassen (siehe Kapitel 8.4 & 9.5). Für die Quantifizierung der Vulnerabilität fehlen im Sinne literaturtypischer Vulnerabilitätsverständnisse (siehe Kapitel 4) Kennwerte zur Exposition und Bewältigungskapazität der BNT. In dieser Arbeit wurde in den vorangegangenen Kapiteln lediglich der Aspekt der Sensitivität untersucht. Die berechneten Ergebnisse als BNT-spezifische Vulnerabilitätskennwerte zu bezeichnen würde nicht dem in der Literatur etablierten Vulnerabilitätsverständnis entsprechen. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass tiefergehende Analysen der Exposition und Bewältigungskapazitäten der BNT für beide empirischen Teile den Rahmen der Arbeit überschreiten würden. Um die ermittelten Ergebnisse trotzdem in Vulnerabilitätsprofile überführen zu können, wird vereinfachend nur der Aspekt der Sensitivität zur Bestimmung der Vulnerabilität berücksichtigt. Die Vulnerabilitätsprofile unterliegen daher den Annahmen, dass sich die Exposition der BNT in der Fallregion im Mittel nicht voneinander unterscheidet. Da es sich bei der Fallregion um einen flächenmäßig beschränkten Raum von rund 250 km² handelt, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass sich klimatische Veränderungen und demografische Entwicklungen in der gesamten Fallregion gleichermaßen niederschlagen (gleiche Exposition). Weil sich auch die rechtlichen

und institutionellen Rahmenbedingungen auf BNT-Ebene innerhalb der Fallregion nur moderat voneinander unterscheiden dürften, kann auch für die Bewältigungskapazitäten der BNT im Mittel von einem vergleichbaren Niveau ausgegangen werden. Da die in der Realität gegebenen, unterschiedlichen Spezifika auf Objektebene durch die Analysen auf BNT-Ebene nicht berücksichtigt werden, lassen sich die beiden getroffenen, verallgemeinernden Annahmen auch mit dem methodischen Analyseansatz begründen. Oberhalb der Objektebene ist beispielsweise auch der Einfluss unterschiedlicher Akteure bzw. Eigentümer auf die Bewältigungskapazität geringer als bezogen auf einzelne Objekte. Im Ergebnis können aufgrund dieser Annahmen allerdings lediglich qualitative Aussagen zur Vulnerabilität der BNT getroffen werden, die sich auf die Relation der Vulnerabilität zwischen den BNT in der Fallregion beziehen. So werden quantitative Vulnerabilitätskennwerte vermieden, die sich unter abweichenden Rahmenbedingungen (Exposition, Bewältigungskapazität) der BNT in anderen Fallregionen anders darstellen würden. Nichtsdestotrotz lassen sich so Aussagen zur unterschiedlichen Vulnerabilität der BNT ableiten, die zur exemplarischen Bildung von Profilen herangezogen werden können. Grundlage der Einschätzungen sind bezogen auf die Hagelschäden die Boxplots der Schadensquotienten nach BNT (siehe Abbildung 70 & Abbildung 71, S. 306f.) sowie die Kreuztabelle der z-transformierten Schadensindikatoren (siehe Tabelle 19, S. 318). Im Hinblick auf die qualitative Bewertung der Entwicklung des fiktiven Abwassertarifs in den BNT werden die in Tabelle 30 (siehe S. 364) dargestellten mittleren TEK sowie die z-Werte zugrunde gelegt.

Für den BNT **traditionelle Blockstrukturen** zeigt sich in den Boxplots in Kapitel 8.2.1 im Hinblick auf die Schadensanfälligkeit gegenüber Hagelschäden auf Basis der beiden untersuchten Schadensindikatoren eine durchschnittliche, mittlere Schadensanfälligkeit und eine ebenso moderate Varianz der Schadensindikatorenwerte. Der Schadensquotient entspricht im Hinblick auf Median und IQA nahezu dem Durchschnitt aller BNT. Bei dem Geschossflächenschaden liegen beide Lagemaße dagegen deutlich unter dem Durchschnitt. Die z-Faktorwerte der Schadensindikatoren (siehe Tabelle 19, S. 318) bestätigen die optische Einschätzung einer relativ durchschnittlichen bis niedrigen Schadensanfälligkeit dieses BNT. Dabei müssen jedoch die hohen Fallzahlen der beiden Ein-/Zweifamilienhaus-BNT berücksichtigt werden, die sich dementsprechend stark auf die Durchschnittswerte aller Schadensfälle auswirken (siehe Kapitel 7.3). Da allerdings die Boxplots und die z-Werte der Schadensindikatoren grundsätzlich die gleichen Tendenzen aufweisen und der z-Faktorwert des Geschossflächenschadens deutlich unter dem unteren Grenzwert von -0,33 (siehe Kapitel 8.2.3) liegt, kann die Hagelvulnerabilität in diesem BNT als *niedriger* im Vergleich zu den übrigen BNT eingeschätzt werden.

Tabelle 31: Relative Vulnerabilitätsprofile der BNT

| BNT | Vulnerabilität: Gebäude & Hagelschäden | Vulnerabilität: Abwasserinfra- struktur & Demografie | Einschätzung genereller Vulnerabilität |
|--|---|---|---|
| Traditionelle Blockstrukturen | niedriger | moderat | moderat |
| Zeilenbebauung | niedriger | höher | höher |
| Geschosswohnungsbau in offener Bauweise | niedriger | höher | höher |
| Sonstige Mehrfamilienhäuser | niedriger | höher | höher |
| Dichte Ein-/Zweifamilienhausbe- bauung | moderat | moderat | moderat |
| Lockere Ein-/Zweifamilienhausbe- bauung | höher | moderat | höher |
| Dorfkern/Ortslage | moderat | moderat | moderat |
| Innerstädtische Mischbebauung | niedriger | niedriger | niedriger |
| Industriegebiete | moderat | niedriger | moderat |
| Logistikparks | niedriger | niedriger | niedriger |
| kleinteilige Gewerbegebiete | moderat | niedriger | moderat |
| klassische Gewerbegebiete | höher | niedriger | höher |
| Technologieparks | - | niedriger | niedriger |

Quelle: eigene Darstellung

Auf Basis des in Tabelle 30 aufgeführten TEK sowie des z-Faktorwertes des TEK wird die Vulnerabilität des BNT Blockrandbebauung im Hinblick auf die Abwasserinfrastrukturkosten als *moderat* eingeschätzt, da der z-Faktorwert innerhalb der zuvor festgelegten Schwellenwerte einer moderaten Tarifentwicklung liegt (+/- 0,33, siehe Kapitel 9.4.5). Das bedeutet, dass der BNT Blockrandbebauung moderate Schwankungen in der Tarifentwicklung aufweist, die weitgehend dem Durchschnitt aller BNT entsprechen. In Tabelle 31 sind die qualitativen Einschätzungen für die beiden Teilergebnisse des empirischen Abschnitts für alle BNT aufgeführt. In Zusammenführung der Ergebnisse der beiden empirischen Abschnitte wird davon ausgegangen, dass unterschiedliche Bewertungen der Vulnerabilität sich nicht gegenseitig aufheben. Für die generelle Bewertung der Vulnerabilität ist daher immer die qualitative Vulnerabilitätsbewertung ausschlaggebend, die höher ist. Für den BNT Blockrandbebauung bedeutet das, dass die generelle Vulnerabilität als *moderat* einzuschätzen ist. Dementsprechend kann bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen an Veränderungen der Rahmenbedingungen davon ausgegangen werden, dass sich die Veränderungen in Flächen des BNT Blockrandbebauung durchschnittlich niederschlagen. Dementsprechend muss dem BNT keine gesonderte Aufmerksamkeit zukommen, er sollte aber auch nicht nachrangig behandelt werden.

Die Boxplots der Schadensindikatoren für den BNT **Zeilenbebauung** zeigen im Vergleich zu den anderen BNT einen niedrigen Median sowie einen geringen IQA. Das bedeutet, dass die Schadenswerte weitgehend auf einem niedrigeren Niveau liegen als im Durchschnitt der BNT und auch die Varianz des überwiegenden Teils der Schadenswerte vergleichsweise gering ausfällt. Zwar weisen die beiden z-standardisierten Schadensindikatorenwerte unterschiedliche Vorzeichen auf, doch liegt der z-Wert des Schadensquotienten unter 0,1 und damit im moderaten Bereich, der z-Wert des Geschossflächenschadens dagegen deutlich im negativen Bereich. Dies lässt die Einschätzung zu, dass die Vulnerabilität des BNT Zeilenbebauung im Hinblick auf Hagelschäden *niedriger* einzuschätzen ist, als im Durchschnitt. Der z-Wert des durchschnittlichen TEK fällt überdurchschnittlich hoch aus, sodass die Vulnerabilität im Hinblick auf die fiktive Tarifentwicklung als *höher* bewertet wird. Zusammengefasst liegt die Vulnerabilität gegenüber verschiedenartigen Herausforderungen *höher* als der Durchschnitt aller BNT, sodass Flächen des Typs Zeilenbebauung bei Planungen besonders berücksichtigt werden sollten.

Für den BNT **Geschosswohnungsbau in offener Bauweise** zeigen die Schadensindikatoren durchweg die niedrigsten Werte aller Wohn-BNT. Die Kennwerte zum Geschossflächenschaden der Gewerbe-BNT sind nur sehr bedingt aussagekräftig, da für die Schätzung der Geschossflächen je Gebäude in Gewerbegebieten keine Literaturkennwerte zur Verfügung stehen. Daher werden die Boxplots des Geschossflächenschadens der Gewerbe-BNT nicht in den Vergleich der Wohn-BNT einbezogen. Für die industriellen Geschosswohnungsbauten bedeutet das, dass dieser BNT sowohl im Hinblick auf die Mediane als auch auf die IQA die niedrigsten Werte für beide Schadensindikatoren aufweist. Zudem fällt die Varianz der Werte vergleichsweise gering aus und es gibt weniger statistische Ausreißer, als beispielsweise bei den Ein-/Zweifamilienhaustypen. Auch die z-Werte der Schadensindikatoren bestätigen, dass die Vulnerabilität gegenüber Hagel *niedriger* einzuschätzen ist als im Durchschnitt der BNT. Da der TEK und der zugehörige z-Wert deutlich über dem Durchschnitt bzw. Erwartungswert liegen, ist die relative Vulnerabilität im Hinblick auf die Tarifentwicklung als *höher* zu bewerten. Im BNT Geschosswohnungsbau fallen die Vulnerabilitäten für die beiden untersuchten urbanen Systeme und Herausforderungen also gegensätzlich aus. Die Interpretation der beiden Teilergebnisse im Sinne der Zusammenführung zu einer Gesamtvulnerabilität ist nicht trivial, da die beiden gegensätzlichen Ergebnisse nicht zwangsläufig zu einem moderaten Mittelwert ausgeglichen werden können. Wenn ein BNT eine vergleichsweise hohe Vulnerabilität in einem Bereich aufweist, bedeutet das auch für seine gesamte Vulnerabilität, dass diese als tendenziell höher einzuschätzen ist, da der BNT grundsätzlich für schädliche Entwicklungen (in diesem Fall Tarifkostenschwankungen) anfällig ist. Die niedrigere Vulnerabilität im Hinblick auf Hagelschäden gleicht dies

10. Relative Vulnerabilitätsprofile

nicht aus, weil die erhöhte Abwasserkostenvulnerabilität unabhängig von der Schadensvulnerabilität besteht und einen Handlungsbedarf erzeugt. Die niedrigere Hagelschadensvulnerabilität weist hier lediglich auf geringere Handlungserfordernisse im Vergleich zu anderen BNT im Hinblick auf Hagelschäden hin.

Die Hagelschadensvulnerabilität der **sonstigen Mehrfamilienhäuser** entspricht hinsichtlich des Schadensquotienten nahezu dem BNT Zeilenbebauung, sowohl was den Median als auch den Interquartilsbereich angeht. Allerdings sind für den BNT Mehrfamilienhäuser deutlich mehr statistische Ausreißer verzeichnet als bei der Zeilenbebauung. Bezüglich des Geschossflächenschadens weist der Boxplot für den BNT eine höhere Schadensanfälligkeit aus, als bei den bisher betrachteten BNT. Median, IQA und Whisker-Arme liegen geringfügig über dem Niveau der anderen Mehrfamilienhaus-BNT. Die z-transformierten Schadensindikatorenwerte weisen im Vergleich zum Durchschnitt aller BNT auf eine *niedrigere* Hagelvulnerabilität hin. Dagegen wird die Vulnerabilität der Abwasserinfrastrukturen gegenüber den angenommenen demografischen Entwicklungen auf Basis der beiden Ergebniskennwerte des zweiten empirischen Abschnitts als *höher* bewertet.

Der Boxplot des Schadensquotienten für die **dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung** entspricht, was den Median und den IQA sowie die Whisker-Arme angeht, nahezu dem der Blockrandbebauung. Allerdings zeigt sich eine deutlich höhere Anzahl von mittleren und extremen Ausreißern, was dazu führt, dass das arithmetische Mittel der Schadensquotienten über dem der Blockrandbebauung liegt. Das heißt, dass der BNT dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung für die Mehrheit der Objekte zwar moderate Schadensquotienten aufweist, allerdings auch überdurchschnittlich anfällig für sehr hohe Schadensquotienten ist. Bei dem Geschossflächenschaden wird die höhere Schadensvulnerabilität der dichten Ein-/Zweifamilienhausbebauung im Vergleich zu den übrigen BNT noch deutlicher, denn das erste Quartil liegt in etwa auf dem Niveau des dritten Quartils der BNT Zeilenbebauung und Geschosswohnungsbau. Zudem fällt der IQA auffällig groß aus und auch die Ausreißer liegen bei höheren Indikatorwerten. Daraus kann geschlossen werden kann, dass in diesem BNT vergleichsweise hohe Schäden je m² Geschossfläche anfallen. Beide z-Wert der Schadensindikatoren liegen zwar im positiven Bereich, allerdings noch unter dem festgelegten Schwellenwerten, so dass lediglich von einer *moderaten* Vulnerabilität ausgegangen werden kann. Die Vulnerabilität der Abwasserinfrastrukturkosten gegenüber demografischen Entwicklungen wird als *moderat* bewertet, da der z-Wert des mittleren TEK mit 0,318 knapp unterhalb des festgelegten Schwellenwertes liegt. Die empirischen Ergebnisse weisen insgesamt auf eine *moderate* Vulnerabilität dieses BNT hin, sodass im Umgang mit sich verändernden Rahmenbedingungen in der Planung kein besonderes

Augenmerk auf die dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung gelegt werden muss. Beim BNT **lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung** zeigen die Boxplots für beide Schadensindikatoren ähnliche Lagemaße an, wie beim vorherigen BNT. Allerdings liegen sowohl die Mediane als auch die dritten Quartile nochmals höher. Dementsprechend fällt der IQA größer aus. Auch die Whisker-Arme und die Ausreißer belegen im Vergleich zu den anderen BNT eine *höhere* Hagelvulnerabilität. Diese Einschätzung wird auch durch den deutlich positiven z-Wert des Geschossflächenschadens gestützt. Hinsichtlich der Abwassertarifentwicklung liegt der z-Wert zwar im positiven Bereich, allerdings unter dem Grenzwert von 0,33, sodass die Vulnerabilität der Abwasserinfrastruktur als *moderat* eingeschätzt wird. In der Zusammenführung beider Teilergebnisse überwiegt die erhöhte Hagelvulnerabilität, die dazu führt, dass die Vulnerabilität des BNT generell als *höher* einzuschätzen ist. In der Planung und Folgenabschätzung sollte der BNT daher erhöhte Aufmerksamkeit erfahren.

Hinsichtlich der Schadensquotienten weist der BNT **Dorfkern** von allen Wohn-BNT den höchsten Median und den größten IQA auf. Zudem erstreckt sich auch der Whisker-Arm über einen weiteren Wertebereich als in den übrigen Wohn-BNT. Der Großteil der Schadensquotienten weist demzufolge eine vergleichsweise große Streuung auf. In Bezug auf den Indikator Geschossflächenschaden zeigt dieser BNT dagegen moderate Lagemaße, die auf einem deutlich geringeren Niveau, aber noch über den Mehrfamilienhaus-BNT liegen. Auch die z-Werte der beiden Schadensindikatoren geben ein gegensätzliches Bild ab: während die Schadensquotienten im Vergleich zu den übrigen BNT zwar überdurchschnittlich hoch ausfallen, aber noch dem moderaten Bereich zuzuordnen sind, liegen die Geschossflächenschäden mit einem durchschnittlichen z-Wert von -0,249 im negativen Bereich. Aufgrund der gegensätzlichen z-Werte der beiden Indikatoren und da kein Indikator die Schwellenwerte überschreitet, wird die Hagelvulnerabilität insgesamt als *moderat* bewertet. Der z-Wert des TEK liegt im *moderaten* Bereich. Da die Bewertung der Ergebnisse der beiden empirischen Abschnitte übereinstimmt, ist die Vulnerabilität des BNT Dorf kern insgesamt als *moderat* einzuschätzen.

Mischbebauungen weisen im Vergleich zu Dorfkernen deutlich geringere Schadensquotienten auf. Der Median liegt auf dem sehr niedrigen Niveau der Geschosswohnungsbauten, allerdings erstreckt sich der IQA bis auf ein moderates Niveau von knapp 5 % und auch der Whisker-Arm endet deutlich über den BNT, denen eine niedrigere Schadensvulnerabilität zugeschrieben wurde. Der Boxplot zeigt für die Geschossflächenschäden ein generell niedriges Niveau an. Beide z-transformierten Schadensindikatoren zeigen im Verhältnis zu den übrigen BNT unterdurchschnittliche Indikatorwerte an, die im Fall der Geschossflächenschäden auch unterhalb des festgelegten Grenzwertes liegen. Da die optische Bewertung der Boxplots mit den z-Werten übereinstimmt, wird die

10. Relative Vulnerabilitätsprofile

Hagelvulnerabilität in diesem BNT als *niedriger* beurteilt. Auch der z-Wert des TEK indiziert eindeutig eine *niedrigere* Vulnerabilität. Zusammengefasst ist die Vulnerabilität in diesem BNT als generell *niedriger* einzuschätzen, sodass Flächen dieses Typs bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen eine nachrangige Bedeutung im Vergleich zu den übrigen BNT zukommen kann.

Industriegebiete weisen von allen BNT den höchsten Median des Schadensquotienten auf. Im Verhältnis zu den Wohn-BNT fällt auch der IQA relativ groß aus und das dritte Quantil liegt auf einem hohen Niveau. Im Vergleich zu den übrigen Gewerbe-BNT umfasst der IQA jedoch nur einen moderaten Wertebereich. Auch der Whisker-Arm endet, im Vergleich der Gewerbe-BNT, auf einem geringen Niveau. Der Geschossflächenschaden liegt, wie bei allen Gewerbegebieten, auf einem derart geringen Niveau, dass daraus keine aussagekräftigen Einschätzungen abgeleitet werden können. Ausschlaggebend für dieses Ergebnis dürfte die Annahme der Geschossfläche je Gewerbeobjekt sein. Für Lager- und Produktionshallen werden hohe Geschossflächenzahlen angenommen, die einen niedrigen Geschossflächenschaden begünstigen. Zur Einschätzung der Hagelvulnerabilität wird daher als quantitativer Kennwert lediglich der z-Wert des Schadensquotienten herangezogen. Aus diesem lässt sich, in Übereinstimmung mit der Bewertung der Boxplots, auf eine *moderate* Hagelvulnerabilität schließen. Die relative Tarifentwicklung fällt in Industriegebieten im Vergleich zu den übrigen BNT unterdurchschnittlich gering aus und liegt mit -0,64 unter dem festgelegten Grenzwert. Die Vulnerabilität im Hinblick auf die Abwasserinfrastrukturkosten ist daher als *niedriger* zu bewerten. Hierbei sind allerdings die in Kapitel 9.4.5 und 9.5 beschriebenen Einschränkungen der Aussagekraft der für die Gewerbe-BNT modellierten Abwassertarifentwicklungen zu berücksichtigen. Diese haben zur Folge, dass alle Gewerbe-BNT im Verhältnis zum Durchschnitt aller BNT *niedrigere* z-Werte des mittleren TEK aufweisen. In der Zusammenführung der beiden empirischen Teilergebnisse weisen Industriegebiete eine tendenziell *moderate* Vulnerabilität auf.

Für die **Logistikparks** liegt der Median der Schadensquotienten dagegen zwar deutlich niedriger als der Median der Schadensquotienten in Industriegebieten, aber die Indikatorwerte weisen einen größeren IQA auf, was bedeutet, dass dieser BNT tendenziell auch anfälliger für höhere Schäden ist. Allerdings zeigt der z-Wert des Schadensquotienten, dass der BNT unterdurchschnittlich anfällig gegenüber Hagel ist und die Vulnerabilität dementsprechend *niedriger* einzuschätzen ist. Auch die Vulnerabilität der Abwasserinfrastrukturkosten ist als *niedriger* zu bewerten. Dementsprechend fällt die Vulnerabilität in Logistikparks generell *niedriger* aus.

Der Median der Schadensquotienten der **kleinteiligen Gewerbegebiete** liegt im Vergleich aller BNT auf einem moderaten Niveau. Allerdings fällt der IQA verhältnismäßig groß aus und auch die weitere

Streuung der Werte, die über die Whisker-Arme und die Ausreißer eingezeichnet ist, deutet auf ein erhöhtes Maß an Schadensanfälligkeit hin. Der z-Wert des Schadensquotienten bestätigt allerdings eindeutig die Einschätzung einer *moderaten* Hagelvulnerabilität. Die Tarifkostenentwicklung schwankt dagegen weniger stark, als im Durchschnitt aller BNT, sodass diesbezüglich eine *niedrigere* Vulnerabilität anzunehmen ist. Zusammengefasst ist die Vulnerabilität für diesen BNT daher als *moderat* zu bewerten.

Klassische Gewerbegebiete sind auf Basis der Lagemaße des Schadensquotienten sowohl im Vergleich zu den Wohn-BNT als auch im Vergleich zu den Gewerbe-BNT als überdurchschnittlich vulnerabel gegenüber Hagelstürmen einzuschätzen. Fällt der Median noch moderat aus, so erstreckt sich der IQA bis in einen hohen Wertebereich und der Whisker-Arm endet auf dem höchsten Niveau aller BNT. Es muss also davon ausgegangen werden, dass in diesem BNT durchaus vergleichsweise hohe Schäden anfallen und somit eine *höhere* Vulnerabilität gegenüber Hagelereignissen besteht. Diese Einschätzung wird durch den z-Wert des Schadensquotienten bestätigt, der über dem Schwellenwert von 0,1 liegt. Auch in klassischen Gewerbegebieten ist die Vulnerabilität der Abwasserinfrastrukturen auf Basis des z-Wertes der relativen Entwicklung des fiktiven Abwassertarifes als *niedriger* einzuschätzen. Im Hinblick auf die generelle Vulnerabilität dieses BNT führt die hohe Hagelvulnerabilität zur Gesamteinschätzung einer *höheren* Vulnerabilität im Vergleich zu den übrigen BNT.

Für den BNT **Technologieparks** liegen in der Fallregion zu geringe Schadensfallzahlen vor, sodass kein Boxplot erstellt werden kann. Auch die Bewertung der Tarifentwicklung basiert auf lediglich acht Modelldurchläufen. Der negative z-Wert des mittleren TEK ist daher nur bedingt aussagekräftig. Die *niedrigere* Vulnerabilität der Abwasserinfrastruktur in diesem BNT führt auch zu der Einschätzung, dass die Vulnerabilität insgesamt *niedriger* zu bewerten ist.

In der Gesamtbetrachtung aller BNT (siehe Tabelle 31, S. 372) ist erstaunlich, dass lediglich für die BNT „Mischbebauung“ und „Logistikpark“ in beiden empirischen Abschnitten Ergebnisse erzielt wurden, die die gleiche Tendenz aufweisen und nicht einer moderaten Vulnerabilität entsprechen. Nur für diese BNT lässt sich also eine eindeutige Tendenz in Richtung einer generell niedrigeren Vulnerabilität erkennen. Daneben gibt es mit den BNT „dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung“ und „Dorfkern“ zwei BNT, die in beiden empirischen Teilen jeweils moderate Ergebnisse aufweisen. Die generelle Vulnerabilität weicht in diesen BNT dementsprechend nicht wesentlich vom Mittel der gesamten Fallregion ab.

Für alle anderen BNT weichen die Ergebnisse der beiden empirischen Abschnitte in der Tendenz voneinander ab. Überwiegend wird auch eine der beiden untersuchten Vulnerabilitäten als *höher*

10. Relative Vulnerabilitätsprofile

eingeschätzt. In der Gesamtbewertung sollte die erhöhte Vulnerabilität in einem Bereich im Hinblick auf die generelle Vulnerabilität eines BNT herausgestellt werden, da sich aus ihr Anpassungserfordernisse für den BNT ergeben, die im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung auch weitere Vulnerabilitätsanalysen nach sich ziehen sollten. Aus diesem Grund kann auch eine als erhöht bewertete Vulnerabilität in einem der beiden empirischen Teile nicht durch eine niedrige Vulnerabilität in dem anderen empirischen Abschnitt ausgeglichen werden. Die Anpassungserfordernisse, die sich beispielsweise durch eine hohe Hagelschadensvulnerabilität ergeben, werden nicht durch eine niedrigere Abwasserinfrastrukturvulnerabilität aufgehoben.

10.3 Reflexion der empirischen Ergebnisse und Vulnerabilitätsprofile

Bei der weiteren Verwendung und Interpretation der in diesem Kapitel vorgestellten Vulnerabilitätsprofile sind die in den Kapitel 8.4 und 9.5 dargelegten Einschränkungen der Datengrundlagen und Methodik zu berücksichtigen. Auch wird zur Verdeutlichung an dieser Stelle noch einmal herausgestellt, dass die in Tabelle 31 (siehe S. 372) dargestellten Bewertungen der Vulnerabilität der einzelnen BNT nicht als Einschätzungen einer absolut hohen oder niedrigen Vulnerabilität zu verstehen sind, sondern sich lediglich auf das Verhältnis der Vulnerabilität zwischen den BNT beziehen. Es ist also beispielsweise durchaus denkbar, dass alle BNT eine absolut hohe Vulnerabilität aufweisen, diese aber im BNT Zeilenbebauung niedriger ausfällt als in Mehrfamilienhäusern oder der dichten Ein-/Zweifamilienhausbebauung. Die beschriebenen Vulnerabilitätsprofile ersetzen also keine spezifische Vulnerabilitätsanalyse, die die lokalen Gegebenheiten einer Fallregion einbezieht. Bei der in diesem Kapitel beschriebenen Vulnerabilitätsanalyse handelt es sich um eine vereinfachte Anwendung des Vulnerabilitätskonzeptes, das in den in Tabelle 31 aufgeführten, relativen Vulnerabilitätsprofilen der BNT mündet.

Nichtsdestotrotz leisten die Ergebnisse einen Beitrag zur Qualifizierung des Baunutzungstypenansatzes und lassen auch tendenzielle Aussagen zu unterschiedlichen Vulnerabilitäten in den verschiedenen BNT zu. Zwar beruhen die Ergebnisse lediglich auf der exemplarischen Analyse von zwei Herausforderungen (Hagelereignis, demografische Entwicklungen) und zwei Systemen (Gebäude, Abwasserinfrastruktur), doch decken diese Beispiele bereits eine große Spannweite der Unterschiedlichkeit der Herausforderungen und urbanen Systeme ab. Die Anfälligkeit baulicher Strukturen gegenüber äußeren Klimaeinflüssen oder die Kostenvulnerabilität von technischen Leitungsinfrastrukturen könnten in ähnlicher Form auch auf andere urbane Systeme zutreffen. Zur weiteren Qualifizierung der Erkenntnisse sind jedoch zusätzliche Vulnerabilitätsanalysen für weitere Herausforderungen (siehe Kapitel 3) und städtische Systeme (siehe Kapitel 2) erforderlich. Erst auf Basis

vielfältiger und unterschiedlicher Vulnerabilitätsanalysen lassen sich differenziertere Aussagen zur generellen Vulnerabilität treffen. Die in dieser Arbeit vorgestellte, explorative Vorgehensweise zeigt jedoch auf, wie sich dies inhaltlich argumentieren und methodisch umsetzen lässt.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse ist stets der räumliche Kontext der Fallregion zu berücksichtigen. Gerade in Bezug auf die Hagelschäden muss beachtet werden, dass es sich bei der Fallregion Reutlingen um eine Region handelt, in der es generell häufiger zu Hagelereignissen kommt (siehe Abbildung 9, S. 86) und in der Siedlungsflächen entsprechend stärker gegenüber Hagelereignissen exponiert sind. Einschätzungen einer generell hohen Vulnerabilität einzelner BNT, die auf einer hohen Vulnerabilität gegenüber Hagel basieren, treffen mitunter nicht auf Regionen zu, in denen es selten bis keine Hagelereignisse gibt. Bei den Einschätzungen der Vulnerabilität der BNT muss berücksichtigt werden, dass für die Fallregion Reutlingen einheitliche Expositionen der BNT-Flächen und ähnliche Bewältigungskapazitäten unterstellt wurden, die für andere Anwendungsfälle neu zu bestimmen sind.

Für die Planungspraxis sind die Ergebnisse insofern von Bedeutung, als dass sie bereits in der vorliegenden Form Hinweise darauf liefern, welchen BNT im Planungsprozess erhöhte Aufmerksamkeit aufgrund potenziell erhöhter Vulnerabilität zukommen sollte. Zur Ableitung konkreter Handlungsmaßnahmen sind allerdings tiefergehende Analysen und eine weitere Ausdifferenzierung der Ergebnisse erforderlich. Insofern ist der Beitrag zur Qualifizierung der Baunutzungstypen in der theoretischen Debatte als höher zu bewerten, als für die konkrete und unmittelbare Anwendung in der Praxis. In der Theorie zeigen die Vulnerabilitätsprofile aber einen Ansatz auf, der für differenziertere und aussagekräftigere Ergebnisse weiter untersucht werden sollte.

Auf Grundlage der empirischen Ergebnisse aus den beiden vorangegangenen Oberkapiteln lässt sich im Hinblick auf die vierte Forschungsfrage „Welche räumlichen Indikatoren beeinflussen die Vulnerabilität und Resilienz städtischer Systeme?“ festhalten, dass für die drei untersuchten Raumindikatoren kein statistisch aussagekräftiger Zusammenhang zwischen den Hagelschadensdaten und den räumlichen Indikatoren festgestellt werden konnte. Da die Raumindikatoren differenziert auf Ebene eines 100 m-Rasters vorliegen, kann davon ausgegangen werden, dass die Unterschiede zu einer Untersuchung auf Objektebene marginal ausfallen würden. Dementsprechend kann für die untersuchten Raumindikatoren festgehalten werden, dass kein Zusammenhang zur Vulnerabilität gegenüber Hagel besteht. Dies bedeutet nicht, dass sich für andere Raumindikatoren nicht möglicherweise doch ein solcher Zusammenhang nachweisen lässt. Untersuchungen zur Korrelation zwischen Geschossflächenzahl oder Gebäudeoberfläche zur Hagelschadensvulnerabilität könnten hierzu

10. Relative Vulnerabilitätsprofile

interessante Erkenntnisse liefern. Die Boxplots zum Geschossflächenschaden je BNT (siehe Abbildung 71, S. 307) zeigen hierzu grundlegende Tendenzen auf, die es weiter zu qualifizieren gilt. Insgesamt kann für die vierte Forschungsfrage also festgehalten werden, dass durch die empirischen Analysen in der vorliegenden Arbeit keine aussagekräftigen Korrelationen zwischen den drei untersuchten Raumindikatoren und der Vulnerabilität der städtischen Systeme nachgewiesen werden konnte. Die gilt es jedoch durch weitergehende Analysen anderer Indikatoren, Systeme und Herausforderungen zu bestätigen.

Die fünfte Forschungsfrage lautet: „Lassen sich kleinräumig homogenen Siedlungsstrukturtypen unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Vulnerabilität und Resilienz gegenüber verschiedenen Herausforderungen zuordnen?“ Zumindest im Hinblick auf die Vulnerabilität kleinräumiger Baustrukturtypen lassen sich aus dem empirischen Teil grundsätzliche Tendenzen ableiten, die in Form der relativen Vulnerabilitätsprofile qualitativ beschrieben wurden (siehe Kapitel 10.2). Eine quantitative Bestimmung aussagekräftiger, absoluter Kennwerte ist auf Basis der untersuchten Daten nicht möglich. Die beschriebenen Vulnerabilitätsprofile erlauben nichtsdestotrotz einen relativen Vergleich der unterschiedlichen Vulnerabilitäten in den verschiedenen BNT. Demensprechend kann die Forschungsfrage im Hinblick auf die Vulnerabilität durchaus positiv beantwortet werden, was die ermittelten Vulnerabilitätsprofile (siehe Tabelle 31) belegen. Für den weiteren Transfer dieser Erkenntnisse in die Praxis wären allerdings zusätzliche Analysen erforderlich, die die Ergebnisse anhand weiterer Herausforderungen und Systeme ausdifferenzieren und diese tendenziellen Einschätzungen in einem zusätzlichen Schritt zudem quantifizieren.

Für das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* leisten die Vulnerabilitätsprofile der BNT insofern einen Beitrag, als dass Vulnerabilität in dieser Arbeit als Antipol zur Robustheit verstanden wird. Robustheit urbaner Systeme wird im Dimensionen-Konzept als Ziel auf der Handlungsebene der physischen Dimension der urbanen Resilienz angeführt. Dieses Verständnis vorausgesetzt, können die Vulnerabilitätsprofile zu Robustheitsprofilen übersetzt werden und stellen damit die Verbindung zu den Resilienzprofilen her. Die Robustheit weist das umgekehrte Vorzeichen der Vulnerabilität auf. Dementsprechend ist beispielsweise die qualitative Einschätzung einer niedrigeren Vulnerabilität in eine höhere Robustheit zu übersetzen und umgekehrt. Bei einer Einschätzung der Vulnerabilität als moderat bleibt die Einschätzung erhalten.

Die empirischen Ergebnisse liefern einen Beitrag zur weiteren Qualifizierung der in der Fachliteratur diskutierten BNT. Der explorative Ansatz, Vulnerabilitätsanalysen auf Basis idealtypischer BNT und nicht auf regionaler oder kommunaler Ebene durchzuführen, zielt darauf ab, übertragbare

Erkenntnisse auf der für die Planung von Infrastruktursystemen besonders relevanten, kleinräumigen Ebene zu ermitteln. Die Schwierigkeiten die damit einhergehen, liegen vor allem in einer beschränkten Datenverfügbarkeit und spezifischen, lokalen Einflüssen sowie Rückkopplungseffekten, die sich stark auf die einzelnen Ergebnisse auswirken können. Die empirischen Ergebnisse dieser Arbeit spiegeln dies in Form mangelnder Normalverteilungen und sehr geringer Korrelationen wider. Die Tendenzen, die sich in den Ergebnissen abzeichnen, können nichtsdestotrotz als Impuls für weitere Untersuchungen verstanden werden und liefern auch in der vorliegenden Form schon Hinweise für die Priorisierung von Vulnerabilitätsanalysen und Maßnahmen in der Planungspraxis. Zur Überführung der empirischen Ergebnisse in Resilienzprofile sind weitere Handlungsempfehlungen auf der Handlungsebene der physischen Dimension der Resilienz zur Steigerung der Robustheit der betroffenen urbanen Systeme sowie zur Erhöhung der technischen Anpassungsfähigkeit erforderlich. Im Sinne eines umfassenden Resilienzverständnisses sollten zudem Handlungserfordernisse in der institutionellen Dimension sowie der sozialen Dimension diskutiert werden.

10. Relative Vulnerabilitätsprofile

Teil III – Konzept

11. Resilienzprofile der BNT

In diesem Kapitel werden die empirisch hergeleiteten, relativen Vulnerabilitätsprofile in Robustheitsprofile der BNT überführt (siehe Tabelle 34, S. 402). Da sich Resilienz im Sinne des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* allerdings nicht alleine aus der aktuellen Robustheit der BNT bestimmen lässt, werden den BNT zur konzeptionellen Entwicklung von Resilienzprofilen exemplarische Maßnahmen zugeordnet. Im Folgenden werden daher grundsätzliche Maßnahmen und Best Practice-Beispiele aus der entsprechenden Fachliteratur sowie der Praxis aufgeführt, die zur Anpassung von Gebäuden an Hagelereignisse sowie zur Anpassung von Abwasserinfrastrukturen an demografische Entwicklungen ergriffen werden können. Die in den beiden folgenden Kapitel aufgeführten Optionen beziehen sich vornehmlich auf Maßnahmen, die der physischen Dimension der urbanen Resilienz zuzuordnen sind. Dementsprechend stehen die Steigerung der Robustheit der betroffenen Systeme sowie die Erhöhung der technischen Anpassungsfähigkeit im Vordergrund. Bezüge zu den weiteren Dimensionen urbaner Resilienz, wie beispielsweise die rechtlichen Rahmenbedingungen, Finanzierungsfragen, Planungsprozesse oder Akteurskonstellationen, werden an entsprechender Stelle zwar angedeutet, aber erst in den Kapiteln 12 und 13 eingehender diskutiert.

In den beiden ersten Unterkapiteln werden denkbare, allgemeine Handlungsempfehlungen bezogen auf den Umgang mit potenziellen Hagelschäden und Abwasserinfrastrukturkostensteigerungen aufgezeigt. Diese beiden Themenbereiche knüpfen an die Untersuchungen im empirischen Abschnitt der Arbeit an und stehen auch im konzeptionellen Teil exemplarisch für die Unterschiedlichkeit und Ambivalenz der Herausforderungen einer Stadt sowie der urbanen Systeme. Abweichende Rahmenbedingungen und unterschiedliche städtische Systeme ziehen meist unterschiedliche Handlungserfordernisse und -maßnahmen nach sich, die in ihrer Fülle hier nicht dargestellt werden können. Welche Maßnahmen im konkreten Fall den größten Nutzen stiften, ist immer auch von den lokalspezifischen Gegebenheiten abhängig. Deshalb liegt der Fokus auf den beiden exemplarischen System-Herausforderungs-Konstellationen aus dem empirischen Teil. Die Anpassungsmöglichkeiten und Best Practice-Beispiele werden zunächst nicht differenziert nach unterschiedlichen BNT dargestellt.

Im dritten Unterkapitel wird auf dieser Basis diskutiert, welche Maßnahmen sich in welchen BNT umsetzen lassen und welche zusätzlichen Herausforderungen sich dabei möglicherweise in den

11. Resilienzprofile der BNT

anderen Dimensionen der urbanen Resilienz ergeben. Diese Diskussion und die dort dargelegten Einschätzungen sind als Resilienzprofile der betrachteten BNT zu verstehen, da sie an die zuvor ermittelten Vulnerabilitätsprofile anknüpfen und darstellen, wie unterschiedlich die Handlungsoptionen in den verschiedenen BNT ausfallen. Die Resilienzprofile beziehen sich ausschließlich auf die physische Dimension der Resilienz. Einerseits wurde auch die Vulnerabilität lediglich auf der physischen Dimension analysiert. Andererseits lassen sich für die institutionelle und die soziale Dimension nur bedingt Maßnahmen identifizieren, die spezifisch auf die einzelnen BNT zugeschnitten sind. Zwar unterscheiden sich beispielsweise Eigentumsrechte und Akteurskonstellationen teils deutlich zwischen den BNT und somit auch die institutionellen Rahmenbedingungen, doch betreffen grundsätzliche Planungsprozesse und Wege der Entscheidungsfindung prinzipiell alle BNT gleichermaßen. Auch das gesellschaftliche Bewusstsein für die neuartigen Herausforderungen und die Akzeptanz von Maßnahmen müssen eher auf einer höheren, gesamtgesellschaftlichen Ebene angegangen werden. Aus den Baustrukturen unterschiedliche Handlungserfordernisse auf der institutionellen oder gesellschaftlichen Ebene abzuleiten, erscheint wenig zielführend. Daher bleiben die Resilienzprofile auf die physische Dimension urbaner Resilienz beschränkt.

11.1 Anpassungsmöglichkeiten von Gebäuden an Hagelereignisse

Hagelschäden entstehen primär durch die Aufprallenergie der Hagelkörner auf die Oberfläche des betroffenen Objekts. Zur Steigerung der Robustheit von Gebäuden ist es daher naheliegend, den Fokus der technischen Maßnahmen auf die Oberflächenbeschaffenheit oder sonstigen Maßnahmen, die auf die Aufprallenergie wirken, zu legen. Allerdings gehen mit Hagelereignissen auch oft stürmische Winde einher, die ebenso Schäden verursachen, sei es durch das Abdecken von Dächern oder umherfliegende Gegenstände. Maßnahmen zur Anpassung an Stürme können demzufolge auch zur Steigerung der Robustheit gegenüber Hagelstürmen beitragen.

In Deutschland wurden 2018 zentral durch den GDV erstmalig allgemeine Handlungsempfehlungen zum baulichen Schutz vor Hagelschäden in Form eines Leitfadens zum Gebäudeschutz vor Hagel herausgegeben (vgl. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) 2018). Neben typischen Schadensbildern unterschiedlicher Gebäudeoberflächenarten enthält der Leitfaden Angaben zum Hagelwiderstand unterschiedlicher Materialien, Verhaltensmaßgaben für Hagelereignisse, bauliche Schutzmaßnahmen und eine Hagelgefährdungskarte für Deutschland, die eine von Norden nach Süden ansteigende Hagelschadengefährdung anzeigt. Der Leitfaden beruft sich an vielen Stellen auf die Erfahrungen und etablierten Prüfverfahren der schweizerischen und österreichischen Hagelschadenforschung, die jeweils in den entsprechenden Hagelregistern (vgl. Website VKG

& Website EPZ) ausführlich dokumentiert sind. Da die Erkenntnisse zwischen den drei Registern bzw. Leitfäden im Kern sehr ähnlich sind, werden im Folgenden einige Ergebnisse bzw. Standards aus dem ausführlich dokumentierten Schweizer Hagelregister dargestellt (vgl. Kantonale Gebäudeversicherungen 2007; Stucki und Egli 2007).

Im schweizerischen Hagelregister werden Baumaterialien in fünf Hagelwiderstandsklassen kategorisiert, die sich aus den Hagelkorndurchmessern und der entsprechenden Aufprallenergie ableiten (siehe Tabelle 32). Materialien, die einer Hagelwiderstandsklasse zugeordnet sind, müssen in Labortests einem Beschuss mit den in der Tabelle beschriebenen Parametern aus unterschiedlichen Winkeln standhalten. Übliche Hagelschauer bewegen sich größtenteils im Bereich unterhalb der ersten Hagelwiderstandsklassengrenze, können aber auch die zweite Klasse erreichen.

Tabelle 32: Hagelwiderstandsklassen gemäß dem schweizerischen Hagelregister

| Hagelwiderstand | Durchmesser [mm] | Masse [g] | Geschwindigkeit [m/s] | Klassengrenze [J] |
|-----------------|------------------|-----------|-----------------------|-------------------|
| HW 1 | 10 | 0.5 | 13.8 | 0.04 |
| HW 2 | 20 | 3.6 | 19.5 | 0.7 |
| HW 3 | 30 | 12.3 | 23.9 | 3.5 |
| HW 4 | 40 | 29.2 | 27.5 | 11.1 |
| HW 5 | 50 | 56.9 | 30.8 | 27.0 |

Quelle: Stucki und Egli 2007: 26

Im Bereich von Hagelkorngößen unter 10 mm Durchmesser sind für die im Hagelregister aufgelisteten Materialien keine Schäden zu erwarten. Einige Metallrollladen und Aluminiumbleche weisen jedoch lediglich einen Hagelwiderstand (HW) von 1 auf, sodass bei Hagelkörnern mit einem Durchmesser über 10 mm bereits Schäden zu erwarten sind. Was als Schaden zu bewerten ist, ist abhängig von der Funktion des Materials. Handelt es sich um eine ästhetische Funktion, wie bei Zierverkleidungen von Fassaden aus Holz, beeinträchtigen bereits Dellen, kleinere Absplitterungen und kleine Löcher die Funktion. Bei Materialien, die das Gebäudeinnere vor den äußeren Einflüssen schützen sollen, ist ein funktionaler Schaden erst gegeben, wenn beispielsweise Dachziegel Risse oder Fenster Löcher aufweisen und so die Wasserdichtigkeit nichtmehr gegeben ist. (vgl. Stucki und Egli 2007: 19) Mit einem HW von 2 weisen auch Well- und Abdeckbleche sowie für Fassaden verwendete Holzbretter eine vergleichsweise niedrige Hagelwiderstandsfähigkeit auf. Dagegen sind Dachziegel mit einem HW von 4 eher robuster gegenüber Hagel und Glasscheiben, wie Isolierglas oder Verbund-sicherheitsglas, weisen gar einen HW von 5 auf. Bei Kunststoffen unterscheidet sich der HW stark nach Material, Einsatzort (Dach oder Fassade) und Zweck (Wasserdichtheit, Aussehen, Lichtdurchlässigkeit). Während Lichtkuppeln oder gewellter Kunststoffe an Fassaden nur einen geringen HW von 2 aufweisen, sind beispielsweise Polycarbonatplatten mit einem HW von 5 äußerst robust. Bei

11. Resilienzprofile der BNT

Kunststoffen muss allerdings beachtet werden, dass der HW aufgrund der natürlichen Verwitterung innerhalb weniger Jahre deutlich abnehmen kann. (vgl. ebd.: 30f.; siehe Anhang G)

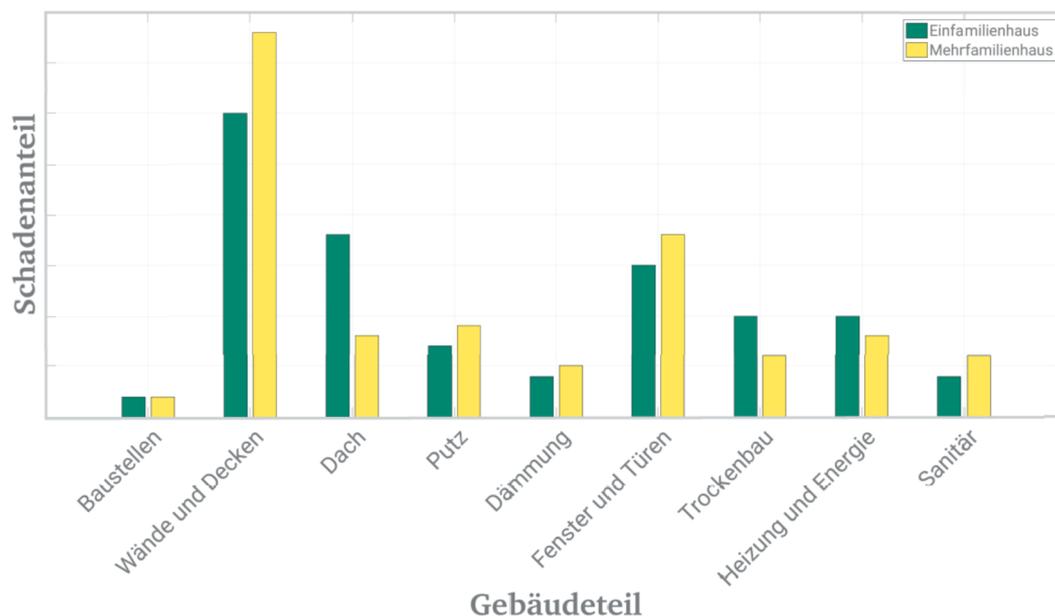
Um diese Hagelwiderstände ins Verhältnis zu setzen, seien exemplarisch an dieser Stelle die Vorausberechnungen der Hagelgefährdung für die Schweiz angeführt: für die Wiederkehrperiode von 100 Jahren schwanken die zu erwartenden Hagelkorndurchmesser regional zwischen 30 und 40 mm. Hagelkorndurchmesser von über 40 mm sind flächendeckend für die Schweiz mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren zu erwarten. Bei kürzeren Wiederkehrperioden zwischen 10 und 30 Jahren liegen die zu erwartenden Durchmesser zwischen 20 und 30 mm. Das zeigt, dass einige Baumaterialien im Hinblick auf ihre Hagelvulnerabilität weniger gut zur Verwendung in Regionen, die einer erhöhten Hagelgefahr unterliegen, geeignet sind. Insbesondere in den mittel- und süddeutschen Regionen, die eine hohe bis sehr hohe Eintrittswahrscheinlichkeit schadhafter Hagelereignisse aufweisen (vgl. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) 2018: 20), sollte die Verwendung von Baumaterialien, die in Anhang G mit einem HW von 1 oder 2 kategorisiert sind möglichst vermieden oder zumindest sehr genau abgewogen werden. Auch Materialien mit einem HW von 3 könnten sich mitunter kritisch im Hinblick auf ihre Schadensanfälligkeit darstellen. Hier gilt es Kosten und Nutzen jeweils bezogen auf die lokalen Eintrittswahrscheinlichkeiten gegeneinander abzuwägen. Die Fallregion Reutlingen ist diesbezüglich als Region mit einer sehr hohen Exposition gegenüber potentiell schadensträchtigen Hagelereignissen zu bewerten, wie sowohl die Aufzeichnungen der Hagelhäufigkeit (vgl. Kunz et al. 2018b: 239) als auch die projizierten Eintrittswahrscheinlichkeiten in der deutschen Hagelgefährdungskarte (vgl. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) 2018: 20) belegen. Ein Ereignis, wie der Hagelsturm von Reutlingen mit Hagelkorndurchmessern von bis zu 10 cm (siehe Kapitel 6.2), ist jedoch auch für diese Region keine Ereigniskategorie, die eine häufige Wiederkehrwahrscheinlichkeit aufweist.

Gemäß Untersuchungen von Versicherungsschadensdaten durch SCHMIDBERGER fallen die anteilig höchsten durch Hagel verursachten Schäden an Gebäuden an den Wänden und Decken an, wobei dies überwiegend auf die Schäden an Fassaden zurückzuführen ist (siehe Abbildung 91). Bezogen auf Einfamilienhäuser folgen Schäden am Dach sowie an dritter Stelle Schäden an Fenstern und Türen. Bei Mehrfamilienhäusern liegen dagegen an zweiter Stelle die Schäden an Fenstern und Türen sowie an dritter Stelle Schäden am Putz, wohingegen die Dächer erst auf Platz vier folgen.

Die in den Daten ersichtlichen Unterschiede zwischen den Gebäudearten werden von SCHMIDBERGER auf den geringeren Anteil an Dachoberfläche im Verhältnis zur gesamten Gebäudeoberfläche bei

Mehrfamilienhäusern zurückgeführt. Da insbesondere größere Mehrfamilienhäuser relativ gesehen mehr Wand- als Dachflächen aufweisen, kann auf diesen Flächen auch mehr Schaden entstehen.

Abbildung 91: Schadensanteile nach Gebäudeteilen bei Hagelschäden



Quelle: Schmidberger 2018: 213; *die Summe der Balken ergibt jeweils 100 % der registrierten Schäden nach Gebäudeart

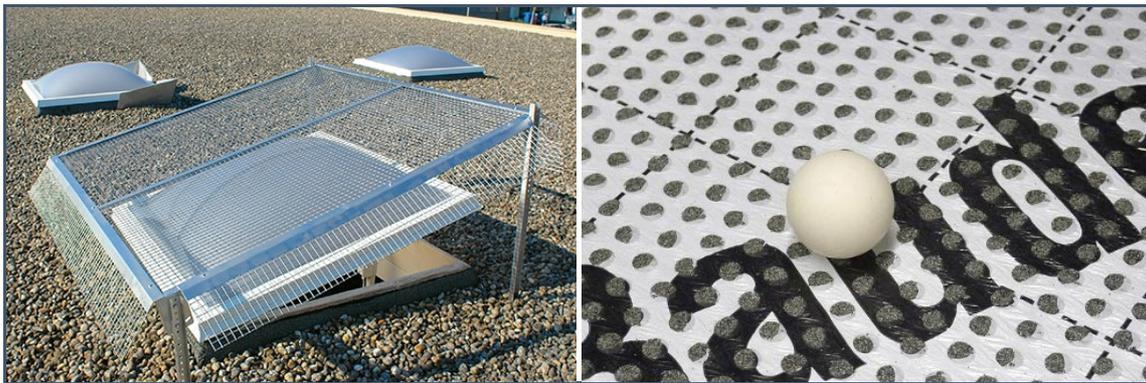
Ebenso gibt es bei größeren Anteilen von Fassaden auch mehr Fenster, die potenziell betroffen sein können. Hinzu kommt, dass mit zunehmender Geschosshöhe auch der Effekt überstehender Dachflächen sinkt und die Fassaden so dem Hagel ungeschützt exponiert sind. (vgl. Schmidberger 2018: 211ff.) Die Untersuchung von SCHMIDBERGER unterstützt demzufolge die These des Autors der vorliegenden Arbeit, die zur Berechnung des Indikators des *Geschossflächenschadens* geführt hat (siehe Kapitel 8.1).

In einem ersten Schritt können zur Adaption an Hagelgefährdungen im Bestand bereits bauliche Maßnahmen, wie die Installation von Hagelnetzen oder Hagelschutzgittern (siehe Abbildung 92, links), dazu beitragen, die Hagelverwundbarkeit von sensiblen Gebäudeteilen deutlich zu verringern. Dabei sind die Schutzgitter als stationäre Maßnahmen fest installiert und die Hagelnetze können temporär während der Hagelsaison über sensible Bereiche, wie Gewächshäuser oder Parkplätze, gespannt werden. Die Verwendung von Dämmstoffen für Dach oder Fassade, die hagelschlaggeprüft sind, mindert zwar nicht die Schäden an den Gebäudeoberflächen, verhindert aber beispielsweise bei Zerstörung der Ziegel das weitere Eindringen der Hagelkörner und erhält so die Wasserdichtigkeit. Gerade weil mit Hagelstürmen oftmals auch Starkniederschläge einhergehen, sind die Folgeschäden durch eindringendes Wasser nicht zu unterschätzen, da sie die direkten Schäden am

11. Resilienzprofile der BNT

Gebäude um das Vielfache übersteigen können (vgl. Weller et al. 2016: 228f.). So halten beispielsweise die speziellen Dämmelemente eines Stuttgarter Unternehmens selbst dem Beschuss mit 200 km/h stand (siehe Abbildung 92, rechts), was über der Freifallgeschwindigkeit von Hagelkörnern mit einem Durchmesser von 80 mm liegt (vgl. Kantonale Gebäudeversicherungen 2007: 55). Auch Dachüberstände und Vordächer werden im Gebäudeschutz-Leitfaden der schweizerischen Hagelforschung als Maßnahmen zum Schutz von Fassaden vor Hagelschäden angeführt (vgl. Kantonale Gebäudeversicherungen 2007: 75).

Abbildung 92: Hagelschutzgitter über einer Lichtkuppel (links) und Aufsparrendämmung mit eingewebtem Kunststoffließ (rechts)



Quelle: Website TIXIT (links) & Website Bauder (rechts)

Bei Flachdächern ist zu beachten, dass diese auch von Deckmaterial bedeckt sein können, wie zum Beispiel Kies in Abbildung 92 (links). Derartige Materialien dienen nicht nur dem UV-Schutz, der Temperaturregulierung und dem Feuchtigkeitsabtransport, sondern tragen auch zum Hagelschutz bei, da sie als zusätzliche Puffer die Aufprallenergie auf das eigentliche Dachmaterial dämpfen. Vor allem dadurch, dass die Deckmaterialien oft lose auf dem Dach liegen, sind sie bei auftreffenden Hagelkörnern beweglich, sodass die kinetische Aufprallenergie in Bewegungsenergie der Deckmaterialien umgesetzt wird und so der Großteil der Energie nichtmehr auf die eigentliche Dachoberfläche trifft. Zwar weisen die oftmals auf Flachdächern verwendeten Dachpappen (z. B. besandete Polymerbitumenbahnen, siehe Anhang G) einen vergleichsweise hohen HW zwischen 4 und 5 auf, doch kann der HW durch relativ einfache Maßnahmen, wie eben die Dachbedeckung, nochmals deutlich erhöht werden. Genauso kann auch „Dachbegrünung als Dämpfungselement“ (Suda und Rudolf-Miklau 2012: 363) gegen Hagel zur Minderung der Vulnerabilität eingesetzt werden und gleichzeitig zur Verbesserung des Mikroklimas im urbanen Raum beitragen, da der städtische Hitzeinseleffekt durch urbane Grünflächen reduziert wird (vgl. Hackenbruch 2018: 103ff.).

Weniger Vulnerabilität gegenüber Hagelereignissen kann nicht nur durch permanente bauliche Maßnahmen erreicht werden, sondern auch durch technisch-physische Adaption, die die zweite

Handlungsebene der physischen Dimension der urbanen Resilienz darstellt (siehe Kapitel 5.2.3). Die Möglichkeiten sind diesbezüglich im Hinblick auf Hagel zwar beschränkt, da Hagelereignisse sich im Gegensatz zu Ressourcenströmen nicht räumlich und zeitlich steuern lassen (vgl. Kapitel 11.2). Doch seien an dieser Stelle zwei Ansätze vorgestellt, die abseits dauerhafter, baulicher Maßnahmen ein gewisses Maß an technischer Adaptivität ermöglichen. Die schon erwähnten Hagelnetze sind ein solcher Ansatz zur temporären Adaption an Hagelrisiken. Aufgespannt in Risikozeiten reduzieren sie die Exposition der darunterliegenden Objekte gegenüber dem Hagel, ohne dass sie dauerhaft eine ästhetische oder funktionale Einschränkung darstellen. Zwar sind sie sicherlich nicht für den Schutz von Wohngebäuden geeignet, aber empfindliche Oberflächen kleineren Ausmaßes, wie beispielsweise einfachverglaste Gewächshäuser, Holzschuppen oder auch Solarpaneele, können so vor Hagelschlag geschützt werden. Da die Hagelschutznetze in Zeiten geringen Risikos entfernt werden können, wird beispielsweise die Sonneneinstrahlung auf Gewächshäuser oder die Photovoltaikzellen durch diese adaptive Maßnahme nicht dauerhaft reduziert.

Wie der Vergleich des Hagelwiderstands unterschiedlicher Baumaterialien zeigt (siehe Anhang G), ist Verbundglas deutlich weniger anfällig gegenüber Hagelschäden als die Metalle, die üblicherweise für Rollläden oder Raffstoren verwendet werden. Dementsprechend kann eine Maßnahme zur Adaption an Hagelereignisse darin bestehen, die Rollläden und Raffstoren im Hagelfall hochzuziehen bzw. hochzufahren. Dies mag für viele Privatpersonen entgegen ihrer Intuition sein, ist durch die Materialtests im Hagelregister jedoch eindeutig belegt. Dementsprechend ist diesbezüglich eine klare Kommunikation mit Unternehmen, dem Facility Management und Privatpersonen erforderlich, um diese Tatsache stärker ins Bewusstsein zu tragen. Während im Unternehmensbereich bei einer entsprechenden Unwetterwarnung zentral durch das Facility Management das Hochfahren der Raffstoren veranlasst werden kann, kann dies im Privatbereich bei Abwesenheit der Bewohner mitunter schwieriger umsetzbar sein. Diesbezüglich könnte der Megatrend Digitalisierung und die zunehmende Verbreitung von Smart-Home-Steuer-elementen einen Beitrag zur technischen Adaptivität leisten. Wenn elektrische Rollläden mit der Smart-Home-Steuerung verbunden sind, können die Systeme so eingestellt werden, dass bei einer Hagelunwetterwarnung durch den deutschen Wetterdienst die Rollläden für den entsprechenden Zeitraum automatisch hochgefahren werden, um die Schadenswahrscheinlichkeit zu verringern. Für Personen ohne Smart-Home könnte die Information, dass Rollläden im Hagelereignisfall zur Schadensreduzierung hochzuziehen sind, über Wetter-Applikationen auf dem Smartphone oder über die Rundfunkmedien zusammen mit den Unwetterwarnungen rechtzeitig verbreitet werden. Dieses Beispiel verdeutlicht die Bedeutung von

11. Resilienzprofile der BNT

Informationen und der Komponente Mensch zur Steigerung der Resilienz im Gesamtsystem Stadt (siehe Kapitel 5.2.5 und 13).

Die in den vorangegangenen Absätzen aufgeführten Beispiele zeigen auf, wie durch Steigerung der Robustheit oder durch technisch-physische Adaption ein höheres Maß an Persistenz von Gebäuden gegenüber Hagelgefahren erreicht werden kann. Um die Übertragbarkeit dieser Maßnahmen darzustellen, werden sie als exemplarische Maßnahmenkataloge in Kapitel 11.3 den BNT zugeordnet, für die eine Anwendung angemessen erscheint. Diese Maßnahmenkataloge stellen die Resilienzprofile der BNT dar.

11.2 Anpassungsmöglichkeiten von Abwasserinfrastrukturen an demografische Entwicklungen

Wie auch im vorangegangenen Kapitel werden in diesem Kapitel exemplarische Maßnahmen zur Anpassung von Abwasserinfrastrukturen an die Herausforderungen durch den Demografischen Wandel auf der physisch-technischen Handlungsebene dargestellt. Es handelt sich um eine Erläuterung genereller Handlungsoptionen zur Steigerung der Robustheit sowie zur Erhöhung der technischen Adaptivität, unabhängig von den Baustrukturen. Die Zuordnung von Maßnahmen zu den BNT wird erst in Kapitel 11.3 beschrieben. Im Hinblick auf die Abwasserinfrastrukturen ist zu berücksichtigen, dass die Erschließungseffizienz und damit auch die Robustheit der Leitungsinfrastrukturen gegenüber demografischen Entwicklungen, maßgeblich von siedlungsstrukturellen Eigenschaften abhängig ist. In den folgenden Absätzen werden daher allgemeine Zusammenhänge zwischen der Siedlungs- und Abwasserinfrastrukturentwicklung beschrieben und Handlungsansätze aufgezeigt. Die Ansätze beziehen sich in diesem Kontext nicht allein auf technische Maßnahmen, sondern auch auf Empfehlungen für die Planung, die sich aber ebenfalls auf die physische Dimension der urbanen Resilienz auswirken.

In diversen Studien wurde bereits der Zusammenhang zwischen baulicher Dichte bzw. kompakten Siedlungsstrukturen sowie infrastruktureller Effizienz nachgewiesen (siehe z. B. Sigglow 2011; Hillenbrand et al. 2010; Schiller 2010; Westphal 2008; Siedentop et al. 2006; Burchell et al. 2005; vgl. Abbildung 49, S. 264). Generell kann demzufolge von der Faustformel ausgegangen werden, dass die einwohnerspezifischen Infrastrukturkosten mit zunehmender Bevölkerungsdichte (= Einwohner/Fläche) sinken, da durch Skaleneffekte der Erschließungsaufwand je Einwohner zurückgeht. Diese Erkenntnis trifft prinzipiell auf alle städtischen Infrastrukturen zu, aufgrund der starken physischen Ortsgebundenheit aber in besonderem Maße auf die leitungsgebundenen

Abwasserinfrastrukturen. Hierbei bedeutet eine höhere Siedlungsdichte, dass weniger Leitungsmeter je Einwohner zum Anschluss der Haushalte an die zentrale Abwasserentsorgung notwendig sind. Konträr zu dieser Tatsache hat sich die Siedlungsflächenentwicklung in den letzten Jahrzehnten durch einen stetigen Zuwachs trotz gleichzeitig insgesamt stagnierender oder gar rückläufiger Einwohnerzahlen ausgezeichnet (siehe Kapitel 3.2.3). Dies schlägt sich vor allem in der Dispersion der Siedlungsflächen nieder, die in der Fachliteratur unter dem Begriff „Urban Sprawl“ (Siedentop 2005: 23) diskutiert wird. „Die hochkomplexe Natur des Sprawl sei nicht mit der räumlichen Ausdehnung urbaner Flächennutzung oder dem Sinken der Siedlungsdichte gleichzusetzen. [...] Sprawl müsse vielmehr als ein multidimensionales Phänomen verstanden werden, welches nur mit einer Kombination verschiedener Messgrößen abbildbar ist“ (Siedentop 2005: 24). Es werden daher neue Messkonzepte und Indexwerte vorgeschlagen, die beispielsweise die Entfernung zum nächsten Regionszentrum, das Rand-Inhalt-Verhältnis einer Siedlungsfläche oder die Größenverteilung der verschiedenen Siedlungsteilflächen einer Kommune analysieren. (vgl. Burchell et al. 2005: 22ff.; Siedentop 2005: 24ff.) Vor allem auf die Länge des Abwassernetzes wirkt sich der Siedlungsflächenzuwachs seit Etablierung des Trennsystems (Regen- und Schmutzwasserleitung) besonders deutlich aus, so dass der Erschließungsaufwand je Einwohner deutlich angestiegen ist (vgl. Dittrich-Wesbuer et al. 2015: 121, 127). Für eine höhere Effizienz der Abwasserinfrastrukturerschließung und damit auch eine höhere Robustheit der Abwasserinfrastrukturen gegenüber dem Demografischen Wandel reicht also eine Steigerung der Bevölkerungsdichte allein nicht aus. Es geht auch um möglichst kompakte Siedlungsstrukturen, die sich an den regionalen Zentren orientieren, die dann auch die Standorte für die zentralen Abwasserentsorgungsanlagen darstellen. Neben der effizienteren Erschließung der Haushalte können so lange Leitungswege zu den zentralen Entsorgungsanlagen verringert werden. Besonders die groß dimensionierten Hauptsammlungsleitungen, die das Abwasser aus einzelnen Ortsteilen zu den zentralen Kläranlagen transportieren zeigen sich besonders demografie-sensibel. Sie verursachen einerseits hohe Anschaffungskosten (Baumaterial, Verlegetiefe etc.), die die Kostenstruktur belasten und sind andererseits aufgrund ihrer hohen Durchmesser und entsprechender Mindestdurchflussmengen für einen ablagerungsfreien Betrieb, sehr anfällig für rückläufige Bevölkerungszahlen (vgl. Sigglow 2011: 57ff.; Schiller 2010: 63ff.). Und nicht nur aus Sicht der Abwasserinfrastruktur, sondern allgemein im Sinne einer effizienten Infrastrukturerschließung sowie der Versorgungssicherheit stellen *Inseln kompakter Siedlungsstrukturen* eine erstrebenswerte Zielsetzung für die künftige Siedlungsentwicklung dar (vgl. Koziol 2007: 28).

Nicht nur der Siedlungsflächenzuwachs führt zu einem aktiven Anstieg des Erschließungsaufwands in der Abwasserinfrastruktur, sondern es führen auch Bevölkerungsrückgänge im Zuge des

11. Resilienzprofile der BNT

Demografischen Wandels zu einem passiven Sinken des zugehörigen Indikators Leitungsmeter je Einwohner. Gerade wenn sich demografische Schrumpfungsprozesse kleinräumig konzentrieren, kann eine erhebliche Unterauslastung bestehender (Abwasser-)Infrastrukturen mit negativen Folgen für die Funktionalität und die anfallenden Kosten dieser Systeme resultieren. Moss beschreibt diese Bereiche als „cold spots“ (Moss 2008: 442) im deutschen Abwasserleitungsnetz und hebt die hohe Vulnerabilität leitungsgebundener Abwasserinfrastrukturen gegenüber Rückgängen der Abwassermenge hervor. Die Folgen des Entdichtungstrends treffen allerdings nicht nur auf Abwasserinfrastrukturen, sondern prinzipiell auf alle städtischen Infrastrukturen in unterschiedlichem Maße zu und können daher als ein „Schlüsselproblem“ (Siedentop 2011) der künftigen Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung angesehen werden. SIEDENTOP UND FINA beschreiben den Trend auch als „shrinkage sprawl“ (Siedentop und Fina 2010: 92), der in Deutschland seit Beginn der 2000er Jahre zu hochdispersen Siedlungsstrukturen mit sehr niedriger Erschließungseffizienz führt und neben der betrieblich-technischen Funktionalität auch die finanzielle Tragfähigkeit zentraler Abwasserinfrastrukturen in Frage stellt (vgl. Schiller 2010: 63ff.). Unter diesen Bedingungen hinterfragt Moss, ob die im Raumordnungsgesetz festgeschriebene Zielsetzung gleichwertiger Lebensverhältnisse in den Teilräumen Deutschlands (vgl. § 1 II ROG) langfristig haltbar ist oder ob offener über Ausnahmen diskutiert werden sollte (vgl. Moss 2008: 448). SIEDENTOP regt an, anstelle absoluter Beschränkungen des Siedlungsflächenverbrauchs (siehe *30-ha-Ziel* der Bundesregierung; vgl. Die Bundesregierung 2016: 38) städtebauliche Dichteziele zu setzen, die auf unterschiedliche demografische Entwicklungen anwendbar sind (vgl. Siedentop 2011: 172ff.). Ob nun ein einzelner Vorschlag oder eine Kombination der Anregungen am erfolgversprechendsten ist, kann an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden. Der Diskurs und die aufgeführten Anregungen zeigen jedoch auf, dass die politischen Zielsetzungen und Planungsparadigmen überdacht und an die Herausforderungen des Demografischen Wandels angepasst werden sollten, um eine langfristig effiziente Abwasserentsorgung sicherzustellen. Kompakte Siedlungsstrukturen sind zu fördern, sei es bei wachstumsbedingten Siedlungserweiterungen oder schrumpfungsbedingtem Rückbau. Dichtewerte, wie sie beispielsweise in einigen Regionalentwicklungsplänen Nordrhein-Westfalens (z. B. Regionalplan Ruhr, Regionalplan Münsterland, Regionalplan Düsseldorf) vorgegeben werden, können hierbei ein wirksames, einwohnerorientiertes Instrumentarium sein.

Wo möglich sollten zur Siedlungsflächenerweiterung primär Potenziale im siedlungsstrukturellen Innenbereich genutzt werden. Das Schließen von Baulücken, die Besiedelung von Brachflächen sowie die Nachverdichtung im Bestand können zu einer effizienteren Auslastung bestehender Infrastrukturen beitragen. Gleichwohl muss auch die Bestandsinfrastruktur entsprechende Kapazitäten

für die zusätzliche Auslastung bieten. Integrierte Konzepte der Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung, die sowohl die Belange der Flächenentwicklung als auch infrastrukturelle Kapazitäten in Betracht ziehen, können zu einer insgesamt kostensparenderen Siedlungsentwicklung beitragen. Die Instrumente zur Umsetzung derartiger Konzepte sind jedoch überwiegend informeller Art und setzen die Kooperationsbereitschaft der einzelnen Sektoralplanungen voraus. Beispielsweise wurde in Berlin nach der Wiedervereinigung Mitte der 1990er Jahre integrierende Planung in Form eines „Stadtentwicklungsplans für Ver- und Entsorgung“ (vgl. Moss 2011: 84) auch planungsrechtlich formal realisiert, da die unterschiedlichen Voraussetzungen der Stadtteile Berlins eine enge Verzahnung von Stadt- und Infrastrukturentwicklung notwendig machten. (vgl. Westphal 2008: 234f.; Siedentop et al. 2006: 226ff.)

Im Falle rückläufiger Einwohnerzahlen sollte ebenso wie im Wachstumsfall eine aktive Steuerung der Siedlungsflächenentwicklung erfolgen, um die Gefahr des oben beschriebenen „shrinkage sprawl“ (Siedentop und Fina 2010: 92) zu reduzieren. Ist Rückbau erforderlich, sollte dieser daher flächig und möglichst von den Rändern der Siedlungsbereiche ausgehend erfolgen, um eine disperse Zersiedlung zu vermeiden. Zwar sind die Siedlungsränder vielfach durch jüngere Quartiere mit noch entsprechend langfristig abzuschreibender Infrastruktur geprägt, doch kann auch dort eine integrierte Betrachtung der Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung zur frühzeitigen Identifikation von potenziellen Handlungsfenstern für den Um- oder Rückbau von Siedlungs- und Infrastrukturen beitragen. (vgl. Westphal 2008: 233f.; Koziol 2007: 26f. Siedentop et al. 2006: 226)

Sowohl im Hinblick auf Bevölkerungszuwachs als auch bei Einwohnerrückgängen können regional koordinierte Planungsprozesse und interkommunale Kooperationen zu mehr Infrastruktureffizienz beitragen. Gerade bei zentralen Infrastruktureinrichtungen können in der interkommunalen Kooperation Skalenvorteile erzielt und schwankende Nachfragen besser ausgeglichen werden (z. B. bei Kläranlagen oder in der Trinkwasseraufbereitung). Auch die kleinräumige Heterogenität der Bevölkerungsentwicklung kann durch regionale Kooperationen bei der Siedlungsflächenentwicklung miteinander besser aufgefangen werden (z. B. Wohnraumnachfrage, weiterführende Schulen). Dies setzt allerdings, ähnlich wie bei integrierenden Planungsprozessen, die Kooperationsbereitschaft der kommunalen Planungsakteure voraus. (vgl. Siedentop et al. 2006: 226ff.)

Neben den dargestellten planerischen Handlungsempfehlungen, die zu höherer Robustheit und Anpassungsfähigkeit von Abwasserinfrastrukturen gegenüber demografischen Entwicklungen beitragen sollen, sollten auch technisch-betriebliche Maßnahmen in Betracht gezogen werden, um auf der physischen Dimension einen Beitrag zu einer höheren Resilienz der urbanen Systeme zu leisten.

11. Resilienzprofile der BNT

Dazu sei festgehalten, dass die allermeisten Herausforderungen für Abwasserinfrastruktursysteme, die auf demografische Entwicklungen zurückzuführen sind, nach dem heutigen Stand der Technik rein technisch-betrieblich lösbar sind. Schwankende oder rückläufige Abwassermengen können durch betriebliche oder investive Maßnahmen aufgefangen und die Funktionsfähigkeit der Abwassersysteme sichergestellt werden. Allerdings entstehen durch derartige Eingriffe hohe Kosten, die in Zeiten angespannter kommunaler Haushalte und der Konkurrenz um Einwohner die finanzielle Tragfähigkeit der Abwasserinfrastrukturen in Frage stellen. Die Kosten der jeweiligen Maßnahme sind daher dem Risiko funktionaler Einschränkungen bzw. der Abkehr von etablierten Daseinsvorsorgestandards (s. o.) gegenüberzustellen. Derart politisch-rechtliche Abwägungen beziehen sich jedoch auf die institutionelle Dimension der urbanen Resilienz, die in Kapitel 12 adressiert wird.

Funktionale Probleme entstehen in Freispiegelleitungen vor allem bei zu geringen Abwassermengen durch Ablagerungen, die zu Schäden an den Leitungen, Verstopfungen und Geruchsemissionen führen können. HILLENBRAND ET AL. beschreiben verschiedene betriebliche Maßnahmen zur Beseitigung von Ablagerungen in Kanälen (vgl. Hillenbrand et al. 2010: 74ff.). Die gängigste Methode zur technisch-betrieblichen Anpassung an diese Herausforderung ist die Leitungsspülung. Dies kann entweder ausgehend von einem Spülfahrzeug der Stadtentwässerung mit einer Hochdruckdüse oder einer mobilen Schwallspüleinrichtung erfolgen, oder aber als Schwallspülung mittels Regen- oder Eigenwasser. Für eine solche Schwallspülung muss das Abwassernetz allerdings weit verzweigt angelegt sein und ausreichende Rückhaltekapazitäten und Steuerungsmöglichkeiten mittels Spülklappen bieten, damit alle Bereiche des Netzes entsprechend eines anzulegenden Spülplans regelmäßig von Ablagerungen befreit werden können. In jedem Fall fallen durch die Spülung zusätzliche Investitions- und Betriebskosten an, die je nach Art und Größe des Leitungsnetzes sowie der gewählten Methode unterschiedlich hoch ausfallen können. So führen HILLENBRAND ET AL. beispielsweise für die Spülung mit einer mobilen Hochdruckanlage Kosten in Höhe von 262.000 €/Jahr für das Spülfahrzeug und durchschnittlich 2,48 €/Leitungsmeter (bei einem Durchmesser von 500 mm) an (vgl. ebd.: 76). Zur kurzfristigen Bewältigung rückläufiger Abwassermengen sind Leitungsspülungen also durchaus geeignet und in vielen Kommunen auch Bestandteil der üblichen Betriebsabläufe. Um bei Ablagerungen in Kanälen zwischen den Spülungen zumindest die Geruchsbelästigungen zu minimieren, können die Kanäle belüftet, chemische Stoffe dem Abwasser zugesetzt oder Abluftfilter installiert werden (vgl. ebd.: 85ff.). Gegen drohende Korrosion der Kanäle hilft das Auskleiden der Kanäle mit speziellen Beton- oder Zementarten. Insgesamt helfen die in diesem Absatz beschriebenen Maßnahmen allerdings lediglich die negativen Folgen von Unterauslastungen zu reduzieren. Sinken die Abwasservolumina aber langfristig unter die Schwelle für einen ablagerungsfreien Betrieb, so sollten

Maßnahmen zur Adaption in Betracht gezogen werden, die einen Normalbetrieb unter den veränderten Bedingungen erlauben.

Eine dynamische Kanalnetzsteuerung ermöglicht die Leitungsspülung mit dem natürlich anfallenden Regenwasser und gehört zu den Maßnahmen des Regenwassermanagements. Dazu sind allerdings entsprechende Speicherkapazitäten und Steuerungsmöglichkeiten notwendig. Gerade in überdimensionierten Netzabschnitten können allerdings stillgelegte Leitungen oder freie Kapazitäten genutzt werden, um das Abwasser aufzustauen und dann in einem Schwall zur Kanalspülung zu verwenden. Sofern das vorhandene Kanalnetz diese Maßnahme durch seine Struktur und die Kapazitäten ermöglicht, handelt es sich um eine Maßnahme mit vergleichsweise geringem Investitionsbedarf. Der Betriebsaufwand ist davon abhängig, ob die Steuerung automatisiert und sensorgestützt oder manuell von einer Leitstelle aus erfolgt. Zum Regenwassermanagement gehört ebenso die Abkopplung von Oberflächen vom Leitungsnetz. Das Regenwasser kann dann in Speicherbecken oder auf Oberflächen zwischengespeichert oder aber dezentral versickert (z. B. in einem Mulden-Rigolen System) werden. Gerade in Regionen, für die eine Zunahme an intensiven Starkregenereignissen absehbar ist, sind derartige Ansätze im Regenwassermanagement meist kosteneffizienter als die Erweiterung der Leitungsdurchmesser im Regenwassernetz. Neben den hohen Investitionskosten sind die zusätzlichen Leitungskapazitäten an den meisten Tagen im Jahr nicht ausreichend ausgelastet und erzeugen damit einen hohen Betriebsaufwand. (Zwischen-)Speicherkapazitäten ermöglichen dagegen eine dynamische Steuerung des Regenwasserabflusses im Netz. (vgl. Hillenbrand et al. 2010: 109ff.)

Generell kann über den Rückbau von Leitungen die Hydraulik des Abwassers so angepasst werden, dass ein störungsfreier Betrieb möglich ist. Dazu können Leitungsabschnitte stillgelegt, zurückgebaut oder die Leitungsdurchmesser reduziert werden (vgl. Hillenbrand et al. 2010: 174ff.; Londong et al. 2010: 63ff.). Letzteres erfordert jedoch bauliche Maßnahmen mit Erdarbeiten, die zusätzliche Investitionen erfordern. Werden die Funktionsschwellen der Leitungen durch rückläufige Abwasservolumina nur geringfügig und in wenigen Netzabschnitten unterschritten, stellt die *Inlinersanierung* eine weniger intensive und günstigere Maßnahme zur Querschnittsreduzierung dar. Meist wird dazu ein mit Kunstharz getränkter Gewebeslauch in eingerollter Form über die Schachtanlagen in die Leitungen eingebracht und dort mit Luft oder Wasser aufgeblasen, sodass er sich an die Leitungswände anschmiegt und aushärtet. Je nach Dicke der Harzschicht und Häufigkeit der Wiederholung kann der Leitungsdurchmesser so geringfügig reduziert werden. Weil in diesem Verfahren keine Erdarbeiten notwendig sind, stellt es sich deutlich günstiger dar, als eine bauliche

11. Resilienzprofile der BNT

Querschnittsreduzierung. Da es sich eigentlich um ein Sanierungsverfahren für brüchige oder rissige Leitungen handelt, hat es zusätzlich den Effekt, dass die Dichtigkeit der Leitung wiederhergestellt wird, sofern sie nichtmehr gegeben war. Synergetisch kann mit dieser Maßnahme also eine Leitungssanierung und gleichzeitig eine Anpassung an veränderte Abwasseraufkommen erfolgen. In der mittel- bis langfristigen Planung der Abwasserinfrastrukturentwicklung sollten möglichst Handlungsfenster identifiziert werden, die die Nutzung der aufgezeigten Synergien ermöglichen. (vgl. Londong et al. 2010: 64)

Eine weitere Maßnahme zum Umgang mit niedrigen Abwasseraufkommen und eher geringer Siedlungsdichte ist die Unterdruck- bzw. Vakuumentwässerung. Im Gegensatz zu konventionellen Freispiegelleitungen nutzen Vakuumsysteme nicht das natürliche Gefälle, um das Abwasser zu transportieren, sondern erzeugen einen Sog. Damit sind sie auch für Regionen mit hoher Reliefenergie geeignet, bei denen zwischen einzelnen Ortsteilen und der zentralen Kläranlage mehrere Höhenunterschiede zu überwinden sind. In einer zentral im Ortsteil liegenden Unterdruckstation wird das Abwasser in einem Vakuumentank gesammelt und bei Erreichen der veranschlagten Menge über Abwasser- und Vakuumpumpen ein Unterdruck im Leitungsnetz erzeugt, um so das Abwasser als Schwall zum nächsten Vakuumentank zu transportieren. Vakuumsysteme sind damit besser an geringe Abwassermengen angepasst und können auch in einem bestehenden Netz durch Inliner-Verfahren oder Rohr-in-Rohr-Systeme nachgerüstet werden. (vgl. Hillenbrand et al. 2010: 114ff.; Londong et al. 2010: 64)

Zur Anpassung des Abwassernetzes an rückläufige Einwohnerzahlen und generellen Erhöhung der Flexibilität der Infrastrukturen stellt die Dezentralisierung einen weiteren Ansatz dar. In einer konventionellen Netzstruktur sind alle Haushalte an die zentralen Kläranlagen angeschlossen. Dabei entstehen mitunter sehr lange Leitungswege zwischen Hausanschluss und Kläranlage. Es sind vor allem die Schmutzwasserleitungen in Trennsystemen, in denen aufgrund von Unterauslastung Ablagerungen entstehen. Kleinkläranlagen in abgelegeneren Ortsteilen ermöglichen die dezentrale Abwasserbehandlung ohne lange Leitungswege. Das häusliche Abwasser eines oder mehrerer Gebäude wird lokal gesammelt und mechanisch sowie biologisch gereinigt bevor es versickert oder in einen Vorfluter²⁴ abgeleitet wird. Somit ist keine Verbindung zum zentralen Abwassernetz notwendig und es muss lediglich regelmäßig der entstehende Klärschlamm entsorgt werden. Aufgrund der beschränkten Reinigungsleistung und begrenzten betrieblichen Steuerungsmöglichkeiten erlauben

²⁴ Künstlicher oder natürlicher Wasserlauf zwischen Kläranlage und natürlichem Oberflächengewässer zur Ableitung von (vor-)geklärtem Abwasser.

dezentrale Kleinkläranlagen allerdings laut DIN 12566 (vgl. DIN EN 12566-1) nur eine Behandlung von bis zu 50 EGW (entspricht 8 m³ Abwasser/Tag bzw. 3 kg biochemischem Sauerstoffbedarf). Die vergleichsweise geringen Investitionskosten und der Flächenbedarf (oftmals in Kellerräumen von Wohngebäuden installiert) lassen eine modulare Errichtung dezentraler Kleinkläranlagen zu, sodass diese nach Bedarf ans Netz an- oder abgekoppelt werden können. Sie erlauben somit planerisch einen flexiblen Umgang mit mittelfristig schwankenden Abwasserkaufkommen. Für ganze Ortsteile lassen semidezentrale oder semizentrale Ortsteilanlagen auch eine Behandlung von bis 500 bzw. 2.000 EGW zu. Gleichwohl steigen bei größeren Anlagen Investitionskosten und Betriebsaufwand bei gleichzeitiger Abnahme der Flexibilität. Somit ist die dezentrale Abwasserbehandlung gerade im Hinblick auf die weiter oben beschriebene stadtplanerische Zielsetzung von im Raum verteilten Inseln kompakter Siedlungsstrukturen eine technische Maßnahme, die zu höherer Kosteneffizienz und gleichzeitig höherer Flexibilität beitragen kann. Da Ortsteil- und Kleinkläranlagen primär auf die Behandlung von Schmutzwasser ausgerichtet sind, geht mit ihrer Errichtung meist auch ein dezentrales Regenwassermanagement in Versickerungsanlagen (z. B. Mulden-Rigolen-System, bepflanzte Bodenfilter) einher und ein Trennsystem wird grundsätzlich vorausgesetzt. (vgl. Schulwitz und Hillenbrand 2016: 101ff.; Sigglow 2011: 75ff.; Londong et al. 2010: 63ff.; Schiller 2010: 117ff.)

Einen innovativen Ansatz zum Umgang mit den beschriebenen Herausforderungen stellen NASS dar, die die Dezentralisierung der Abwasserbehandlung mit Ressourceneffizienzstrategien im Sinne ressourceneffizienter Städte (vgl. Schiller 2017; Sigglow 2011) verbinden. NASS basieren auf dem Prinzip der Stoffstromtrennung bei dem häusliche Abwässer entsprechend ihrer Schadstoffkonzentration und Nährstoffbelastung (siehe Tabelle 33) bereits innerhalb des Haushalts getrennt und unterschiedlich behandelt bzw. weiterverwendet werden.

Tabelle 33: Unterschiedliche Abwasserarten in der Stoffstromtrennung

| Abwasserart | Erläuterung |
|----------------------|--|
| Schwarzwasser | Fäkalien-Urin-Gemisch (Toilettenwasser) |
| Braunwasser | Fäkalien-Wasser-Gemisch (vorgefiltertes Toilettenwasser) |
| Gelbwasser | Urin-Wasser-Gemisch (vorgefiltertes Toilettenwasser) |
| Grauwasser | Abwasser aus Küche, Bad, Waschmaschine etc. ohne Toilettenabwasser |
| Schmutzwasser | Grauwasser und Schwarzwasser |
| Regenwasser | Von versiegelten Oberflächen abgeleitetes Regenwasser |

Quelle: eigene Darstellung nach Sigglow 2011: 81

Grundsätzlich sind Verfahren der Stoffstromtrennung in zwei Systemvarianten zu unterscheiden: im Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem erfolgt die Trennung in Schwarz- und Grauwasser. Das Schwarzwasser wird dann meist in geringer Verdünnung in einem Vakuumsystem (einschließlich

11. Resilienzprofile der BNT

Vakuumtoilette) zu einer zentralen oder semizentralen Kläranlage weitergeleitet und dort unter Zugabe von Bioabfällen zur Biogasgewinnung weiterverwendet. Das Grauwasser kann entweder noch im Haushalt zur Toilettenspülung verwendet oder unter geringem Aufwand in lokalen Bodenfiltern versickert werden.

Im Urinentrennung 3-Stoffsystem wird dagegen Gelb- und Braunwasser voneinander getrennt. Die hohen Konzentrationen an Stickstoff, Phosphor und Kalium im Urin ohne die in den Fäkalien enthaltenen Schadstoffe, erlauben eine Aufbereitung zu Flüssig- oder Festdünger und damit eine Nährstoffrückgewinnung. Da bei Verfahren der Stoffstromtrennung grundsätzlich gering verdünnte Abwasserströme zu den zentralen Kläranlagen geleitet werden, ist ein Vakuumsystem Voraussetzung für deren Umsetzbarkeit. (vgl. Sigglow 2011: 106ff.; Hillenbrand et al. 2010: 190ff.; Londong et al. 2010: 64f.) Nachdem die NASS zunächst in Forschung und Theorie entwickelt wurden, haben im letzten Jahrzehnt einige Pilotprojekte aufgezeigt, wie sich derartige Konzepte auch in stadtplanerische Prozesse einbinden lassen und welche Aspekte bei Planung, Bau und Umsetzung zu berücksichtigen sind. Beispielhaft seien hier die erfolgreichen Pilotprojekte in Freiburg-Vauban, Lübeck-Flintenbreite und der HAMBURG WATER Cycle in Hamburg-Jenfeld angeführt, bei denen Stoffstromtrennung in unterschiedlichen Varianten und Ausbaustufen umgesetzt wurde. Allen Projekten ist gemein, dass es sich um großflächige städtebauliche Projekte der Umnutzung oder des Neubaus handelt, bei denen eine innovative Siedlungsentwässerung bereits in der Projektkonzeptionsphase eingeplant wurde. (vgl. Sigglow 2011: 211ff.)

Die rückläufigen Schmutzwassermengen stehen im Kontrast zu steigenden Spitzenlasten im Regenwassernetz bei Starkregenereignissen. Insbesondere in Mischsystemen stellt dies eine große Herausforderung dar, da die Leitungen im überwiegenden Teil der Zeit unterausgelastet sind, die hohen Spitzenlasten aber nicht bewältigen können. Anstelle baulicher Erweiterungen des Leitungsnetzes sind daher eher Querschnittsreduzierungen und Maßnahmen für ein adaptives Regenwassermanagement erforderlich. Im baulichen Außenbereich können dazu Regenspeicher und Regenüberlaufbecken angelegt werden, die im Starkregenfall geflutet werden. Im urbanen Innenbereich fehlen dagegen oftmals Flächen für derartige Speicherbecken, sodass innovative, integrierte Lösungen gefunden werden müssen. Eine Arbeitshilfe des Deutschen Städtetages bietet hierzu zahlreiche deutsche und internationale Beispiele (vgl. Rocks et al. 2015). Generell lässt sich daraus feststellen, dass die multifunktionale Flächennutzung einen vielversprechenden Ansatz zum Umgang mit hohen Regenwassermengen im urbanen Raum darstellt. So können öffentliche Grünflächen und Parks als Retentionsflächen genutzt und Straßen so angelegt werden, dass sie im Bedarfsfall geflutet werden

und als Notwasserwege dienen können. Auf sogenannten Wasserspielplätzen wird das Regenwasser sogar als aktiv nutzbares Element eingebunden. Die Resilienzstrategie der Stadt Rotterdam (siehe Kapitel 5.4.2) zeigt Beispiele für einen innovativen Umgang mit Wasser in der Stadt. Unter der 23. Zielsetzung „Floating City“ (Geermente Rotterdam 2016: 88f.) werden Maßnahmen zum Umgang mit Hochwassergefahren (durch Starkregen oder Überschwemmungen) zusammengefasst. So wurden exemplarisch eine schwimmende Veranstaltungsstätte („Floating Pavillion“), schwimmende Wohnhäuser („Floating Houses“) und sogar eine schwimmende Milchkuhfarm („Floating farm“) errichtet, die sich anpassungsfähig gegenüber Überschwemmungen zeigen. Auch der Water Square Benthemplein ist ein inzwischen wohl international bekanntes Beispiel für ein städtebaulich integriertes, multifunktionales Regenüberlaufbecken (siehe Abbildung 93). Im Trockenwetterfall handelt es sich um einen öffentlichen Platz mit Fuß- und Basketballfeld, Sitzgelegenheiten sowie einer Skateboardanlage, die allesamt im Bedarfsfall stufenweise mit insgesamt bis zu 1,7 Millionen Litern Regenwasser geflutet werden können. (vgl. ebd.; Rocks et al. 2015: 28f.) In Deutschland sind derartige Konzepte allerdings in Einklang mit den strengeren Verkehrssicherungspflichten zu bringen, was einer Umsetzung derzeit noch zum Teil im Wege steht.

Abbildung 93: Watersquare Benthemplein in Rotterdam bei Trocken- und bei Regenwetter



Quelle: Website De Urbanisten 1 (links) & Website De Urbanisten 2 (rechts)

Die Pilotprojekte zeigen die Potenziale einer integrierten Siedlungs- und Wasserinfrastrukturentwicklung auf. Es sollten allerdings nicht nur diese Potenziale der gemeinsamen Entwicklung von Siedlungsstrukturen und Wasserinfrastrukturen genutzt werden, sondern generell auch eine Abstimmung in der Infrastrukturplanung erfolgen. Gerade da bei Maßnahmen am Abwassernetz oft intensive Erdarbeiten und die Öffnung der Straßen erforderlich sind, sollte vorab geprüft werden, ob sich gemeinsame Handlungsfenster für die unterirdische Infrastruktur oder mit dem Straßenbau finden lassen, um so Synergien zu erzeugen. Derartige Bestrebungen setzen allerdings geeignete Planungsinstrumente sowie eine entsprechende Förderpolitik voraus.

11. Resilienzprofile der BNT

Neben den beschriebenen Maßnahmen, die vorwiegend auf das Kanalnetz ausgerichtet sind, sollten zur Anpassung an demografiebedingte Schwankungen der Abwassermengen auch Maßnahmen in Kläranlagen Berücksichtigung finden. Da geringere Fließgeschwindigkeiten in konventionellen Freispiegelleitungen zu längeren Stand- und Fließzeiten führen, werden die organischen Stoffe im Abwasser bereits vermehrt abgebaut, bevor sie die Kläranlage erreichen. Dies führt zu einem schlechteren Verhältnis von Kohlenstoffen zu Stickstoff im Abwasser, was sich wiederum negativ auf die Reinigungsleistung in der biologischen Klärstufe auswirkt. Betrieblich kann darauf mit kürzeren Verweilzeiten in der Vorklärung oder der Zugabe von externen Kohlenstoffquellen reagiert werden. Des Weiteren kann auch durch lastenabhängige Mengensteuerung oder zusätzliche Belüftung eine bessere biologische Reinigungsleistung erzielt werden. (vgl. Hillenbrand et al. 2010: 120ff.)

Eine weitere Folge des Demografischen Wandels, die insbesondere die Abwasserreinigung betrifft, ist der steigende Anteil von Medikamentenrückständen im Abwasser. Durch die zunehmende Alterung der Bevölkerung und den verstärkten Medikamenteneinsatz lassen sich im Abwasser zunehmende Konzentrationen von chemischen Mikroschadstoffen nachweisen, die durch die derzeit übliche, dreistufige Abwasserreinigung nicht geklärt werden können. Sie gelangen daher in den natürlichen Wasserkreislauf und damit auch ins Grundwasser. Verfahren zur Beseitigung dieser Mikroschadstoffe aus dem Abwasser wurden bereits entwickelt (v. a. Ozonierung und Einsatz von Aktivkohle) und lassen sich theoretisch als vierte Klärstufe an die meisten bestehenden Kläranlagen ankoppeln. Ohne die Festlegung einer rechtlichen Notwendigkeit für eine vierte Klärungsstufe beschränkt sich die Umsetzung jedoch auf wenige Pilotanlagen. (vgl. Hillenbrand et al. 2010: 68ff.)

11.3 Baustrukturtypenbezogene Resilienzprofile – Zuordnung der Maßnahmen zu den BNT

Nachdem generell und baustrukturunspezifisch Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit und technischen Anpassungsfähigkeit von Gebäuden gegenüber Hageleinschlag und Abwasserinfrastrukturen gegenüber demografischen Veränderungen beschrieben wurden, werden diese Maßnahmen nun einzelnen BNT zugeordnet. Im Sinne des Resilienzverständnisses dieser Arbeit wird physische Robustheit als Gegenpol zur Vulnerabilität verstanden (siehe Kapitel 5.5). Demensprechend können aus den in Kapitel 10.2 dargestellten Vulnerabilitätsprofilen auch die Robustheiten der BNT anhand der exemplarischen Herausforderungen Hagelschlag und Demografischer Wandel abgeleitet werden. Zusammen mit der BNT-spezifischen Zuordnung von Handlungsempfehlungen ergeben sich so die in der nachfolgenden Tabelle 34 dargestellten Resilienzprofile der BNT.

Grundsätzlich könnten einige der in den vorangegangenen Unterkapiteln aufgeführten Maßnahmen prinzipiell in allen BNT umgesetzt werden. Die in den Resilienzprofilen aufgeführte Maßnahmenzuordnung beruht auf einer Einschätzung des Autors, die auf Basis der idealtypischen Charakteristika der BNT getroffen wurde (siehe auch Kapitel 7.2.1 & 7.2.2). Es wird vorausgesetzt, dass die BNT gegenüber den jeweiligen Herausforderungen exponiert sind. Maßnahmen, die aufgrund der BNT-Charakteristika, wie typischer Dachform, Lage im Siedlungsverbund oder betrieblicher Voraussetzungen, generell für ein BNT geeignet erscheinen und zu einer Steigerung der Persistenz beitragen können, sind mit einem Kreis („○“) gekennzeichnet. Erscheint dem Autor die Umsetzung dieser Maßnahmen aufgrund der spezifischen Herausforderungen bei der überwiegenden Zahl der BNT-Flächen dieses Typs mittel- bis langfristig auch erforderlich, so ist die Maßnahme mit einem Punkt („●“) gekennzeichnet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Umsetzbarkeit von Maßnahmen generell von den lokalspezifischen Gegebenheiten und Herausforderungen abhängig ist. Die Einschätzung des Autors kann an dieser Stelle nur auf verallgemeinernden Annahmen beruhen. Auch wenn in der Tabelle Maßnahmen für ein BNT als umsetzbar und erforderlich gekennzeichnet sind, können die lokalen Gegebenheiten dazu führen, dass die Umsetzung weder möglich noch erforderlich ist. Umgekehrt können auch Maßnahmen, die in der Tabelle für ein BNT nicht markiert wurden, im lokalen Kontext durchaus sinnvoll sein. Die Resilienzprofile sind daher als BNT-spezifischer Katalog potenzieller Maßnahmen zu verstehen, die im Rahmen von Planungsprozessen in Betracht gezogen werden können. Die tatsächliche Umsetzbarkeit ist allerdings zu prüfen.

Der BNT **traditionelle Blockstrukturen** weist eine niedrigere Vulnerabilität der Gebäude gegenüber Hagelereignissen und eine moderate Vulnerabilität der Abwasserinfrastrukturen gegenüber dem Demografischen Wandel auf (siehe Tabelle 31, S. 372). Da jeweils die höher bewertete Vulnerabilität ausschlaggebend für die Gesamtbewertung der Vulnerabilität eines BNT ist, wird aus dem relativen Vulnerabilitätsprofil des BNT traditionelle Blockstrukturen eine moderate Robustheit gegenüber externen Herausforderungen abgeleitet. Da es sich überwiegend um mehrgeschossige Mehrfamilienhäuser mit Walm- oder Satteldächern handelt, sind zur Anpassung an Hagelereignisse die Maßnahmen für Flachdächer nicht geeignet. Dagegen können zum Schutz der Wohnungen in den oftmals ausgebauten Dachgeschossen hagelsichere Dämmstoffe eingesetzt werden. Robuste Fassadenmaterialien können zwar grundsätzlich die Gebäuderobustheit erhöhen, sind aufgrund der hohen Siedlungsdichte und der oftmals engen Stellung der Gebäude zueinander nicht unbedingt erforderlich.

Tabelle 34: Resilienzprofile der physischen Dimension der BNT

| BNT | Relative Robustheit | Maßnahmen Hagelschutz | | | | | | Maßnahmen Abwassersystem | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|------------------|------|---------------------------------|
| | | Hagelschutzgitter | Belag Flachdach / Dachbegrünung | Hagelsichere Dämmstoffe | Materialwahl Fassaden | Hagelschutznetze | Nutzerverhalten Rollladen / Jalousien | Leitungsspülungen | Dynamische Kanalnnetzsteuerung | Inlinersanierung | Dezentralisierung | Unterdrucksystem | NASS | Multifunktionale Flächennutzung |
| Traditionelle Blockstrukturen | <i>moderat</i> | | | ● | ○ | | ● | ○ | ○ | | | | | ● |
| Zeilenbebauung | <i>niedriger</i> | ○ | ○ | ○ | ● | | ● | ○ | ○ | | | ○ | ○ | |
| Geschosswohnungsbau in offener Bauweise | <i>niedriger</i> | ● | ● | | ● | | ● | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | |
| Sonstige Mehrfamilienhäuser | <i>niedriger</i> | | | ● | ○ | | ● | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung | <i>moderat</i> | | | ● | ○ | ○ | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung | <i>niedriger</i> | | | ● | ● | ○ | ● | ● | ● | ● | ○ | ● | ● | |
| Dorfkern/Ortslage | <i>moderat</i> | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | |
| Innerstädtische Mischbebauung | <i>höher</i> | ○ | ○ | ○ | ● | | ● | ○ | ○ | | | | | ● |
| Industriegebiet | <i>moderat</i> | ○ | ○ | | ● | ○ | | | | | | | | |
| Logistikpark | <i>höher</i> | ○ | ○ | | ● | ○ | | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | |
| Kleinteiliges Gewerbegebiet | <i>moderat</i> | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ● | ○ | ○ | | | ○ | ○ | |
| Klassisches Gewerbegebiet | <i>niedriger</i> | ● | ○ | | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | ○ |
| Technologiepark | <i>höher</i> | ● | ● | | | | ● | ○ | ○ | | ○ | ● | ● | ○ |

Quelle: eigene Darstellung

- = „Kann-Maßnahmen“, die zur Steigerung der Persistenz grundsätzlich geeignet sind
- = „Soll-Maßnahmen“, die mittel- bis langfristig umgesetzt werden sollten

Ein angepasstes Verhalten der Bewohner im Hinblick auf das Hochziehen der Rollläden erhöht, wie grundsätzlich bei allen Wohn-BNT, die Adaptivität. Der BNT ist überwiegend in zentralen Siedlungsbereichen mit hohen Siedlungsdichten zu finden, sodass die Abwasserinfrastrukturen in der Regel ausreichend ausgelastet sind und Durchleitungsfunktionen für angrenzende Siedlungsflächen besitzen. Querschnittsverkleinerungen, Dezentralisierung oder die Umrüstung auf Vakuumentwässerung scheinen daher nicht erforderlich bzw. umsetzbar. Leitungsspülungen oder eine dynamische Kanalnetzsteuerung können bei Klimaextremen (lange Trockenperioden bzw. Starkregen) mitunter erforderlich sein. Auch die multifunktionale Flächennutzung sollte in diesem hoch verdichteten BNT zur Bewältigung von Abflussspitzen in Betracht gezogen werden. NASS scheinen aufgrund oftmals komplexer Eigentümerkonstellationen und der Voraussetzung einer Unterdruckentwässerung wenig geeignet.

Der BNT **Zeilenbebauung** weist ausgehend von den festgestellten Vulnerabilitäten (siehe Tabelle 31, S. 372) eine moderate Robustheit gegenüber Hagelschäden und eine niedrigere Robustheit der Abwasserinfrastrukturen gegenüber demografischen Entwicklungen auf, sodass insgesamt von einer *niedrigeren* Robustheit im Vergleich zum Mittel aller BNT ausgegangen werden kann. Vergleichbar wird auch die Einschätzung der Robustheit der übrigen Wohn-BNT als Gegensatz zu den in Kapitel 10.2 beschriebenen Einschätzungen der Vulnerabilität der BNT abgeleitet. Die Herleitung der Robustheit der BNT wird daher im Weiteren nicht für alle BNT explizit beschrieben, sondern kann Tabelle 34 entnommen werden.

Zeilenbauten können sowohl Flachdächer als auch Walm- oder Satteldächer aufweisen, sodass alle potenziell zutreffenden Maßnahmen zum Hagelschutz der Dächer ergriffen werden können. Lage und Abwasserinfrastrukturauslastung sind vergleichbar zur innerstädtischen Blockrandbebauung, folglich treffen die entsprechenden Einschätzungen auch auf diesen BNT zu. Da Zeilenbauten oftmals als Straßenzüge oder ganze Gebiete im Besitz einzelner Unternehmen sind, scheint langfristig die Umsetzung von NASS als nachhaltigere Systemalternative weniger problematisch als beim vorherigen BNT. Die multifunktionale Flächennutzung ist dagegen aufgrund der höheren Freiflächenanteile weniger erforderlich.

Geschosswohnungsbauten in offener Bauweise sind als mehrgeschossige Mehrfamilienhäuser mit Flachdach errichtet. Entsprechend sollten Hagelschutzmaßnahmen für Flachdächer ergriffen werden. Für die großflächigen Fassaden sind möglichst robuste Materialien zu wählen. Da dieser BNT nicht nur innenstadtnah, sondern auch als eigenständige Siedlungskörper errichtet wurde, scheint eine Abkopplung von der zentralen Abwasserentsorgung möglich. Es ist als gute Voraussetzung für

11. Resilienzprofile der BNT

die Umsetzung von NASS zu betrachten, dass die Gebäude oftmals einzelnen Wohnbauunternehmen gehören und somit keine differenzierte Eigentümerstruktur gegeben ist.

Sonstige Mehrfamilienhäuser weisen oftmals ausgebaute Dachgeschosse mit Walm- oder Satteldächern auf, sodass hagelsichere Dämmstoffe verwendet werden sollten. Lage und Bauform fallen sehr unterschiedlich aus, sodass im Hinblick auf Hagelschutzmaßnahmen und die Abwasserinfrastrukturen die Mehrzahl der erläuterten Maßnahmen potenziell anwendbar sind. Die Notwendigkeit der Umsetzung hängt von den lokalen Gegebenheiten ab.

Es wird davon ausgegangen, dass die Gebäude in **dichter Ein-/Zweifamilienhausbebauung** überwiegend Walm- oder Satteldächer aufweisen und dementsprechend hagelsichere Dämmstoffe die Robustheit steigern können. Über den Gartenflächen oder Solarpanelen können Hagelschutznetze zur Reduzierung von Hagelschäden beitragen. Geringe Siedlungsdichten und mögliche Siedlungsrandlagen schaffen die Voraussetzungen für Dezentralisierungsmaßnahmen oder die Errichtung von Unterdrucksystemen einschließlich NASS. Auch wird davon ausgegangen, dass aufgrund der, im Vergleich zu den Mehrfamilienhaus-BNT, geringeren Siedlungsdichten die Leitungsdurchmesser gering sind und dementsprechend Inlinersanierungen als Maßnahme zur Reduzierung der Leitungsdurchmesser in Frage kommen.

Bei dem BNT **lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung** sollte aufgrund der freistehenden Gebäude die Materialwahl der Fassaden stärker berücksichtigt werden. Davon abgesehen treffen weitestgehend auch die Annahmen des vorherigen BNT zu. Aufgrund der nochmals geringeren Siedlungsdichte und teils peripheren Lagen mit großen Grundstücksflächen, bietet sich dieser BNT zur Umsetzung von NASS einschließlich dezentraler Regenwasserversickerung auf den Grundstücken und Anschluss an ein Vakuumsystem an. Die oftmals schon geringen Leitungsdurchmesser können möglicherweise durch Inlinersanierungen an rückläufige Einwohnerzahlen angepasst werden.

Charakteristisch für den BNT **Dorfkern/Ortslage** ist der Mix aus unterschiedlichen Gebäudetypen und -nutzungen einschließlich landwirtschaftlicher Gebäude, die oftmals aus wenig robusten Materialien errichtet sind (z. B. Schuppen, Gewächshäuser). Dementsprechend sollten Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit der Dächer und der Fassaden ergriffen werden. Hagelschutznetze können gerade bei Gewächshäusern und Agrarflächen die Robustheit erhöhen. Die relativ konzentrierte Siedlungsstruktur ermöglicht eine vergleichsweise effiziente Abwasserinfrastrukturerschließung. Da Dorfkerne oftmals das Zentrum kleinerer Siedlungseinheiten abseits der zentralen Siedlungskerne darstellen, bieten sie aufgrund der Lage grundsätzlich großes Potenzial zur Dezentralisierung oder zum Anschluss an ein Unterdruckentwässerungssystem. Die Umsetzbarkeit von NASS ist stark von

der konkreten Nutzungsstruktur und der Bereitschaft der unterschiedlichen Grundstückseigentümer abhängig. Allerdings könnten die rückgewonnenen Nährstoffe mitunter direkt vor Ort als landwirtschaftliche Düngemittel eingesetzt werden, sodass ein großes Umsetzungspotenzial gegeben ist.

Im BNT **innerstädtische Mischbebauung** weisen die Gebäude unterschiedliche Dachformen auf, sodass die entsprechenden Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit der Dächer objektspezifisch auszuwählen sind. Bei den oft großflächigen, repräsentativen Fassaden des Einzelhandels ist auf eine robuste Materialwahl zu achten, insbesondere wenn die Fassaden eine ästhetische Funktion erfüllen. Außenjalousien sind bei Hagel durch das Gebäudemanagement hochzufahren. Durch die hohe Verdichtung und die zentrale Lage weisen Flächen dieses Typs eine hohe Infrastruktureffizienz auf. Da Abwasserleitungen hier oft eine Sammel- oder Durchleitungsfunktion erfüllen, ist eine Abkopplung vom zentralen Abwassernetz kaum umsetzbar, noch erforderlich. Eine dynamische Kanalnetzsteuerung und multifunktionale Flächennutzung können den Umgang mit Starkniederschlagsereignissen erleichtern.

Alle Gewerbe-BNT weisen die gleichen Einschätzungen relativ niedriger Vulnerabilitäten der Abwasserkostenentwicklung gegenüber dem Demografischen Wandel auf. Die Hagelvulnerabilitäten unterscheiden sich allerdings (siehe Tabelle 31, S. 372). Für die Einschätzung der Robustheit der Gewerbe-BNT überwiegt demzufolge die Bewertung der Hagelvulnerabilitäten, da in der Zusammenführung der beiden empirischen Abschnitte die jeweils höher bewertete Vulnerabilität ausschlaggebend ist.

Die häufig großflächigen Produktionshallen in **Industriegebieten** weisen unterschiedliche Dachformen auf, darunter Flachdächer, aber auch schräge Shed- oder Grabendächer. Dementsprechend können Maßnahmen wie Dachbegrünung oder Hagelschutzgitter nur begrenzt eingesetzt werden. Bei den großflächigen Fassaden ist auf eine robuste Materialwahl zu achten. Hagelschutznetze können zum Schutz exponierter Anlagenteile oder unter freiem Himmel lagernder Güter eingesetzt werden. Da die Abwasserinfrastrukturerschließung auf den großen Grundstücken oft eigenständig erfolgt, sind die Maßnahmenoptionen diesbezüglich begrenzt. Die hohen Abwassermengen und starken Schadstoffbelastungen schließen eine Dezentralisierung sowie die Stoffstromtrennung aber nahezu aus.

Die denkbaren Maßnahmen zur Adaption an Hagelereignisse unterscheiden sich für die großen Lagerhallen der **Logistikparks** nicht von den Industriegebieten. Da Logistikparks oftmals in verkehrsgünstiger Lage abseits zentraler Siedlungsbereiche liegen, bieten sie Potenziale zur

11. Resilienzprofile der BNT

Dezentralisierung oder Vakuumentwässerung sowie zur Installation von NASS für das überwiegend gering belastete Abwasser.

In **kleinteiligen Gewerbegebieten** sind Maßnahmen zum Schutz vor Hagelschäden aufgrund der sehr unterschiedlichen Gebäudeformen objektspezifisch auszuwählen. Bei den oftmals kleinen Gebäuden, die zum Teil auch Wohnungen beinhalten, kann von Rollläden oder Rollos ausgegangen werden, die im Hagelfall hochzuziehen sind. Die oft integrierte Lage im Siedlungskörper erschwert die Abkopplung vom zentralen Abwassernetz. Zu prüfen ist, ob niedrig belastetes Grauwasser aus der Stoffstromtrennung mitunter noch als Kühl- oder Spülwasser in Produktionsprozessen eingesetzt werden kann.

Die großräumigen Gebäudestrukturen in **klassischen Gewerbegebieten** sind mit den Gebäudestrukturen in Logistikparks vergleichbar und erfordern daher ähnliche Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit gegenüber Hagel. Die Ausstellungsräume des Einzelhandels erhalten in der Regel über Lichtkuppeln Tageslicht, sodass Hagelschutzgitter in diesem BNT eine gewisse Bedeutung zur Steigerung der Robustheit zukommen kann. Ähnlich wie in kleinteiligen Gewerbegebieten ist grundsätzlich die Installation von NASS einschließlich einer Unterdruckentwässerung denkbar, wenn in den Gebieten keine Betriebe ansässig sind, die große und stark belastete Abwassermengen erzeugen. Aufgrund des hohen Versiegelungsgrades ist denkbar, dass beispielsweise die großflächigen Parkflächen temporär auch zur Regenwasserspeicherung eingesetzt werden könnten.

Die Gebäude in **Technologieparks** sind meist aus robusten Materialien und in Flachdachbauweise errichtet. Somit bieten sich Dachbegrünungen und Hagelschutzgitter als exemplarischer Maßnahmen zur Erhöhung der Hagelrobustheit an. Vor den zahlreichen Fenstern befinden sich oft Außenjalousien, die im Falle von Hagelstürmen zentral durch das Gebäudemanagement steuerbar sein sollten. Da Technologieparks oftmals auch als eigenständige Gewerbegebiete errichtet sind und keine besonders hohen Abwassermengen erzeugen, bestehen Potenziale zur Dezentralisierung sowie zur Installation von NASS. Letztere könnten in der Technologiebranche durchaus imagefördernd mit dem zukunfts- und technikorientierten Selbstverständnis der ansässigen Unternehmen in Einklang gebracht werden und sollten daher als Maßnahme in diesem BNT besonders gefördert werden.

Kapitel 10 und 11 haben im Hinblick auf die sechste Forschungsfrage aufgezeigt, wie Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile städtischer Systeme grundsätzlich ausgestaltet sein können. Die Erläuterungen der Resilienzprofile zeigen, dass auf Ebene der BNT nur eine sehr verallgemeinerte Zuordnung von Handlungsempfehlungen möglich ist, die auf idealtypischen Annahmen zur Charakteristik der BNT

beruht. Es ist stets zu hinterfragen, ob diese Maßnahmen auch konkret zur Lösung der lokalspezifischen Herausforderungen beitragen oder im lokalen Kontext überhaupt erforderlich sind. Die aufgeführten Optionen und Maßnahmen sind daher lediglich als Aufzählung allgemeiner Handlungsempfehlungen zu verstehen, die potenziell in den BNT anwendbar sein können und dem Autor für die jeweiligen BNT besonders geeignet erscheinen. Die Resilienzprofile ersetzen keinesfalls eine intensive Auseinandersetzung mit den ortsspezifischen Herausforderungen und eine darauf basierende Maßnahmenentwicklung. Dies verdeutlicht die Bedeutung und Notwendigkeit der Planung sowie Steuerung der kleinräumigen Siedlungsentwicklung in einer adaptiven Governance, die damit ebenfalls zur Steigerung der urbanen Resilienz beiträgt.

12. Institutionelle Resilienz

In der Planungskulturforschung wird dargestellt, wie planerische Prozesse und Entscheidungen in kulturelle Kontexte eingebunden sind. Genauso wie die urbanen Systeme keine autarken Inseln sind, die völlig ohne Bezug zu ihrer Umwelt stehen, sind auch Planungsprozesse und die letztendlichen Entscheidungen immer im Kontext der sie beeinflussenden Gegebenheiten zu betrachten. Nach OTHENGRAFEN UND REIMER setzt sich dieser planungskulturelle Kontext aus drei Kategorien zusammen: Erstens bestimmt das gesellschaftliche Umfeld grundsätzlich die Wertehaltungen und Normen, die Planungsprozessen bewusst wie unterbewusst zugrunde liegen und die dementsprechend auch das Ergebnis beeinflussen. Zweitens einen ein grundlegend gemeinsamer kognitiver Rahmen, planerische Paradigmen und bestimmte Prinzipien, die auf die Planungsprozesse angewendet werden, die Planungsakteure. Dies wird als planerisches Umfeld beschrieben, in dem Planungsprozesse stattfinden. Als dritter Aspekt stellen sogenannte planerische Artefakte den Ausgangspunkt für alle Planungsprozesse dar. Egal ob sich nun um bestehende physisch-bauliche Strukturen oder bereits existierende Planungsdokumente handelt, knüpfen Planungsprozesse immer an eine Ausgangslage an, die damit auch den Planungsprozess und mögliche Lösungswege maßgeblich beeinflussen. Kein Planungsprozess lässt sich demzufolge rein rational und formallogisch durch sich selbst und vollständig unabhängig erklären. Bestandsstrukturen, planungsrechtliche Rahmenbedingungen und gesellschaftliche, normative Zielsetzungen sind dabei die drei zentralen Aspekte, die gemäß der Planungskulturforschung Planungsentscheidungen beeinflussen. (vgl. Othengrafen und Reimer 2013: 1272ff.) Im Hinblick auf die drei Dimensionen urbaner Resilienz lassen sich Querbezüge zum ebenfalls dreigliedrigen, kulturalisierten Planungsmodell nach OTHENGRAFEN herstellen (vgl. Othengrafen 2010: 92). Während in der physischen Dimension der Resilienz auch planerische Artefakte zu finden sind, spiegelt die institutionelle Dimension das planerische Umfeld. Das gesellschaftliche Umfeld in der Planungskulturforschung wird durch die soziale Dimension urbaner Resilienz aufgegriffen. Während letzteres in Kapitel 13 adressiert wird, stehen in Kapitel 12 die Akteure, Abläufe und Rahmenbedingungen des Planungsprozesses im Sinne des planerischen Umfelds im Vordergrund.

Nachdem im vorangegangenen Kapitel baulich-technische Handlungsempfehlungen der physischen Dimension der urbanen Resilienz dargestellt und den BNT zugeordnet wurden, sind im Sinne der Transferierbarkeit des Konzepts in die Praxis auch Handlungsansätze für die beiden anderen Resilienzdimensionen darzustellen. Gerade da Resilienz in dieser Arbeit als prozessorientiertes Konzept verstanden wird (siehe Kapitel 5.3.1), müssen auch die Prozesse berücksichtigt werden, die zur

Entstehung und Entwicklung von urbanen Systemen beitragen. Weil der empirische Fokus dieser Arbeit jedoch auf Analysen der physischen Vulnerabilität von städtischen Systemen auf Baustrukturtypenebene liegt, liegt auch der konzeptionelle Schwerpunkt auf BNT-spezifischen Handlungsempfehlungen für die physische Dimension urbaner Resilienz. Die Handlungsempfehlungen für die institutionelle Dimension sowie für die soziale Dimension urbaner Resilienz weisen daher nicht den gleichen Konkretisierungsgrad auf, wie in Kapitel 11 für die Resilienzprofile dargestellt. Die in den Kapiteln 12 und 13 aufgeführten Optionen sind der Resilienz- und Planungsliteratur entnommen und werden vom Autor im Hinblick auf ihre generelle Anwendbarkeit im Kontext des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* diskutiert. Dabei handelt es sich lediglich um eine Auswahl möglicher Handlungsoptionen, die keinesfalls als abschließende Liste zu verstehen ist.

Ausgehend von Operationalisierungskriterien der Resilienz (siehe Kapitel 5.5) werden im ersten Unterkapitel kurz mögliche Schwächen im deutschen Planungssystem hinsichtlich einer resilienten Stadtentwicklung diskutiert und entsprechende Anpassungsmöglichkeiten dargestellt. Ein Vergleich mit internationalen Planungssystemen erfolgt im Hinblick auf den Umfang der Arbeit nicht. Dazu sei an dieser Stelle auf die Resilienzliteratur, die sich mit dem Transfer des Konzepts in die Planungspraxis auseinandersetzt (z. B. Mehmood 2015; van der Heijden 2014; Desouza und Flanery 2013; Wilkinson 2011; Comfort et al. 2010) sowie auf die in Kapitel 5.4 aufgeführten Praxisbeispiele, hingewiesen. Im zweiten Unterkapitel werden die Potenziale einer stärkeren Einbindung der Öffentlichkeit und privater Akteure im Sinne einer dialogorientierten Governance beschrieben. Daran anschließend beschreibt der Autor sein Verständnis einer adaptiven Governance als Hauptzielsetzung für die Handlungsebene der institutionellen Resilienzdimension. Abschließend folgt ein Exkurs in die aus der Informatik stammende Scrum-Methode, die zunächst beschrieben und anschließend erörtert wird, welche Aspekte der Methode sich möglicherweise in Planungsprozesse übertragen lassen und welche Potenziale sich daraus für die Anpassung von Planungsprozessen im Sinne einer adaptiven Governance ergeben.

12.1 Handlungsansätze in der Planung für eine adaptive Governance

Da die in diesem Kapitel aufgeführten Handlungsempfehlungen im Sinne der Handlungsebene des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* zur Umsetzung einer adaptiven Governance beitragen sollen, ist zunächst einmal zu klären, was unter dieser Zielsetzung überhaupt konkret zu verstehen ist. Zum Verständnis von Adaptivität wird auf die ausführliche Definition in Kapitel 1.5 verwiesen, wonach es um den kontinuierlichen Erhalt der Anpassungsfähigkeit an neue Herausforderungen geht. Der Governance-Begriff wird mittlerweile je nach Disziplin unterschiedlich definiert, geht jedoch auf

12. Institutionelle Resilienz

die Institutionenökonomie sowie Untersuchungen von Ronald Coase zu Transaktionskosten und Unternehmensorganisation im Jahr 1937 zurück (vgl. Benz und Dose 2010: 17f.). Mittlerweile hat sich der Begriff auch in der Gesellschaftsforschung und der Politikwissenschaft etabliert. Er beschreibt grundsätzlich die Art und Weise wie etwas (z. B. eine Organisation oder ein Staat) gelenkt, gesteuert, regiert oder koordiniert wird. Es geht dabei nicht rein um den Prozess des Steuerns an sich und seine Ergebnisse, sondern auch um strukturelle, funktionale und instrumentelle Aspekte, die Steuerungsprozesse beeinflussen und zu guten oder schlechten bzw. effizienten oder ineffizienten Prozessabläufen führen können. In der Politikpraxis hat sich, vor allem in der Entwicklungspolitik, ab den 1980er Jahren die normative Ausrichtung auf eine *Good Governance* etabliert, die von der Weltbank als Form „einer effizienten, rechtsstaatlichen und bürgernahen Staats- und Verwaltungspraxis“ (ebd.: 20) definiert wurde. Bei allen disziplinären Deutungsunterschieden kann der Begriffskern doch auf vier zentrale, wiederkehrende Eigenschaften reduziert werden:

1. Governance bezieht sich auf das Regieren, Steuern und Koordinieren mit der Zielsetzung, Interdependenzen zwischen Akteuren mit unterschiedlichen Zielen zu managen. Dabei wird in der Regel eine grundsätzliche Kooperationsbereitschaft der Akteure vorausgesetzt.
2. Die Steuerungsprozesse basieren auf institutionalisierten Regelsystemen, die das Handeln der Akteure beeinflussen und lenken. Meist liegt eine Kombination unterschiedlicher Regelsysteme vor.
3. Neben den institutionalisierten Handlungsmustern umfasst Governance auch Interaktionsformen (kollektiven Handelns) zwischen den Akteuren, die nicht durch die Institutionen determiniert sind und sich somit informell ergeben (z. B. Wettbewerbsanpassungen, Koalitionen, Netzwerke).
4. Der Governance-Begriff beschreibt Interaktionsformen, die in der Regel die Grenzen formaler Regierungsorgane oder Organisationen überschreiten. Politik im Sinne des Governance-Begriffs findet dementsprechend in der Praxis im Zusammenwirken von staatlichen und nicht-staatlichen Akteuren statt. (vgl. ebd.: 25f.)

Diese vereinfachte Basisdefinition von Governance verdeutlicht, dass Governance nicht mit Government, also der Regierung(-sform) an sich, zu verwechseln ist. Es geht nicht allein um die formalen Steuerungsprozesse durch hoheitliche Aufgabenträger, sondern generell um die Art und Weise, wie in komplexen Akteurskonstellationen gesteuert wird bzw. wie Entscheidungen entstehen und getroffen werden. Gerade dadurch, dass sich Governance auf unterschiedliche Steuerungsformen und das Zusammenwirken komplexer Akteurskonstellationen bezieht, scheint der Begriff in besonderem

Maße als Zielsetzung für die Handlungsebene der institutionellen Dimension der urbanen Resilienz geeignet. Die Offenheit gegenüber neuen, formellen und informellen sowie auch nicht intendierten Akteurskonstellationen und Handlungsmustern ist eine wichtige Voraussetzung, um die Adaptivität und Transformativität von Planungs- und Steuerungsprozessen zu ermöglichen. Auch die essentielle Einbeziehung von Komplexität als wichtiger Aspekt der Governance deckt sich mit der hohen Bedeutung von Komplexität in holistischen Verständnissen des Resilienzkonzepts.

Doch was kann Resilienz im Hinblick auf Regierungs-, Steuerungs- oder Koordinierungsprozesse eigentlich bedeuten? Aus den Operationalisierungen von Resilienz in der Fachliteratur (siehe Kapitel 5.5) lassen sich einige Eigenschaften identifizieren, die einen starken Bezug zur Planung und Steuerung aufweisen:

- *Verlässlichkeit/Funktionssicherheit*: Die zuverlässige Funktionserfüllung ist eines der Grundprinzipien der Resilienz (urbaner) Systeme. Das heißt nicht, dass der Systemzustand unverändert beibehalten werden muss, aber die Nutzbarkeit der Funktion eines Systems sollte gegeben bleiben. In der Planung könnte dies beispielsweise die Sicherung der Daseinsvorsorge, der körperlichen Unversehrtheit oder ein ausreichendes Arbeitsplatzangebot bedeuten und bezogen auf den Planungsprozess selbst, die formalrechtliche Steuerung der Siedlungsentwicklung oder die Sicherung der Bürgerbeteiligung. (vgl. Fekkar et al. 2016: 13)
- *Reaktionsfähigkeit/Flexibilität*: Sowohl technische, urbane Systeme als auch Planungsprozesse und die institutionellen Rahmenbedingungen müssen in der Lage sein kurzfristig auf veränderte Rahmenbedingungen und unerwartete Ereignisse reagieren zu können. Was auf physischer Ebene beispielsweise durch Pufferkapazitäten und Redundanzen erreicht wird, kann in der institutionellen Dimension durch ein strukturiertes Krisenmanagement mit klaren Notfallplänen und Verhaltensregeln sowie durch handlungsfähige Netzwerke unterstützt werden. Dabei steht insbesondere die sehr kurzfristige Handlungsfähigkeit zur unmittelbaren Krisenbewältigung im Vordergrund. (vgl. ebd.: 14; Wilkinson 2011: 162; Bruijne et al. 2010: 16ff.)
- *Adaptivität*: Grundsätzlich wird resilienten Systemen die Fähigkeit zur Selbstorganisation zur Anpassung an neue Herausforderungen zugeschrieben. In sozio-ökologischen Systemen, die stark von Menschen beeinflusst werden, ist die Adaptivität des Systems Ergebnis der Adaptivität der handelnden Akteure, die bewusst oder unbewusst die Entwicklung des Systems entsprechend ihrer Zielsetzungen steuern. Die Adaptivität von Planungsprozessen ist also maßgeblich von der Adaptivität der Individuen oder Gruppen abhängig, die die Prozesse steuern. (vgl. Meerow et al. 2016: 44; Mehmood 2015: 415; Wilkinson 2011: 162; Folke et al. 2010; Walker et al. 2006)

12. Institutionelle Resilienz

- *Lernfähigkeit*: Die Fähigkeit, aus vorangegangenen Erfahrungen zu lernen, ist eine wichtige Voraussetzung dafür, Herausforderungen und Krisen nicht nur kurzfristig überwinden, sondern das System auch langfristig anpassen oder weiterentwickeln zu können. Durch diese Fähigkeit werden eine effiziente, vorausschauende Planung und innovative Lösungen überhaupt erst möglich. Zur Lernfähigkeit in Planungsprozessen können neben den individuellen Fähigkeiten der handelnden Akteure auch entsprechende Methoden und Instrumente sowie strukturierte Evaluationsprozesse beitragen. (vgl. Fekkek et al. 2016: 13f.; Mehmood 2015: 415; Bruijne et al. 2010: 19ff.)
- *Transformativität*: Resiliente Systeme müssen in der Lage sein, ihre Struktur grundsätzlich zu verändern, wenn sie in einen Zustand gelangen, der langfristig nicht tragbar ist und auch durch Adaption nicht deutlich verbessert werden kann. Neben Innovationen ist dazu auch die Transformativität der handelnden Akteure sowie der institutionellen Strukturen notwendig. Dies umfasst die Fähigkeit und Kapazitäten, den notwendigen Umschwung zu gestalten und zu unterstützen. Im Unterschied zur Adaptivität steht nicht der Erhalt der Systemstrukturen, sondern der Erhalt der grundsätzlichen Systemfunktionen im Vordergrund, was auch einen tiefgreifenden Wandel nach sich ziehen kann. Bezogen auf Planungsprozesse bedeutet dies, dass der Ablauf und die Organisation dieser Prozesse an sich ebenfalls zu hinterfragen sind. Sowohl die prozessualen Abläufe als auch die handelnden Akteure müssen in der Lage sein, die Adaptivität der Prozesse zu erhalten oder die Strukturen so zu verändern, dass neue Adaptionkapazitäten geschaffen werden. (vgl. Mehmood 2015: 415; Bruijne et al. 2010: 19ff.; Folke et al. 2010; Walker et al. 2006)

Ausgehend von diesen Resilienzeigenschaften als Zielsetzungen für die Ausgestaltung von Planungsprozessen und institutionellen Strukturen können die derzeitigen Prozesse und Strukturen evaluiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Da es sich hierbei um sehr allgemeine Handlungsempfehlungen handelt, können informelle Verfahren und spezifische Strukturen in einzelnen Kommunen oder Regionen nicht berücksichtigt werden. Die Umsetzbarkeit der Handlungsempfehlungen ist also stets vor dem Hintergrund der lokalen Gegebenheiten zu prüfen.

Grundsätzlich beruht das deutsche Planungssystem überwiegend auf dem positivistischen „Paradigma linearer Strategieentwicklung“ (Wiechmann 2008: 143), das von der induzierten Steuerbarkeit der Raumentwicklung ausgeht. Demzufolge umfassen Planungsprozesse – ausgehend von einer Herausforderung bzw. einem Handlungsbedarf – die Problemanalyse und die kausale Ableitung von Lösungspfaden. Die Lösungen werden anschließend überwiegend top-down-orientiert umgesetzt,

wenn auch mit Elementen der Partizipation. Zum Teil wird der Planerfolg abschließend evaluiert. Demgegenüber steht das Paradigma adaptiver Strategieentwicklung, das anstelle synoptischer Gesamtstrategien auf die projektorientierte, inkrementelle und kooperative Weiterentwicklung von Strategien in einem dynamischen Umfeld abzielt. (vgl. ebd.: 142ff.) WIECHMANN UND HUTTER stellen eine „europaweite Renaissance strategischer Planung“ (Wiechmann und Hutter 2008: 102) im Kontext der Unplanbarkeit des räumlichen Wandels fest. Um Planungsprozesse an veränderliche Rahmenbedingungen anzupassen, erlauben adaptive Strategiemodelle graduelle Anpassungen der strategischen Ziele sowie retrospektives Lernen aus vergangenen Erfahrungen (vgl. ebd.: 103). Strategische Planungsprozesse dieser Art sind jedoch eher in informellen Leitbildprozessen und in exemplarischen Pilotprojekten zu finden, als dass sie das Alltagshandeln in der Planung darstellen. So hat sich beispielsweise der „perspektivische Inkrementalismus“ (Hutter 2006: 213) der Internationalen Bauausstellung Emscher Park im Ruhrgebiet über 10 Jahre hinweg (1989–1999) als weitgehend erfolgreicher konzeptioneller Ansatz eines strategischen Planungsprozesses herausgestellt, doch konzentriert er sich auf die Umsetzung „vom Alltag abgehobene[r] Projekte“ (ebd.).

Diese sehr idealisierte und vereinfachte Darstellung kann nicht alle spezifischen Ausprägungen unterschiedlicher Planungsprozesse erfassen, hebt jedoch eine Grundproblematik heraus, die den Resilienzeigenschaften entgegensteht: nämlich einen im Alltag überwiegend linearen Prozessverlauf, der zu abschließenden Ergebnissen kommt, die dann auch baurechtlich unbefristet in Planwerken festgeschrieben werden. Eine wesentliche Erkenntnis der Resilienzforschung ist jedoch, dass sich Rahmenbedingungen und Herausforderungen dynamisch verändern und sich die urbanen Systeme zum Erhalt ihrer Resilienz ebenso stetig an diese Veränderungen anpassen müssen. Insofern sollte auch Planung, im Sinne eines adaptiven Selbstverständnisses, die Planungsprozesse, -instrumente und rahmengebenden Strukturen sowie die Planwerke an neue Herausforderungen adaptieren können. Dies ist notwendig, um ein funktionierendes Planungssystem und damit auch die Funktionen des Gesamtsystems Stadt langfristig sicherstellen zu können. Eine adaptive Planung erfordert zweifellos veränderte rechtliche und finanzielle Rahmenbedingungen, die in Kapitel 12.3 eingehender diskutiert werden. Zum Teil werden bereits Aspekte einer adaptiven Planung im Rahmen von Planungsprozessen zum Klimawandel (z. B. „Climate Proofing“, Birkmann und Fleischhauer 2009: 116; siehe Kapitel 1.5) oder zur nachhaltigen Siedlungsentwicklung in der Praxis umgesetzt (vgl. Ahern 2011: 347). Derartige Prozesse folgen meist eher dem Paradigma der adaptiven Strategieentwicklung und schreiben Strategien zur Förderung von Nachhaltigkeit in Planungskreisläufen immer wieder fort, um veränderte Rahmenbedingungen und neue Erkenntnisse berücksichtigen zu können. Allerdings sind derartige Vorgehensweisen bislang überwiegend auf exemplarische

12. Institutionelle Resilienz

Pilotprojekte oder einzelne Strategieprozesse beschränkt. Adaptive Governance sollte aber vielmehr das planungsorientierte Verwaltungshandeln stetig und in allen Bereichen prägen.

Das deutsche Bauplanungsrecht als institutioneller Rahmen von Planungsprozessen zeichnet sich durch seine hohe Rechtsverbindlichkeit aus. Die allokative Festlegung von Flächennutzungen leistet einerseits einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz durch die Beschränkung des Siedlungsflächenzuwachses, ordnet die verschiedenen Flächennutzungsansprüche und sichert andererseits Grundstückseigentümern verlässlich eine bestimmte, konkrete Nutzbarkeit der Flächen zu. Durch den starken Fokus auf die sehr genaue Einhaltung der Bebauungspläne wird das deutsche Planungssystem im internationalen Vergleich als „conforming planning“ (Fekkek et al. 2016: 15) bezeichnet. Wohingegen Planungssysteme nach dem Prinzip des *performing planning* (wie in den meisten Ländern) primär auf die Zielerreichung und die Einleitung eines zielorientierten Lösungsprozesses statt eines möglichst hohen Planumsetzungsgrads ausgerichtet sind. Die Steuerung der Siedlungsentwicklung erfolgt dann überwiegend durch strategische Vorgaben anstelle zeichnerisch exakter Verortungen von Flächennutzungen im Raum. Wenngleich die starken Sicherungs- und Ordnungsfunktionen des deutschen Planungsrechts durchaus als Vorteile im Sinne der Verlässlichkeit angesehen werden können, so hat die hohe Rechtsverbindlichkeit den Nachteil, dass einmal getroffene Entscheidungen nur unter sehr hohem Aufwand wieder verändert oder korrigiert werden können. Selbst wenn tiefgreifende Veränderungen der Rahmenbedingungen oder neue wissenschaftliche Erkenntnisse eine Anpassung einer bestimmten Flächennutzung erforderlich machen, steht dem der grundrechtlich zugesicherte Eigentums- und Bestandsschutz (vgl. Art. 14 GG) entgegen, dem eine hohe Eingriffsschwelle innewohnt. Die zeitliche Unbegrenztheit von Bebauungsplänen erschwert also die Umsetzung einer adaptiven Planung. (vgl. Fekkek et al. 2016: 15f.) Adaptivität und Transformativität in der Planung werden durch das Planungs- und Eigentumsrecht eingeschränkt. Bei mangelnder Kooperationsbereitschaft der Grundstückseigentümer sind Änderungen von Bebauungsplänen bislang lediglich über baurechtliche Enteignungen möglich, die ein aufwändiges Verfahren bedeuten und ein hohes Gemeinwohlinteresse voraussetzen. Eine potenzielle Handlungsoption zur Steigerung der Adaptivität in der Planung setzt an dieser Stelle an, würde jedoch eine tiefgreifende Veränderung im Bauplanungs- und Eigentumsrecht erforderlich machen: wenn es gelänge die zeitliche Unbegrenztheit von Bebauungsplänen aufzuheben, würde dies einem adaptiven Planungsansatz entgegenkommen. Zweifellos müssen hier öffentliche Gemeinwohlinteressen mit dem hohen Gut des grundrechtlichen Eigentumsschutzes sensibel abgewogen werden. Aber die zukünftig zu erwartenden, tiefgreifenden Veränderungen der Rahmenbedingungen erfordern zur Schaffung von mehr Flexibilität auch eine Adaption des Planungsrechts. Um den privaten

Grundstückseigentümern trotzdem ein gewisses Maß an Planungssicherheit und Verlässlichkeit der Nutzbarkeit ihres Grundstücks zu gewährleisten, wären bestimmte Handlungsfenster für derartige Eingriffe in einem längerfristigen Zeitraum, wie beispielsweise 30 Jahre oder mehr, denkbar. Das ermöglicht zwar immer noch keine kurzfristigen Anpassungen, doch erlaubt bei vorausschauender Planung zumindest prinzipiell ein höheres Maß an Anpassungsfähigkeit. Der möglichen Missnutzung dieses Eingriffsrechts aus unsachgemäßen kommunalen Interessen könnte durch eine höhere Aufsichtsbehörde, die derartige baurechtliche Eingriffe freigeben muss, entgegengewirkt werden. Da für die Abwägung der kleinräumigen Herausforderungen und alternativer Lösungswege die Kenntnis der ortsspezifischen Besonderheiten erforderlich ist, eignen sich für eine solche Aufsicht die Regionalplanung oder die Bezirksregierungen. Beispielsweise im Gewässerschutz und Flussgebietsmanagement wird eine ähnliche Funktion durch die oberen Wasserbehörden erfüllt, die meist bei den Bezirksregierungen ansässig sind und als Genehmigungs- und Überwachungsbehörden die Tätigkeiten der unteren Wasserbehörden (meist auf Kreisebene) überwachen bzw. großräumigere Projekte genehmigen.

Tiefgreifender als Veränderungen im Bauplanungsrechts wäre ein grundsätzlicher Wandel des Planungsprinzips vom *Conformance-* zum *Performance-Prinzip*. Das würde weitreichende rechtliche und institutionelle Veränderungen voraussetzen, um in der Planung den Fokus auf strategische Zielerreichungen anstelle konkreter Planumsetzung legen zu können. Diese Maßnahme würde zu einer Transformation des Planungssystems führen, wenn das *Performance-Prinzip* konsequent auf alle Bereiche der Planung angewendet werden soll. Der planungsrechtliche Instrumentenkatalog, Prozessabläufe und Evaluationskriterien wären grundlegend zu überarbeiten. Allerdings würde ein solches Planungsverständnis einen flexibleren Umgang mit den sich verändernden Rahmenbedingungen ermöglichen. So könnten beispielsweise in einer „parametrischen Governance“ (Fekkek et al. 2016: 16) zwischen den Akteuren wirkungsbezogene, strategische Ziele vereinbart werden. Bei veränderten Bedingungen oder neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen müssten dann Maßnahmen ergriffen werden, um die Zielerreichung auch weiterhin sicherzustellen. Bei solchen Zielen könnte es sich beispielsweise um klimaorientierte Grenzwerte handeln, oder, wie SIEDENTOP anregt, siedlungsstrukturelle Dichteziele, die nicht zu unterschreiten sind, um eine effiziente Infrastrukturversorgung gewährleisten zu können (vgl. Siedentop 2011: 172). Im kommunalen Haushaltsrecht wurden in vielen Kommunen bereits die Voraussetzungen für eine wirkungs- und parameterorientierte Planung geschaffen. „Mit der Einführung des Neuen Kommunalen Haushaltsrechts in Baden-Württemberg oder dem neuen Kommunalen Finanzmanagement in Nordrhein-Westfalen hat das Thema ‚Ziele, Kennzahlen und Zielerreichung‘ eine neue rechtliche Qualität gewonnen“ (Specht 2013: 238).

12. Institutionelle Resilienz

Mithilfe von Kennzahlen operationalisierte Zielsetzungen können mit Budgets ausgestattet und so Bestandteil des kommunalen Haushalts werden. Die Operationalisierung ermöglicht ebenso die Erfolgskontrolle und macht die regelmäßige Berichterstattung durch die Verknüpfung mit dem Kommunalhaushalt zum Bestandteil routinemäßiger politischer Prozesse und der Ratsarbeit. Dies fördert die intensive Auseinandersetzung im politischen Rahmen mit den Herausforderungen und Lösungsansätzen für eine resilientere Stadtentwicklung. Auch das Verwaltungshandeln an sich braucht zur Umsetzung eines wirkungsorientierten, kommunalen Steuerungsansatzes ein neues Organisationskonzept. Exemplarisch kann der „Mannheimer Ansatz“ (ebd.: 239) angeführt werden, der als Reaktion der Stadt Mannheim auf eine Selbstevaluation der internen Verwaltungs- und Planungsprozesse entwickelt wurde. Zu den drei wesentlichen Aspekte dieses Ansatzes gehört erstens der „Führungsdialog“ (ebd.), der von der Führungsebene ausgehend die wirkungsorientierten Zielsetzungen und Kommunikationsstandards vorgibt und im Mitarbeiterdialog konkrete Zielvereinbarungen entwickelt und Prozesstransparenz schafft. Als zweiter Aspekt dient ein IT-gestütztes „Managementinformationssystem“ (ebd.) der umfassenden und aktuellen Informationsaufbereitung für die Führungskräfte, die neben der Auswertung der Zielerreichung auch eine wirkungsorientierte Budgetzuordnung ermöglicht. Als dritter Baustein wurde ein Zielsystem (ebd.) entwickelt, das drei Zielebenen enthält: strategische Ziele, Managementziele sowie Leistungs- und Wirkungsziele. Dabei können die Management- sowie die Leistungs- und Wirkungsziele in mehreren Zielgenerationen an veränderte Rahmenbedingungen angepasst werden. (vgl. ebd.: 239ff.) Der Mannheimer Ansatz zeigt in der hier stark verkürzt dargestellten Form lediglich einen Ansatz für eine Anpassung des Verwaltungshandelns mit dem Ziel zu mehr Wirkungsorientierung. Für den Umgang mit ambivalenten und langfristig unsicheren Herausforderungen in der Planung scheinen parameter- oder wirkungsorientierte Ansätze allerdings vielversprechend, da sie im stadtplanerischen Sinne die Verfolgung normativer, strategischer Ziele ermöglichen, gleichzeitig aber ein höheres Maß an Flexibilität gegenüber neuartigen Herausforderungen zulassen. Sie unterscheiden sich damit von eher starren, linearen Ansätzen im derzeitig vorherrschenden *conformance planning*. Wie der Wandel zu mehr Adaptivität in der Planung im Sinne des *Performance-Prinzips* gelingen kann, stellt auch WIECHMANN ausführlich in seiner Arbeit dar und liefert mit dem „Prozessmodell zur Analyse regionaler Strategiebildung“ (Wiechmann 2008: 160) einen analytischen Rahmen zur Einordnung und zum Vergleich von Planungsprozessen. Anhand unterschiedlicher formeller und informeller Beispielprojekte, die die Bandbreite zwischen exklusiver, strategischer Raumentwicklung und inklusivem, projektorientierten Networking widerspiegeln (vgl. ebd.: 144ff.), leitet er Erkenntnisse zur Prozesssteuerung ab. Als wichtige Prozesselemente im *performance planning* hat WIECHMANN die Initiierung eines

strategischen Diskurses zwischen den beteiligten Akteuren sowie die Förderung autonomen strategischen Verhaltens durch den institutionellen Kontext identifiziert.

Eine weitere Handlungsoption zur Schaffung von mehr Flexibilität in Planungsprozessen ist die sequenzielle und modulare Umsetzung von Planinhalten. Sofern Teile eines Gesamtkonzeptes schrittweise als einzelne Bausteine errichtet werden, können im Planungs- und Umsetzungsprozess noch Anpassungen vorgenommen werden, wenn neue Erkenntnisse oder Rahmenbedingungen eine Änderung erforderlich machen. Auch kann mitunter bei umfangreicheren Projekten durch sequenzielle Planung möglicherweise eine schnellere Umsetzung, zumindest von ersten Maßnahmen, erreicht werden. Beispielsweise könnten in Abhängigkeit von der Konfliktdichte zunächst Flächen entwickelt werden, die weitgehend konfliktfrei und entscheidungsreif sind und konfliktbelastete Flächen erst nach und nach bei konkretem Bedarf entwickelt werden. (vgl. Fekkak et al. 2016: 16) Gleichwohl sollte ein Gesamtkonzept vorliegen, das eine einheitliche Entwicklung der einzelnen Teilprojekte im Hinblick auf die gemeinsame Zielsetzung sicherstellt. Ein solches, planerisches Vorgehen unterstützt zudem die Etablierung von Modularität in den baulichen Strukturen (siehe Kapitel 5.5.2). Wenn einzelne Bauabschnitte sequenziell entwickelt werden, müssen sie auch ohne die anderen Teile des Gesamtkonzepts ihre Funktion erfüllen können. Modulare Konzepte ermöglichen mehr Flexibilität bei dem Um- oder Rückbau im Bestand.

Hinderlich für zukunfts- und wirkungsorientiertes Verwaltungshandeln und damit auch für die Planung ist in vielen Kommunen die mangelnde Zusammenarbeit unterschiedlicher Dienststellen bzw. der Sektoralplanungen (vgl. Specht 2013: 238). Gerade unter den ambivalenten Herausforderungen der komplexen und vernetzten Systemstrukturen in einer Stadt ist ein integrativer Planungsansatz erforderlich, wenn eine resiliente Zielverfolgung ermöglicht werden soll. Legt man integrative, multi-skalare Resilienzverständnisse, wie das von MEEROW ET AL. (vgl. Meerow et al. 2016: 45f.) oder das Panarchie-Modell adaptiver Zyklen (vgl. Holling et al. 2002) zugrunde, kommt man zu folgendem Schluss: Die Steuerung oder Regulierung eines bestimmten Systems ist langfristig gar nicht effizient möglich, ohne sich auch mit den anderen Systemen auseinanderzusetzen, die vom jeweiligen System beeinflusst werden oder dieses beeinflussen. Auch wenn integrative Planungsprozesse den Kommunikations- und Koordinationsaufwand steigern, erhöhen sie im Kontext komplexer Systemvernetzungen doch die Aussichten auf eine erfolgreiche Zielverfolgung. Wenngleich die Bedeutung integrativer Planungs- und Steuerungsprozesse auf Basis zentraler Resilienzliteratur also eigentlich offensichtlich ist, haben MEEROW UND STULTS in einer Befragung von 134 Praxisvertretern aus dem US-amerikanischen Raum herausgefunden, dass der Integrativität als Resilienzeigenschaft lediglich

12. Institutionelle Resilienz

eine nachgeordnete Bedeutung beigemessen wird. Robustheit, zukunftsorientierter Steuerung und Adaptivität werden als bedeutsamer bewertet (vgl. Meerow und Stults 2016: 8). Es bleibt zu prüfen, ob das in vergleichbarem Maße auch auf Planungsakteure deutscher Kommunen zutrifft. Grundsätzlich stellt die Förderung integrativer Planungsprozesse einen Ansatzpunkt dar, der zu mehr Resilienz in Planungsprozessen beitragen kann. Integrative Planung im Sinne eines ganzheitlichen Resilienzverständnisses sollte aber nicht nur die Intersektoralplanung innerhalb einer Kommune umfassen, sondern auch die grenzüberschreitende Zusammenarbeit zwischen benachbarten Kommunen einer Region. So können mitunter Ressourcen gebündelt, Effizienzsteigerungen erreicht und Synergien erzielt werden. In der nordrhein-westfälischen Gemeindeordnung wurde „zur Erprobung neuer Steuerungsmodelle und zur Weiterentwicklung der kommunalen Selbstverwaltung auch in der grenzüberschreitenden kommunalen Zusammenarbeit“ (§ 129 GO NRW) im Jahr 2018 mit der Weiterentwicklung der sogenannten „Experimentierklausel“ (ebd.) eine entsprechende gesetzliche Grundlage geschaffen. Diese ermöglicht den Kommunen, zum Testen neuer Steuerungs- und Kooperationsformate, ausnahmsweise von den organisations- und haushaltsrechtlichen Vorschriften des Landesrechts abzuweichen, sofern die Aufgabenerfüllung sichergestellt ist. Dies bildet verwaltungsrechtlich den Kerngedanken einer adaptiven und transformativen Resilienz ab und eröffnet Kommunen den Handlungsspielraum, ihre Steuerungsformen an die aufgezeigten Anforderungen der Flexibilisierung sowie der interdisziplinären und interkommunalen Zusammenarbeit anzupassen.

Evaluationen untersuchen Prozesse, Konzepte oder Maßnahmen im Hinblick auf die Zielerreichung. In Abgrenzung zum Monitoring handelt es sich nicht um eine kontinuierliche Beobachtung eines Systemzustandes (vgl. Gnest 2008: 617ff.), sondern um eine umfassendere Auswertung der Umsetzung, der Auswirkungen und/oder des Prozesses. Dabei können unterschiedliche Aspekte, wie Inhalte, Akteurskonstellation, Rahmenbedingungen oder Handlungsmaßnahmen im Vordergrund stehen. Evaluationen können nicht nur als abschließende ex-post Evaluationen erfolgen, sondern auch prozessbegleitend (formativ) oder prognostisch (ex-ante) zu Beginn eines Prozesses. Sie dienen überwiegend der Informationsgewinnung, der Prozess- und Inhaltsoptimierung und dem Erkenntnisgewinn, können aber auch als Legitimationsgrundlage oder als Entscheidungsgrundlage für anschließende Prozesse oder die Fortführung des laufenden Prozesses eingesetzt werden. (vgl. Mönnecke 2008: 602ff.) Insofern können Evaluationen im Hinblick auf die Resilienz von Planungsprozessen zur Lernfähigkeit beitragen. Nicht nur die Umsetzung der Planinhalte sollte dabei evaluiert werden, sondern auch die Planungsprozesse und deren Rahmenbedingungen selbst. Mithilfe strukturierter Evaluationen ist es

wahrscheinlicher die Schwachstellen in einem Planungsprozess aufdecken zu können, wie dies beispielsweise auch in Mannheim der Konzeption des Mannheimer Ansatzes vorausgegangen ist (vgl. Specht 2013: 237f.). So können Handlungsnotwendigkeiten und potenzielle Handlungsfenster identifiziert werden, bevor eine Krise oder Schäden entstehen. Nur wenn die Bereitschaft besteht, aus den Erfahrungen vergangener Prozesse zu lernen und die Prozessstrukturen ggf. an veränderte Herausforderungen anzupassen, kann auch sichergestellt werden, dass Planungsprozesse ausreichend handlungsfähig bleiben. So wird die Adaptivität und Transformativität der physischen urbanen Systeme erhalten oder sogar gefördert.

Ein wesentlicher Bestandteil des Resilienzgedankens ist das Bewusstsein über die Tatsache, dass Systeme scheitern können. Nicht alle künftigen Herausforderung werden von den ingenieurstechnisch optimierten, urbanen Systeme bewältigt werden können. Der Resilienzdiskurs propagiert daher auch den Wandel von ausfallsicheren „fail-safe“ (Ahern 2011: 2) Systemen zu einem „safe-to-fail“ (ebd.) Design. Die Vorbereitung auf Funktionseinschränkungen, Systemausfälle und Krisen gehört daher ebenso zu einer resilienten Systemgestaltung, wie die proaktive Adaption an vorhersehbare Herausforderungen. Auf der physischen Resilienzdimension kann potenziellen Systemausfällen durch funktionale Diversität, Redundanzen und reaktionsfähige Systemstrukturen begegnet werden. Der mögliche Ausfall einiger Systembestandteile wird damit zum immanenten Bestandteil im Systemdesign. Allerdings sollten auch institutionalisierte Planungs- und Steuerungsprozesse ein gewisses Maß an Reaktionsfähigkeit besitzen, um Krisen bewältigen zu können. Insbesondere die eher langfristigen, formalisierten Prozesse im deutschen Planungssystem stehen kurzfristigen Maßnahmen im Krisenfall entgegen. Dabei sollte Reaktionsfähigkeit nicht mit Anpassungsfähigkeit verwechselt werden. Es geht nicht um die überstürzte Umsetzung langfristiger, struktureller Maßnahmen als Reaktion auf eine Krise (vgl. Mehmood 2015: 411). „*Reaktionsfähigkeit* bezieht sich vor allem auf Fähigkeiten, die nach dem Eintreten eines Störereignisses gefragt sind, wie z.B. Kommunikationsfähigkeit, Einfallsreichtum und Schnelligkeit“ (Fekkak et al. 2016: 14; Hervorhebung im Original). Durch den Aufbau eines strukturierten Risiko- und Krisenmanagements als Bestandteil von Planungsprozessen können derartige Fähigkeiten unterstützt und gefördert werden. Wenn im Krisenfall bereits vorab festgelegte Akteursnetzwerke, klare Kommunikationsstrukturen und Verhaltensweisen existieren und zudem die notwendigen Ressourcen (Know-how, Arbeitskraft, finanzielle Mittel etc.) zur Verfügung stehen, können Ausfallzeiten und Schäden minimiert sowie die Überwindung der Krise beschleunigt werden. (vgl. Fekkak et al. 2016: 33ff.)

12. Institutionelle Resilienz

Neben den skizzierten planerischen und rechtlichen Aspekten stellen auch die finanziellen Rahmenbedingungen einen entscheidenden Bestandteil der Anpassungskapazitäten der urbanen Systeme dar. Gerade wenn zur Umsetzung von Maßnahmen kostenintensive Investitionen notwendig sind, reichen planerische Adaptivität und rechtliche Umsetzbarkeit allein nicht aus. Es sind auch entsprechende Ressourcen im Kommunalhaushalt erforderlich, was in Zeiten angespannter Haushaltslagen oftmals nicht gegeben ist. Haushaltsrechtliche Veränderungen, wie beispielsweise der Wandel zum neuen Kommunalen Finanzmanagement, sind hierbei nur ein vorbereitender Schritt. Zur Förderung der Umsetzbarkeit kostenintensiver Maßnahmen kann beispielsweise die Bündelung der Ressourcen in einer Region einen Beitrag leisten. Wie schon im Kontext der Anpassung an die Herausforderungen des Demografischen Wandels diskutiert, ermöglichen Regionalbudgets die Umsetzung langfristiger, umfangreicher und wohlmöglich auch interkommunaler Projekte, die für einzelne oder wenige Kommunen finanziell nicht tragbar wären. Auch erhöhen derartige Regionalfonds die kurzfristige finanzielle Handlungsfähigkeit im Falle unmittelbarer Krisen, da nicht erst über Jahre Rücklagen für unvorhersehbare Herausforderungen gebildet werden müssen. Bei derartigen Ansätzen ist auf eine gerechte Verteilung der Ressourcen zu achten, um die Mitwirkungsbereitschaft der Kommunen einer Region zu erhalten. (vgl. Akademie für Raumforschung und Landesplanung - Leibniz-Forum für Raumwissenschaften 2016: 11f.)

Eine weitere Handlungsoption im Hinblick auf die Ausstattung mit finanziellen Ressourcen kann ebenfalls den Maßnahmen zur Anpassung an den Demografischen Wandel entnommen werden. Der „Demografiefaktor“ (Goerl et al. 2013: 29) dient im kommunalen Finanzausgleich dazu, Gemeinden, die besonders stark von demografischer Schrumpfung betroffen sind, zusätzliche Finanzmittel zukommen zu lassen. Demografiefaktoren sind in zahlreichen Bundesländern wie Sachsen-Anhalt, Nordrhein-Westfalen oder Bayern seit einigen Jahren Bestandteil des kommunalen Finanzausgleichs in den Kommunalabgabegesetzen. Analog dazu könnte ein Resilienzfaktor Kommunen mit einem stärkeren Handlungsbedarf im Hinblick auf Resilienz Kriterien eine erhöhte Zuweisung von Mitteln im kommunalen Finanzausgleich zusichern. Die exakten Kriterien und Zuweisungsschlüssel wären noch zu eruieren und könnten Bestandteil weiterer Forschungsarbeiten sein. Eine Festlegung von standardisierten Parametern, die dann auch in einer parametrischen Governance Anwendung finden können, würde hier eine Verknüpfung unterschiedlicher Handlungsempfehlungen aus diesem Kapitel ermöglichen.

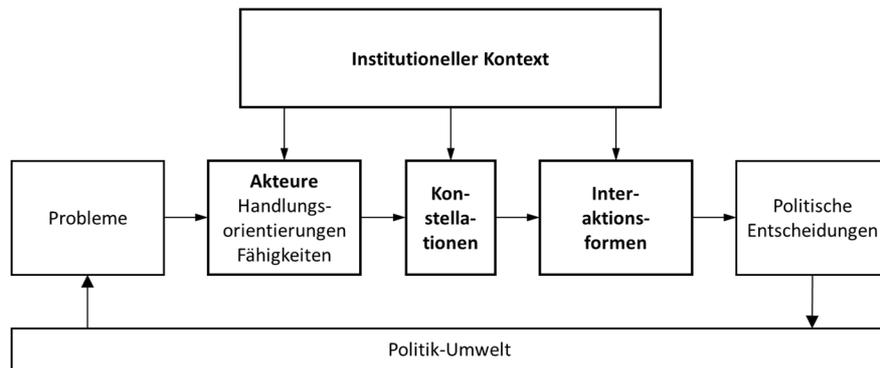
Bei Investitionsentscheidungen von Maßnahmen, die der Resilienz urbaner Systeme zuträglich sind, können sich derzeitige Entscheidungslogiken als Hindernis darstellen. Werden Kosten und Nutzen

zum Zeitpunkt der Investition gegeneinander abgewogen, so wirken sich gerade Aspekte wie Redundanzen, Diversität und Pufferkapazitäten meist negativ auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis aus (siehe auch Kapitel 5.3.2). Den direkten Investitionskosten steht kein unmittelbarer Nutzen gegenüber, der durch gängige Evaluationskriterien quantifizierbar wäre. Bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines urbanen Systems können sich zusätzliche Redundanzen oder Pufferkapazitäten aber durchaus rechnen, wenn dadurch Ausfallkosten oder Schäden vermieden bzw. gemindert werden. Insofern wird angeregt, bei Investitionsentscheidungen die Lebenszykluskosten einer Investition einzubeziehen, einschließlich möglicher Ausfallkosten oder Schäden, wenn bestimmte Funktionsschwellen über- bzw. unterschritten werden. Dabei sollten dann auch externalisierte Kosten, wie beispielsweise potenzielle Rettungsdienstkosten, zusätzliche Planungsleistungen oder Kosten für schadhafte Emissionen in die Gesamtkosten einbezogen werden. Auch im Sinne der Nachhaltigkeit ermöglicht erst eine solche, ganzheitliche Erfassung aller Lebenszykluskosten die tatsächliche Bewertung einer Investition aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Perspektive.

12.2 Potenziale einer kommunikativen Governance

Die Erläuterung des Governance-Begriffs hat aufgezeigt, dass Stadtentwicklung kein rein linearer, vollständig formalisierter Prozess ist. Die Vielfalt der Akteure, die unterschiedlichen Interessen und die institutionellen Rahmenbedingungen beeinflussen den Prozess und seine Steuerbarkeit stark. In der interaktionsorientierten Politikforschung liefert der Akteurszentrierte Institutionalismus nach SCHARPF Erklärungsansätze für das Zustandekommen von politischen Entscheidungen (vgl. Scharpf 2000: 84ff.). Darin werden die politischen Entscheidungen im Wesentlichen auf die Akteure (und deren Handlungsorientierungen und Fähigkeiten), die Akteurskonstellationen und die Interaktionsformen zwischen den Akteuren zurückgeführt. Der Rahmen in dem sich diese drei Aspekte entfalten wird durch den institutionellen Kontext festgelegt. Die Problemdefinition und die Letztentscheidung sind dagegen dem politischen Umfeld zuzuordnen. (siehe Abbildung 94)

Das Modell zeigt, dass im Sinne einer resilienten Stadtentwicklung nicht nur die baulich-physischen Gegebenheiten und technische Lösungspfade als Elemente formaler Planungsprozesse zu betrachten sind, sondern eben auch die beteiligten Akteure und die Aushandlungsprozesse zwischen diesen Akteuren. Welche institutionellen Rahmenbedingungen Planungsprozesse beeinflussen, wurde in Kapitel 12.1 schon exemplarisch für einige prozessuale, rechtlich und finanzielle Aspekte aufgezeigt. Der Fokus in diesem Kapitel liegt auf den Akteuren im Planungsprozess und den Möglichkeiten der stärkeren Einbindung dieser Akteure.

Abbildung 94: Gegenstandsbereich der interaktionsorientierten Policy-Forschung

Quelle: eigene Darstellung nach Scharpf 2000: 85

CHRISTMANN ET AL. führen als wichtige Akteure in kommunalen Prozessen zur Resilienzbildung die Stadtpolitik, die Stadtplanung, Bürger und wirtschaftliche Akteure auf (vgl. Christmann et al. 2016: 41ff.). Dabei werden als wirtschaftliche Akteure nicht nur gewerbliche oder industrielle Unternehmen bezeichnet, sondern auch Grundstückseigentümer, Investoren sowie Bau- und Wohnungsunternehmen, die durch ihr Handeln maßgeblich die Siedlungsentwicklung in der Stadt beeinflussen (vgl. ebd.: 42). Im Sinne des akteurszentrierten Institutionalismus sind Planungsentscheidungen und damit die Siedlungsentwicklung zu einem wesentlichen Teil auf die Konstellationen und die Interaktionsformen zwischen diesen Akteuren zurückzuführen (vgl. Scharpf 2000: 84ff.). Diese Erkenntnis sollte einen Anreiz für Politik und Planungsakteure bieten, die Governanceprozesse so auszugestalten, dass sie die Kommunikation zwischen den Akteuren und gemeinsame Entscheidungsprozesse stärker in den Fokus stellen. Wie auch BOCK UND BECKMANN feststellen, sind aktiv gelebte kommunale Beteiligungskulturen „unverzichtbare Bausteine einer anpassungsfähigen Stadt“ (Bock und Beckmann 2013: 75). Eine kommunikative Governance fördert über entsprechende formelle und informelle Beteiligungsformate den Austausch zwischen den Akteuren und das Aushandeln gemeinsamer Zielsetzungen. Anstelle von top-down Planungsansätzen rückt die Rolle als „aktivierender Staat“ (Benz und Dose 2010: 23) in den Mittelpunkt. Dabei wird ein Teil der Verantwortung für die Leistungserbringung an die Zivilgesellschaft übertragen, sodass der Staat die Erfüllung öffentlicher Aufgaben zwar gewährleistet, sie aber nicht zwingend selbst erfüllen muss (vgl. ebd.). Das umfasst sowohl die Aufgaben der Daseinsvorsorge als auch Planungsaufgaben. In einer solchen, kommunikativen Governance wandelt sich das Rollenverständnis von Stadtplanern von hoheitlichen Planern zu eher pädagogisch handelnden Moderatoren eines kooperativen Planungsprozesses. Als Aufgaben stehen dann „die Initiierung von Planungsprozessen, die projektförmige – kollaborative – Durchführung von Planungsvorhaben [...], die Vermittlung zwischen verschiedenen Akteuren [...] in Aushandlungsprozessen, die Vermittlung von Informationen, die Bereitstellung von planerischem

Fachwissen“ (Christmann et al. 2016: 46) im Vordergrund. (vgl. ebd.: 41ff.; Bock und Beckmann 2013: 75ff.; Benz und Dose 2010: 22ff.) Ein derartiger Kommunikationsansatz würde die oben angeführte Zielsetzung der stärkeren Förderung von Planungsprozessen nach dem *Performance-Prinzip* fördern, da in dieser Form die Einleitung eines strategischen, zielgerichteten Entwicklungs- und Kommunikationsprozesses unterstützt wird.

Die Potenziale derartiger, kommunikativer Governancepraktiken sind im Idealfall vielfältig und umfassen unterschiedliche Funktionen des Planungsprozesses: Die Akteure tauschen sich wechselseitig über Zielsetzungen, Absichten, Inhalte und Rahmenbedingungen des Planungsgegenstands aus (Information). Sie können an den Meinungsbildungs- und Entscheidungsprozessen mitwirken (Partizipation) sowie ihr Handeln und die Aktivitäten besser aufeinander abstimmen (Koordination). Außerdem können Potenziale zur synergetischen Zusammenarbeit bei gemeinsamen Angelegenheiten identifiziert werden (Kooperation). (vgl. Christmann et al. 2016: 52) Ein ganz entscheidender Aspekt ist die netzwerkbildende Funktion einer kommunikativen Governance (vgl. Mayntz 2010: 40). Im Rahmen der Governanceprozesse werden frühzeitig Akteursnetzwerke und Kommunikationsstrukturen gebildet und etabliert, die dann im unerwarteten Krisenfall bereits handlungsfähig sind. In der Literatur werden derartige „Netzwerke lokaler Selbstorganisation [...] als sehr wesentlich für die Erarbeitung von resilienzbildenden Maßnahmen angesehen“ (Christmann et al. 2016: 57). Die Verantwortungsübertragung auf diese Netzwerke und damit auch die Erhöhung der kurzfristigen Reaktionsfähigkeit in Krisensituationen ist Bestandteil einer „Governance of Preparedness“ (ebd.). Beispiele wie die lokalen Netzwerke in New Orleans nach Hurricane Katrina (vgl. Aldrich 2012: 130ff.), die Selbsthilfenetzwerke in Essen nach dem Pfingststurm 2014 oder in Münster nach dem Starkregen im Juli 2014 (vgl. Fekkak et al. 2016: 64ff.), belegen die Leistungsfähigkeit derartiger Netzwerkstrukturen.

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass eine kommunikative Governance, wie auch eine partizipative Planung, dazu beitragen kann die sozialen Potenziale in der Gesellschaft stärker zu mobilisieren (siehe auch Kapitel 13). Es wird angenommen, dass in Beteiligungsformaten lokales Wissen zur Entwicklung kreativer Ideen genutzt werden kann. Zudem lassen sich Bürger und gewerbliche Akteure besser für bestimmte Anliegen im Sinne des Allgemeinwohls (z. B. Umweltschutz) motivieren, wenn sie an der Strategieentwicklung beteiligt sind. Des Weiteren trägt Partizipation zur stärkeren Legitimation sowie zur Konfliktidentifikation und -vermeidung bei. Letztendlich können durch Partizipation Planungsprozesse, deren Ergebnisse sowie die Akzeptanz für Maßnahmen maßgeblich verbessert werden. (vgl. Christmann et al. 2016: 48ff.; Bock und Beckmann 2013: 76ff.)

12. Institutionelle Resilienz

Die aufgezeigten Potenziale einer kommunikativen Governance beruhen auf idealisierten Annahmen zum Ablauf der Prozesse. In der Realität stehen der effizienten Umsetzung potenzielle Hürden im Weg, die es zu berücksichtigen und zu überwinden gilt. Zunächst einmal erfordern Beteiligungsprozesse generell einige Ressourcen in Form von Zeit, Steuerung und Unterstützung durch kommunale Planer sowie auch entsprechende Handlungsspielräume rechtlicher und finanzieller Art. Wird ein Beteiligungsprozess inkonsequent nur zur Erfüllung formaler Anforderungen durchgeführt oder fehlen Ressourcen zur Umsetzung der entwickelten Maßnahmen, so sinkt das Interesse und die Akzeptanz der Beteiligten zur Mitwirkung an künftigen Prozessen. Insbesondere wenn noch keine etablierten Netzwerkstrukturen vorhanden sind, wird ein höherer Ressourcenaufwand zur Initiierung eines kommunikativen Governanceprozesses erforderlich. Des Weiteren können die Akteurskonstellationen mitunter die notwendige Repräsentativität der Vielfalt der Gesellschaft vermissen lassen, was dann mitunter die Legitimierung in der breiten Masse der Gesellschaft einschränken kann. Gelingt es nicht, die Akteure ausreichend zu motivieren, was auch prozesseexterne Gründe haben kann, so kann mangelnde Verlässlichkeit der beteiligten Akteure zu einem Problem werden, das die Maßnahmenumsetzung ins Stocken bringen kann. Bei den zivilgesellschaftlichen Akteuren kann es zu Frustration kommen, wenn aufgrund fehlender Fachkompetenz Überforderung eintritt oder wenn aufgrund mangelnder Befugnisse nur ein sehr beschränkter Handlungsspielraum zur Verfügung steht, in dem tatsächlich Entscheidungen durch die beteiligten Bürgerinnen und Bürger getroffen werden können („*Demokratieproblem*“, Christmann et al. 2016: 50; Hervorhebung im Original). Nicht selten sind bei konfliktbelasteten Vorhaben auch gegensätzliche Positionen und Interessen, die von starken Akteuren antagonistisch vertreten werden. Besteht dann aufgrund starker Eigeninteressen keine Bereitschaft zur Zusammenarbeit, kann ein Beteiligungsprozess auch in eine scheinbar ausweglose Situation verlaufen. Diese kann dann zu einer „Entscheidungsblockade“ (Mayntz 2010: 44) führen, sodass der Status quo beibehalten wird, bis er nichtmehr haltbar ist. Derartige Situationen sind besonders häufig dann der Fall, wenn die Kollaboration auf proaktiver, informeller und freiwilliger Zusammenarbeit beruht und somit noch kein akuter Handlungsdruck besteht. Es besteht dann die Gefahr, dass geeignete Handlungsfenster verpasst werden und letztendlich eine Krisensituation eintritt, die bei allen Beteiligten Einschränkungen und Schäden verursacht. Unterschiedliche Akteurstypen, deren Handlungsmuster und sich daraus ergebende Interaktionsformen, die Einfluss auf Entscheidungsprozesse haben können, werden ausführlich von SCHARPF dargestellt und erläutert (vgl. Scharpf 2000: 95ff.; 123ff.). Nach Möglichkeit sollten daher Kompromisse gefunden werden. Andernfalls können Entscheidungen auch über Mehrheitsentscheidungen (vgl. ebd.: 251ff.) oder in machtasymmetrischen Konstellationen auch durch Nutzung hierarchischer

Entscheidungsbefugnisse (vgl. ebd.: 281ff.) getroffen werden. Dabei besteht jedoch stets die Gefahr von Unzufriedenheit und daraus folgenden negativen Konsequenzen für die weitere Umsetzung. Für den langfristigen Erfolg kommunikativer Governance und die Etablierung der Netzwerke ist auch eine stabile Unterstützung durch die politischen Entscheidungsträger erforderlich. Dies kann sich in Anbetracht wechselnder Mehrheitsverhältnisse und entsprechend unterschiedlicher politischer Zielsetzungen jedoch mitunter schwierig gestalten. Daher ist es umso erforderlicher, dass den Akteuren in einem Beteiligungsprozess bereits zu Beginn und transparent die Reichweite ihrer Entscheidungsspielräume vermittelt und klargestellt wird, dass die Letztentscheidung bei den demokratisch legitimierten Entscheidungsträgern liegt. (vgl. Christmann et al. 2016: 50ff.; Bock und Beckmann 2013: 78f.; Mayntz 2010: 43ff.)

12.3 Adaptive Governance

Die adaptive Governance als übergeordnete Zielsetzung der Handlungsebene der institutionellen Dimension urbaner Resilienz umfasst die in den vorangegangenen zwei Unterkapiteln exemplarisch dargestellten Maßnahmen und Handlungsempfehlungen. Sie zielt darauf ab, dass Planungs- und Steuerungsprozesse sowie die zugrundeliegenden institutionellen Rahmenbedingungen so ausgestaltet sind, dass sie unter sich wandelnden externen Rahmenbedingungen zur Förderung der Adaptivität der physischen Systeme beitragen. Dabei steht der Begriff „adaptiv“ dafür, dass nicht nur eine Adaption der Prozesse an eine bestimmte Herausforderung ermöglicht werden soll, sondern die Prozessstrukturen generell so ausgestaltet werden sollten, dass Anpassungskapazitäten in den Planungs-, Regulierungs- und Steuerungsprozessen enthalten sind. Derartige Anpassungskapazitäten sind notwendig, damit die Steuerungsprozesse relativ flexibel auf veränderte Bedingungen reagieren können. Starre Planungs- und Steuerungsprozesse mit einem unflexiblen Instrumentenkoffer erlauben dagegen seltener mögliche Handlungsfenster zur Adaption oder Transformation urbaner Systeme zu nutzen. Zwar kann ein hohes Maß an Formalisierung Rechtsverbindlichkeit schaffen und somit auch zur Persistenz urbaner Systeme beitragen, doch wird dadurch die Adaptivität und Transformativität der Systeme reduziert, da Handlungsmöglichkeiten eingeschränkt werden. Gerade in Zeiten unvorhersehbarer Entwicklungen der Rahmenbedingungen sollten derartige Einschränkungen unter der Zielsetzung einer resilienten Stadtentwicklung möglichst vermieden werden.

Als zweiter Aspekt des Konzeptes wurde der Governance-Begriff anstelle des Begriffes „Planung“ verwendet, da damit ein akteursübergreifender, dialogorientierter Planungs- und Steuerungsansatz vermittelt werden soll. Dies spiegelt die Bedeutung von aktiver Partizipation im Planungsprozess und die Erkenntnis, dass komplexe Systeme auch komplexe Akteursstrukturen mit sich bringen,

12. Institutionelle Resilienz

wider. Da die beteiligten Akteure jeweils eigene Interessen verfolgen, können sie durch ihr Handeln den Erfolg oder Misserfolg einer planerischen Maßnahme massiv beeinflussen. Zudem sollten lokale Potenziale und das ortsspezifische Know-how gerade in Zeiten tiefgreifender Veränderungen genutzt werden, um innovative Lösungswege zu identifizieren. Weiterhin sind lokale Netzwerke insbesondere bei der kurzfristigen Bewältigung einer Krisensituation deutlich handlungsfähiger als hoheitliche Strukturen und Prozesse. Zweifellos sind hoheitliche, formalisierte Planungs- und Entscheidungsprozesse auch in Zukunft notwendig, um im Konfliktfall Entscheidungen treffen und Rechtssicherheit erzeugen zu können. Doch können bottom-up Ansätze zur Legitimierung planerischen Handelns und zum Verständnis für die notwendigen, tiefgreifenden Änderungen beitragen.

Damit Planungsprozesse und Planungsakteure diesen komplexen und vielfältigen Anforderungen für resiliente Planungsprozesse gerecht werden können, ist eine umfassende Integration des Resilienzgedankens in das Planungssystem erforderlich. Im Sinne eines *Resilience-Mainstreamings* sollte Resilienz nicht als konkrete Zielsetzung eines Plans verstanden werden, die es im *Conformance-Prinzip* zu erfüllen gilt, sondern als tief verankerte Prozesseigenschaft, die das alltägliche Handeln der Akteure prägt und sich sektorübergreifend in den Planungsergebnissen niederschlägt (vgl. Friend et al. 2014: 6ff.; United Nations Development Programme 2011: 14, 28). Operationalisiert werden kann dies anhand der in Kapitel 12.1 beschriebenen Kriterien. Reaktionsfähigkeit, Lernfähigkeit oder Adaptivität setzen bei allen beteiligten Akteuren allerdings ein gewisses Mindset auf Basis der individuellen Charaktereigenschaften voraus, das entsprechende Handlungen erst ermöglicht. Dieses Resilienz-Mindset wird in Kapitel 13.2 als soziale Komponente der Resilienz eingehender beschrieben.

Zur grundsätzlichen Förderung und Integration von Resilienz im alltäglichen Planungs- und Verwaltungshandeln kann ein Resilienz-Beauftragter nach dem Vorbild der Stadt Rotterdam beitragen (siehe Kapitel 5.4.2). Diese Position sollte als Querschnittsstelle eingerichtet werden und nicht nur mit dem Ziel des inhaltlichen Inputs an konkreten Projekten beteiligt werden, sondern generell die Prozesse hinsichtlich der Optimierungspotenziale für eine adaptivere Governance untersuchen. Ähnlich wie bei einer Gleichstellungsbeauftragten könnte bei Entscheidungen die Stellungnahme des oder der Resilienz-Beauftragten eingeholt werden. Die Prozesse an sich sollten so ausgestaltet werden, dass sie den Kriterien der adaptiven Governance entsprechen und somit zur Förderung einer resilienten Stadtentwicklung beitragen. Dabei sollte die Person so geschult sein, dass sie neben inhaltlichen Anregungen auch methodische Hilfestellungen liefern kann und Verständnis für Verwaltungsabläufe hat. Wichtig für den Erfolg einer solchen Stelle ist, dass die entsprechende Position

mit ausreichenden Handlungskompetenzen ausgestattet wird, sodass die Anregungen und Maßnahmen ernstgenommen werden und auch dauerhaft in die Umsetzung gelangen.

12.4 Exkurs: Scrum in Planungsprozessen

Bei der Recherche nach konkreten Umsetzungsmöglichkeiten und -methoden für die, in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen, Zielsetzungen zur Anpassung der Governance-Prozesse an die Herausforderungen resilienter Städte sind vielversprechende Ansätze im agilen Projektmanagement identifiziert worden. Agiles Projektmanagement zielt auf die flexible Projektsteuerung in komplexen und unvorhersehbaren Situationen ab.

Im klassischen Projektmanagement werden zu Projektbeginn detaillierte Zielsetzungen und die konkrete Abfolge der Arbeitsschritte festgelegt und dann relativ strikt befolgt, um am Ende des Projektes zu einem großen Gesamtergebnis zu gelangen (Wasserfall-Prinzip). Agiles Projektmanagement setzt dagegen auf eine schrittweise Zielverfolgung, die Feedback und eine iterative Anpassung der spezifischen Zielsetzungen und konkreten Arbeitsschritte während des Projektverlaufes erlaubt. Zudem setzt sich das Ergebnis des Projektes kumulativ aus den Teilergebnissen zusammen, die bereits während des Prozesses fertiggestellt werden, sodass der Nutzen des Projektes zumindest in Teilen bereits während des Projektes erzielt werden kann, auch wenn nicht alle Ziele abschließend erreicht sind (z. B. Profit durch den Verkauf von Softwareversionen ohne vollständigen Funktionsumfang).

„Agile Unternehmen handeln proaktiv und antizipativ.

Das heißt, sie versuchen, eine höchst ungewisse Zukunft vorauszuahnen und sich für diese zu wappnen. Zugleich sind sie in der Lage, sofort umzusteuern, wenn sich ein eingeschlagener Weg als Sackgasse erweist.“

(Wildemann 2018; eigene Hervorhebung)

Zur Erreichung der angestrebten Effizienz setzt agiles Projektmanagement neben entsprechenden Methoden und agiler Tools (z. B. Projektsteuerungssoftware) bei den beteiligten Akteuren auch ein gewisses Mindset voraus, welches derartige Denk-, Organisations- und Handlungsweisen unterstützt. Aus den verschiedenen methodischen Ansätzen des agilen Projektmanagements scheint *Scrum* in Anbetracht der komplexen Herausforderungen und Akteursstrukturen in Städten für den Praxistransfer geeignet. Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Zielsetzungen zur künftigen Ausgestaltung von Planungsprozessen werden im Folgenden die Möglichkeiten des Transfers der Ansätze aus Scrum in Planungsprozesse diskutiert.

12. Institutionelle Resilienz

Während das klassische Projektmanagement im Hinblick auf Planungsprozesse dem *Conformance-Prinzip* entspricht, ist das agile Projektmanagement eher dem *Performance-Prinzip* zuzuordnen. Die grundsätzliche Zielerreichung in einem effizienten Prozess steht anstelle strikter Maßnahmen-umsetzung im Vordergrund. Vorgesehene Lösungswege können im Laufe des Prozesses angepasst werden. Dementsprechend scheint eine Verknüpfung des agilen Projektmanagements mit den schon zuvor beschriebenen Maßnahmen des *performance planning* erfolgversprechend.

12.4.1 Kurzvorstellung Scrum

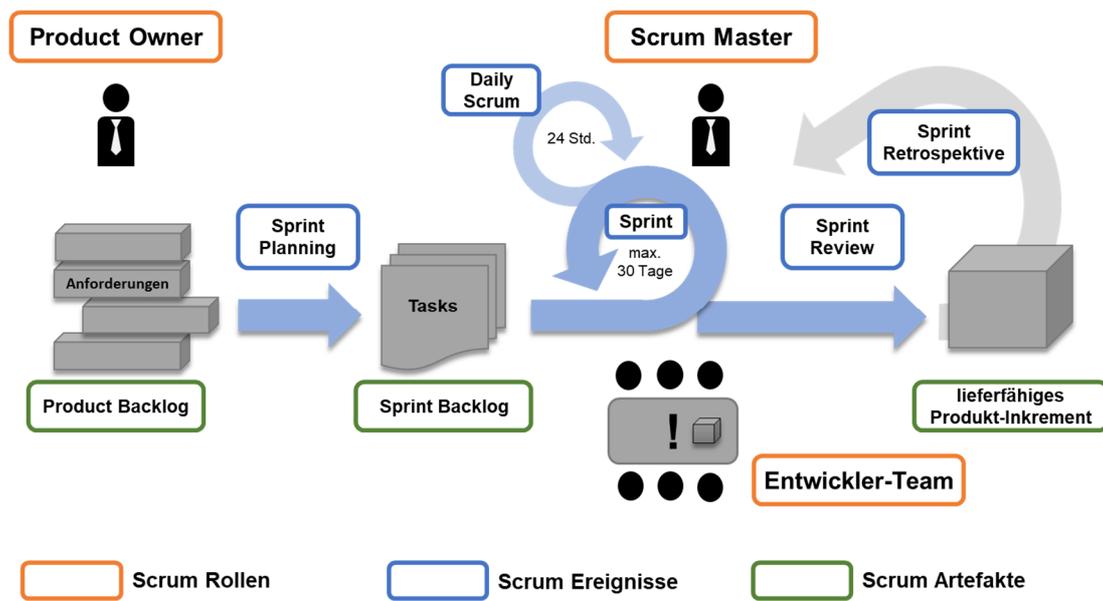
Zunächst einmal ist festzuhalten, dass es sich bei *Scrum* um ein Prozessrahmenwerk handelt, das die Projektorganisation strukturiert und dabei unterschiedliche Techniken und Methoden zusammenfasst (vgl. Foegen und Kaczmarek 2018: 56ff.; Sutherland und Sutherland 2014). Daher wird im Folgenden auch lediglich der Begriff „Scrum“ verwendet, da es sich strenggenommen um keine spezifische Methode, sondern eher um einen Werkzeugkasten unterschiedlicher Methoden und Managementformen handelt.

Scrum wurde in den 1990er Jahren von den beiden Softwareentwicklern Ken Schwaber und Jeff Sutherland entwickelt. Ziel war es, ein flexibles und effizientes Projektmanagement unter den Voraussetzungen komplexer und unvorhersehbarer Anforderungen an ein Produkt zu ermöglichen. Gerade in Softwareentwicklungsprozessen, in denen sich oftmals erst im Projektverlauf neue Herausforderungen und Hürden ergeben, waren klassische Projektmanagementansätze mit langfristig vorausgeplanten Balken- oder Wasserfalldiagrammen nicht in der Lage flexibel auf die kurzfristig auftretenden Anforderungen zu reagieren. (vgl. Schwaber und Sutherland 2017: 3) Wenngleich auf einer anderen räumlichen und zeitlichen Skalierungsebene verhält es sich mit Stadtentwicklungs- und Planungsprozessen ähnlich. Die Langfristigkeit umfangreicherer Planungsprozesse steht oftmals im Widerspruch zu kurz- oder mittelfristigen Veränderungen der Rahmenbedingungen, sodass entwickelte Maßnahmen zum Teil nicht mehr den konkreten Herausforderungen entsprechen.

Scrum wird definiert als ein „Rahmenwerk, innerhalb dessen Menschen komplexe adaptive Aufgabenstellungen angehen können, und durch das sie in die Lage versetzt werden, produktiv und kreativ Produkte mit höchstmöglichem Wert auszuliefern“ (ebd.: 3). Auch wenn Scrum ursprünglich für die Softwareentwicklung konzipiert wurde, wird es mittlerweile aufgrund seiner universellen Einsetzbarkeit in zahlreichen Unternehmen und Organisationen in unterschiedlichen Branchen eingesetzt. Die Grundidee des Scrum besteht darin, die Arbeitsschritte in einem Projekt in kleine, inkrementelle Pakete von Arbeitsschritten aufzuteilen und diese in relativ kurzen Arbeitsphasen

(sogenannte *Sprints*) abzuarbeiten (siehe Abbildung 95). Sprints erzeugen jeweils nutz- und evaluierbare Ergebnisse, wodurch die iterative Einarbeitung von Feedback in den Gesamtprozess ermöglicht wird. Zudem zielt Scrum auf die kontinuierliche Verbesserung des Produkts, des Teams und der Arbeitsbedingungen ab. Bei aller methodischen und inhaltlichen Offenheit sind die Akteure und Rollen des Scrum-Prozesses sowie bestimmte Ereignisse fest definiert. (vgl. ebd.: 3ff.)

Abbildung 95: Schematische Darstellung des Scrum-Prozessrahmenwerks



Quelle: eigene Darstellung nach Website Integrata Cegos

Scrum basiert auf der Theorie der *empirischen Prozesssteuerung*, also dem Ansatz aus vergangenen Erfahrungen zu lernen, um darauf aufbauend mehr Prognosesicherheit für künftige Prozesse zu erlangen. Zur Umsetzung der empirischen Prozesssteuerung sind drei zentrale Prozesseigenschaften erforderlich: Transparenz, Überprüfbarkeit und Anpassungsfähigkeit. Transparenz bedeutet diesbezüglich, dass wesentliche Aspekte eines Projektes stets für die Verantwortlichen aktuell und nachvollziehbar abrufbar sein sollen, um den aktuellen Projektstatus evaluieren zu können. Dazu wird eine standardisierte, gemeinsame Projektsprache festgelegt und ein gemeinsames Verständnis der Projektziele sowie der Kriterien der Fertigstellung eines Arbeitsschrittes („Definition of Done“, Fiegen und Kaczmarek 2018: 63) abgestimmt. Die Transparenz der Prozessabläufe ist die Voraussetzung für die Überprüfbarkeit. Das durch diese Überprüfungen gewonnene Wissen kann dann zur Anpassung von Produkt oder Prozess eingesetzt werden, wenn sich abzeichnet, dass die Zielsetzungen mitunter nicht erreicht werden können. (vgl. Schwaber und Sutherland 2017: 4f.)

Die intern an einem Scrum beteiligten Akteure stellen das Scrum-Team dar und können eine von drei Rollen einnehmen: Product Owner, Mitglied des Entwicklungsteams oder Scrum Master. Dabei

12. Institutionelle Resilienz

ist es wichtig, dass alle Akteure gewisse Eigenschaften bzw. ein bestimmtes Mindset für ihre Rolle mitbringen, damit die drei zentralen Prozesseigenschaften auch aktiv vom Scrum-Team gelebt und so effiziente Arbeitsprozesse sichergestellt werden. Diese geforderten Werte, die auch das Vertrauen zwischen den Beteiligten fördern, sind Selbstverpflichtung, Mut, Fokus, Offenheit und Respekt. (vgl. Foegen und Kaczmarek 2018: 30f.; Schwaber und Sutherland 2017: 5f.) Die Rolle des *Product Owner* wird von nur einer Person erfüllt. Diese Person ist für die Wertsteigerung des Produkts und das agile Projektmanagement hauptverantwortlich. Er oder sie ist die einzige Person, die das sogenannte *Product Backlog* verantwortet und die Transparenz und Ordnung der Einträge sicherstellt. Im Product Backlog werden die Aufgaben (*User Stories*) ausdifferenziert, geordnet, mit Ressourcen (*Story Points*) versehen, die die Komplexität der Aufgabe reflektieren und einer beliebigen Einheit entsprechen können (z. B. Arbeitsstunden, Codezeilen in der Programmierung). Auch werden die User Stories bestimmten Personen und Oberzielen (sogenannte *Epics*) zugeordnet. Das Product Backlog beinhaltet alle Arbeitsschritte zur Fertigstellung des Produkts, unabhängig von einzelnen Arbeitsphasen (*Sprints*). Die konkreten Aufgaben eines Sprints werden im *Sprint Backlog* festgehalten. Der Product Owner ist berechtigt endgültige Entscheidungen über das Produkt sowie die Inhalte und Priorisierung der Einträge im Product Backlog zu treffen. Er entscheidet jedoch nicht über die Zeitbudgets und die individuelle Zuordnung der Aufgaben. Gegenüber externen Stakeholdern ist er erster Ansprechpartner und rechenschaftspflichtig. (vgl. Schwaber und Sutherland 2017: 6)

Eine weitere zentrale Rollen in einem Sprint erfüllen die Mitglieder des *Entwicklungsteams* (auch „Umsetzungsteam“; Foegen und Kaczmarek 2018: 64). Ein Entwicklungsteam umfasst möglichst zwischen drei und neun Personen, um ausreichend Austausch und Diskussion bei gleichzeitig effizienten Arbeitsweisen zu ermöglichen. Optimalerweise bestehen Entwicklungsteams aus Experten, die unterschiedliche Disziplinen abdecken, um so auf Basis des umfangreichen Fachwissens Lösungen für die komplexen Herausforderungen finden zu können. Unabhängig vom sonstigen Status der Beteiligten gibt es innerhalb eines Entwicklungsteams keine Hierarchien, sodass eine offene und respektvolle Zusammenarbeit möglich ist. Die Mitglieder eines Entwicklungsteams organisieren ihre Arbeit selbstständig und legen gemeinsam fest, wie sie die angestrebten Ziele erreichen wollen, welche Zwischenschritte und zeitlichen Aufwendungen notwendig sind und welche konkreten Zwischenziele im nächsten Sprint erreicht werden können. Sie tragen dies entsprechend den Hauptzielsetzungen zugeordnet in das Product Backlog ein und halten den Bearbeitungsstatus aktuell (z. B. mit Hilfe eines Kanban-Boards; vgl. ebd.: 230ff.). (vgl. Schwaber und Sutherland 2017: 7)

Die dritte Rolle nimmt der *Scrum Master* ein. Er ist dafür verantwortlich, dass das Scrum gemäß den theoretischen Vorgaben abläuft. Dazu hilft der Scrum Master allen Beteiligten, die Theorien, übliche Praktiken und die Regeln sowie Wertehaltungen zu verstehen, um so die Interaktion zwischen den Beteiligten zu fördern. Er unterstützt zudem bei organisatorischen Hindernissen und achtet auf die Einhaltung des Zeitplans und der fünf Scrum Ereignisse. (vgl. ebd.: 8f.)

Das zentralste Scrum Ereignis ist ein *Sprint*. Dabei handelt es sich um einen begrenzten Zeitraum von maximal einem Monat, in dem die Projektteams die vorab festgelegten Aufgaben erfüllen und Ziele fertigstellen („Done“) müssen. Am Ende eines jeden Sprints sollte ein Bestandteil des Endproduktes stehen, der auch für sich genommen potenziell nutz- und auslieferbar ist – ein sogenanntes *Produktinkrement*. Produktinkremente basieren meist auf vorangegangenen Produktinkrementen und erzeugen kumulativ das angestrebte Endprodukt. Änderungen am Sprint-Ziel sind während des Sprints nicht möglich und auch der Anforderungsumfang an das Produktinkrement kann nur in begrenztem Maße neu zwischen Entwicklungsteam und Product Owner ausgehandelt werden. (vgl. ebd.: 9) Produktinkremente gehören zu den *Scrum Artefakten*. Die Scrum Artefakte stellen die transparent überprüfbaren Aufgaben und Ergebnisse eines Scrum dar. Dazu gehören neben den Produktinkrementen das Product Backlog, welches meist über eine Projektmanagementsoftware geführt wird sowie die Sprint Backlogs. (vgl. ebd.: 14ff., siehe Abbildung 95)

Neben der täglichen Entwicklungsarbeit beinhaltet ein Sprint vier Scrum Ereignisse organisatorischer Art: im *Sprint Planning* zu Beginn werden im Scrum Team die Sprint-Ziele und die Arbeitsorganisation festgelegt und im Product Backlog festgehalten sowie in ein Sprint Backlog übertragen. Im täglichen, 15-minütigen *Daily Scrum* des Entwicklungsteams tauschen sich die Mitglieder des Entwicklungsteams über die am Vortag erledigten und für den Folgetag anstehenden Aufgaben aus, um so die Zusammenarbeit zu optimieren. Zum Ende eines Sprints werden im *Sprint Review* das Produktinkrement zusammen mit den externen Stakeholdern im Hinblick auf seine Zielerreichung überprüft und Rückfragen diskutiert. Dabei stellt der Product Owner dar, welche Product Backlog Einträge fertiggestellt wurden und welche Anpassungen der Zielsetzungen oder Product Backlog Einträge ggf. notwendig sind. Daraufhin werden Zeitplanung, Budget und Product Backlog für den nachfolgenden Sprint angepasst. Auch bietet dieser Termin die Möglichkeit neues Wissen oder neue Erkenntnisse in den Prozess einfließen zu lassen. Die abschließende *Sprint Retrospektive* findet im internen Kreis des Scrum Teams statt und dient der Selbstevaluierung sowie der Verbesserung der Zusammenarbeit. Das vom Scrum Master moderierte Treffen soll einen konstruktiven und produktiven Austausch ermöglichen, um zu überprüfen, ob die beteiligten Akteure und Interaktionsformen

12. Institutionelle Resilienz

zu einem effizienten Scrum Verlauf beitragen und welche Elemente sich positiv und negativ auf die Zusammenarbeit auswirken. Ziel ist es, Änderungen zur Verbesserung der Zusammenarbeit des Scrum Teams abzustimmen, die dann beim nächsten Sprint Planning als Product Backlog Eintrag in die Zielsetzungen des Sprints aufgenommen werden. Es kann auch lediglich die Aufgabe zur Verbesserung der Zusammenarbeit definiert und in das Product Backlog geschrieben werden. (vgl. ebd.: 9ff.; Foegen und Kaczmarek 2018: 68f.) Die angestrebte Steigerung der Arbeitseffizienz eines Scrum Teams im Rahmen eines Scrum Prozesses wird als „Velocity“ (Foegen und Kaczmarek 2018: 208) gemessen. Der Indikator gibt an, wie viele Story Points ein Team je Sprint erfüllt und lässt für zukünftige Sprint Planungen Rückschlüsse darauf zu, welcher Aufgabenumfang im Rahmen eines Sprints erfüllt werden kann (vgl. ebd.: 208f.).

Die Vorteile des Scrums bestehen darin, dass durch den festen und unveränderbaren Zeitrahmen (Scrum Ereignisse sind alle mit festen Zeitbudgets belegt), der Arbeits- und Ressourcenaufwand klar kalkulierbar ist und nutzbare Zwischen- und Endergebnisse erzeugt werden. Durch die formale Festlegung der Scrum Ereignisse wird die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams strukturiert und der Besprechungsaufwand auf das notwendige Maß reduziert. Besprechungen stehen in einem angemessenen Verhältnis zu fokussierten Arbeitsphasen ohne unvorhergesehene Besprechungen. Die Pflege des Product Backlog ermöglicht allen internen und externen Beteiligten die transparente Betrachtung der Zielsetzungen, der Arbeitsprozesse und des Arbeitsstandes. Die formalisierten, iterativen Feedback-Schleifen sowohl im Hinblick auf den Inhalt als auch auf den Arbeitsprozess ermöglichen eine Optimierung bzw. eine Adaption an veränderte Voraussetzungen. Insofern zielen Scrums auch nicht zwangsläufig darauf ab, ein abschließend fertiges Produkt zu erzeugen. Veränderte Marktanforderungen oder Wettbewerbssituationen können eine stetige Produktentwicklung erforderlich machen, die kontinuierlich im Scrum organisiert wird und zu einer stetigen Evaluation des Produktes führt.

12.4.2 Ansätze zum Transfer in Planungsprozesse

Mit Aspekten wie interdisziplinärer Zusammenarbeit, flexiblem und anpassungsfähigem Projektmanagement sowie kurzfristiger Ergebniserreichung, greift das Scrum Prozesseigenschaften auf, die als Zielsetzungen für eine adaptive Governance formuliert wurden (siehe Kapitel 12.3). Im Folgenden wird daher beschrieben, wie sich die Ansätze des Scrum Prozessrahmenwerks auf Planungsprozesse bzw. die Governance der Stadtentwicklung potenziell übertragen lassen.

Grundsätzlich scheint Scrum auch auf planerische Prozesse anwendbar zu sein, sofern diese in Projektform organisiert sind oder sich in Projektform organisieren lassen. So ist der organisatorische

Aufwand eines Scrum für alltägliche Verwaltungsaufgaben ohne größeren Abstimmungsbedarf und mit standardisierten Vorgehensweisen, wie Baugenehmigungen o. ä., zu hoch. Jedoch lassen sich umfangreichere Stadtentwicklungsprojekte potenziell auch im Scrum-Format organisieren. Das zu erstellende Plandokument, wie beispielsweise ein Flächennutzungsplan, ein Stadtentwicklungskonzept, ein Radverkehrskonzept, ein Entwässerungskonzept oder eine kommunale Resilienzstrategie wären in diesem Fall das Produkt. Einzelne Arbeitsschritte wie SWOT-Analyse, Gestaltungsplan, Beteiligungsprozesse, Planentwurf und Abwägungen, würden den Produktinkrementen entsprechen. Die Oberziele (Epics) im Scrum entsprechen übergeordneten, strategischen Zielsetzungen im Stadtentwicklungsprozess, die beispielsweise in einem Leitbild festgelegt wurden. Scrum kann auch dazu eingesetzt werden, bestehende Plandokumente zu evaluieren und an veränderte Herausforderungen anzupassen.

Die Rolle des Product Owner sollte ein Mitarbeiter in Leitungsposition einnehmen, der die Erfahrungen über notwendige Prozessabläufe, Kenntnisse über die Beteiligten und die notwendigen Entscheidungskompetenzen mitbringt. Bei fachabteilungsspezifischen Projekten wären dies entsprechend die Abteilungs- oder Gruppenleiter und bei umfassenden, gesamtstädtischen Konzepten eher Amtsleiter oder Planungsdezernenten. Die Entwicklungsteams sollten sich stets aus Vertretern unterschiedlicher Fachabteilungen zusammensetzen, um den interdisziplinären Charakter zu wahren. Auch ist in Anbetracht der komplexen Vernetzungen urbaner Systeme und der angestrebten Identifikation von Synergien und gemeinsamen Handlungsfenstern (siehe Kapitel 12.1) die Beteiligung der unterschiedlichen Abteilungen anzuregen. Mitunter können auch Bürger oder private Akteure als Experten in den Entwicklungsteams beteiligt werden, wenn deren lokalspezifisches Know-how im Planungsprozess genutzt werden soll. Es können sogar ganze Entwicklungsteams aus Privatakteuren bestehen, wenn eine Veranstaltung zur Öffentlichkeitsbeteiligung als Sprint organisiert wird. Die Rolle des Scrum Masters sollte bei Einführung des Scrum und bei umfangreicheren, potenziell konfliktbelasteten Projekten von einer unbeteiligten, externen Person erfüllt werden. Diese sollte einerseits ausreichend methodisches Fachwissen mitbringen, um den Prozess effizient in das Verwaltungshandeln zu implementieren und andererseits auch die notwendige Neutralität wahren, um die Kommunikation zwischen den Akteuren zu fördern und das Sprint Review zu moderieren. Sobald Scrum in den Prozessen implementiert und etabliert ist, kann die Rolle des Scrum Master in den meisten Projekten aber auch verwaltungsintern besetzt werden. Sofern, wie in Kapitel 12.3 ange-regt, der Posten eines Resilienzbeauftragten besetzt wurde, könnte diese Person die Rolle übernehmen. Denn einerseits sollten zeitliche Ressourcen dafür zur Verfügung stehen. Andererseits sollte

12. Institutionelle Resilienz

diese Person auch inhaltliche und methodische Hinweise auf die Förderung der Resilienz im Stadtentwicklungsprozess geben können.

Die formalen Scrum Ereignisse lassen sich auch in Projekten der Stadtentwicklung zur organisatorischen Strukturierung des Kommunikationsprozesses einsetzen. Gerade weil sie zeitlich beschränkt und längerfristig vorausplanbar sind, eignen sich die formal festgelegten Scrum Ereignisse für den Einsatz in der Verwaltung im Hinblick auf eine zeitsparende Projektorganisation. Dass im vorgelagerten Sprint Planning Aufgaben strukturiert, Personen zugeordnet und budgetiert werden, ist ebenfalls einer schlanken Verwaltungsorganisation zuträglich. Die fest eingeplanten Feedback-Runden (Sprint Review und Sprint Retrospektive) schaffen die notwendige Verbindlichkeit zur Evaluation der Produkte des Planungsprozesses sowie der Prozessabläufe selbst. Dadurch werden die Aspekte der Lernfähigkeit und der Adaption in den oftmals starren Verwaltungsabläufen formalisiert und fester Bestandteil von Planungsprozessen. Zudem besteht so die Möglichkeit neue Erkenntnisse in den Planungsprozess einfließen zu lassen, was sich bislang oftmals als Hindernis in langwierigen Planungsprozessen dargestellt hat.

Dass der Product Owner (z. B. Planungsdezernent) die Ergebnisse des Scrums externen Stakeholdern (z. B. interessierte Öffentlichkeit oder Politik) vorstellen muss und rechenschaftspflichtig ist, lässt sich ebenso auf Planungsprozesse anwenden, wie die sequenzielle Erstellung von Produktinkrementen, die auch für sich genommen ein Ergebnis darstellen können. Einzelne analytische und konzeptionelle Schritte im Planungsprozess können so bereits als Zwischenergebnisse veröffentlicht werden, um einerseits die Öffentlichkeit zu beteiligen (siehe Kapitel 12.2) und andererseits eine parallele Aufgabenbearbeitung auf Basis der fertigen Produktinkremente zu ermöglichen, gerade wenn beispielsweise externe Gutachten oder Stellungnahmen der Träger öffentlicher Belange (TÖB) erforderlich sind.

12.4.3 Diskussion der Integrierbarkeit von Scrum in Planungsprozesse

Nachdem der potenzielle Transfer des Scrum Prozessrahmens auf Planungsprozesse dargestellt wurde, stellt sich die Frage, welche Hindernisse der Implementation von Scrum in Planungsprozesse möglicherweise entgegenstehen, welche Vorteile sich aber auch daraus ergeben können.

Eines der größten Hindernisse dürfte sich aus dem Transfer einer flexiblen, agilen, für die Privatwirtschaft entwickelten Form des Projektmanagements auf verwaltungsrechtlich formalisierte, etablierte, lineare Planungsprozesse ergeben. Neben den rechtlichen Hürden, stehen diesem Transfer auch verwaltungsorganisatorische Hindernisse sowie ein entsprechend flexibles Mindset aller

beteiligten Akteure entgegen. Das umfasst nicht nur die Akteure im Scrum Team selbst, sondern auch die Stakeholder, die Verständnis für veränderte Prozessabläufe aufbringen müssten.

Planungsprozesse erfordern eine umfangreiche Abstimmung mit unterschiedlichen Akteuren und Interessenträgern. Zwar kann die eigentliche Planungsleistung im Kern von einem relativ kleinen Team erbracht werden, doch sind zur Interessenabwägung eine größere Zahl von Akteuren einzubeziehen. Neben der Öffentlichkeit und Privatakteuren handelt es sich dabei auch um hoheitliche Aufgabenträger, wie die TÖB oder andere Behörden, die je nach Vorhaben Einschätzungen, Gutachten oder Genehmigungen abgeben bzw. erteilen müssen. Anders als in den potenziell schlanken, unternehmensinternen Projektstrukturen, in denen Scrums zu effizienterer Arbeitsteilung beitragen sollen, stellen sich Planungsprozesse komplex und langwierig dar. Während in einem Unternehmen potenziell alle für eine Entscheidung notwendigen Akteure an einem Scrum teilnehmen können und somit eine kurzfristige Entscheidungsfindung und Weiterentwicklung möglich ist, sind an Planungsprozessen unterschiedliche Entscheidungsträger beteiligt, die aber mitunter am eigentlichen Planungsprozess nur als Aufsichts- oder Genehmigungsbehörde und nicht aktiv-konstruktiv beteiligt sind. Aufgrund dieser Abhängigkeit von projektexternen Akteuren sind die strikten zeitlichen Beschränkungen in einem Sprint in formalisierten Verwaltungsabläufen nicht unbedingt in der ursprünglichen Form umsetzbar. Beteiligungsverfahren vorab mit einem strikten und zeitlich unveränderbarem Zeitrahmen zu belegen, scheint bei komplexeren, potenziell konfliktbehafteten Projekten kaum umsetzbar, wenn eine angemessene Abwägung aller Interessen gewährleistet werden soll.

Selbst wenn es gelingt, die unterschiedlichen Interessenträger als Experten in interdisziplinären Entwicklungsteams zu beteiligen, stellen vorhandene Hierarchien eine weitere Hürde dar. Im Scrum ist ein Grundstein der effizienten und kreativitätsfördernden Zusammenarbeit im Entwicklungsteam die Hierarchielosigkeit. In Planungsprozessen sind dagegen einige Aufgaben bzw. Interessen notwendigerweise mit einer Hierarchisierung verbunden. Der Schutz der Belange der natürlichen Umwelt oder der öffentlichen Sicherheit stehen hierarchisch über anderen Interessen, wie beispielsweise privatwirtschaftlichen Belangen. Auch wenn ein intensiver und konstruktiver Austausch zwischen den unterschiedlichen Interessenträgern durchaus erstrebenswert ist, scheint eine hierarchielose Zusammenarbeit im Entwicklungsteam planungsrechtlich kaum umsetzbar. Dementsprechend sollten TÖB eher als externe Stakeholder eingebunden werden, die im Sprint Review ihre Sichtweisen und Gutachten einfließen lassen.

12. Institutionelle Resilienz

Daran anknüpfend kann sich ein weiteres Hindernis für den Transfer von Scrum auf Planungsprozesse ergeben, wenn planungsrechtliche Erfordernisse, wie bestimmte Fristen, inhaltliche Vorgaben oder Prozessabläufe, einem effektiven Sprintverlauf entgegenstehen. Mitunter könnten dann in der Sprint Retrospektive zentrale Hindernisse für einen effektiven Arbeitsprozess zwar erkannt, aber aufgrund rechtlicher Beschränkungen nicht im Projektverlauf durch das Scrum Team verändert werden.

Hinzu kommt, dass Scrum ein gewisses Mindset der beteiligten Akteure voraussetzt, das mitunter nicht alle Akteure eines Planungsprozesses mit sich bringen. Die Fokussierung der eigenen Arbeit auf die Sprints ist gerade im Verwaltungsalltag kleinerer Kommunen mit wenigen Mitarbeitern im Planungsbereich nicht uneingeschränkt möglich. Da die alltägliche Aufgabenerfüllung sicherzustellen ist, können einzelne Personen nicht unbedingt für einen Monat (oder einen anderen Zeitrahmen) für eine sehr fokussierte Mitarbeit in einem Sprint freigestellt werden. Auch der Mut und die Offenheit für innovative Lösungswege ist mitunter aufgrund der Aufgabe oder persönlichen Einstellung einzelner Personen nicht immer gegeben. Anders als in Unternehmen können bei einer negativen Evaluierung in der Sprint Retrospektive einzelne Akteure des Entwicklungsteams in einem Planungsprozess aber nicht immer ausgetauscht werden, da bestimmte Verwaltungsaufgaben auch an bestimmte Personen gebunden sein können.

Unter dem Begriff „Dark Agile“ (Bjørn 2019: 125) wird in der Literatur eine Kehrseite von agilem Projektmanagement, insbesondere bei Scrum, diskutiert. Diese könnte sich auch in Planungsprozessen negativ auf die effiziente Umsetzung des Prozessrahmens auswirken. Es geht um den strikten zeitlichen Rahmen und die vorgelagerte Aufgabenplanung einschließlich der Budgets für den Aufgabenumfang (Story Points) durch das Entwicklungsteam. Gerade in komplexen Projekten, die ein agiles Projektmanagement erforderlich machen, können unvorhersehbare Konflikte oder Aufgaben entstehen, die zu Beginn eines Sprints nicht absehbar waren, ohne deren Erfüllung das Sprint-Ziel aber nicht erfüllt werden kann. Product Owner und externe Stakeholder, die mitunter Kontrollfunktionen übernehmen, müssen dem Entwicklungsteam in derartigen Fällen ausreichend Freiraum zur Aufgaben- und Zeitanpassung geben, da sonst ein hoher Druck auf das Entwicklungsteam entstehen kann. Die eigentlich positiv intendierte Transparenz der Aufgabenerfüllung kann dann schnell zu einem negativ konnotierten Kontrollinstrument werden und bei dem Entwicklungsteam die Offenheit und Kreativität einschränken. (vgl. ebd.: 129ff.) Product Owner und Scrum Master müssen daher sehr genau zwischen der Einhaltung des angestrebten Zeitrahmens sowie effizienter Arbeitsabläufe und notwendigen Änderungen aufgrund neuer oder unvorhersehbarer Erkenntnisse abwägen.

Die aufgeführten Hürden verdeutlichen, dass sich Scrum nicht 1:1 auf Planungsprozesse übertragen lässt. Gelingt es jedoch einerseits Scrum an die planungsrechtlichen und verwaltungsorganisatorischen Erfordernisse anzupassen und andererseits auch in Recht und Verwaltung ausreichende Freiräume für ein derart agiles Projektmanagement zu schaffen, so bietet Scrum durchaus einige Potenziale in der Umsetzung einer adaptiven Governance: eine zeitliche Verschlankung von Planungsprozessen bei transparenter Strukturier- und Planbarkeit, die Adaption von Aufgaben und Zielsetzungen während eines Projektes, die stetige Verbesserung der Prozessabläufe selbst, die Förderung interdisziplinärer Zusammenarbeit in aufgabenbezogenen Teamzusammensetzungen sowie die fortlaufende Evaluation der Produkte von Planungsprozessen. Sicherlich scheint die Integration eines agilen Projektmanagements in formale Planungsprozesse eine schwierige Aufgabe zu sein, doch erfordern die ambivalenten und unvorhersehbaren Herausforderungen neben technischen und baustrukturellen Adaptionen eben auch eine entsprechende Anpassung der Planungs- und Steuerungsprozesse.

Einige der zentralen Ideen des Scrums sind nicht gänzlich neu im Kontext von Planungsprozessen. Die adaptive, strategische Planung, wie sie von WIECHMANN UND HUTTER beschrieben wird, beinhaltet ebenfalls die Absichten, die Zielsetzungen schrittweise anpassen zu können, in der Retrospektive aus Erfahrungen zu lernen und Konzepte partizipativ und kollektiv zu entwickeln (vgl. Wiechmann und Hutter 2008: 103). Der perspektivische Inkrementalismus als Ausprägungsform strategieorientierter Planung beinhaltet darüber hinaus die auf ein übergeordnetes Ziel ausgerichtete, inkrementelle Entwicklung in Teilprojekten. Allerdings ist er auf nicht-alltägliche Projekte ausgerichtet. Für eine tiefe Integration der Resilienz im Sinne eines *Resilience-Mainstreamings* sollte „strategische Planung als integrierter Prozess“ (Hutter 2006: 212) Bestandteil des alltäglichen Planungshandelns werden. Das Scrum Prozessrahmenwerk sowie die in Kapitel 12.4.2 dargestellten Ansätze zur Integration von Scrum in die Planung liefern Anregungen, wie sich dies umsetzen lässt.

Der in Kapitel 12.1 beschriebene *Mannheimer Ansatz* ist ein Beispiel dafür, dass sich Grundideen des Scrum auch in der Praxis in Planungsprozesse integrieren lassen. Die transparente Zielentwicklung und -verfolgung, der Einsatz von Projektmanagementsoftware sowie der Einbezug der Verbesserung des Managements und der Teamleistung in die Zielsetzungen des Prozesses sind in beiden Konzepten zu finden. Das Beispiel verdeutlicht, dass die Integration von Scrum in Planungsprozesse grundsätzlich funktionieren kann und Potenziale zur Verbesserung dieser Prozesse bietet. Als Bestandteil einer adaptiven Governance kann Scrum demzufolge zu einer insgesamt resilienteren Stadtentwicklung beitragen.

13. Soziale Resilienz

Städte sind komplexe sozio-technische Systeme. Der Pfad ihrer Entwicklung ist maßgeblich auf die Interaktion zwischen der Stadtgesellschaft und den technisch-baulichen (physischen) Systemen zurückzuführen. Das Ausmaß einer Krise ist auch von dem Verhalten der gesellschaftlichen Akteure abhängig und die Weiterentwicklung der physischen Strukturen wird durch die Stadtgesellschaft beeinflusst (z. B. in Form von Normen und Werten oder auch Planungsakteuren). Die resiliente Gestaltung der physischen Strukturen durch planerisch handelnde Akteure ist daher nur ein Baustein auf dem Weg zu einer resilienten Stadtentwicklung. Die Stadtgesellschaft als Nutzerin der urbanen Systeme hat ebenso Einfluss darauf, ob die Systeme im Krisenfall effektiv eingesetzt werden und welche Adaptionen und Transformationen überhaupt langfristig implementierbar sind. Aus diesem Grund wird die soziale Resilienz als dritte Dimension eines ganzheitlichen Verständnisses von urbaner Resilienz in das Dimensionen-Konzept aufgenommen.

Soziale Resilienz wird in der Literatur beschrieben als die Kapazität einer sozialen Entität (Person, Einheit, Institution) sich proaktiv an eine Störung, die den erwartbaren Rahmen überschreitet, anpassen und sie überwinden zu können (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 1; Boin et al. 2010: 9). Für HUTTER UND LORENZ ergeben sich daraus drei zentrale Anforderungen an die Eigenschaften der sozialen Entitäten: Bewältigungskapazität, Partizipationskapazität sowie die Kapazität zur Adaption und Transformation (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 5f.). Weiter konkretisierend leitet der Autor dieser Arbeit vom theoretischen Verständnis sozialer Resilienz zwei übergreifende Anforderungen an die Gesellschaft und die darin handelnden Akteure ab: 1. Eine Voraussetzung ist eine Art *Resilienz-Mindset*, das die Entitäten befähigt resiliente Handlungsweisen an den Tag zu legen bzw. resilienzi-orientierte Handlungen anderer Akteure zu unterstützen. 2. Die notwendigen Ressourcen, um unter den gegebenen Herausforderungen die notwendige Handlungsfähigkeit erhalten zu können, sind auch individuell zu sichern.

In den folgenden Unterkapiteln wird zunächst erläutert, welche entscheidende Bedeutung das Bewusstsein über die Herausforderungen und die Akzeptanz für Schritte zur Adaption und Transformation im Kontext sozialer Resilienz haben. Anschließend wird beschrieben, welche Funktionen die soziale Resilienz im Hinblick auf urbane Resilienz als Gesamtkonzept erfüllt und abschließend aufgeführt, welche Schritte zu einer stärkeren Etablierung von Resilienz als gesellschaftliches Leitbild beitragen könnten.

13.1 Bedeutung von Bewusstsein und Akzeptanz in der Gesellschaft

Eine wichtige Voraussetzung, damit sich auch gesellschaftliche Akteure vermehrt ein Resilienz-Mindset aneignen ist, dass zunächst einmal ein Bewusstsein für die Notwendigkeit eines solchen Mindsets besteht. Das setzt in der Gesellschaft ein Bewusstsein über die Ernsthaftigkeit, Ambivalenz und Unvorhersehbarkeit der künftigen Herausforderungen von Städten voraus. Positivistischer, ingenieurstechnischer Technikgläubigkeit folgend, besteht in Deutschland ein hohes Vertrauen in die Handlungsfähigkeit des Bundes, der Länder und der Kommunen im Hinblick auf potenzielle Krisen und die Sicherung der Grundbedürfnisse durch staatliche Aufgabenträger. Das liegt einerseits daran, dass die im ROG zugesicherte Daseinsvorsorge (siehe § 2 II ROG) bislang weitgehend zuverlässig und flächendeckend durch Bund, Länder und Kommunen erfüllt wurde. Andererseits musste Deutschland im internationalen Vergleich hinsichtlich Quantität und Intensität weniger Naturkatastrophen bewältigen als zahlreiche andere Länder (vgl. Website NatCatSERVICE). Insbesondere schleichende Veränderungen, wie der Klimawandel und der Demografischer Wandel, werden in Zukunft aber auch Deutschland vor größere Herausforderungen stellen. In diesem Kontext muss die langfristig uneingeschränkte Leistungsfähigkeit des Staates als Dienstleister zur Sicherstellung der Daseinsvorsorge hinterfragt werden. Die Rolle gesellschaftlicher Akteure (Individuen, Organisationen) bei der Überwindung von und Anpassung an die Herausforderungen wird zukünftig an Gewicht gewinnen. Um das Bewusstsein gesellschaftlicher Akteure über die Herausforderungen und die begrenzte Leistungsfähigkeit vorhandener Systeme und staatlicher Organe zu fördern, ist ein intensiverer Informationsaustausch zwischen Staat bzw. kommunalen Aufgabenträgern und der Gesellschaft erforderlich. Über Partizipationsformate können nicht nur die anstehenden Herausforderungen, sondern auch die Notwendigkeit strategischer Konzepte und die sich daraus ableitenden, konkreten Maßnahmen besser in den gesellschaftlichen Diskurs vermittelt werden. Das kann erstens dazu dienen die sozialen Potenziale zu heben (siehe Kapitel 13.2) und trägt zweitens zur Legitimierung der in Planungsprozessen getroffenen Entscheidungen bei. Diese Form der demokratischen Legitimierung fördert die Akzeptanz in der Gesellschaft für die ergriffenen Maßnahmen, die in Zukunft womöglich tiefgreifender den Alltag der Zivilgesellschaft beeinflussen werden, als dies bisher der Fall war. Die Akzeptanz dieser Schritte ist jedoch Voraussetzung dafür, dass Individuen und Organisationen die Systemveränderungen mittragen und die urbanen Systeme wie vorgesehen nutzen, damit die Maßnahmen auch greifen können. Letztendlich geht es um die Transparenz der Planungsprozesse, angefangen von den Herausforderungen über die Strategieentwicklung bis hin zur Ableitung konkreter Aufgaben.

13.2 Aspekte sozialer Resilienz

Um als soziale Einheit die unter sozialer Resilienz angestrebte Anpassungs- und Bewältigungskapazitäten zu erlangen, müssen die individuell oder in Organisationen handelnden Akteure bestimmte Einstellungen ihrer Handlungsweisen mitbringen. Ein solches Mindset fördert zum einen die kurzfristige Handlungsfähigkeit in Krisensituationen und zum anderen die Offenheit für adaptive Maßnahmen bezogen auf die Systemstrukturen und eigene Handlungsweisen.

Angelehnt an die erforderlichen Eigenschaften der Mitglieder des Entwicklungsteams im Scrum (siehe Kapitel 12.4) hält der Autor dieser Arbeit folgende persönliche Eigenschaften für erforderlich für ein Resilienz-Mindset: Selbstverpflichtung, Offenheit, Mut, Kreativität, Respekt (vgl. Schwaber und Sutherland 2017: 5f.). Selbstverpflichtung umfasst dabei die Erkenntnis einer jeden sozialen Entität, dass alle Mitglieder der Gesellschaft ihren Beitrag für eine resiliente Stadtentwicklung leisten müssen. Sei dies nun durch die proaktive Beteiligung in Planungsprozessen, die Bereitschaft zur individuellen Anpassung oder die Offenheit für notwendige Einschränkungen gewohnter Standards oder der persönlichen Entfaltungsmöglichkeiten (z. B. Einschränkungen der Grundstücksnutzung im Sinne des Allgemeinwohls). Selbstverpflichtung meint damit aber auch Gemeinwohlinteressen anzuerkennen und Eigeninteressen ggf. zurückzustellen. Offenheit bezieht sich auf eine generell offene Einstellung gegenüber den notwendigen Veränderungen, auch wenn Maßnahmen ggf. gewohnte Standards, Strukturen oder Prozesse deutlich verändern. Offenheit ist gleichzeitig eine wichtige Voraussetzung für eine kreative Maßnahmenentwicklung, sodass frei von einschränkenden Parametern über neuartige Lösungswege und innovative Konzepte abseits des Alltäglichen diskutiert werden kann. Sie ist damit auch Grundvoraussetzung für Transformativität. Mut beschreibt in diesem Fall die Bereitschaft, Maßnahmen zu ergreifen und umzusetzen, die potenziell konfliktbelastet sein können, wenn man sich daraus eine Verbesserung der Robustheit, Adaptivität oder Transformativität urbaner Systeme verspricht. Das betrifft insbesondere solche Maßnahmen, die unter großer Unsicherheit der Rahmenbedingungen ergriffen werden müssen, die tiefgreifende Veränderungen nach sich ziehen oder die aufgrund eines innovativen Lösungsweges unsichere Erfolgsaussichten aufweisen. Gerade das Finden innovativer Lösungswege setzt ein gewisses Maß an Kreativität voraus, um abseits etablierter Maßnahmen neuartige Lösungen für neue Herausforderungen identifizieren zu können. Des Weiteren ist Respekt erforderlich, um in partizipativen Prozessen einen effizienten und gleichberechtigten Ablauf zu ermöglichen. Dabei sollten andere Akteure nicht nur als Personen respektiert werden, sondern auch ihre individuellen oder kollektiven Interessen sowie die Interessen des Umweltschutzes. Nur im respektvollen Umgang miteinander entsteht die

notwendige, offene Atmosphäre, die das Finden innovativer Lösungen begünstigt und die Bereitschaft zur Selbstverpflichtung unterschiedlicher Akteure erhöht.

Gelingt es ein solches Resilienz-Mindset in der Gesellschaft zu etablieren, fördert dies nicht nur die individuelle und organisationale Handlungsfähigkeit in Krisenfällen sowie in partizipativen Prozessen, sondern erhöht auch ganz allgemein das Verständnis und die Akzeptanz in der Zivilgesellschaft für die Maßnahmen zur (proaktiven) Adaption an zukünftige Herausforderungen. Aus planungskultureller Perspektive ist dies besonders bedeutsam, da der gesellschaftliche Kontext die Normen und Werte festlegt, die den normativen Orientierungsrahmen vorgeben, in dem sich planerische Maßnahmen bewegen können (vgl. Othengrafen und Reimer 2013: 1269ff.). In den Jahren 2018 und 2019 bewiesen die durch Klimaaktivisten angeregten gesellschaftlichen Debatten, wie sehr der gesellschaftliche Kontext politische und auch planerische Entscheidungen beeinflussen kann (siehe z. B. Hambacher Forst, deutsches Klimaschutzprogramm 2030). Andersherum kann eine destruktive *not-in-my-backyard*-Einstellung in der Gesellschaft den Handlungsspielraum für Maßnahmen deutlich einschränken. Letztendlich schlägt sich die gesellschaftliche Stimmung, bzw. das aktuelle Mindset großer Teile der Gesellschaft auch in den demokratisch legitimierten, politischen Vertretern nieder, die die planerisch vorbereiteten Entscheidungen zur Stadtentwicklung verabschieden müssen. Ohne Rückhalt in der Gesellschaft wird es langfristig auch keine politischen Entscheidungsträger geben, die die notwendigen Maßnahmen unterstützen können. Zudem müssen auch die Politiker selbst ein Resilienz-Mindset mitbringen, um die Maßnahmen nachvollziehen, unterstützen und die Entscheidungen entsprechend gegenüber der Öffentlichkeit vertreten zu können.

Neben dem skizzierten Mindset, das auf die Einstellung von sozialen Entitäten abzielt, sind individuelle Strategien zur Sicherung notwendiger Ressourcen zur Bewältigung und Anpassung der zweite zentrale Aspekt sozialer Resilienz. Ressourcen sind dabei nicht nur Materialien oder finanzielle Mittel, sondern auch Arbeitsleistungen und insbesondere spezifisches Know-how. Das kommt vor allem dann zum Tragen, wenn Herausforderungen oder Krisen nicht durch staatliche Organe oder die vorhandenen Systeme bewältigt werden können und die öffentliche Daseinsvorsorge nichtmehr im gewohnten Maße gesichert ist. Besonders effizient kann eine solche, individuelle Sicherung der Ressourcenverfügbarkeit in sozialen Netzwerken organisiert werden, wie der Blick in Länder und Regionen des globalen Südens zeigt, in denen der Staat keine ubiquitäre Daseinsvorsorge sicherstellt und die Menschen somit auf die eigenständige Sicherung ihrer Lebensgrundlagen angewiesen sind. Im in der Entwicklungszusammenarbeit gebräuchlichen „Livelihoods“-Ansatz (Serrat 2017: 21) gehört das über Netzwerke verfügbare soziale Kapital neben dem Humankapital, dem natürlichen

13. Soziale Resilienz

Kapital, dem physischen Kapital und dem Finanzkapital zu den fünf zentralen Kapazitäten („Capital Assets“; ebd.: 23), über die ein Individuum, eine Familie oder eine Gemeinschaft verfügen kann, um seine oder ihre Lebensgrundlage sicherzustellen. Im Livelihoods-Ansatz können einzelne dieser Kapazitäten durch andere ausgeglichen bzw. ersetzt werden. Wenn also beispielsweise in einer Krisensituation physisches Kapital in Form von nutzbaren Infrastrukturen verloren geht, kann dies zur Bewältigung auch durch spezifisches Wissen, bestimmte Fähigkeiten (beides Humankapital des Individuums) und Unterstützung aus den sozialen Netzwerken (soziales Kapital) ausgeglichen werden. Auch das Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen nutzt den Livelihoods-Ansatz als Analyse- und Handlungsrahmen im Umgang mit vulnerablen Gesellschaften (vgl. Elizondo 2017: 3ff.). Die Vermittlung von Informationen und Wissen sowie die solidarische, gegenseitige Unterstützung in sozialen Netzwerken werden als wesentliche Bestandteile einer Resilienzstrategie in vulnerablen Gesellschaften angesehen. (vgl. Charmes 2019: 128ff.; Elizondo 2017: 2ff.; Serrat 2017: 21ff.; Pelling 2003: 61ff.)

Zwar stimmen die Herausforderungen zwischen Ländern des globalen Südens und den westlichen Industrienationen nicht überein, da beispielsweise in Deutschland die größte Herausforderung von Familien nicht in der Nahrungsmittelversorgung und Grundbedürfnisbefriedigung besteht. Doch sollte auch im hiesigen Kontext die Bildung von Sozialkapital als Adaptionstrategie mehr Bedeutung erlangen. Derzeit besteht dazu aufgrund von ausreichend hohem Humankapital, physischem Kapital und Finanzkapital in großen Teilen der Gesellschaft noch kein akuter Bedarf. Allerdings können die künftigen Herausforderungen dazu führen, dass das verfügbare natürliche Kapital sowie die Nutzbarkeit des physischen Kapitals zurückgehen und das Finanzkapital der sozialen Entitäten nicht ausreicht, um diese Einschränkungen auszugleichen und die Lebensgrundlagen aufrecht zu erhalten. In solchen Fällen können dann rechtzeitig etablierte Unterstützungsnetzwerke als soziales Kapital in Form von Wissen, Fähigkeiten, Arbeitskraft oder auch finanziell-materieller Unterstützung dazu beitragen, die Bewältigung einer kurzfristigen Krise oder eine längerfristige Adaption an veränderte Rahmenbedingungen zu ermöglichen. Unterschiedliche Strategien zur Sicherung der stetigen Verfügbarkeit der notwendigen Ressourcen aller Art, um Maßnahmen unter widrigen Bedingungen ergreifen zu können, sind ein zentraler Schritt auf dem Weg von spezifischer Adaption zu genereller Adaptivität. Soziales Kapital in Form von funktionierenden Netzwerken leistet hierzu einen wesentlichen Beitrag.

Dabei ist die Bedeutung von sozialem Kapital nicht nur auf Individuen und kleinere soziale Einheiten im Sinne individueller Bewältigungs- und Anpassungsstrategien im Rahmen der anzustrebenden

Selbstverpflichtung (s. o.) bezogen. Auch Gesellschaften als Ganzes und die in ihrer Steuerungsfunktion handelnden Planungsakteure können von sozialem Kapital profitieren. Vor allem in Krisensituationen sind lokale, informelle Netzwerke oft kurzfristig handlungsfähiger als staatliche Aufgabenträger, die erst auf einer höheren Skalierungsebene koordiniert und organisiert werden müssen. ALDRICH liefert in seiner Monographie einige Beispiele von bekannten Naturkatastrophen (z. B. Kobe Erdbeben 1995, Tsunami im Indischen Ozean 2004, Hurricane Katrina 2005), die belegen, dass effiziente, lokale Netzwerkstrukturen in der Krisenbewältigung nach einer Katastrophe oftmals leistungsfähiger sind als von staatlicher Seite zur Verfügung gestellte Ressourcen und Unterstützung beim Wiederaufbau (vgl. Aldrich 2012). VALE UND CAMPANELLA kommen in ihrer Analyse historischer Naturkatastrophen in Städten und der folgenden Katastrophenbewältigung zu einem vergleichbaren Ergebnis (vgl. Vale und Campanella 2005a: 340ff.). Aber nicht nur in der kurzfristigen Krisenbewältigung, sondern auch in der längerfristigen Adaption und Transformation kann Sozialkapital eine entscheidende Rolle in Planungs- und Steuerungsprozessen spielen. Gelingt es gesellschaftliche Akteure partizipativ in Planungsprozesse einzubinden, kann das in der Gesellschaft vorhandene, soziale Kapital mitunter für die Maßnahmenentwicklung nutzbar gemacht werden. Neben den kurzfristigen Handlungskapazitäten umfasst das soziale Kapital auch lokalspezifisches Wissen, das zur Entwicklung innovativer Lösungswege eingesetzt werden kann, da so standortspezifische Gegebenheiten, Akteurskonstellationen und alltägliche Abläufe berücksichtigt werden können, die kommunalen Planungsakteuren in ausdifferenzierter Form mitunter nicht bekannt sind. Weiterhin kann auch Arbeitsleistung in Form von zivilgesellschaftlichem Engagement oder Public-Private-Partnerships zur Erfüllung bestimmter Aufgaben oder zum Betrieb von Einrichtungen nutzbar gemacht werden. Nicht zuletzt gehört zum Sozialkapital auch die verbesserte Informationsvermittlung in die Gesellschaft, wenn die persönlichen Netzwerke der an Planungsprozessen partizipierenden Akteure genutzt werden können, um wesentliche Informationen breiter in die Gesellschaft zu tragen. Dies führt dann wiederum zu transparenteren Prozessen und stärkt die Legitimierung der Maßnahmen.

13.3 Mögliche Schritte zur Stärkung sozialer Resilienz

Wie in Kapitel 13.1 beschrieben, ist eine erste Grundlage zur Förderung sozialer Resilienz zunächst die Bewusstseinsbildung für die Ernsthaftigkeit der Herausforderungen in der Gesellschaft. Dies kann zwar auch generalisiert für eine Kommune oder Region erfolgen, allerdings ist zu erwarten, dass mehr Maßnahmenakzeptanz und Handlungsbereitschaft entstehen, wenn sich soziale Entitäten mit ihrer individuellen Gefährdungslage auseinandersetzen und so die potenziellen Herausforderungen konkretisiert werden. Umgesetzt werden kann dies beispielsweise in Form von

13. Soziale Resilienz

Bürgerinformationsveranstaltungen und -workshops, die nicht nur über die generelle Gefährdungslage in einer Region informieren, sondern über einfache, standardisierte Methoden auch eine Analyse der individuellen Gefährdungslage ermöglichen. Wichtig dabei ist ein offener und transparenter Umgang mit den potenziellen Herausforderungen und Gefahren und die gleichzeitige Vermittlung von konkreten, im Alltag umsetzbaren Maßnahmen. Im „Ratgeber für Notfallvorsorge und richtiges Handeln in Notsituationen“ (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe 2018) des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe werden beispielsweise spezifische Handlungsweisen im Falle der Freisetzung von biologischen oder atomaren Gefahrenstoffen beschrieben und die Anlage eines Lebensmittel- und Materialvorrates für zehn Tage angeregt. Der Ratgeber beschreibt somit individuelle Handlungskompetenzen sowie die individuelle Sicherung lebensnotwendiger Ressourcen im Sinne der in Kapitel 13.2 beschriebenen Aspekte sozialer Resilienz. Transparente Kommunikation ist dabei wichtig, um die Ernsthaftigkeit potenzieller Krisen herauszustellen. Die gleichzeitige Vermittlung von Maßnahmen soll dazu beitragen Panik in der Bevölkerung zu vermeiden und stattdessen eine proaktive Anpassung an und die Bewältigung von unerwarteten Krisen zu ermöglichen (vgl. Boin et al. 2010: 9).

Im Hinblick auf Veränderungen der Rahmenbedingungen, die zwar nicht zu potenziell gefährlichen Krisen führen, aber durchaus ernstzunehmende Herausforderungen für die Funktionsfähigkeit urbaner Systeme darstellen (z. B. Demografischer Wandel), ist durch partizipative Prozesse eine intensivere Auseinandersetzung mit der jeweiligen Thematik und so auch mehr Akzeptanz für die Maßnahmen zu erwarten, als dies in einfachen Informationsveranstaltungen der Fall ist. Dementsprechend sollten hinsichtlich derartiger Herausforderungen eher partizipative Beteiligungsformate gewählt werden, zumal dadurch das soziale Potenzial besser mobilisiert werden kann. Generell stellt umfassende Partizipation einen wichtigen Bestandteil zur Förderung sozialer Resilienz dar (vgl. Hutter und Lorenz 2017: 5f.).

Damit sich das angestrebte Resilienz-Mindset tief in gesellschaftlichen Prozessen im Sinne eines *Resilience-Mainstreamings* etablieren kann, ist ein Paradigmenwechsel erforderlich. Anstelle positivistischer Technikgläubigkeit und dem Vertrauen auf den Staat als Dienstleister, der eine ubiquitäre Daseinsvorsorge sicherstellt, könnte eine *Kultur des Scheiterns* treten, die die endliche Leistungsfähigkeit ingenieurstechnischer Lösungen hervorhebt. In einem derartigen Paradigma würde ein hohes Bewusstsein darüber bestehen, dass urbane Systeme aufgrund ihrer Kapazitätsgrenzen nicht alle künftigen Herausforderungen bewältigen können und der Funktionsausfall daher eine allgegenwärtige Möglichkeit darstellt, die einzuplanen ist. Anstelle eines möglichst

ausfallsicheren Systemdesigns würde dann ein Design nach dem „safe-to-fail“-Prinzip (vgl. Ahern 2011: 342) treten, das Schwachstellen und Ausfälle antizipiert und sie in ein strategisches Systemdesign einbezieht, um Ausfallzeiten und Folgeschäden zu minimieren (z. B. Sollbruchstellen, Diversifizierung, Bewältigungskapazitäten). Im ursprünglichen Sinne des Konzepts gehört zur *Kultur des Scheiterns* auch die Offenheit, unterschiedliche Lösungswege einschlagen zu können, um möglichst innovative und leistungsfähige Lösungen zu identifizieren. Im Sinne des trial-and-error-Prinzips können dabei mitunter auch Maßnahmen ergriffen werden, die keine langfristige Lösung darstellen oder gar eine kurzfristige Verschlimmerung einer negativen Situation bewirken, weil sie eben unter den Bedingungen großer Unsicherheit getroffen werden. BLUM ET AL. fordern in diesem Kontext eine „neue Kultur der Unsicherheit“ (Blum et al. 2016: 154), die analog zur *Kultur des Scheiterns* die permanente Unsicherheit über künftige Entwicklungen hervorhebt und so zur Steigerung der Bewältigungs- und Anpassungskapazitäten anregt.

Förderlich ist eine *Kultur des Scheiterns* für die kritische Auseinandersetzung mit etablierten und gewohnten Standards der Daseinsvorsorge. Es sollte gesellschaftlicher Konsens darüber bestehen, dass unter den sich ändernden Rahmenbedingungen nicht alle Funktionen der Daseinsvorsorge im gewohnten Maße aufrechterhalten werden können. Dies bietet eine Basis für die Diskussion, welche Daseinsvorsorgefunktionen als kritische, öffentliche Funktionen erhalten werden müssen und welche Funktionen ggf. räumlich oder qualitativ eingeschränkt werden müssen und dann in den Bereich individueller Daseinsvorsorge übergehen würden. In der Diskussion um die langfristige Finanzierbarkeit von Infrastrukturen würde dies Ressourcen freisetzen, die zur Sicherung der kritischen Infrastrukturen eingesetzt werden könnten. Allerdings setzen derartige Überlegungen soziale Resilienz voraus, damit in der Gesellschaft Anpassungsstrategien zum Umgang mit den eingeschränkten Daseinsvorsorgeangeboten entwickelt werden können.

Zweifellos ist die Förderung sozialer Resilienz in Deutschland kein kurzfristiger Prozess, der ohne Vermittlung von entsprechendem Wissen erfolgen kann. Jedoch bietet die Förderung sozialer Resilienz das Potenzial, einzelne Aufgaben der Daseinsvorsorge und Krisenbewältigung aus dem Bereich der öffentlichen Aufgaben in den zivilgesellschaftlichen Sektor zu verlagern. Auch schafft sie durch größere Akzeptanz und die Mobilisierung des sozialen Kapitals Handlungsspielräume für die Entwicklung neuartiger, innovativer Lösungswege. Dies ist aus Sicht des Autors notwendig, um vor dem Hintergrund der steigenden Anforderungen an Städte Ressourcen freizusetzen und Prioritäten zugunsten kritischer Infrastrukturen setzen zu können.

14. Fazit

Das Fazit dient dazu wesentliche Ergebnisse der Arbeit im Überblick zusammenzufassen. Es ordnet die Ergebnisse in den Forschungskontext ein. Die Aussagekraft der Ergebnisse und die methodische Herleitung werden reflektiert. Abschließend werden offene Fragestellungen aufgezeigt und der weitere Forschungsbedarf erörtert.

14.1 Darstellung und Einordnung zentraler Arbeitsergebnisse

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage²⁵ wurden in Kapitel 2 die Vielfalt und Komplexität städtischer Systeme dargestellt (siehe auch Tabelle 1, S. 46). Der Exkurs in die Systemtheorie hat aufgezeigt, welche Risiken mit komplexen, multi-skalar vernetzten Systemen verbunden sind und warum die Planung und Steuerung solcher Systeme auf Unsicherheiten basiert. Im Kontext aktueller, sozio-ökologischer Resilienzverständnisse (siehe Kapitel 5.1.3), die eine holistische Systemperspektive erfordern, können grundsätzlich alle städtischen Systeme die künftige Stadtentwicklung beeinflussen und sollten daher Berücksichtigung finden. Das umfasst neben den physischen Stadtsystemen explizit auch institutionelle und soziale Systeme.

Die im Theorieteil dargestellten Erkenntnisse wurden auf Basis einer strukturierten Literaturrecherche (siehe Kapitel 1.4.1) zusammengestellt und liefern einen Überblick über den Stand der Forschung. Exemplarisch wurden einzelne Aspekte oder Positionen eingehender erläutert, sofern diese dem besseren Verständnis dienen. Dies reicht aus, um auf der theoretischen Basis eine eigene Einschätzung im Hinblick auf die Fragestellungen zu entwickeln, ohne dass der Theoriediskurs jeweils in seiner Gänze und Vielfalt ausdifferenziert dargestellt werden muss.

Die Rahmenbedingungen und Herausforderungen der Stadtentwicklung in Deutschland wurden in Kapitel 3 erläutert. Im Hinblick auf die zweite Forschungsfrage²⁶ konnte so herausgearbeitet werden, dass durch gegenseitige Rückkopplungseffekte der verschiedenen Herausforderungen und die zahlreichen Schnittstellen zu städtischen Systemen grundsätzlich alle in Abbildung 6 (siehe S. 71) dargestellten Rahmenbedingungen im Kontext der urbanen Resilienz relevant sein können, sie räumlich aber unterschiedlich ausgeprägt sind. Für Planungsakteure ergeben sich besondere Herausforderungen durch die Emergenz, Ambivalenz und die Unsicherheiten der Rahmenbedingungen

²⁵ Welche städtischen Systeme müssen im Kontext der Resilienzdebatte Berücksichtigung finden?

²⁶ Welche Rahmenbedingungen sind besonders relevant für die langfristige Entwicklung städtischer Systeme in Deutschland und wie wirken sie sich aus?

(siehe Kapitel 3.4). Als besonders relevante Rahmenbedingungen für die Entwicklung städtischer Systeme in Deutschland wurden der Klimawandel und der Demografische Wandel herausgestellt. Die Folgen dieser beiden Trends für die städtischen Systeme, wie beispielsweise Hitzestress in Städten oder Funktionsprobleme in Abwasserinfrastrukturen, wurden erläutert und so der Handlungsbedarf für Planungsakteure aufgezeigt.

Die umfassende Darstellung der städtischen Systeme und der Rahmenbedingungen der Stadtentwicklung war einerseits notwendig, um aufzuzeigen, welchen vielfältigen Herausforderungen die Stadtentwicklung unterliegt. Andererseits wird dadurch verdeutlicht, wie komplex das System Stadt ist und dass die künftigen Entwicklungen nicht immer plan- oder vorhersehbar sind. Dies liefert die argumentative Grundlage für die Notwendigkeit der Etablierung des Resilienzkonzepts in der Planung als Abkehr von einem linearen, statischen Planungselbstverständnis.

Um ein eigenes Konzept der urbanen Resilienz entwickeln zu können, wurden als Grundlage der Stand der Forschung und die Genese des Resilienzkonzepts detailliert dargestellt (siehe Kapitel 5). Zur Einordnung bzw. Abgrenzung dient auch die Erläuterung des Vulnerabilitätskonzeptes in Kapitel 4. Gerade die Abgrenzung zwischen Vulnerabilität und Resilienz sowie zwischen Resilienz und Nachhaltigkeit (siehe Kapitel 5.4) liefert für den Transfer des Resilienzkonzeptes in die Praxis wichtige Argumente. Zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage²⁷ wurde aus einer umfassenden theoretischen Grundlage das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* entwickelt. Das Konzept führt den breiten Diskurs zum theoretischen Konzept der Resilienz in ein Modell zusammen, das Zugänge aus unterschiedlichen Disziplinen ermöglicht und so seine brückenbildende Funktion erhält. Gleichzeitig bieten die drei Dimensionen urbaner Resilienz Ansatzpunkte für die Operationalisierung des Konzepts und die Ableitung von Maßnahmen für die Praxis. Beispiele der praktischen Anwendung von Resilienz sowie daraus abgeleitete Operationalisierungskriterien wurden ebenfalls dargestellt. Somit schließt das Konzept die identifizierte Forschungslücke (siehe Kapitel 1.2) im Resilienzdiskurs und liefert eine praxisorientierte Definition urbaner Resilienz. Durch die vernetzten Dimensionen regt das Konzept dazu an, Herausforderungen städtischer Systeme in einem größeren Gesamtkontext zu betrachten, um mögliche Folgen und Lösungsansätze auf unterschiedlichen Ebenen identifizieren zu können. Somit werden nicht nur Risiken erster Ordnung sondern auch sekundäre Risiken adressiert (siehe Kapitel 2.3.2).

²⁷ *Wie ist der Begriff der urbanen Resilienz zu definieren? Wodurch grenzt er sich von ähnlichen Begrifflichkeiten aus den Themenbereichen der Stadtentwicklung und Raumplanung ab?*

14. Fazit

Die vierte Forschungsfrage²⁸ schlägt eine Brücke zwischen dem Theorie- und dem Empirieteil der Arbeit. In den Theoriekapiteln zu Vulnerabilität und Resilienz wird beschrieben, welche Eigenschaften die beiden Konzepte kennzeichnen und wie sie operationalisiert werden können. Dabei ist festzuhalten, dass die urbane Resilienz als Gesamtkonzept nicht messbar ist, sondern nur die physische Dimension, operationalisiert durch die Robustheit, quantifizierbar ist. Vulnerabilität ist dagegen messbar, was auch in der Praxis bereits durch zahlreiche Vulnerabilitätsanalysen demonstriert wurde (siehe Kapitel 4.3). In Kapitel 5.3.1 wird beschrieben, dass Robustheit als Gegenpol zur Vulnerabilität verstanden wird und die Robustheit städtischer Systeme, als zentrales Operationalisierungskriterium der physischen Dimension urbaner Resilienz, aus Vulnerabilitätsanalysen abgeleitet werden kann. Die konkrete Operationalisierung von Vulnerabilität und Resilienz anhand spezifischer Indikatoren erfolgt bezogen auf die Fragestellungen im Empirieteil in den Kapiteln 8.1, 9.1 und 10.1. Ziel des Empirieteils war es, das der Resilienz zugrundeliegende Verständnis komplexer städtischer Systeme auch in der Empirie – zumindest in Ansätzen – abzubilden. Dazu wurden zwei deutlich voneinander abweichende städtische Systeme sowie zwei unterschiedliche Herausforderungen ausgewählt, die exemplarisch die Vielfalt der Herausforderungen widerspiegeln. So sollte auf einer vergleichbaren Stadtstrukturtypenebene untersucht werden, ob sich unterschiedliche Herausforderungen in verschiedenen Stadtsystemen gegenseitig aufheben oder ob es BNT gibt, die generell robuster gegenüber externen Herausforderungen sind.

Mit dem Hagelsturm von Reutlingen ist in den zur Verfügung stehenden Gebäudeschadensdaten ein außergewöhnliches Einzelereignis vorhanden, das zweifellos ein Extremereignis darstellt und damit als Fallbeispiel für eine Analyse im Kontext der Resilienz besonders geeignet ist. Der Hagelsturm erlaubte nicht nur eine zeitliche Eingrenzung des Untersuchungsrahmens, sondern auch die Abgrenzung einer Fallregion (siehe Kapitel 6.3). Demgegenüber stehen im zweiten empirischen Abschnitt mit den Szenarien zur demografischen Entwicklung Beispiele für schleichende Veränderung, die eine andersartige Herausforderung für städtische Systeme darstellen können. Die zwei ausgewählten Beispiele umfassen somit die zwei wesentlichen Typen unterschiedlicher Herausforderungen städtischer Systeme (siehe Kapitel 3) und erfüllen somit den Anspruch, die Vielfalt der Herausforderungen exemplarisch widerzuspiegeln.

Die BNT als methodischer Ansatz und Analyseebene erlauben einerseits die Ergebnisse allgemein übertragbar aufzubereiten und andererseits vorhandene Literaturkennwerte in das theoriebasierte

²⁸ *Welche räumlichen Eigenschaften beeinflussen die Vulnerabilität und Resilienz städtischer Systeme und anhand welcher Indikatoren können sie gemessen werden?*

Abwasserinfrastrukturkostenmodell einfließen zu lassen. Die in Kapitel 7.4 entwickelte Methode zur Aufbereitung der Daten des IÖR-Monitors zu BNT-spezifischen Raumindikatoren zeigt auf, wie auf Basis frei verfügbarer Daten kleinräumig Raumindikatoren für frei definierbare Flächenzuschnitte (z. B. BNT) erhoben werden können. Die für die Fallregion ermittelten Kennwerte zu den Raumindikatoren und zu der Infrastrukturausstattung ergänzen die Literaturkennwerte und qualifizieren die BNT damit weiter. Als Steckbriefe wurden die vorhandenen und hinzugewonnenen Informationen in einem übersichtlichen Format aufbereitet (siehe Anhang A).

Da die Analysen im Empirieteil auf einer explorativen Methodik basieren, beruht die Auswahl der Indikatoren auf Thesen, die durch den Autor aufgestellt und im Rahmen der Analysen untersucht wurden. Aus den Analyseergebnissen für die gewählten Indikatoren lässt sich ein statistischer Zusammenhang zwischen den räumlichen Indikatoren Siedlungsdichte, Versiegelungsgrad und Straßendichte sowie der Vulnerabilität gegenüber Hagelereignissen nicht nachweisen. Dementsprechend ergibt sich auch kein Zusammenhang zwischen den räumlichen Indikatoren und der Robustheit städtischer Systeme. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Indikatoren im Kontext der explorativen Methodik auf BNT-Ebene erhoben wurden. Auf Grundlage weiterer Studien ist anzunehmen, dass es tatsächlich vor allem kleinräumige Eigenschaften bis hin zur Objektebene sind, die die Vulnerabilität von Gebäuden gegenüber Hagelschlag beeinflussen (siehe Kapitel 8.3). Die Analyse der fiktiven Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung in Kapitel 9 erfolgte aggregiert nach BNT auf Kommunalebene. Dementsprechend war hierfür keine Analyse des Einflusses der räumlichen Indikatoren auf die Kostenvulnerabilität der Abwasserinfrastrukturen möglich. (siehe Kapitel 8.4 & 9.5)

Auf Ebene kleinräumiger, homogener Siedlungsstrukturtypen können auf Basis der quantitativen Analysen keine statistisch belastbaren Aussagen zu unterschiedlichen Vulnerabilitäts- und Resilienzeigenschaften getroffen werden. Allerdings weisen die in den Boxplots der Schadensdaten je BNT dargestellten Lagemaße (siehe Kapitel 9.2) darauf hin, dass tendenziell ein Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Baustrukturtypen und deren Hagelschadensanfälligkeit besteht. Im Hinblick auf die fünfte Forschungsfrage²⁹ kann daraus geschlossen werden, dass den BNT grundsätzlich unterschiedliche Vulnerabilitäts- und Resilienzeigenschaften zugeordnet werden können. Dieser optisch festzustellende Zusammenhang konnte durch die z-Transformation der Ergebniswerte der beiden empirischen Teile auch quantitativ bestätigt werden. Er fällt allerdings sehr gering aus. Für die

²⁹ *Lassen sich kleinräumig homogenen Siedlungsstrukturtypen unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Vulnerabilität und Resilienz gegenüber verschiedenen Herausforderungen zuordnen?*

14. Fazit

praktische Verwendung dieser Erkenntnisse im Planungskontext, sind diese Zusammenhänge durch weitere Untersuchungen ausdifferenzieren.

In der Literatur konnte keine etablierte Vorlage gefunden werden, wie Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile städtischer Systeme zu erheben und auszugestalten sind. Dementsprechend wurde eine explorative Vorgehensweise gewählt, die zumindest exemplarisch die Unterschiedlichkeit der Stadtsysteme und Herausforderungen abbildet, um dem in der Theorie entwickelten Resilienzverständnis zu entsprechen. Da, wie schon skizziert, die Korrelationen quantitativ nicht nachweisbar waren, wurden aus den z-transformierten Ergebnissen der Vulnerabilitätsanalysen qualitative Vulnerabilitätsprofile abgeleitet, die sich auf die Relationen der BNT zueinander beziehen. Dies lässt grundsätzliche Aussagen zur unterschiedlichen Vulnerabilität der BNT zu, vermeidet aber eine absolute Bestimmung von Vulnerabilitätskennwerten. Die relativen Vulnerabilitätsprofile wurden im konzeptionellen Teil in Resilienzprofile überführt. Den Resilienzprofilen wurden Beispielmaßnahmen für die ausgewählten Stadtsysteme zugeordnet, um so aufzuzeigen, wie Resilienzprofile für die physische Dimension der urbanen Resilienz konzeptionell ausgestaltet werden können (siehe sechste Forschungsfrage³⁰). Zweifellos bedarf es jedoch einer weiteren Ausarbeitung der Methodik und einer Qualifizierung durch die Anwendung in anderen Fallregionen und im Hinblick auf unterschiedliche Herausforderungen und Stadtsysteme, um die Übertragbarkeit der Methodik zu demonstrieren. Als erster Ansatz zum Transfer eines holistischen Systemverständnisses in eine praktisch anwendbare Methodik für die Stadt- und Raumplanung leistet der explorative Ansatz allerdings einen wichtigen Beitrag zum Schließen einer Forschungslücke im theoretischen und praktischen Resilienzdiskurs.

Die Beantwortung der siebten Forschungsfrage³¹ ist in zwei Teile aufzuteilen: Zum einen steckt darin die Frage des Zusammenhangs zwischen Resilienz und Nachhaltigkeit und zum anderen welche Bedeutung Resilienz für die Planung hat.

In Kapitel 5.3.2 wurden ausführlich die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Resilienz und Nachhaltigkeit erläutert. Dabei stellt Nachhaltigkeit die normative Zielrichtung für die Stadtentwicklung dar. Resilienz umfasst die Prozess-, System- und Akteurseigenschaften die notwendig sind, damit Städte als komplexe Systeme in Zeiten der globalen Transformation eine kontinuierliche Entwicklung in Richtung Nachhaltigkeit durchlaufen können und nicht durch neue Herausforderungen in ihrer Entwicklung zurückgeworfen werden. In Kapitel 5.3 wurde aufgezeigt, dass für eine

³⁰ *Wie können die Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile in der Stadt- und Raumplanung ausgestaltet und angewendet werden?*

³¹ *Welche Bedeutung hat Resilienz für die Planung einer nachhaltigen Raumentwicklung?*

langfristig nachhaltige Raumentwicklung nicht nur die physischen Systeme resilient sein sollten, sondern auch die institutionellen Strukturen (insb. der Raumplanung) und die Zivilgesellschaft. Maßnahmenansätze dazu wurden in den Kapiteln 11 bis 13 beschrieben.

Im Hinblick auf das zentrale theoretisch-konzeptionelle Ergebnis dieser Arbeit, das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz*, stellt sich die Frage, wie es in der Planungspraxis Anwendung finden kann. Die Operationalisierung wurde im empirischen Teil exemplarisch demonstriert, allerdings stellt sich auch die Frage, ob das Konzept auch eine übergreifendere, strategische Funktion erfüllen kann. Taugt es als planerisches Leitbild? Und wenn nicht: welche Rolle kommt ihm für die Raumplanung zu?

Das Resilienzkonzept, so wie es im *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* verstanden wird, weist zentrale Charakteristika eines planerischen Leitbildes nicht auf. Im Zuge der Resilienz wird kein anzustrebendes, konkretes Zukunftsbild definiert, das gesellschaftliche Oberziele widerspiegelt. Eine normative Ausrichtung ergibt sich hier lediglich durch die engen Bezüge zur Nachhaltigkeit im Kontext urbaner Resilienz. Generell ist Resilienz im Kern ein neutrales Konzept. Sie umfasst System- und Prozesseigenschaften, die dazu beitragen, dass sich wandelnde Rahmenbedingungen und plötzliche Herausforderungen bewältigt werden können und eine Anpassung an geänderte Voraussetzungen ermöglicht wird. Die strategische Komponente der Resilienz bezieht sich auf den grundsätzlichen Erhalt der Systemfunktionen sowie der Anpassungsfähigkeit. In Zeiten stetiger globaler Transformation und komplexer Systeme können diese Zielsetzungen nur durch dynamisch wandelbare Systeme erreicht werden. Insofern kann ein fest definierter Zielzustand nicht Bestandteil eines dynamischen Verständnisses von urbaner Resilienz sein. Das bedeutet auch, dass Resilienz nicht quantitativ messbar ist. Aus diesen Gründen ist das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* für sich genommen als planerisches Leitbild nicht geeignet. Für die Planung kann ihm aber in Kombination mit dem Leitbild der Nachhaltigkeit Bedeutung zukommen, da durch die Synergien der beiden Konzepte konzeptionelle Lücken geschlossen werden können, die in Zeiten des globalen Wandels offenbart wurden.

Urbane Resilienz sollte als genereller, handlungsleitender Rahmen die Gestaltung städtischer Systeme prägen, um den angestrebten Kompromiss zwischen Robustheit und Adaptivität der Systeme zu ermöglichen. Die Anpassungsfähigkeit der physischen Systeme ist maßgeblich von der Adaptivität der institutionellen Rahmenbedingungen bzw. den Planungsprozessen selbst abhängig. Dafür ist auch bei den handelnden Akteuren ein entsprechendes Mindset erforderlich, das die Anpassungskapazitäten erhöht (siehe Kapitel 12). Nicht zuletzt muss auch die Zivilgesellschaft als Akteur im Raum und Nutzer der Stadtsysteme an den notwendigen Wandelprozessen beteiligt werden und

14. Fazit

ebenso ein Mindset aufweisen, welches ein Verständnis der tiefgreifenden Veränderungen erlaubt und entsprechend den Umgang damit erleichtert (siehe Kapitel 13). Im Sinne eines *Resilience-Mainstreamings*, wie es zum Beispiel in Rotterdam angestrebt wird (siehe Kapitel 5.4.2), sollten die Kerneigenschaften der Resilienz also tief in allen drei Dimensionen der Stadtentwicklung verankert werden. Nur so kann es gelingen die „große Transformation“ (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2011: 1) des komplexen Mensch-Umwelt-Systems Stadt unter Erhalt der grundsätzlichen Funktionen und zentraler Charakteristika zu bewältigen.

14.2 Kritische Reflexion der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist, wie auch das Resilienzkonzept selbst, querschnittsorientiert angelegt. Zwar liegt der Schwerpunkt auf raumplanerischen Fragestellungen, doch werden zur Beantwortung dieser Fragestellungen Bezüge zu weiteren Disziplinen hergestellt. Dem aktuellen Stand der Forschung entsprechend liegt dem *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* ein komplexes, holistisches Systemverständnis zugrunde. Dies erfordert die Einordnung von empirischen und konzeptionellen Ergebnissen in einen breiten Kontext. Dementsprechend basiert das theoretisch-konzeptionell entwickelte Resilienzverständnis auf einer breiten Literaturbasis. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich der wissenschaftliche Diskurs zum Thema Resilienz während der Verfassung dieser Arbeit hochdynamisch weiterentwickelt hat und sich stetig weiterentwickelt. Der dargestellte Forschungsstand entspricht dem Stand zur Mitte des Jahres 2018. Zwischenzeitlich wurde beispielsweise das 100RC beendet und der wissenschaftliche Diskurs wurde durch zahlreiche neue Publikationen bereichert, die allerdings im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht mehr berücksichtigt werden konnten.

Dass der empirische Teil zwei Abschnitte umfasst, spiegelt ebenfalls das ganzheitliche Systemverständnis und ist aus Sicht des Autors notwendig, um als Basis für die Ableitung der Resilienzprofile die unterschiedlichen Herausforderungen und verschiedenen städtischen Systeme in der Empirie abzubilden. All dies hat zu einer umfangreichen Arbeit geführt, wobei es nicht möglich war, an allen Stellen weiter zu vertiefen. Anstelle einer inhaltlichen Fokussierung auf einzelne Themen hat der Autor in der Arbeit das Ziel verfolgt, die Komplexität städtischer Systeme und die vielfältigen Bezüge des Themas der Resilienz zu weiteren Diskursen darzustellen. Diese Vorgehensweise lässt an einigen Stellen Fragen offen, die zum Teil weiteren Forschungsbedarf erzeugen.

So kann im Hinblick auf die Beantwortung der ersten beiden Forschungsfragen kritisiert werden, dass keine Fokussierung auf einzelne Stadtsysteme oder Rahmenbedingungen, die im Kontext der Resilienz besonders relevant sind, vorgenommen wird. Im Sinne spezifischer Resilienz (siehe Kapitel 5.1.5) könnte eine inhaltliche Konzentration auf einzelne Herausforderungen oder Stadtsysteme die

[452]

Komplexität reduzieren und die Anwendbarkeit des Resilienzkonzeptes in der Empirie und Praxis erleichtern. Dies wurde im empirischen Teil der Arbeit demonstriert. Grundsätzlich ist aus Sicht des Autors allerdings ein ganzheitliches Verständnis urbaner Resilienz erforderlich, um im Resilienzkonzept auch die Unsicherheit in Planungsprozessen abbilden zu können, die sich aus der Komplexität urbaner Systeme ergibt. Das *Dimensionen-Konzept urbaner Resilienz* liefert mit den unterschiedlichen Dimensionen Ansatzpunkte für eine Fokussierung auf einzelne Teilsysteme und Herausforderungen im Sinne der Analyse spezifischer Resilienz. Gleichzeitig wird durch die Vernetzung der Dimensionen der Bezug zu einem generellen Resilienzverständnis gewahrt.

Diskutabel ist auch die Auswahl des Hagelsturms von Reutlingen als Fallbeispiel im ersten Abschnitt der Empirie. Zwar handelt es sich um ein extremes Naturereignis, wie sie oftmals im Kontext der Resilienz angeführt werden, doch kann hinterfragt werden, ob ein Ereignis, das hinsichtlich seiner Intensität bislang einzigartig in der deutschen Versicherungsgeschichte ist, auch den Standard für die Bildung von Vulnerabilitätsprofilen darstellen sollte. In anderen Kontexten werden oft Ereignisse mit geringeren Wiederkehrperioden als Grundlage für Vulnerabilitätsanalysen herangezogen (z. B. 100-jährliches Hochwasser). Dem kann entgegengehalten werden, dass im Zuge des Klimawandels erwartet werden muss, dass Extremniederschläge und Hagel häufiger auftreten und an Intensität zunehmen (siehe Kapitel 3.1.2). Zudem wurde das Ereignis im Kontext der vorliegenden Daten ausgewählt, da es aufgrund der hohen Fallzahlen in einer räumlich begrenzten Region kleinräumige Analysen der Gebäudeschäden ermöglicht.

Kritisch zu hinterfragen ist auch, wie der durchschnittliche Schadensquotient von 5,08 % (Median: 2,09 %) im Kontext der Resilienz zu bewerten ist. Zwar ergeben sich für die Versicherung daraus enorme Schadenssummen, doch ist auf Basis des Schadensquotienten davon auszugehen, dass bei der überwiegenden Zahl der Gebäude die Funktionalität grundsätzlich erhalten bleibt. Da resiliente Systeme nicht der unveränderte Systemerhalt, sondern primär die Sicherung der Systemfunktionen auszeichnet, wäre im Fallbeispiel trotz der hohen Gesamtschäden bei der überwiegenden Zahl der Fälle von generell resilienten Gebäuden und Baustrukturen auszugehen. Dies zeigt, dass je nach Akteur und Zielsetzung unterschiedliche Standards zur Bewertung der Resilienz urbaner Systeme angesetzt werden können. Dies wiederum unterstreicht die Einschätzung des Autors, dass generelle Resilienz nicht messbar ist, sondern nur die spezifische Resilienz einzelner Teilsysteme unter konkreten Fragestellungen (siehe Kapitel 5.5.1). In der vorliegenden Arbeit wurde die aufgeworfene Fragestellung dadurch gelöst, dass die Vulnerabilitäts- und Resilienzprofile lediglich als relative und

14. Fazit

nicht als absolute Profile beschrieben werden, sodass diesen Profilen keine normativen Annahmen zu einer absoluten Einschätzung einer hohen oder niedrigen Resilienz zugrunde liegen.

Die Aussagekraft des in Kapitel 8 verwendeten Indikators des Geschossflächenschadens muss als eingeschränkt betrachtet werden. Als Grundlage zur Erhebung der Geschossfläche je Objekt standen lediglich Angaben zur Wohnfläche für einige BNT sowie die Angaben zur Geschosshöhe aus der Literatur zur Verfügung. Weitere Schätzwerte wurden verwendet, um die die Geschossfläche je Objekt zu berechnen. Hinzu kommt, dass auch die Literaturwerte zur Wohnfläche für eine abweichende Fallregion und zu Anfang der 2000er-Jahre erhoben wurden, sodass davon ausgegangen werden muss, dass die Wohnfläche für die BNT der Fallregion im Durchschnitt zu niedrig angesetzt wurde. Darauf lässt auch der Vergleich der Literaturkennwerte mit der durchschnittlichen Wohnfläche über alle Wohngebäudetypen in der Fallregion schließen (siehe Tabelle 9, S. 257). Die Schätzung der Geschossfläche der Gewerbe-BNT unterliegt ebenfalls vereinfachenden Annahmen. Insgesamt sollte der Geschossflächenschaden daher lediglich als Indikator verwendet werden, der generelle Tendenzen aufzeigt. Exakte Kennwerte können daraus nicht abgeleitet werden.

Die Verwendung der BNT als Analyseebene war in diesem explorativen methodischen Ansatz vor dem Hintergrund der Vergleichbarkeit der beiden empirischen Abschnitte und der Datenverfügbarkeit für den zweiten empirischen Abschnitt zielführend. Allerdings haben die Ergebnisse in Kapitel 8 gezeigt, dass diese räumliche Ebene für die Analyse von Hagelschäden nur bedingt geeignet ist. Statistisch aussagekräftigere Ergebnisse sind diesbezüglich auf der Objektebene zu erwarten. Zudem haben sich auch die gewählten Raumindikatoren nur als bedingt geeignet zur Analyse der Hagelverwundbarkeit der BNT aufgrund ihrer baustrukturellen Eigenschaften erwiesen. Die Wahl dieser Indikatoren ist damit zu begründen, dass sie für die Fallregion auf kleinräumiger Ebene frei verfügbar waren und somit als Operationalisierung der baustrukturellen Eigenschaften verwendet wurden. Inhaltlich ist nachvollziehbar, dass Versiegelungsgrad und Straßendichte nur bedingt Rückschlüsse auf die dreidimensionale Morphologie der Baustrukturen zulassen. Für die Analyse von Abwasserinfrastrukturkosten scheint der BNT-Ansatz für die meisten Fragestellungen geeignet zu sein, wie die in Kapitel 7.1 aufgeführten Studien belegen.

Das theoriebasierte Abwasserkostenmodell basiert auf zahlreichen Literaturkennwerten und Annahmen des Autors, die die realen Kosten der Abwasserinfrastrukturen in der Fallregion nur näherungsweise wiedergeben können. Daher war es auch nicht das Ziel des Modells eine möglichst hohe Genauigkeit zu erzeugen. Der Vergleich mit den realen Abwassertarifen aus Kommunen der Fallregion (siehe Kapitel 9.5) hat jedoch eine hohe Übereinstimmung ergeben, die über den Erwartungen

des Autors liegt. Dies zeigt, dass das Modell in der Lage ist, realitätsnahe Abwassertarife zu berechnen. Die Annahmen hinter den Szenarien wurden bewusst extrem gewählt, um einen möglichst breiten Szenariokorridor abzubilden. Sie mögen daher aus heutiger Perspektive unrealistisch erscheinen. Kritischer zu beurteilen ist, dass zur Reduzierung des Modellierungsaufwands keine Berechnung der Haushaltsentwicklung und Wohnraumversorgung erfolgt. Es kann daher nicht bestimmt werden, ob die in den Szenarien angenommene Einwohnerentwicklung auch ausreichend Wohnraum in den Kommunen findet. Die stark vereinfachte Fortschreibung der Siedlungsflächenentwicklung anhand der Einwohnerzahl ist hierbei nur beschränkt aussagekräftig, da sie verfügbaren Wohnraum und die natürlichen Beschränkungen der Flächenverfügbarkeit nicht berücksichtigt. Im Vergleich zu den Wohn-BNT basiert die Modellierung der Abwasserkostenentwicklung in den Gewerbe-BNT auf weit weniger ausdifferenzierten Annahmen, da die Gewerbeflächenprognose deutlich aufwändiger und die Methoden weniger etabliert sind, als die Bevölkerungsprognose. Dementsprechend ist die Aussagekraft der berechneten fiktiven Abwassertarife in den Gewerbe-BNT geringer, als bei den Wohn-BNT.

Es kann negativ ausgelegt werden, dass sich aus dem empirischen Teil keine statistisch aussagekräftigen Ergebnisse ableiten lassen. Die festgestellten Tendenzen zur Vulnerabilität und Resilienz der BNT zeigen zwar Relationen zwischen den BNT auf, stellen aber keine geeignete Grundlage dar, auf der Planungsentscheidungen maßgeblich basieren sollten. Ein Grund für die wenig aussagekräftigen Ergebnisse kann die explorative Methodik sein, die auf zahlreichen Annahmen und Vereinfachungen der Realität beruht. Mit Vereinfachungen eines Modells gehen immer auch Einschränkungen der Genauigkeit einher. Inhaltlich können die Ergebnisse auch so interpretiert werden, dass die BNT tatsächlich keinen relevanten Einfluss auf die Hagel- und Abwasserkostenvulnerabilität haben oder andere Faktoren, die außerhalb des Betrachtungshorizonts der Analysen liegen, die Ergebnisse beeinflusst haben. Letztere Interpretation steht in Einklang mit der im Theorieteil erläuterten Bedeutung der Komplexität urbaner Systeme, mit der Planungsakteure bei der Planung und Steuerung der Systeme umgehen müssen (siehe Kapitel 2.3.3). Spezifischere Kritikpunkte an der Methodik bzw. Einschränkungen der Aussagekraft einzelner Ergebnisse wurden vom Autor jeweils direkt am Ende der jeweiligen Kapitel reflektiert (siehe Kapitel 8.4 & 9.5).

Hinsichtlich der Vulnerabilitätsprofile ist einschränkend zu berücksichtigen, dass sie auf stark vereinfachenden Vulnerabilitätsanalysen beruhen, die weder den Aspekt der Exposition, noch die Bewältigungskapazitäten differenziert einbeziehen. Auch erfolgte die qualitative Bewertung der Ergebniskennwerte der Empirie auf Basis von Schwellenwerten, die der Autor aus dem Vergleich der

14. Fazit

Ergebnisse für alle BNT abgeleitet hat. Mangels vergleichbarer Studien, die eine ähnliche Methodik verwendet haben, konnten keine Literaturkennwerte für die qualitative Bewertung der Ergebnisse herangezogen werden. Allerdings entspricht das Vorgehen einer vereinfachten Vulnerabilitätsanalyse auf Basis der qualitativen Bewertung von Ergebnissen unterschiedlicher Szenarien den in Kapitel 4.2 beschriebenen methodischen Empfehlungen aus dem Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen des UBA (vgl. Buth et al. 2017: 18ff.).

Des Weiteren wurden die Ergebnisse zweier unterschiedlicher Vulnerabilitätsanalysen vereinfachend in eine generelle Vulnerabilitätsbewertung zusammengeführt. Unter der Zielsetzung einer gesamtsystemischen Perspektiven und der Entwicklung relationaler Vulnerabilitätsprofile erschien diese Aufwandsreduzierung angemessen. Vergleichbar ist auch die vereinfachte Annahme zu bewerten, dass Robustheit als Gegenpol der ermittelten Vulnerabilitäten betrachtet wird und aus einer niedrigeren Vulnerabilität eine erhöhte Robustheit, und umgekehrt, abgeleitet wird. Diese Einschätzung wurde nicht empirisch belegt, sondern lediglich inhaltlich argumentiert. Ausschließlich inhaltlich argumentiert wurde auch, dass sich gegensätzliche Vulnerabilitäten in den beiden empirischen Abschnitten nicht gegenseitig aufheben, sondern eine negative Vulnerabilität in einem Teilsystem zu einer generell erhöhten Vulnerabilität des BNT führt. Diese Thematik ist verbunden mit ethischen Fragen zu Resilienz, wie sie beispielsweise THOREN oder SWANSTROM diskutieren (vgl. Thorén 2014; Swanstrom 2008): Welche Einschränkungen sind generell akzeptabel? Welche Einschränkungen der Resilienz in einem Teilsystem können hingenommen werden, um die Resilienz eines anderen Teilsystems zu steigern (siehe *resilience trade-offs*)? Und wie kann Resilienz sozial gerecht in der gesamten Gesellschaft erreicht werden? Auf all diese Fragen wird in der vorliegenden Arbeit nicht tiefer eingegangen. Insbesondere wenn Resilienz quantifiziert werden soll, sollten diese Fragen berücksichtigt und weiter erforscht werden.

Die Auswahl der exemplarischen Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit und Adaptivität im konzeptionellen Teil sowie ihre Zuordnung zu den Resilienzprofilen wird zwar erläutert, aber nicht empirisch belegt. Es handelt sich um eine Einschätzung des Autors. Die Zuordnung der Maßnahmen zu den BNT basiert auf den idealtypischen Annahmen zur Architektur und Baustruktur in den BNT, die im Einzelfall sicherlich nicht immer zutreffend ist. Es wird daher ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich um eine idealtypische Maßnahmenzuordnung handelt, die auf lokalspezifische Herausforderungen anzupassen ist. Unter den physischen Maßnahmen werden keine Maßnahmen zur Klimamitigation aufgeführt, da der Fokus auf der Resilienz und damit auf Maßnahmen zur Steigerung von Robustheit, Adaptivität und Transformativität liegt. Dem Thema der Klimamitigation

kommt in der Arbeit daher nur eine untergeordnete Rolle zu. Gleichwohl ist es die Position des Autors, dass zur Bewältigung des Klimawandels zuallererst Maßnahmen zum Klimaschutz ergriffen werden sollten, um den Umfang der Klimaadaptionsmaßnahmen auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren und stabile klimatische Bedingungen möglichst langfristig nachhaltig zu erhalten (siehe dazu z. B. IPCC 2014a; Birkmann et al. 2013b).

Die Resilienzprofile setzen sich aus einer Einschätzung der BNT-spezifischen Robustheit sowie den zugeordneten Maßnahmen für die physischen Dimension zusammen. Bei enger Auslegung stimmt die Bezeichnung als „Resilienzprofile“ nicht mit dem Resilienzverständnis gemäß des *Dimensionen-Konzepts urbaner Resilienz* überein. Den Profilen fehlen Einschätzungen oder Maßnahmenvorschläge zur institutionellen sowie sozialen Dimension der urbanen Resilienz, die lediglich verallgemeinert in Kapitel 12 und 13 beschrieben werden. Aus diesem Grund werden die Profile in Tabelle 34 (siehe S. 402) als „Resilienzprofile der physischen Dimension der BNT“ bezeichnet. So wird verdeutlicht, dass die aufgeführten Profile nicht alle Dimensionen der urbanen Resilienz umfassen.

Die in Kapitel 12 und 13 dargestellten Maßnahmen zur institutionellen und sozialen Resilienz sind zum Teil sehr tiefgreifend, da sie mitunter paradigmatische Veränderungen von Planungs- und Governanceprozessen bis hin zu Grundrechtsänderungen mit sich bringen würden. Derartige Umbrüche erfordern weitreichende Unterstützung von der Politik, vom Gesetzgeber und vor allem in der Zivilgesellschaft. Es ist jedoch zu hinterfragen, ob aktuell bereits ausreichend Bereitschaft bei den aufgeführten Akteuren für diese Umbrüche vorhanden ist oder ob die sich abzeichnenden globalen Transformationsprozesse noch weiter voranschreiten müssen, bis der Handlungsdruck auch individuell so groß wird, dass tiefgreifende Veränderungen unumgänglich sind.

Des Weiteren ist im Hinblick auf Kapitel 12 einschränkend zu berücksichtigen, dass der räumliche Fokus auf der kommunalen bis regionalen Ebene liegt. Weitere planerisch relevante Ebenen wie die Bundesraumordnung oder die europäische Raumplanung und Kohäsionspolitik werden allenfalls in Ansätzen berücksichtigt.

Der überwiegende Anteil der im konzeptionellen Teil aufgeführten Zielsetzungen und Maßnahmen ist im planerischen Kontext nicht neu oder resilienzspezifisch. Sowohl die physischen Maßnahmen als auch die Ansätze für eine adaptive Governance könnten so beispielsweise auch im Rahmen von Maßnahmenpaketen zur Klimaadaptation oder zur Nachhaltigkeit aufgeführt werden. Dies ergibt sich daraus, dass Resilienz als prozess- und querschnittsorientiertes Rahmenkonzept unterschiedliche Disziplinen zusammenführt und unter der gemeinsamen Zielsetzung des langfristigen Erhalts der grundsätzlichen Systemfunktionen vereint. Konzeptionell ergeben sich durch die engen Bezüge zu

verwandten Konzepten (siehe Kapitel 5.3) Parallelen und Zusammenhänge, die dazu führen, dass Maßnahmen gleichzeitig zur Klimaadaptation, zur Nachhaltigkeit und zur Resilienz beitragen können.

14.3 Offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf

Im Hinblick auf den Theorieteil muss sich zeigen, ob das entwickelte Resilienzkonzept seinem Anspruch gerecht werden kann, in verschiedenen Disziplinen anwendbar zu sein und gleichzeitig den Praxistransfer zu ermöglichen. Dazu ergibt sich zumindest hinsichtlich der notwendigen Weiterentwicklung der Messmethodik weiterer Forschungsbedarf. Es stellt sich die Frage, ob die in Kapitel 8 und 9 verwendeten Methoden im Sinne eines holistischen Resilienzverständnisses die Robustheit unterschiedlicher städtischer Systeme gegenüber verschiedenen Herausforderungen statistisch belastbar erfassen können. Welche Indikatoren können dazu herangezogen werden und wie allgemein übertragbar können die Ergebnisse überhaupt sein? Sind es nicht doch eher sehr kleinräumige, lokale Bedingungen, die die Resilienz einzelner Objekte prägen und dementsprechend fallspezifisch berücksichtigt werden müssten? Auch die Modellierung komplexer Systeme mit zahlreichen Akteuren und vielfältigen Rückkopplungen ist noch weiter zu erforschen. Agentenmodelle können hierbei ein Ansatzpunkt sein, müssen aber noch einfacher anwendbar werden.

Die ermittelten Vulnerabilitätsprofile sind durch weitere Forschung zu qualifizieren. Zwar wurden im Hinblick auf die Abwasserinfrastrukturkostenentwicklung bereits unterschiedliche Szenarien berücksichtigt, doch sollten im Sinne der in Kapitel 1.1 beschriebenen Anforderung der Verknüpfung von Vulnerabilitätsanalysen mit der Szenariotechnik zur Bestimmung verschiedener Vulnerabilitätsprofile (vgl. Birkmann und Fleischhauer 2013: 52) weitere Analysen folgen, die die Profile auf eine breitere empirische Basis stellen.

Durch weitere Forschung könnten für die BNT zusätzliche Kennwerte erhoben werden, die in zukünftigen Untersuchungen eingesetzt werden könnten. So würde beispielsweise die Erhebung des Kennwertes der Geschossfläche je Objekt die Anwendungspotenziale des Ansatzes für objektbezogene Analysen erweitern.

Zu hinterfragen ist auch die in Kapitel 11 getroffene Annahme, dass ein Quartier als generell nicht robust eingeschätzt wurde, wenn es gegenüber einer der beiden analysierten Herausforderungen vulnerabel ist (siehe Kapitel 10.2). Können Vulnerabilitäten gegenüber unterschiedlichen Herausforderungen gegeneinander aufgewogen werden oder muss ein resilientes Quartier gegen alle Herausforderungen robust sein? Ist das überhaupt möglich und welche Bedeutung hätte dann die im Resilienzdiskurs geforderte Adaptivität städtischer Systeme? Daran schließt die eher ethische

Fragestellung an, welche Mindeststandards der städtischen Systeme überhaupt dauerhaft erhalten werden sollen. Sind feste Kennwerte als Mindeststandards in Zeiten des globalen Wandels noch zeitgemäß oder sollte der Fokus auf den generellen Erhalt der städtischen Funktionen (siehe Kapitel 2.2) gelegt werden? Welche Einschränkungen müssen mitunter im Zuge einer resilienten Transformation zu einem neuen Systemzustand akzeptiert werden? Bei einer strikten Erfüllung der Daseinsvorsorgestandards können mitunter Handlungsfenster nicht genutzt werden.

Der konzeptionelle Teil der Arbeit stellt bislang nur exemplarisch mögliche Maßnahmen und Ansätze dar. Diese sind auf allen drei Resilienzdimensionen durch weitere Forschung auszudifferenzieren. In der physischen Dimension sind Maßnahmen zu identifizieren, die die Robustheit sowie die technische Adaptivität der städtischen Systeme steigern. In der institutionellen Dimension ist weiter auszuarbeiten, wie eine adaptive Governance konkret ausgestaltet werden kann. Im Hinblick auf die Planung liefert der dargestellte Scrum-Werkzeugkasten einige Ansatzpunkte, die auf ihre konkrete Umsetzbarkeit hin zu prüfen sind. Es stellt sich auch die Frage, welche prozessualen, rechtlichen und finanziellen Anpassungsbedarfe sich daraus ergeben. Abschließend ist weiter zu ergründen, wie es gelingen kann auch in der Gesellschaft Resilienz im Denken und Handeln stärker zu etablieren, damit mehr Verständnis für die Herausforderungen und Akzeptanz für die notwendigen Maßnahmen entsteht. Welche Rolle können unterschiedliche Formen von Netzwerken in der Gesellschaft dabei spielen? Letztendlich laufen alle offenen Fragen auf eine zentrale Fragestellung zusammen: Wie kann es gelingen, in allen Dimensionen und Gesellschaftsbereichen die Kerngedanken der Resilienz im Sinne eines *Resilience-Mainstreamings* als immanente Handlungsmaxime zu etablieren?

15. Quellenverzeichnis

15.1 Literaturverzeichnis

- Adam, Brigitte; Sturm, Gabriele (2014): Was bedeutet Gentrifizierung und welche Rolle spielt die Aufwertung städtischer Wohnbedingungen? In: *Informationen zur Raumentwicklung* (4), S. 267–275. Online verfügbar unter: https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/document/58299/1/ssoar-infraumentw-2014-4-adam_et_al-Was_bedeutet_Gentrifizierung_und_welche.pdf, zuletzt geprüft am 29.04.2020.
- Adger, W. Neil (2000): Social and ecological resilience: Are they related? In: *Progress in Human Geography* 24 (3), S. 347–364.
- Adger, W. Neil (2006): Vulnerability. In: *Global Environmental Change* 16 (3), S. 268–281.
- Ahern, Jack (2011): From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. In: *Landscape and Urban Planning* 100 (4), S. 341–343.
- Ahmed, Martin J. (2015): Deutschlands zukünftige Bildungsstruktur: Bevölkerungsvorberechnungen unter Einbezug bildungsdifferentieller Fertilität und intergenerationaler Bildungsmobilität. *Research*, Wiesbaden: Springer VS.
- Akademie für Raumforschung und Landesplanung - Leibniz-Forum für Raumwissenschaften (Hg.) (2016): Daseinsvorsorge und gleichwertige Lebensverhältnisse neu denken: Perspektiven und Handlungsfelder. *Positionspapier aus der ARL, 108*, Hannover. Online verfügbar unter: https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/49369/ssoar-2016-ARL-pospapier_108-Daseinsvorsorge_und_gleichwertige_Lebensverhaeltnisse.pdf?sequence=2, zuletzt geprüft am 23.12.2019.
- Albers, Sönke; Skiera, Bernd (1999): Regressionsanalyse. In: Andreas Herrmann (Hg.): *Marktforschung. Methoden, Anwendungen, Praxisbeispiele*. Wiesbaden: Gabler (Gabler-Lehrbuch), S. 203–236.
- Aldrich, Daniel P. (2012): *Building resilience: Social capital in post-disaster recovery*, Chicago: University of Chicago Press.
- Alexander, D. E. (2013): Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13 (11), S. 2707–2716.
- Anderies, John M.; Folke, Carl; Walker, Brian; Ostrom, Elinor (2013): Aligning Key Concepts for Global Change Policy: Robustness, Resilience, and Sustainability. In: *E&S* 18 (2).
- Anderies, John M.; Walker, Brian H.; Kinzig, Ann P. (2006): Fifteen Weddings and a Funeral: Case Studies and Resilience-based Management. In: *E&S* 11 (1).
- Arlt, Günter; Blum, Andreas; Gruhler, Karin; Lehmann, Iris (2010a): Siedlungsraumbezogene Strukturtypen. In: Andreas Blum und Karin Gruhler (Hg.): *Typologien der gebauten Umwelt. Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz*. Aachen: Shaker, S. 27–37.
- Arlt, Günter; Hennersdorf, Jörg; Lehmann, Iris (2010b): Städtebauliche Strukturtypen zur Bestimmung von Bodenversiegelung und Grünausstattung in den kreisfreien Städten Deutschlands und deren Stadtregionen. In: Andreas Blum und Karin Gruhler (Hg.): *Typologien der*

- gebauten Umwelt. Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz. Aachen: Shaker, S. 41–60.
- ARUP (2015a): City Resilience Framework. Hg. v. The Rockefeller Foundation. ARUP group Ltd., London. Online verfügbar unter: <https://assets.rockefellerfoundation.org/app/uploads/20140410162455/City-Resilience-Framework-2015.pdf>, zuletzt geprüft am 05.07.2019.
- ARUP (2015b): City Resilience Index. ARUP group Ltd. Online verfügbar unter: <https://assets.rockefellerfoundation.org/app/uploads/20160201132303/CRI-Revised-Booklet1.pdf>, zuletzt geprüft am 07.07.2019.
- Augustin, Jobst; Sauerborn, Rainer; Burkart, Katrin; Endlicher, Wilfried; Jochner, Susanne; Koppe, Christina et al. (2017): Gesundheit. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöllner (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 137–149.
- Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf (2016): Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. 14., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Barben, Daniel (1996): Theorietechnik und Politik bei Niklas Luhmann: Grenzen einer universalen Theorie der modernen Gesellschaft, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Beck, Ulrich (1986): Risikogesellschaft: Auf dem Weg in eine andere Moderne. *Edition Suhrkamp*. 1. Auflage, Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Becker, Gary S. (1960): An Economic Analysis of Fertility. In: Demographic and economic change in developed countries. A conference of the Universities-National Bureau Committee for Economic Research. New York: Columbia University Press (National Bureau of Economic Research. Special conference series, 11), S. 209–240. Online verfügbar unter: <https://www.nber.org/chapters/c2387.pdf>, zuletzt geprüft am 01.05.2020.
- Behrendt, Dieter; Günther, Matthias; Köhler, Thomas; Zeeb, Matthias (2010): Regionale Krisenfestigkeit: Eine indikatorengestützte Bestandsaufnahme auf der Ebene der Kreise und kreisfreien Städte. Pestel-Institut, Hannover. Online verfügbar unter: https://www.braunschweig.de/politik_verwaltung/fb_institutionen/staedtische_gesellschaften/bsmportal/spitzenposition/Regionale-Krisenfestigkeit-Pestel-Institut_011211.pdf, zuletzt geprüft am 28.07.2019.
- Benevolo, Leonardo (2007): Die Geschichte der Stadt. Unter Mitarbeit von Jürgen Humburg. 9. Aufl., Frankfurt am Main: Campus Verl.
- Benning, Wilhelm (2011): Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen: Mit Ausgleichsprogramm auf CD-ROM. 4., überarb. und erw. Aufl., Berlin: Wichmann.
- Benz, Arthur; Dose, Nicolai (2010): Governance - Modebegriff oder nützliches sozialwissenschaftliches Konzept? In: Arthur Benz und Nicolai Dose (Hg.): Governance - Regieren in komplexen Regelsystemen. Eine Einführung. 2., aktualisierte und veränd. Aufl. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss (Lehrbuch, 1), S. 13–36.
- Berekoven, Ludwig; Eckert, Werner; Ellenrieder, Peter (2002): Marktforschung: Methodische Grundlagen und praktische Anwendung. *Gabler-Lehrbuch*. 9., überarb. Aufl., Nachdr, Wiesbaden: Gabler.
- Berger, Christian; Falk, Christian (2009): Zustand der Kanalisation in Deutschland: Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009. Hg. v. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.

15. Quellenverzeichnis

- Berger, Christian; Falk, Christian; Hetzel, Friedrich; Pinnekamp, Johannes; Roder, Silke; Ruppelt, Jan (2015): Zustand der Kanalisation in Deutschland: Ergebnisse der DWA-Umfrage 2015. Hg. v. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- Birkmann, Jörn (2008): Globaler Umweltwandel, Naturgefahren, Vulnerabilität und Katastrophenresilienz: Notwendigkeit der Perspektiverweiterung in der Raumplanung. In: *Raumforschung und Raumordnung* 66 (1), S. 5–22.
- Birkmann, Jörn (Hg.) (2013a): Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies. United Nations University, Institute for Environment and Human Security. 2. Aufl., Tokyo: United Nations University Press.
- Birkmann, Jörn (2013b): Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies and to enhance adaptation: Discussion of conceptual frameworks and definitions. In: Jörn Birkmann (Hg.): Measuring vulnerability to natural hazards. Towards disaster resilient societies. 2. Aufl. Tokyo: United Nations University Press, S. 9–79.
- Birkmann, Jörn; Böhm, Hans Reiner; Buchholz, Frank; Büscher, Dirk; Daschkeit, Achim; Ebert, Sebastian et al. (2013a): Glossar: Klimawandel und Raumentwicklung. 2., überarbeitete Fassung. Hg. v. ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover. *E-Paper der ARL, 10*. Online verfügbar unter: https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/e-paper_der_arl_nr10.pdf, zuletzt geprüft am 05.04.2018.
- Birkmann, Jörn; Fleischhauer, Mark (2009): Anpassungsstrategien der Raumentwicklung an den Klimawandel: „Climate Proofing“ – Konturen eines neuen Instruments. In: *Raumforschung und Raumordnung* 67 (2), S. 114–127.
- Birkmann, Jörn; Fleischhauer, Mark (2013): Vulnerabilität von Raumnutzungen, Raumfunktionen und Raumstrukturen. In: Jörn Birkmann, Maïke Vollmer und Jochen Schanze (Hg.): Raumentwicklung im Klimawandel. Herausforderungen für die räumliche Planung. Hannover: Verlag der ARL (Forschungsberichte der ARL, 2), S. 44–68.
- Birkmann, Jörn; Schanze, Jochen; Müller, Peter; Stock, Manfred (Hg.) (2012): Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung: Grundlagen, Strategien, Instrumente. Akademie für Raumforschung und Landesplanung. *E-Paper der ARL, 13*, Hannover: Verlag der ARL.
- Birkmann, Jörn; Vollmer, Maïke; Schanze, Jochen (Hg.) (2013b): Raumentwicklung im Klimawandel: Herausforderungen für die räumliche Planung. ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung. *Forschungsberichte der ARL, 2*, Hannover: Verlag der ARL.
- Bischof, Wolfgang; Hosang, Wilhelm (1998): Abwassertechnik. 11., neubearb. und. erw. Aufl., Stuttgart: Teubner.
- Bjørn, Pernille (2019): Dark Agile: Perceiving People As Assets, Not Humans. In: Caitlin Sadowski und Thomas Zimmermann (Hg.): Rethinking productivity in software engineering. Berkeley, CA: Apress, S. 125–134.
- Blum, Andreas; Gruhler, Karin (Hg.) (2010): Typologien der gebauten Umwelt: Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz. Leibniz-Institut für Ökologische Raumentwicklung, Aachen: Shaker.
- Blum, Sabine; Endreß, Martin; Kaufmann, Stefan; Rampp, Benjamin (2016): Soziologische Perspektiven. In: Rüdiger Wink (Hg.): Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung. Wiesbaden: Springer (Studien zur Resilienzforschung), S. 151–177.
- Blümel, Willi (1976): Gemeinden und Kreise vor den öffentlichen Aufgaben der Gegenwart: 1. Bericht von Professor Dr. Willi Blümel, Speyer. In: Christian Tomuschat, Reiner Schmidt, Willi

- Blümel und Rolf Grawert (Hg.): Der Verfassungsstaat im Geflecht der internationalen Beziehungen. Berichte und Diskussionen auf der Tagung der Deutschen Staatsrechtslehrer in Basel vom 5. bis 8. Oktober 1977. Reprint (Berichte und Diskussionen auf der Tagung der Vereinigung der Deutschen Staatsrechtslehrer, 1977), S. 171–276.
- BMVBS-Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (2011): Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis: Inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Betroffenheiten. *BMVBS-Online-Publikation*, 21/2011. Online verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ministerien/BMVBS/Online/2011/DL_ON212011.pdf;jsessionid=71E9376AC010E2F3A0D25250F25E85FA.live11293?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 28.02.2019.
- Bock, Stephanie; Beckmann, Klaus J. (2013): Kommunale Beteiligungskulturen: Unverzichtbare Bausteine einer anpassungsfähigen Stadt: Bedeutung und Rolle neuer urbaner Governance-Arrangements für die resiliente Stadt. In: Klaus J. Beckmann (Hg.): Jetzt auch noch resilient? Anforderungen an die Krisenfestigkeit der Städte. Berlin: Dt. Inst. für Urbanistik (Difu-Impulse, 2013,4), S. 75–80.
- Boin, Arjen; Comfort, Louise K.; Demchak, Chris C. (2010): The rise of resilience. In: Louise K. Comfort, Arjen Boin und Chris C. Demchak (Hg.): Designing resilience. Preparing for extreme events. Pittsburgh: University of Pittsburg Press, S. 1–12.
- Bousquet, Francois; Botta, Aurélie; Alinovi, Luca; Barreteau, Olivier; Bossio, Deborah; Brown, Katrina et al. (2016): Resilience and development: mobilizing for transformation. In: *E&S* 21 (3).
- Bovaid, Tony (2004): Public–Private Partnerships: From Contested Concepts to Prevalent Practice. In: *International Review of Administrative Sciences* 70 (2), S. 199–215.
- Bowles, David; Zuchandke, Andy (2012): Entwicklung eines Modells zur Bevölkerungsprojektion - Modellrechnungen zur Bevölkerungsentwicklung bis 2060. Leibniz Universität Hannover. *Diskussionspapier*, 499, Hannover. Online verfügbar unter: http://diskussionspapiere.wiwi.uni-hannover.de/pdf_bib/dp-499.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2019.
- Brand, Fridolin (2005): Ecological Resilience and its Relevance within a Theory of Sustainable Development. UFZ Centre for Environmental Research Leipzig-Halle. *UFZ-Report*, 03/2005. Online verfügbar unter: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/57854/1/699900948.pdf>, zuletzt geprüft am 29.03.2019.
- Brasseur, Guy P.; Jacob, Daniela; Schuck-Zöllner, Susanne (Hg.) (2017): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven, Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Bretz, Manfred (2000): Methoden der Bevölkerungsvorausberechnung. In: Ulrich Mueller, Bernhard Nauck und Andreas Diekmann (Hg.): Handbuch der Demographie 1. Modelle und Methoden. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, S. 643–681.
- Brezis, Elise S.; Krugman, Paul R. (1997): Technology and the Life Cycle of Cities. In: *Journal of Economic Growth* 2 (4), S. 369–383.
- Brklacich, Mike; Bohle, Hans-Georg (2006): Assessing Human Vulnerability to Global Climate Change. In: Eckart Ehlers und Thomas Krafft (Hg.): Earth System Science in the Anthropocene. Emerging Issues and Problems. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 51–61.
- Bruijne, Mark de; Boin, Arjen; van Eeten, Michel (2010): Resilience: Exploring the Concept and its Meanings. In: Louise K. Comfort, Arjen Boin und Chris C. Demchak (Hg.): Designing resilience. Preparing for extreme events. Pittsburgh: University of Pittsburg Press, S. 13–32.

15. Quellenverzeichnis

- Bucher, Hansjörg (2007): Der demographische Wandel in Deutschland. In: Michael Horn und Bernhard Köppen (Hg.): Demographischer Wandel in Deutschland. Die lokale und regionale Perspektive. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH, S. 27–35.
- Buchert, Matthias; Fritsche, Uwe; Jenseit, Wolfgang; Rausch, Lothar; Deilmann, Clemens; Schiller, Georg et al. (2004): Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland: Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung - Verknüpfung des Bereiches Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich "Öffentliche Infrastruktur". Hg. v. Umweltbundesamt. *TEXTE, 01/04*, Berlin. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2600.pdf>, zuletzt geprüft am 28.09.2019.
- Buhr, Walter (2003): What is infrastructure? Universität Siegen. *Discussion Papers, 107-03*, Siegen. Online verfügbar unter: <https://www.wiwi.uni-siegen.de/vwl/repec/sie/papers/107-03.pdf>, zuletzt geprüft am 29.08.2019.
- Buhr, Walter (2007): General Considerations on Infrastructure: Essence of the Term, Role of the State, Impacts of Population Decline and Ageing. In: Xiao Feng und Alina M. Popescu (Hg.): Infrastrukturprobleme bei Bevölkerungsrückgang. 1. Aufl. Berlin: BWV Berliner Wiss.-Verl. (Schriften zur öffentlichen Verwaltung und öffentlichen Wirtschaft, 202), S. 13–48.
- Buhr, Walter (2009): Infrastructure of the Market Economy. Universität Siegen. *Discussion Papers in Economics, 132-09*. Online verfügbar unter: <https://www.wiwi.uni-siegen.de/vwl/repec/sie/papers/132-09.pdf>, zuletzt geprüft am 27.08.2019.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hg.) (2018): Katastrophenalarm: Ratgeber für Notfallvorsorge und richtiges Handeln in Notsituationen. 6. Auflage, Bonn. Online verfügbar unter: https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Broschueren_Flyer/Buergerinformationen_A4/Ratgeber_Brosch.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 30.12.2019.
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hg.) (2017): Bundeskonzept Grüne Infrastruktur: Grundlagen des Naturschutzes zu Planungen des Bundes. Online verfügbar unter: https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/planung/bkgi/Dokumente/BKGI_Broschuere.pdf, zuletzt geprüft am 26.04.2020.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hg.) (2011): Bildung, Gesundheit, Pflege: Auswirkungen des demographischen Wandels auf die soziale Infrastruktur. Unter Mitarbeit von Claus Schlömer und Thomas Pütz. *BBSR-Berichte KOMPAKT, 11/2011*. Online verfügbar unter: https://www.demografie-portal.de/SharedDocs/Downloads/DE/Studien/Soziale_Infrastruktur.pdf;jsessionid=32D7C05DA4831B6044EE92B4A3462F10.2_cid380?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 07.08.2019.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hg.) (2018): Starkregeneinflüsse auf die bauliche Infrastruktur: Ein Projekt des Forschungsprogrammes "Zukunft Bau" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) durchgeführt vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung; Ingenieurbüro Reinhard Beck GmbH & Co. KG; Kommunal Agentur NRW; Bergische Universität Wuppertal. 1. Auflage, Stand Januar 2018, Bonn: Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung (BBSR).
- Bundesministerium des Inneren (Hg.) (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). Online verfügbar unter:

https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/kritis.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 28.08.2019.

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hg.) (2007): LEIPZIG CHARTA zur nachhaltigen europäischen Stadt: Angenommen anlässlich des Informellen Ministertreffens zur Stadtentwicklung und zum territorialen Zusammenhalt in Leipzig am 24./25. Mai 2007. Online verfügbar unter: https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/bauen/wohnen/leipzig-charta.pdf;jsessionid=2ED0DABD8321A748D6D2F251F636EE45.1_cid287?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 24.08.2019.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hg.) (2013): Alles im Wandel: Demografische und klimatische Veränderungen im Kontext integrierter Stadtentwicklung. Unter Mitarbeit von Janos Brenner, Fabian Dosch, Stefan Greiving, Mark Fleischhauer, Andrea Rüdiger, Frank Schlegelmilch und Filip Ahrens. *BMVBS-Online-Publikation*, 23/2013. Online verfügbar unter: <https://d-nb.info/1045786357/34>, zuletzt geprüft am 07.08.2019.
- Burchell, Robert W.; Downs, Anthony; McCann, Barbara; Mukherji, Sahan (2005): *Sprawl costs: Economic impacts of unchecked development*, Washington D.C.: Island Press.
- Bürkner, Hans-Joachim (2010): Vulnerabilität und Resilienz: Forschungsstand und sozialwissenschaftliche Untersuchungsperspektiven. Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS). *Working Paper*, 43, Erkner. Online verfügbar unter: <https://d-nb.info/1028582749/34>, zuletzt geprüft am 14.07.2019.
- Bürkner, Hans-Joachim; Berger, Olaf; Luchmann, Christian; Tenz, Eric (2007): Der demographische Wandel und seine Konsequenzen für die Wohnungsnachfrage, Städtebau und Flächennutzung. Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS). *Working Paper*, Erkner. Online verfügbar unter: https://leibniz-irs.de/fileadmin/user_upload/IRS_Working_Paper/wp_wandel.pdf, zuletzt geprüft am 08.08.2019.
- Buslei, Hermann; Haan, Peter; Kemptner, Daniel; Weinhardt, Felix (2018): *Arbeitskräfte und Arbeitsmarkt im demographischen Wandel*. Expertise. Hg. v. Bertelsmann Stiftung. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Gütersloh. Online verfügbar unter: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user_upload/Studie_IFT_Arbeitskraefte_und_Arbeitsmarkt_im_demographischen_Wandel_2018.pdf, zuletzt geprüft am 08.08.2019.
- Buth, Mareike; Kahlenborn, Walter; Greiving, Stefan; Fleischhauer, Mark; Zebisch, Marc; Schneiderbauer, Stefan; Schausser, Inke (2017): *Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen: Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung*. Hg. v. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba_2017_leitfaden_klimawirkungs_und_vulnerabilitatsanalysen.pdf, zuletzt geprüft am 28.02.2019.
- Buth, Mareike; Kahlenborn, Walter; Savelsberg, Jonas; Becker, Nina; Bubeck, Philip; Kabisch, Sibylle et al. (2015): *Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel*. Hg. v. Umweltbundesamt. adelphi / plan + risk consult / Europäische Akademie Bozen. *Climate Change*, 24/2015, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2018.
- Cardona, O.D; van Aalst, M.K; Birkmann, J.; Fordham, M.; McGregor, G.; Perez, R. et al. (2012): *Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability*. In: C.B Field, V. Barros, T.F Stocker, D. Qin, D.J

15. Quellenverzeichnis

- Dokken, K.L Ebi et al. (Hg.): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK und New York, USA: Cambridge University Press, S. 65–108.
- Carpenter, S. R.; Ludwig, D.; Brock, W. A. (1999): Management of Eutrophication for Lakes Subject to Potentially Irreversible Change. In: *Ecological Applications* 9 (3), S. 751.
- Carpenter, Steve; Walker, Brian; Anderies, J. Marty; Abel, Nick (2001): From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? In: *Ecosystems* 4 (8), S. 765–781.
- Chambers, Robert (1989): Vulnerability, Coping and Policy. Editorial Introduction. In: *IDS Bulletin* 20 (2), S. 1–7. Online verfügbar unter: https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/123456789/9551/IDSB_20_2_10.1111-j.1759-5436.1989.mp20002001.x.pdf;jsessionid=B7163BFEC67C88409485BB3FF2C3C424?sequence=1, zuletzt geprüft am 23.02.2019.
- Charmes, Jacques (2019): Dimensions of Resilience in Developing Countries: Informality, Solidarities and Carework. *Demographic Transformation and Socio-Economic Development*, 10, Cham: Springer International Publishing.
- Chelleri, Lorenzo (2012): From "The Resilient City" to Urban Resilience: A review essay on understanding and integrating the resilience perspective for urban systems. In: *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 58 (2), S. 287–306.
- Chelleri, Lorenzo; Olazabal, Marta (D.L. 2012): Multidisciplinary perspectives on urban resilience: A workshop report. 1st ed., Bilbao: BC3, Basque Centre for Climate Change.
- Chelleri, Lorenzo; Waters, James J.; Olazabal, Marta; Minucci, Guido (2015): Resilience trade-offs: Addressing multiple scales and temporal aspects of urban resilience. In: *Environment and Urbanization* 27 (1), S. 181–198.
- Chmutina, Ksenia; Lizarralde, Gonzalo; Dainty, Andrew; Boshier, Lee (2016): Unpacking resilience policy discourse. In: *Cities* 58, S. 70–79.
- Christaller, Walter (1933): Die zentralen Orte in Süddeutschland: eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen: Gustav Fischer.
- Christensen, Karen S. (2012): Planning in Complexity. In: Gert de Roo, Jean Hillier und Joris van Wezemaal (Hg.): Complexity and planning. Systems, assemblages and simulations. Farnham, Surrey, England, Burlington, VT: Ashgate (New directions in planning theory), S. 75–91.
- Christmann, Gabriela; Ibert, Oliver; Kilper, Heiderose; Moss, Timothy (2011): Vulnerabilität und Resilienz in sozio-räumlicher Perspektive: Begriffliche Klärungen und theoretischer Rahmen. Unter Mitarbeit von Karsten Balgar, Frank Hüesker, Manfred Kühn, Kai Pflanz, Tobias Schmidt, Hanna Sommer et al. IRS - Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung, Erkner. *Working Paper*, 44. Online verfügbar unter: https://leibniz-irs.de/fileadmin/user_upload/IRS_Working_Paper/wp_vulnerabilitaet.pdf, zuletzt geprüft am 14.08.2017.
- Christmann, Gabriela B.; Kilper, Heiderose; Ibert, Oliver (2016): Die resiliente Stadt in den Bereichen Infrastrukturen und Bürgergesellschaft. Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS). *Schriftenreihe Sicherheit*, 19. Online verfügbar unter: https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/18477/sr_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 03.01.2020.

- Coale, Ansley J. (1989): Demographic Transition. In: John Eatwell (Hg.): Social economics. London: Macmillan (Macmillan reference books), S. 16–23.
- Comfort, Louise K.; Boin, Arjen; Demchak, Chris C. (Hg.) (2010): Designing resilience: Preparing for extreme events, Pittsburgh: University of Pittsburg Press.
- Cutter, Susan L.; Burton, Christopher G.; Emrich, Christopher T. (2010): Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. In: *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 7 (1), S. 1–24.
- Dalziell, E. P.; McManus, S. T. (2004): Resilience, Vulnerability, and Adaptive Capacity: Implications for System Performance. Online verfügbar unter: https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/2809/12593870_ResOrgs_IFED_dec04_EDSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 04.09.2017.
- Dameri, Renata Paola (2013): Searching for Smart City definition: a comprehensive proposal. In: *Internation Journal of Computers & Technology* 11 (5), S. 2544–2551, zuletzt geprüft am 16.08.2019.
- Davis, Kingsley (1945): The World Demographic Transition. In: *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science* 237 (1), S. 1–11.
- Davoudi, Simin (2012): Resilience: A Bridging Concept or a Dead End? Interface. In: *Planning Theory & Practice* 13 (2), S. 299–307.
- Deilmann, Clemens; Gruhler, Karin; Schiller, Georg (2010): Stadtstrukturtypen der Wohnungsbebauung zur Abschätzung der Entwicklung des sächsischen Wohnungsbestandes bis 2030 - multikriterielle Bewertungen. In: Andreas Blum und Karin Gruhler (Hg.): Typologien der gebauten Umwelt. Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz. Aachen: Shaker, S. 163–177.
- Derissen, Sandra; Quaas, Martin; Baumgärtner, Stefan (2011): The relationship between resilience and sustainable development of ecological-economic systems. In: *Ecological Economics* 70 (6), S. 1121–1128.
- Desouza, Kevin C.; Flanery, Trevor H. (2013): Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. In: *Cities* 35, S. 89–99.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Hg.): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. März 2006. *DWA-Regelwerk, 118*, Hennef.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hg.): Grundsätze für die Planung und Implementierung Neuartiger Sanitärsysteme (NASS). Juni 2014. *DWA-Regelwerk*, Hennef (Sieg).
- Deutschländer, Thomas; Mächel, Hermann (2017): Temperatur inklusive Hitzewellen. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 47–56.
- Die Bundesregierung (Hg.) (2002): Perspektiven für Deutschland: Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Online verfügbar unter: <https://www.nachhaltigkeit.info/media/1326188329phpYJ8KrU.pdf>, zuletzt geprüft am 19.08.2019.
- Die Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf, zuletzt geprüft am 06.07.2019.

15. Quellenverzeichnis

- Die Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf, zuletzt geprüft am 30.07.2018.
- Die Bundesregierung (Hg.) (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Neuauflage 2016, Berlin. Online verfügbar unter: https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie.pdf;jsessionid=4E8F2176FA0F77F6A6C553377C1A639A.s2t2?__blob=publicationFile&v=22, zuletzt geprüft am 12.04.2018.
- Dittrich-Wesbuer, Andrea; Mayr, Alexander; Schulwitz, Martin (2015): Demografischer Wandel, Siedlungsentwicklung und Abwasserinfrastrukturen: eine integrierte Betrachtung lokaler und regionaler Entwicklungsperspektiven. In: Erik Gawel (Hg.): Die Governance der Wasserinfrastruktur. Band 1: Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Optionen. Berlin: Duncker & Humblot (Studien zu Umweltökonomie und Umweltpolitik, 11), S. 117–139.
- Elizondo, Desirée (2017): Application of the Sustainable Livelihoods Framework in Development Projects: Guidance Note. Hg. v. United Nations Development Programme.
- Elmqvist, Thomas; Barnett, Guy; Wilkinson, Cathy (2014): Exploring urban sustainability and resilience. In: Leonie J. Pearson, Peter W. Newton und Peter Roberts (Hg.): Resilient Sustainable Cities. A Future. 1. Aufl. New York: Routledge, S. 19–28.
- European Council of Town Planners (2003): Die Neue Charta von Athen 2003: Vision für die Städte des 21. Jahrhunderts. Deutsche Übersetzung. Hg. v. SRL - Vereinigung für Stadt-, Regional- und Landesplanung e.V. Online verfügbar unter: https://www.srl.de/dateien/dokumente/de/neue_charta_von_athen_2003.pdf, zuletzt geprüft am 24.08.2019.
- Fath, Brian D.; Dean, Carly A.; Katzmair, Harald (2015): Navigating the adaptive cycle: An approach to managing the resilience of social systems. In: *Ecology and Society* 20 (2).
- Fekkek, Miriam; Fleischhauer, Mark; Greiving, Stefan; Lucas, Rainer; Schinkel, Jennifer; Winterfeld, Uta von (2016): Resiliente Stadt - Zukunftsstadt, Bonn. Online verfügbar unter: https://e-pub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6614/file/6614_Resiliente_Stadt.pdf, zuletzt geprüft am 11.07.2019.
- Field, C.B; Barros, V.; Stocker, T.F; Qin, D.; Dokken, D.J; Ebi, K.L et al. (Hg.) (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Cambridge, UK und New York, USA: Cambridge University Press.
- Foegen, Malte; Kaczmarek, Christian (2018): Organisation in einer digitalen Zeit: Ein Buch für die Gestaltung von reaktionsfähigen und schlanken Organisationen mit Hilfe von Scaled Agile & Lean Mustern. 4. Auflage, Darmstadt: wibas GmbH.
- Folke, Carl (2006): Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. In: *Global Environmental Change* 16 (3), S. 253–267.
- Folke, Carl (2016): Resilience. Online verfügbar unter: <http://oxfordre.com/environmentalscience/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-8>, zuletzt geprüft am 15.03.2019.
- Folke, Carl; Carpenter, Stephen R.; Walker, Brian; Scheffer, Marten; Chapin, Terry; Rockström, Johan (2010): Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. In:

- Ecology and Society* 15 (4). Online verfügbar unter: <https://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/ES-2010-3610.pdf>, zuletzt geprüft am 29.03.2019.
- Folke, Carl; Carpenter, Steve; Elmqvist, Thomas; Gunderson, Lance; Holling, C. S.; Walker, Brian (2002): Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformations. In: *Ambio* 31 (5), S. 437–440.
- Folke, Carl; Carpenter, Steve; Walker, Brian; Scheffer, Marten; Elmqvist, Thomas; Gunderson, Lance; Holling, C. S. (2004): Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management. In: *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35 (1), S. 557–581.
- Folke, Carl; Colding, Johan; Olsson, Per; Hahn, Thomas (2007): Interdependent Social-Ecological Systems and Adaptive Governance for Ecosystem Services. In: Jules Pretty (Hg.): *The SAGE handbook of environment and society*. Los Angeles, CA: SAGE, S. 1–18.
- Fooker, Insa (2016): Psychologische Perspektiven der Resilienzforschung. In: Rüdiger Wink (Hg.): *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung*. Wiesbaden: Springer (Studien zur Resilienzforschung), S. 13–45.
- Fotheringham, Stewart; Rogerson, Peter (2009): Introduction. In: A. Stewart Fotheringham und Peter Rogerson (Hg.): *The SAGE handbook of spatial analysis*. Los Angeles, Calif., London: SAGE, S. 1–4.
- Frey, René L. (2005): Infrastruktur. In: Ernst-Hasso Ritter (Hg.): *Handwörterbuch der Raumordnung*. 4., neu bearb. Aufl. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, S. 469–475.
- Friend, Richard; Jarvie, Jim; Reed, Sarah Orleans; Sutarto, Ratri; Thinpanga, Pakarnas; Toan, Vu Canh (2014): Mainstreaming urban climate resilience into policy and planning; reflections from Asia. In: *Urban Climate* 7, S. 6–19.
- Füssel, Hans-Martin (2005): Vulnerability in Climate Change Research: A Comprehensive Conceptual Framework. UC Berkeley. *University of California International and Area Studies*. Online verfügbar unter: <https://cloudfront.escholarship.org/dist/prd/content/qt8993z6nm/qt8993z6nm.pdf?t=kro66l>, zuletzt geprüft am 13.02.2019.
- Füssel, Hans-Martin; Klein, Richard J. T. (2007): Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. In: *Climatic Change* 75 (3), S. 301–329.
- Gans, Paul; Leibert, Tim (2007): Grundzüge der demographischen Entwicklung in Europa. In: Michael Horn und Bernhard Köppen (Hg.): *Demographischer Wandel in Deutschland. Die lokale und regionale Perspektive*. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH, S. 13–26.
- Gatzweiler, Hans-Peter; Marezke, Steffen (2008): Städte im demographischen Wandel - Stadtentwicklung zwischen Sub- und Reurbanisierung, Wachstum und Schrumpfung. In: Steffen Marezke (Hg.): *Städte im demografischen Wandel. Wesentliche Strukturen und Trends des demografischen Wandels in den Städten Deutschlands*. Dezembertagung des Arbeitskreises Städte und Regionen der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGD) in Kooperation mit dem Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) vom 6.-7. Dezember 2007 in Berlin. Bundesinstitut für Bevölkerungswissenschaft. Wiesbaden (Materialien zur Bevölkerungswissenschaft, 125), S. 17–30.
- Geermente Rotterdam (Hg.) (2016): Rotterdam Resilience Strategy: Ready for the 21st century. Consultation document. Online verfügbar unter: <https://www.100resilientcities.org/wp-content/uploads/2017/06/strategy-resilient-rotterdam.pdf>, zuletzt geprüft am 11.07.2019.

15. Quellenverzeichnis

- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) (Hg.) (2018): Gebäudeschutz vor Hagel: Leitfaden zu Gefahren, Risiken, Schutzkonzept und Schutzmaßnahmen, Köln. Online verfügbar unter: <https://shop.vds.de/de/download/dce5415973b0eaac0ef36ff236ede802/>.
- GI Geoinformatik GmbH (Hg.) (2011): ArcGIS 10: Das deutschsprachige Handbuch für ArcView und ArcEditor ; mit zahlreichen Übungsbeispielen und Gutscheine für die ESRI-Evaluation-DVD in der aktuellen Programmversion, Berlin: Wichmann.
- Glade, Thomas; Hoffmann, Peter; Thonicke, Kirsten (2017): Dürre, Waldbrände, gravitative Massenbewegungen und andere klimarelevante Naturgefahren. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 111–121.
- Gnest, Holger (2008): Monitoring. In: Dietrich Fürst und Frank Scholles (Hg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3., vollst. überarb. Aufl. Dortmund: Rohn, 617-628.
- Goerl, Caroline; Rauch, Anna; Thöne, Michael (2013): Weiterentwicklung des kommunalen Finanzausgleich in Nordrhein-Westfalen. Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln. Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/266372701_Weiterentwicklung_des_kommunalen_Finanzausgleichs_in_Nordrhein-Westfalen, zuletzt geprüft am 07.05.2020.
- Google LLC: Website Google NGRAM Viewer. Online verfügbar unter: https://books.google.com/ngrams/graph?content=Resilience%2CSustainability&year_start=1850&year_end=2008&corpus=15&smoothing=3&share=&direct_url=t1%3B%2CResilience%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2CSustainability%3B%2Cc0#t1%3B%2CResilience%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2CSustainability%3B%2Cc0, zuletzt geprüft am 21.03.2019.
- Grabow, Bussow (2013): Kommunale Finanz- und Investitionspolitik: strategisch und nachhaltig. In: Tilman Bracher, Arno Bunzel, Bussow Grabow, Anne Klein-Hitpaß, Susanne Plagemann, Sybille Wenke-Thiem und Gerd-Axel Ahrens (Hg.): Urbane Räume in Bewegung. Geschichte, Situation und Perspektiven von Stadt. Sonderveröffentlichung. Berlin: Dt. Institut für Urbanistik, S. 199–209.
- Graham, Stephen (Hg.) (2010): Disrupted cities: When infrastructure fails, New York, NY: Routledge.
- Greiving, Stefan (2002): Räumliche Planung und Risiko, München: Gerling Akademie Verlag GmbH.
- Greiving, Stefan; Fleischhauer, Mark; Lindner, Christian; Rüdiger, Andrea; Birkmann, Jörn; Krings, Susanne et al. (2011): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung: Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen. Hg. v. Bundesministerium für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). *Forschungen*, 149, Berlin.
- Grimm, Nancy B.; Faeth, Stanley H.; Golubiewski, Nancy E.; Redman, Charles L.; Wu, Jianguo; Bai, Xuemei; Briggs, John M. (2008): Global change and the ecology of cities. In: *Science (New York, N.Y.)* 319 (5864), S. 756–760.
- Gujer, Willi (2007): Siedlungswasserwirtschaft. 3., bearb. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer.
- Gunderson, Lance H.; Holling, Crawford S. (Hg.) (2002): Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems, Washington, DC: Island Press.

- Habermas, Jürgen; Luhmann, Niklas (1971): *Theorie der Gesellschaft oder Sozialtechnologie: Was leistet die Systemforschung? Theorie-Diskussion*, Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Hackenbruch, Julia (2018): *Anpassungsrelevante Klimaänderungen für städtische Baustrukturen und Wohnquartiere*. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. KIT-Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften.
- Hackenbruch, Julia; Schulwitz, Martin; Hagemann, Rowell (2017): *Hitze in städtischen Quartieren: Messergebnisse der Karlsruher AERO-Tram und die Implikationen für die Stadtplanung*. In: *Transforming Cities 2* (1), S. 58–62.
- Hasselmann, K.; Bengtsson, L.; Cubasch, U.; Hegerl, G. C.; Rodhe, H.; Roeckner, E. et al. (1995): *Detection of anthropogenic climate change using a fingerprint method*. Max-Planck-Institut für Meteorologie. *Report, 168*, Hamburg.
- Hauff, Volker (1987): *Unsere gemeinsame Zukunft: Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*, Greven [Federal Republic of Germany]: Eggenkamp Verlag.
- Häußermann, Hartmut; Siebel, Walter (2004): *Stadtsoziologie: Eine Einführung*. Unter Mitarbeit von Jens Wurtzbacher, Frankfurt, New York: Campus Verlag.
- Healey, Patsy (2007): *Urban complexity and spatial strategies: Towards a relational planning for our times*. *The RTPi library series*, London, New York: Routledge.
- Hecht, Robert (2014): *Automatische Klassifizierung von Gebäudegrundrissen: Ein Beitrag zur kleinräumigen Beschreibung der Siedlungsstruktur*. Zugl.: Dresden, Techn. Univ., Diss., 2013. *IÖR-Schriften, 63*, Berlin: Rhombos-Verl.
- Heintze, H.-J.; Kirch, L.; Küppers, B.; Mann, H.; Mischo, F.; Mucke, P. et al. (2018): *WeltRisikoBericht 2018: Fokus: Kinderschutz und Kinderrechte*. Hg. v. Bündnis Entwicklung Hilft und Ruhr-Universität Bochum - Institut für Friedenssicherungsrecht und Humanitäres Völkerrecht, Berlin. Online verfügbar unter: <https://weltrisikobericht.de/download/1031/>, zuletzt geprüft am 27.02.2019.
- Held, Ulrike (2010): *Tücken von Korrelationen: die Korrelationskoeffizienten von Pearson und Spearman*. In: *Swiss Medical Forum* 38 (10), S. 652–653, zuletzt geprüft am 17.08.2019.
- Hillenbrand, Thomas; Hiessl, Harald; Niederste-Hollenberg, Jutta; Menger-Krug, Eve; Lüninck, Benedikt von; Schulwitz, Martin et al. (2016): *Finanzierbare Zukunftsoptionen für die kommunale Wasserinfrastruktur in NRW: Folgen des demographischen, klimatischen und technischen Wandels für die Städte und Gemeinden in Nordrhein-Westfalen*. Endbericht, Karlsruhe, Dortmund, Düsseldorf. Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Martin_Schulwitz/publication/341820680_ZUKOWIS_Finanzierbare_Zukunftsoptionen_fur_die_kommu-nale_Wasserinfrastruktur_in_NRW_Folgen_des_demographischen_klimatischen_und_technischen_Wandels_fur_die_Stadte_und_Gemeinden_in_Nordrhein-Westfale/links/5ed5e97f45851529452807fd/ZUKOWIS-Finanzierbare-Zukunftsoptionen-fuer-die-kommu-nale-Wasserinfrastruktur-in-NRW-Folgen-des-demographischen-klimatischen-und-technischen-Wandels-fuer-die-Staedte-und-Gemeinden-in-Nordrhein-West.pdf?origin=profileFeaturedResearchPublicationItem, zuletzt geprüft am 01.06.2020.
- Hillenbrand, Thomas; Niederste-Hollenberg, Jutta; Menger-Krug, Eve; Klug, Stefan; Holländer, Robert; Lautenschläger, Sabine; Geyley, Stefan (2010): *Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherung und Entwicklung einer kosten- und ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur*. Unter Mitarbeit von Uwe Winkler, Silke Geisler, Thomas Völkner, Stefan Böttger und César Dziuba. Hg. v. Umweltbundesamt. *UBA-Texte, 36/2010*, Dessau-Roßlau. Online

15. Quellenverzeichnis

verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3779.pdf>, zuletzt geprüft am 06.08.2019.

Hilpert, Thilo (Hg.) (1984): Le Corbusiers "Charta von Athen": Texte und Dokumente. *Bauwelt-Fundamente Städtebau, Urbanistik*, 56. Kritische Neuausgabe, Braunschweig: Vieweg.

Holling, C. S. (1973): Resilience and Stability of Ecological Systems. In: *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, S. 1–23.

Holling, C. S. (1996): Engineering Resilience versus Ecological Resilience. In: Peter C. Schulze (Hg.): *Engineering within ecological constraints*. Washington, D.C: National Academy Press, S. 31–43.

Holling, C. S. (2004): From Complex Regions to Complex Worlds. In: *E&S* 9 (1), 11.

Holling, C. S.; Gunderson, Lance (2002): Resilience and Adaptive Cycles. In: Lance H. Gunderson und Crawford S. Holling (Hg.): *Panarchy. Understanding transformations in human and natural systems*. Washington, DC: Island Press, S. 25–62.

Holling, C. S.; Gunderson, Lance; Peterson, Garry D. (2002): Sustainability and Panarchies. In: Lance H. Gunderson und Crawford S. Holling (Hg.): *Panarchy. Understanding transformations in human and natural systems*. Washington, DC: Island Press.

Holling, C. S.; Schindler, D. W.; Walker, B. W.; Roughgarden, J. (1995): Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis. In: Charles Perrings, Karl-Göran Mäler, Carl Folke, C. S. Holling und Bengt-Owe Jansson (Hg.): *Biodiversity loss. Economic and ecological issues*. Cambridge: Cambridge University Press, S. 44–83.

Hosseini, Seyedmohsen (2016): Modeling and measuring resilience: Applications in supplier selection and critical infrastructure. Dissertation. University of Oklahoma, Norman, Oklahoma. Online verfügbar unter: https://shareok.org/bitstream/handle/11244/44886/2016_Hosseini_Seyedmohsen.pdf?sequence=1&isAllowed=y, zuletzt geprüft am 28.07.2019.

Howard, Jeff (2009): Climate Change Mitigation and Adaption in Developed Nations: A Critical Perspective on the Adaptation Turn in Urban Climate Planning. In: Simin Davoudi, Jenny Crawford und Abid Mehmood (Hg.): *Planning for Climate Change. Strategies for Mitigation and Adaptation for Spatial Planners*. 1. Aufl. London: Routledge, S. 19–32.

Hullen, Gert (2004): Bevölkerungsentwicklung in Deutschland. In: Bernhard Frevel (Hg.): *Herausforderung demografischer Wandel*. 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlag GmbH (Perspektiven der Gesellschaft), S. 15–25.

Hutter, Gérard (2006): Strategische Planung: Ein wiederentdeckter Planungsansatz zur Bestandentwicklung von Städten. In: *RaumPlanung* (128), S. 2010–2014.

Hutter, Gérard; Lorenz, Daniel F. (2017): Social resilience and natural hazards - analyzing [sic!] multiple social levels of resilience in the context of planning and risk governance. Conference Paper: Annual Conference of AESOP at Lisbon. Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/317184442_Social_resilience_and_natural_hazards-analyzing_multiple_social_levels_of_resilience_in_the_context_of_planning_and_risk_governance, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (Hg.) (2008): *Klimaänderung 2007: Synthesebericht*. Unter Mitarbeit von Rajendra K. Pachauri und Lenny Bernstein. IPCC; WMO, Berlin.

- International Organization for Migration (Hg.) (2019): World Migration Report 2020, Genf. Online verfügbar unter: https://publications.iom.int/system/files/pdf/wmr_2020.pdf, zuletzt geprüft am 01.05.2020.
- IPCC (2012): Summary for Policymakers. In: C.B Field, V. Barros, T.F Stocker, D. Qin, D.J Dokken, K.L Ebi et al. (Hg.): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaption. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK und New York, USA: Cambridge University Press, S. 3–21.
- IPCC (Hg.) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK und New York, USA: Cambridge University Press.
- IPCC (Hg.) (2014a): Climate change 2014: Mitigation of climate change. Working Group III contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2014b): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hg. v. Core Writing Team, R.K Pachauri und L.A Meyer, Genf, Schweiz.
- IPCC (Hg.) (2014c): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the IPCC Fifth Assessment Report. IPCC, Cambridge, UK und New York, USA: Cambridge University Press.
- Ishorst, Ralph (2009): Demografische Entwicklung und öffentliche Infrastruktur. In: Marc Gottwald und Markus Löwer (Hg.): Demografischer Wandel. Herausforderungen und Handlungsansätze in Stadt und Region: o.V. (Arbeitsberichte / Arbeitsgemeinschaft Angewandte Geographie Münster e.V, 40), S. 53–58.
- Jacob, Daniela (2009): Regionalisierte Szenarien des Klimawandels. In: *Raumforschung und Raumordnung* 67 (2), S. 89–96.
- Jakubowski, Peter; Lackmann, Gregor; Zarth, Michael (2013): Zur Resilienz regionaler Arbeitsmärkte - theoretische Überlegungen und empirische Befunde. In: *Informationen zur Raumentwicklung* (4), S. 351–370, zuletzt geprüft am 12.08.2019.
- Janssen, Marco A.; Anderies, John M. (2007): Robustness Trade-offs in Social-Ecological Systems. In: *International Journal of the Commons* 1 (1), S. 43.
- Jochimsen, Reimut (1966): Theorie der Infrastruktur: Grundlagen der marktwirtschaftlichen Entwicklung, Tübingen: Mohr.
- Jonas, Martin; Staeger, Tim; Schönwiese, Christian-Dietrich (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen: Schwerpunkt Deutschland. Hg. v. Umweltbundesamt. *Climate Change, 07/05*, Dessau. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2946.pdf>, zuletzt geprüft am 01.05.2020.
- Jöst, Frank (2002): Der demographische Übergang. In: Frank Jöst (Hg.): Bevölkerungswachstum und Umweltnutzung. Eine ökonomische Analyse, Bd. 184. Heidelberg: Physica-Verlag HD (Wirtschaftswissenschaftliche Beiträge, 184), S. 25–45.
- Junkernheinrich, Martin; Micosatt, Gerhard (2005): Kommunale Daseinsvorsorge im Ruhrgebiet bei rückläufiger Bevölkerung: Einnahmeseitige Handlungsspielräume, aufgabenbezogene

15. Quellenverzeichnis

Bedarfsverschiebungen, kommunalpolitische Handlungsoptionen, Essen: RVR, Fachbereich Strukturentwicklung, Wirtschaft.

Just, Tobias (2009): *Demografie und Immobilien*, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.

Kantonale Gebäudeversicherungen (Hg.) (2007): *Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren*. Online verfügbar unter: https://www.vkg.ch/media/1376/wegleitung_objektschutz_gegen_meteorologische_naturgefahren_d_v0-0.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2019.

Kaspar, Frank; Mächel, Hermann (2017): *Beobachtungen von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland*. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller (Hg.): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 17–26.

Kennedy, Christopher; Cuddihy, John; Engel-Yan, Joshua (2007): *The Changing Metabolism of Cities*. In: *Journal of Industrial Ecology* 11 (2), S. 43–59.

Keupp, Heiner (2016): *Das erschöpfte Selbst der Psychologie*. In: *Journal für Psychologie* 24 (2), S. 7–36.

DIN EN 12566-1, 2016: *kleinkläranlagen für bis zu 50 EW - Teil 1: Werkmäßig hergestellte Faulgruben*.

Kofner, Stefan (2004): *Wohnungsmarkt und Wohnungswirtschaft*, München u. a.: Oldenbourg.

Kötter, Theo; Weiß, Dominik; Heyn, Timo; Grade, Jan; Lennartz, Gottfried (2018): *Stresstest Stadt - wie resilient sind unsere Städte?: Unsicherheiten der Stadtentwicklung identifizieren, analysieren und bewerten*. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn. Online verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/Sonderveroeffentlichungen/2018/stresstest-stadt-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 11.07.2019.

Kovats, R.S; Valentini, R.; Bouwer, L.M; Georgopoulou, E.; Jacob, D.; Martin, E. et al. (2014): *Europe*. In: IPCC (Hg.): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the IPCC Fifth Assessment Report*. Unter Mitarbeit von C.B Field, V.R Barros, D.J Dokken, K.J Mach, M.D Mastrandrea, T.E Bilir et al. Cambridge, UK und New York, USA: Cambridge University Press, S. 1267–1326.

Koziol, Matthias (2007): *Demografische Entwicklungen in Deutschland und ihre Konsequenzen für die Wasserverteilungsnetze und Abwasserkanalisationen*. In: *Forum der Forschung* (20), S. 25–28.

Kreibich, Heidi; Bubeck, Philip; Kunz, Michael; Mahlke, Holger; Parolai, Stefano; Khazai, Bijan et al. (2014): *A review of multiple natural hazards and risks in Germany*. In: *Nat Hazards* 74 (3), S. 2279–2304.

Krone, Elisabeth; Scheller, Henrik (2019): *KfW-Kommunalpanel 2019*. Unter Mitarbeit von Cansu Cankayali. Hg. v. KfW Bankengruppe. *KfW Research*, Frankfurt am Main. Online verfügbar unter: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-KfW-Kommunalpanel/KfW-Kommunalpanel-2019.pdf>, zuletzt geprüft am 19.08.2019.

Krupa, Meagan B.; Chapin, I. F. Stuart I.; Lovecraft, Amy L. (2014): *Robustness or resilience?: Managing the intersection of ecology and engineering in an urban Alaskan fishery*. In: *E&S* 19 (2).

- Kuhlicke, Christian (2014): Hochwasservorsorge und Schutzgerechtigkeit: Erste Ergebnisse einer Haushaltsbefragung zur Hochwassersituation in Sachsen. Unter Mitarbeit von Chloe Begg, Maximilian Beyer, Ines Callsen, Anna Kunath und Nils Löster. Hg. v. Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ. *UFZ Discussion Papers*, 15/2014, Leipzig. Online verfügbar unter: https://www.ufz.de/export/data/global/59629_DP_15_2014_Kuhlicke_Hochwasservorsorge.pdf, zuletzt geprüft am 20.08.2019.
- Kunz, Michael; Blahak, Ulrich; Handwerker, Jan; Schmidberger, Manuel; Punge, Heinz Jürgen; Mohr, Susanna et al. (2018a): The severe hailstorm in southwest Germany on 28 July 2013: Characteristics, impacts and meteorological conditions. In: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 144 (710), S. 231–250.
- Kunz, Michael; Mohr, Susanna; Punge, Heinz Jürgen (2018b): Schwere Hagelstürme in Deutschland und Europa. In: José L. Lozán, Hartmut Graßl und Siegmund-Walter Breckle (Hg.): *Warnsignal Klima. Extremereignisse*. Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen, S. 236–242.
- Kunz, Michael; Mohr, Susanna; Werner, Peter (2017): Niederschlag. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller (Hg.): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 57–66.
- Kuttler, Wilhelm; Oßenbrügge, Jürgen; Halbig, Guido (2017): Städte. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller (Hg.): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 225–234.
- Lamker, Christian Wilhelm (2016): *Unsicherheit und Komplexität in Planungsprozessen*. Dissertation. Lemgo: Verlag Dorothea Rohn.
- Lehmann, Iris (2010): Beschreibung und Bewertung der Bodenversiegelung in städtischen Wohn-, Gewerbe- und Sondergebieten - städtebauliche Orientierungswerte. In: Andreas Blum und Karin Gruhler (Hg.): *Typologien der gebauten Umwelt. Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz*. Aachen: Shaker, S. 153–162.
- Leichenko, Robin (2011): Climate change and urban resilience. In: *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3 (3), S. 164–168.
- Lenton, Timothy M.; Held, Hermann; Kriegler, Elmar; Hall, Jim W.; Lucht, Wolfgang; Rahmstorf, Stefan; Schellnhuber, Hans Joachim (2008): Tipping elements in the Earth's climate system. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (6), S. 1786–1793.
- Lenton, Timothy M.; Williams, Hywel T.P. (2013): On the origin of planetary-scale tipping points. In: *Trends in Ecology & Evolution* 28 (7), S. 380–382.
- Leptien, Christoph; Bellefontaine, Clemens; Breitenbach, Harald; Graf, Peter; Roosen, Christian (2014): *Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung: Ergebnisse einer in 2013 durchgeführten gemeinsamen Umfrage der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) und des Deutschen Städtetages sowie des Deutschen Städte- und Gemeindebundes*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. *Ausgabe 2014*. Online verfügbar unter: https://de.dwa.de/files/_media/content/03_THEMEN/Wirtschaft/DWA_Wirtschaftsdaten_2013_fin.pdf, zuletzt geprüft am 10.06.2019.
- Libbe, Jens; Köhler, Hadia; Beckmann, Klaus J. (2010): *Infrastruktur und Stadtentwicklung: Technische und soziale Infrastrukturen - Herausforderungen und Handlungsoptionen für Infrastruktur- und Stadtplanung*. Edition Difü - Stadt, Forschung, Praxis, 10, Berlin: Dt. Inst. für Urbanistik.

15. Quellenverzeichnis

- Liebig, Wolfgang; Mummenthey, Rolf-Dieter (2005): ArcGIS-ArcView9: Band 1: ArcGIS-Grundlagen. *ArcGIS - ArcView 9*, 1. Auflage, Norden, Halmstad: Points.
- Ling, Hui; Znati, Taieb; Comfort, Louise K. (2010): Designing Resilient Systems: Integrating Science, Technology, and Policy in International Risk Reduction. In: Louise K. Comfort, Arjen Boin und Chris C. Demchak (Hg.): *Designing resilience. Preparing for extreme events*. Pittsburgh: University of Pittsburg Press, S. 244–271.
- Lintz, Gerd; Wirth, Peter; Harfst, Jörn (2016): Regionaler Strukturwandel und Resilienz: Vom Braunkohlebergbau zum Tourismus im Lausitzer Seenland. In: Rüdiger Wink (Hg.): *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung*. Wiesbaden: Springer (Studien zur Resilienzforschung).
- Liu, Jianguo; Dietz, Thomas; Carpenter, Stephen R.; Alberti, Marina; Folke, Carl; Moran, Emilio et al. (2007): Complexity of coupled human and natural systems. In: *Science (New York, N.Y.)* 317 (5844), S. 1513–1516.
- Londong, Jörg; Alexeeva-Steininger, Julia; Welch Guerra, Max; Meyer, Daniel; Sauer, Sonja; Steinbrück, Sven et al. (2010): Auswirkungen des demografischen Wandels auf die technische Infrastruktur von Abfallentsorgung, Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in ländlichen Regionen in den neuen Bundesländern. Kurzexpose im Auftrag des Bundesministeriums des Inneren. Online verfügbar unter: https://www.demografie-portal.de/SharedDocs/Downloads/DE/Studien/Technische_Infrastruktur_neue_Laender.pdf;jsessionid=52D25D4367CBDD4B778BA29882B60F64.2_cid380?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 13.12.2019.
- Lontzek, Thomas S.; Cai; Yongyang; Judd, Kenneth L.; Lenton, Timothy M. (2015): Stochastic integrated assessment of climate tipping points indicates the need for strict climate policy. In: *Nature Climate Change* 5, S. 441–444.
- Lotka, Alfred J. (1925): *Elements of Physical Biology*, Baltimore: Williams & Wilkins Company.
- Luhmann, Niklas (1994): *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. 4. Aufl., Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Lukesch, Robert (2016): Resiliente Regionen: Zur Intelligenz regionaler Handlungssysteme. In: Rüdiger Wink (Hg.): *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung*. Wiesbaden: Springer (Studien zur Resilienzforschung), S. 295–332.
- Lützen, Katrin (2012): Bedeutung möglicher Folgen des Klimawandels für die räumliche Planung. In: Jörn Birkmann, Jochen Schanze, Peter Müller und Manfred Stock (Hg.): *Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung. Grundlagen, Strategien, Instrumente*. Hannover: Verlag der ARL (E-Paper der ARL, 13), S. 28–65.
- Macharzina, Klaus; Wolf, Joachim (2008): *Unternehmensführung: Das internationale Managementwissen : Konzepte, Methoden, Praxis. Lehrbuch*. 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Gabler.
- Maly, Ulrich (1991): *Wirtschaft und Umwelt in der Stadtentwicklungspolitik*, Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag.
- Martin, R. (2012): Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. In: *Journal of Economic Geography* 12 (1), S. 1–32.
- Martin, Ron; Sunley, Peter (2015): On the notion of regional economic resilience: Conceptualization and explanation. In: *Journal of Economic Geography* 15 (1), S. 1–42.

- Martin-Breen, Patrick; Anderies, Marty J. (2011): Resilience: A Literature Review. Background Paper. Hg. v. The Bellagio Initiative. Online verfügbar unter: <https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/123456789/3692/Bellagio-Rockefeller%20bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, zuletzt geprüft am 21.03.2019.
- Martinez, Cristina; Weyman, Tamara (2017): Demographic Change in a Complex World. In: Cristina Martinez, Tamara Weyman und Jouke van Dijk (Hg.): Demographic Transition, Labour Markets and Regional Resilience. Cham: Springer International Publishing AG (Advances in Spatial Science), S. 1–15.
- Matthews, Tony (2011): Climate Change Adaptation in Urban Systems: Strategies for Planning Regimes. Griffith University. *Research Paper*, 32. Online verfügbar unter: https://eprints.qut.edu.au/62271/1/Climate_Change_Adaptation_in_Urban_Systems_Author%27s_Accepted_Copy.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2019.
- Mayntz, Renate (2010): Governance im modernen Staat. In: Arthur Benz und Nicolai Dose (Hg.): Governance - Regieren in komplexen Regelsystemen. Eine Einführung. 2., aktualisierte und veränd. Aufl. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss (Lehrbuch, 1), S. 37–48.
- Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis L.; Randers, Jorgen; Behrens, William W. III (1974): The limits to growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. 2. ed., New York: Universe Books.
- Meadows, Donella H.; Wright, Diana (2008): Thinking in systems: A primer, London: Earthscan.
- Meerow, Sara; Newell, Joshua P. (2015): Resilience and Complexity: A Bibliometric Review and Prospects for Industrial Ecology. In: *Journal of Industrial Ecology* 19 (2), S. 236–251.
- Meerow, Sara; Newell, Joshua P.; Stults, Melissa (2016): Defining urban resilience: A review. In: *Landscape and Urban Planning* (147), S. 38–49.
- Meerow, Sara; Stults, Melissa (2016): Comparing Conceptualizations of Urban Climate Resilience in Theory and Practice. In: *Sustainability* 8 (12), S. 701.
- Mehmood, Abid (2015): Of resilient places: planning for urban resilience. In: *European Planning Studies* 24 (2), S. 407–419.
- Meyer, Thomas (2004): Die Familie im demografischen Wandel. In: Bernhard Frevel (Hg.): Herausforderung demografischer Wandel. 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlag GmbH (Perspektiven der Gesellschaft), S. 58–74.
- Miller, Fiona; Osbahr, Henny; Boyd, Emily; Thomalla, Frank; Bharwani, Sukaina; Ziervogel, Gina et al. (2010): Resilience and Vulnerability: Complementary or Conflicting Concepts? In: *Ecology and Society* 15 (3), 11. Online verfügbar unter: <https://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art11/ES-2010-3378.pdf>, zuletzt geprüft am 01.09.2017.
- Mohr, Susanna (2013): Änderung des Gewitter- und Hagelpotentials im Klimawandel. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hannover. Institut für Meteorologie und Klimaforschung. Online verfügbar unter: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/e-doks/e01fn13/740789767.pdf>, zuletzt geprüft am 06.08.2018.
- Mönnecke, Margit (2008): Evaluation in der Planung. In: Dietrich Fürst und Frank Scholles (Hg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3., vollst. überarb. Aufl. Dortmund: Rohn, S. 602–616.
- Monstadt, Jochen; Schmidt, Martin (2019): Urban resilience in the making?: The governance of critical infrastructures in German cities. In: *Urban Studies* 4 (2), 004209801880848.

15. Quellenverzeichnis

- Moss, Mitchell L. (1998): Technology and Cities. In: *Cityscape: A Journal of Policy Development and Research* 3 (3), S. 107–127.
- Moss, Timothy (2008): 'Cold spots' of Urban Infrastructure: 'Shrinking' Processes in Eastern Germany and the Modern Infrastructural Ideal. In: *International Journal of Urban and Regional Research* 32 (2), S. 436–451.
- Moss, Timothy (2011): Empfehlungen zur Wasserver- und -entsorgungsinfrastruktur. In: Christina von Haaren und Carolin Galler (Hg.): *Zukunftsfähiger Umgang mit Wasser im Raum*. Hannover: Akad. für Raumforschung und Landesplanung (Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL, 234), S. 170–178.
- Munich RE (Hg.) (2014): Schadensereignisse in Deutschland 1970 - 2013: NatCatSERVICE. Online verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=2ahU-KEwi63ea7quDmAhWKY1AKHc5TA1IQFjADegQIB-BAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ergo.com%2F~%2Fmedia%2FERGOcom%2FPDF%2FPresentationen%2F2014%2F20140116_Schadenereignisse_Deutschland_1970-2013.pdf&usq=AOvVaw1BcpJv7jD9hmi2QtZJrUwj, zuletzt geprüft am 31.12.2019.
- Neu, Claudia (2009): Daseinsvorsorge - Eine Einführung. In: Claudia Neu (Hg.): *Daseinsvorsorge. Eine gesellschaftswissenschaftliche Annäherung*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden (Demografischer Wandel, Hintergründe und Herausforderungen).
- Newman, Peter; Beatley, Timothy; Boyer, Heather (2009): *Resilient Cities: Responding to Peak Oil and Climate Change*. 2. Aufl., Washington, DC: Island Press.
- Nilakant, Venkataraman; Walker, Bernard (2017): Adaptive Resilience and Governance. University of Canterbury. Online verfügbar unter: https://www.iod.org.nz/Portals/0/Branches%20and%20events/Canterbury/Documents/Documents%202017/Adaptive%20Resilience%20and%20Governance%20Final_1.pdf, zuletzt geprüft am 03.05.2019.
- Noll, Heinz-Herbert; Weick, Stefan (2009): *Wohnen in Deutschland: Teuer, komfortabel und meist zur Miete ; Analysen zur Wohnsituation und Wohnqualität im europäischen Vergleich*.
- OECD (2003): *Emerging systemic risks in the 21st century: An agenda for action*, Paris. Online verfügbar unter: <https://www.oecd.org/futures/globalprospects/37944611.pdf>, zuletzt geprüft am 01.09.2019.
- Okoli, Chitu; Schabram, Kira (2010): A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research. *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 26. Online verfügbar unter: [https://www.nti.ufpb.br/~evandro/pesquisa/RSL/\(Okoli,%20Schabram%202010%20Sprouts\)%20systematic%20literature%20reviews%20in%20IS%20research.pdf](https://www.nti.ufpb.br/~evandro/pesquisa/RSL/(Okoli,%20Schabram%202010%20Sprouts)%20systematic%20literature%20reviews%20in%20IS%20research.pdf), zuletzt geprüft am 26.04.2019.
- Othengrafen, Frank (2010): Spatial planning as expression of culturised planning practices: The examples of Helsinki, Finland and Athens, Greece. In: *Town Planning Review* 81 (1), S. 83–110.
- Othengrafen, Frank; Reimer, Mario (2013): The embeddedness of planning in cultural contexts: theoretical foundations for the analysis of dynamic planning cultures. In: *Environment and Planning A* 45, S. 1269–1284.
- Pelling, Mark (2003): *The vulnerability of cities: Natural disasters and social resilience*, London: Earthscan Publ.

- Perrings, Charles (2006): Resilience and sustainable development. In: *Envir. Dev. Econ.* 11 (4), S. 417–427.
- Petit, F.D; Bassett, G.W; Black, R.; Buehring, W.A; Collins, M.J; Dickinson, D.C et al. (2013): Resilience Measurement Index: An Indicator of Critical Infrastructure Resilience. Argonne National Laboratory. Online verfügbar unter: <http://www.ipd.anl.gov/anl-pubs/2013/07/76797.pdf>, zuletzt geprüft am 18.04.2018.
- Pimm, Stuart L. (1984): The complexity and stability of ecosystems. In: *Nature* 307 (5949), S. 321–326.
- Pinto, Joaquim G.; Reyers, Mark (2017): Winde und Zyklonen. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 67–75.
- Pisano, Umberto (2012): Resilience and Sustainable Development: Theory of resilience, systems thinking and adaptive governance. European Sustainable Development Network (ESDN). *ESDN Quarterly Report*, 26. Online verfügbar unter: http://www.sd-network.eu/quarterly%20reports/report%20files/pdf/2012-September-Resilience_and_Sustainable_Development.pdf, zuletzt geprüft am 01.09.2017.
- Plag, Hans-Peter; Brocklebank, Sean; Brosnan, Deborah; Campus, Paola; Cloetingh, Sterd; Jules-Plag, Shelley; Stein, Seth (2015): Extreme geohazards: Reducing the disaster risk and increasing resilience, Strasbourg, France: The Foundation.
- Plöger, Jörg; Lang, Thilo (2013): Resilienz als Krisenfestigkeit: Zur Anpassung von Bremen und Leipzig an den wirtschaftlichen Strukturwandel. In: *Informationen zur Raumentwicklung* (4), S. 325–335, zuletzt geprüft am 15.08.2019.
- Pohl, Jürgen (2011): Risikovorsorge, Risikonachsorge und Raumplanung. In: Jürgen Pohl und Swen Zehetmair (Hg.): Risikomanagement als Handlungsfeld in der Raumplanung. Hannover: Verlag der ARL (Arbeitsmaterial der ARL, 357), S. 11–21.
- Portugali, Juval (2011): Complexity, Cognition and the City. *Springer complexity*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Proag, Virendra (2014): Assessing and Measuring Resilience. In: *Procedia Economics and Finance* 18, S. 222–229.
- Puskeiler, Marc (2013): Radarbasierte Analyse der Hagelgefährdung in Deutschland. Dissertation. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Fak. für Physik, Karlsruhe. Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Rashed, Tarek; Weeks, John (2003): Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. In: *International Journal of Geographical Information Science* 17 (6), S. 547–576.
- Rat der Europäischen Union (08.12.2008): Richtlinie 2008/114/EG vom 8. Dezember 2008 über die Ermittlung und Ausweisung europäischer kritischer Infrastrukturen und die Bewertung der Notwendigkeit, ihren Schutz zu verbessern. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:345:0075:0082:DE:PDF>, zuletzt geprüft am 29.08.2019.
- Renn, Ortwin; Dreyer, Marion; Klinke, Andreas; Schweizer, Pia-Johanna (2007): Systemische Risiken: Charakterisierung, Management und Integration in eine aktive Nachhaltigkeitspolitik. In: Frank Beckenbach (Hg.): Soziale Nachhaltigkeit. Marburg: Metropolis-Verl. (Jahrbuch Ökologische Ökonomik, 5), S. 157–187.

15. Quellenverzeichnis

- Renn, Ortwin; Klinke, Andreas (2015): Risk Governance and Resilience: New Approaches to Cope with Uncertainty and Ambiguity. In: Urbano Fra.Paleo (Hg.): Risk Governance. The Articulation of Hazard, Politics and Ecology. Dordrecht, s.l.: Springer Netherlands, S. 19–41.
- Rocks, Kaja; Völker, Vera; Illgen, Marc (2015): Starkregen und Sturzfluten in Städten: Eine Arbeitshilfe. Hg. v. Deutscher Städtetag, Berlin, Köln. Online verfügbar unter: http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/dst/presse/2015/arbeitshilfe_starkregen_sturzfluten_april_2015.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2019.
- Rockström, Johan; Steffen, Will; Noone, Kevin; Persson, Åsa; Chapin, F. Stuart, III; Lambin, Eric et al. (2009): Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. In: *E&S* 14 (2).
- Romero-Lankao, Patricia; Gnatz, Daniel; Wilhelmi, Olga; Hayden, Mary (2016): Urban Sustainability and Resilience: From Theory to Practice. In: *Sustainability* 8 (12), S. 1224.
- Roo, Gert de (2012): Spatial Planning, Complexity and a World 'Out of Equilibrium': Outline of a Non-linear Approach to Planning. In: Gert de Roo, Jean Hillier und Joris van Wezemaal (Hg.): Complexity and planning. Systems, assemblages and simulations. Farnham, Surrey, England, Burlington, VT: Ashgate (New directions in planning theory), S. 141–175.
- Roo, Gert de; Hillier, Jean; van Wezemaal, Joris (Hg.) (2012): Complexity and planning: Systems, assemblages and simulations. *New directions in planning theory*, Farnham, Surrey, England, Burlington, VT: Ashgate.
- Roth, Ueli; Häubi, Fritz (1981): Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen. In: *Schweizer Ingenieur und Architekt* 99 (44), S. 970–983.
- Rüdiger, Andrea; Fleischhauer, Mark; Dosch, Fabian (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung: Planungspraxis. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). *BBSR-Online-Publikation*, 25/2009. Online verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ON252009.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 25.07.2019.
- Salichon, J.; LeCozannet G.; Modaresi, H.; Hosford, S.; Missotten, R.; McMagnus, K. et al. (2007): 2nd IGOS Geohazards Theme Report. Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Goneri_Le_Cozannet/publication/265380640_Geohazards_Theme_Report/links/540b3a5b0cf2f2b29a2f3382/Geohazards-Theme-Report.pdf, zuletzt geprüft am 05.08.2019.
- Sander, Thomas (2003): Ökonomie der Abwasserbeseitigung: Wirtschaftlicher Betrieb von kommunalen Abwasseranlagen ; mit 31 Tabellen. *Engineering online library*, Berlin: Springer.
- Scharpf, Fritz W. (2000): Interaktionsformen: Akteurzentrierter Institutionalismus in der Politikforschung. *UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher Politikwissenschaft*, 2136, Opladen: Leske + Budrich.
- Scharte, Benjamin; Thoma, Klaus (2016): Resilienz - Ingenieurwissenschaftliche Perspektive. In: Rüdiger Wink (Hg.): Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung. Wiesbaden: Springer (Studien zur Resilienzforschung), S. 123–150.
- Scheffer, M.; Carpenter, S.; Foley, J. A.; Folke, C.; Walker, B. (2001): Catastrophic shifts in ecosystems. In: *Nature* 413 (6856), S. 591–596.
- Schiller, Georg (2010): Kostenbewertung der Anpassung zentraler Abwasserentsorgungssysteme bei Bevölkerungsrückgang. Zugl.: Cottbus, Techn. Univ., Diss., 2010. *IÖR-Schriften*, 51, Berlin: Rhombos-Verl.

- Schiller, Georg (Hg.) (2017): Wege zur Umsetzung von Ressourceneffizienzstrategien in der Siedlungs- und Infrastrukturplanung. Leibniz-Institut für Ökologische Raumentwicklung; Rhombos-Verlag. *IÖR Schriften, Band 74*, Berlin: Rhombos-Verlag.
- Schiller, Georg; Siedentop, Stefan (2005): Infrastrukturfolgekosten der Siedlungsentwicklung unter Schrumpfungsbedingungen. In: *disP - The Planning Review* 41 (160), S. 83–93.
- Schimank, Uwe (2005): Die Entscheidungsgesellschaft: Komplexität und Rationalität der Moderne. Lehrbuch. *Hagener Studentexte zur Soziologie*, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Schmidberger, Manuel (2018): Hagelgefährdung und Hagelrisiko in Deutschland basierend auf einer Kombination von Radardaten und Versicherungsdaten. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. Online verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0072-860128>.
- Schmitz-Veltin, Ansgar (2009): Demografischer Wandel in Deutschland: Vielfalt der Regionen. In: Marc Gottwald und Markus Löwer (Hg.): Demografischer Wandel. Herausforderungen und Handlungsansätze in Stadt und Region: o.V. (Arbeitsberichte / Arbeitsgemeinschaft Angewandte Geographie Münster e.V, 40), S. 11–26.
- Schneiderbauer, Stefan; Ehrlich, Daniele (2004): Risk, hazard and people's vulnerability to natural hazards: A review of definitions, concepts and data. European Commission. Online verfügbar unter: [\[481\]](https://www.researchgate.net/profile/S_Schneiderbauer/publication/268149143_Risk_Hazard_and_People's_Vulnerability_to_Natural_Hazards_a_Review_of_Definitions_Concepts_and_Data/links/55e6916308aebdc0f58bb763/Risk-Hazard-and-Peoples-Vulnerability-to-Natural-Hazards-a-Review-of-Definitions-Concepts-and-Data.pdf?_sg%5B0%5D=LZRO7nnW7Yg6E23Zzo-gYXDJYA90bNIEbOdWz1o8zuxwWtyZ0YXy3Etu-SuHF-X4DPkMBXzax9fo5yvMR5FP8Nw.u_1jlkB5VJSyu9zrv19qVKoLEh7LnIbVGupQuNSPr1ezLbZjqhD_B6-DMcJnw8vpBu1vTCZo2GT9kvIXVu_Zpg&_sg%5B1%5D=o2OnC2n4ZC7Yg6P-OZzFi9_xvJfByYR8EexjOr0oFOQUvLB1xaWbkR08ZyEc-A1DTTHF7j8uAeXNzfI9b0F0szp9p5IJr-FukiRngbzlhRw3g.u_1jlkB5VJSyu9zrv19qVKoLEh7LnIbVGupQuNSPr1ezLbZjqhD_B6-DMcJnw8vpBu1vTCZo2GT9kvIXVu_Zpg&_iepl=, zuletzt geprüft am 17.02.2019.</p>
<p>Schnur, Olaf (2013): Resiliente Quartiersentwicklung?: Eine Annäherung über das Panarchie-Modell adaptiver Zyklen. In: <i>Informationen zur Raumentwicklung</i> 2013 (4), S. 337–350.</p>
<p>Scholles, Frank (2008a): Prognosen. In: Dietrich Fürst und Frank Scholles (Hg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3., vollst. überarb. Aufl. Dortmund: Rohn, 358-374.</p>
<p>Scholles, Frank (2008b): Szenariotechnik. In: Dietrich Fürst und Frank Scholles (Hg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3., vollst. überarb. Aufl. Dortmund: Rohn, S. 380–392.</p>
<p>Scholles, Frank; Putschky, Magrit (2008): Oberziele, Leitbilder, Leitlinien. In: Dietrich Fürst und Frank Scholles (Hg.): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3., vollst. überarb. Aufl. Dortmund: Rohn, S. 285–296.</p>
<p>Schott, Dieter (2013): Katastrophen, Krisen und städtische Resilienz: Blicke in die Stadtgeschichte. In: <i>Informationen zur Raumentwicklung</i> (4), S. 297–308.</p>
<p>Schulwitz, Martin; Hillenbrand, Thomas (2016): Small-scale modelling of urban structure types for the cost evaluation in sanitary environmental engineering. In: David Proverbs, S. Mambretti,</p>
</div>
<div data-bbox=)

15. Quellenverzeichnis

- C. A. Brebbia und N. Ursino (Hg.): Urban water systems and floods. International Conference on the Design, Construction, Maintenance, Monitoring and Control of Urban Water Systems; International Conference on Flood Recovery, Innovation and Response. Southampton: WIT Press (WIT transactions on the built environment, 165), S. 93–105.
- Schumpeter, Joseph A. (2018): Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie. *utb*, 172. 9., durchgesehene Auflage, Tübingen: A. Francke Verlag.
- Schwaber, Ken; Sutherland, Jeff (2017): Der Scrum Guide: Der gültige Leitfaden für Scrum: Die Spielregeln. Online verfügbar unter: <https://www.scrumguides.org/docs/scrum-guide/v2017/2017-Scrum-Guide-German.pdf>, zuletzt geprüft am 23.12.2019.
- Seckelmann, Margrit (2008): Die historische Entwicklung kommunaler Aufgaben. In: *dms - der moderne Staat - Zeitschrift für Public Policy, Recht und Management* (2), S. 267–284.
- Serrat, Olivier (2017): The Sustainable Livelihoods Approach. In: Olivier Serrat (Hg.): Knowledge Solutions. Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance. Singapore, s.l.: Springer Singapore, S. 21–26.
- Shin, Sangmin; Lee, Seungyub; Judi, David; Parvania, Masood; Goharian, Erfan; McPherson, Timothy; Burian, Steven (2018): A Systematic Review of Quantitative Resilience Measures for Water Infrastructure Systems. In: *Water* 10 (2), S. 164.
- Siebel, Walter (1994): Was macht eine Stadt urban?: Zur Stadtkultur und Stadtentwicklung. *Oldenburger Universitätsreden*, 61, Oldenburg: BIS Verlag.
- Siedentop, Stefan (2005): Urban Sprawl—verstehen, messen, steuern. In: *disP - The Planning Review* 41 (160), S. 23–35.
- Siedentop, Stefan (2011): Entdichtung als siedlungs- und infrastrukturpolitisches Schlüsselproblem - Ver- und Entsorgungssysteme in der Remanenzkostenfalle? In: Hans-Peter Tietz und Tanja Hühner (Hg.): Zukunftsfähige Infrastruktur und Raumentwicklung. Handlungserfordernisse für Ver- und Entsorgungssysteme. Hannover: Verl. der ARL (Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL / Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 235), S. 162–175.
- Siedentop, Stefan; Fina, Stefan (2010): Urban Sprawl beyond Growth: The Effect of Demographic Change on Infrastructure Costs. In: *Flux* n° 79-80 (1), S. 90.
- Siedentop, Stefan; Schiller, Georg; Koziol, Matthias; Walther, Jörg; Gutsche, Jens-Martin (2006): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten - Bilanzierung und Strategieentwicklung. Endbericht. Unter Mitarbeit von Klaus Einig und Martin Spangenberg. Hg. v. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). *BBR-Online-Publikationen*, 3/2006, Bonn. Online verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2002_2006/DL_ON032006.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 08.08.2019.
- Sigglow, Julia (2011): Ressourcenbewirtschaftung im Siedlungsraum: Rahmenbedingungen neuartiger Sanitärsysteme im urbanen Umfeld. Zugl.: Dortmund, Techn. Univ., Diss., 2011. *Magdeburger wasserwirtschaftliche Hefte*, 11, Aachen: Shaker.
- Simon, Fritz B. (2017): Einführung in Systemtheorie und Konstruktivismus. *Carl-Auer compact*. 8. Auflage, Heidelberg: Carl-Auer.
- Spaans, Marjolein; Waterhout, Bas (2017): Building up resilience in cities worldwide – Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme. In: *Cities* 61, S. 109–116.

- Specht, Christian (2013): Verwaltungssteuerung: Der lange Weg hin zur Wirkungsorientierung. In: Tilman Bracher, Arno Bunzel, Bussow Grabow, Anne Klein-Hitpaß, Susanne Plagemann, Sybille Wenke-Thiem und Gerd-Axel Ahrens (Hg.): *Urbane Räume in Bewegung. Geschichte, Situation und Perspektiven von Stadt*. Sonderveröffentlichung. Berlin: Dt. Institut für Urbanistik, S. 237–249.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2019): *Bevölkerung im Wandel: Annahmen und Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung*, Wiesbaden. Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressekonferenzen/2019/Bevoelkerung/pressebrochure-bevoelkerung.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 15.10.2019.
- Steffen, Will; Richardson, Katherine; Rockström, Johan; Cornell, Sarah E.; Fetzer, Ingo; Bennett, Elena M. et al. (2015): Sustainability. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. In: *Science (New York, N.Y.)* 347 (6223), S. 1259855.
- Steinberg, Juliane; Doblhammer-Reiter, Gabriele (2010): Demografische Bevölkerungsprognosen: Theoretische Grundlagen, Annahmen und Vorhersagesicherheit. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 53 (5), S. 393–403.
- Steinmüller, Karlheinz (2012): Szenarien - Ein Methodenkomplex zwischen wissenschaftlichem Anspruch und zeitgeistlicher Bricolage. In: Reinhold Popp (Hg.): *Zukunft und Wissenschaft. Wege und Irrwege der Zukunftsforschung*. Berlin, Heidelberg: Springer (Wissenschaftliche Schriftenreihe "Zukunft und Forschung" des Zentrums für Zukunftsstudien Salzburg, 2), S. 101–137.
- Stock, Manfred (2013): Der Klimawandel: global und regional in Europa und Deutschland. In: Jörn Birkmann, Maïke Vollmer und Jochen Schanze (Hg.): *Raumentwicklung im Klimawandel. Herausforderungen für die räumliche Planung*. Hannover: Verlag der ARL (Forschungsberichte der ARL, 2), S. 14–43.
- Stock, Manfred; Kropp, Jürgen P.; Walkenhorst, Oliver (2009): Risiken, Vulnerabilität und Anpassungserfordernisse für klimaverletzliche Regionen. In: *Raumforschung und Raumordnung* 67 (2), S. 97–113.
- Strambach, Simone; Klement, Benjamin (2016): Resilienz aus wirtschaftsgeographischer Perspektive: Impulse eines "neuen" Konzepts. In: Rüdiger Wink (Hg.): *Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung*. Wiesbaden: Springer (Studien zur Resilienzforschung), S. 263–294.
- Stucki, Maja; Egli, Thomas (2007): *Elementarschutzregister Hagel: Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehüllen*. Synthesebericht. Hg. v. Präventionsstiftung Kantonale Gebäudeversicherungen, Bern. Online verfügbar unter: https://www.vkg.ch/media/1238/hagel_d.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2019.
- Stumpp, Eva-Maria (2013): New in town?: On resilience and "Resilient Cities". In: *Cities* 32, S. 164–166.
- Suda, Jürgen; Rudolf-Miklau, Florian (Hg.) (2012): *Bauen und Naturgefahren: Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz*, Wien: Springer.
- Sutherland, Jeff; Sutherland, J. J. (2014): *Scrum: The art of doing twice the work in half the time*. 1. ed., New York NY: Crown Business.
- Swanstrom, Todd (2008): *Regional Resilience: A Critical Examination of the Ecological Framework*. Berkely Institute of urban and regional development. *Working Paper, 2008-07*. Online verfügbar unter: <https://iurd.berkeley.edu/wp/2008-07.pdf>, zuletzt geprüft am 10.10.2019.

15. Quellenverzeichnis

- Swiaczny, Frank; Schulz, Reiner (2009): Wachstum der Weltbevölkerung und nachhaltige Tragfähigkeit. In: *J. Verbr. Lebensm.* 4 (2), S. 136–144.
- Thompson, William R. (2009): The Kondratieff Waves as Global Social Processes. In: George Modelski und Robert Allen Denemark (Hg.): *World system history*. Oxford, U.K.: Eolss Publishers (Encyclopedia of life support systems. Social sciences and humanities, 4), S. 174–195.
- Thorén, Henrik (2014): Resilience as a Unifying Concept. In: *International Studies in the Philosophy of Science* 28 (3), S. 303–324.
- Tiefenbacher, John P. (2014): Urban Hazards. In: Lisa Benton-Short (Hg.): *Cities of North America. Contemporary Challenges in U.S. and Canadian Cities*. Lanham: Rowman & Littlefield Publishers, S. 335–376.
- Tietz, Hans-Peter (2011): Funktionen und Struktur von Ver- und Entsorgungssystemen im Wandel. In: Hans-Peter Tietz und Tanja Hühner (Hg.): *Zukunftsfähige Infrastruktur und Raumentwicklung. Handlungserfordernisse für Ver- und Entsorgungssysteme*. Hannover: Verl. der ARL (Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL / Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 235), S. 5–18.
- Umweltbundesamt (Hg.) (2017): *Wasserwirtschaft in Deutschland: Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen*, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_wasserwirtschaft_in_deutschland_2017_web_aktualisiert.pdf, zuletzt geprüft am 10.11.2019.
- UN/ISDR - United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction (Hg.) (2004): *Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives. Volume II Annexes*, New York und Genua. Online verfügbar unter: https://www.unisdr.org/files/657_lwr21.pdf, zuletzt geprüft am 22.02.2019.
- United Nations (Hg.) (1992): *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Online verfügbar unter: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>, zuletzt geprüft am 06.04.2018.
- United Nations (Hg.) (1998): *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Online verfügbar unter: <https://unfccc.int/sites/default/files/kpeng.pdf>, zuletzt geprüft am 15.08.2019.
- United Nations (Hg.) (2015): *Paris Agreement*. Online verfügbar unter: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2018.
- United Nations Development Programme (2011): *Paving the Way for Climate-Resilient Infrastructure: Guidance for Practicioners and Planners*. United Nations Development Programme, New York, NY. Online verfügbar unter: https://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/undp_paving_the_way.pdf, zuletzt geprüft am 12.01.2020.
- United Nations General Assembly (2015): *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Hg. v. United Nations. Online verfügbar unter: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E, zuletzt geprüft am 18.07.2019.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) (Hg.) (2015): *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: 2015-2030*, Sendai. Online verfügbar unter: https://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf, zuletzt geprüft am 05.07.2019.

- United Nations Office for Project Services (UNOPS) (Hg.) (2016): Disaster Risk Reduction for Resilience Programme: Resilience Mainstreaming Strategy. 2015-16. Online verfügbar unter: https://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/unops_-_drr4r_resilience_mainstreaming_strategy_2015-2016.pdf, zuletzt geprüft am 13.07.2019.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014): World urbanization prospects: The 2014 revision, Highlights.
- Vale, Lawrence J.; Campanella, Thomas J. (2005a): Conclusion: Axioms of Resilience. In: Lawrence J. Vale und Thomas J. Campanella (Hg.): The resilient city. How modern cities recover from disaster. New York: Oxford University Press, S. 335–355.
- Vale, Lawrence J.; Campanella, Thomas J. (Hg.) (2005b): The resilient city: How modern cities recover from disaster, New York: Oxford University Press.
- van der Heijden, Jeroen (2014): Governance for urban sustainability and resilience: Responding to climate change and the relevance of the built environment, Cheltenham: Edward Elgar.
- Walker, Brian; Gunderson, Lance; Kinzig, Ann; Folke, Carl; Carpenter, Steve; Schultz, Lisen (2006): A Handful of Heuristics and Some Propositions for Understanding Resilience in Social-Ecological Systems. In: *E&S* 11 (1).
- Walker, Brian Harrison; Salt, David Andrew (2006): Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world, Washington, DC: Island Press.
- Wegener, Ingo (2003): Komplexitätstheorie: Grenzen der Effizienz von Algorithmen. *Springer-Lehrbuch*, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Weigl, Elmar (2015): Radarniederschlag: Prinzip der Niederschlagsbestimmung mit Radar. inkl. Umrechnung der Radarreflektivitäten in Momentanwerte des Niederschlags. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/radarniederschlag/rn_info/download_niederschlagsbestimmung.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2019.
- Weis, Manuel; Siedentop, Stefan; Minnich, Lukas (2011): Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart. Unter Mitarbeit von Jürgen Baumüller, Holger Flaig, Frieder Haakh, Giselher Kaule und Ulrich Reuter. Online verfügbar unter: http://www.uni-stuttgart.de/ireus/publikationen/Vulnerabilitaetsbericht_Region_Stuttgart_Endfassung_Juni_2011_1.pdf, zuletzt geprüft am 04.03.2019.
- Weiß, Ralf; Meinke, Insa (2017): Meeresspiegelanstieg, Gezeiten, Sturmfluten und Seegang. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 77–85.
- Welle, Torsten; Birkmann, Jörn; Krause, Dunja; Suarez, Dora C.; Setiadi, Neysa J.; Wolfertz, Jan (2013): The WorldRiskIndex: A concept for the assessment of risk and vulnerability at global/national scales. In: Jörn Birkmann (Hg.): Measuring vulnerability to natural hazards. Towards disaster resilient societies. 2. Aufl. Tokyo: United Nations University Press, S. 219–250.
- Weller, Bernhard; Fahrion, Marc-Steffen; Horn, Sebastian; Naumann, Thomas; Nikolowski, Johannes Nils (2016): Baukonstruktion im Klimawandel, Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Werding, Martin (2018): Demographischer Wandel, soziale Sicherung und öffentliche Finanzen: Langfristige Auswirkungen und aktuelle Herausforderungen. Expertise. Hg. v. Bertelsmann Stiftung. Ruhr-Universität Bochum, Gütersloh. Online verfügbar unter: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/DemoWandel_Werding__2018_final3.pdf, zuletzt geprüft am 08.08.2019.

15. Quellenverzeichnis

- Westley, Frances; Olsson, Per; Folke, Carl; Homer-Dixon, Thomas; Vredenburg, Harrie; Loorbach, Derk et al. (2011): Tipping toward sustainability: Emerging pathways of transformation. In: *Ambio* 40 (7), S. 762–780.
- Westphal, Christiane (2008): Dichte und Schrumpfung: Kriterien zur Bestimmung angemessener Dichten in Wohnquartieren schrumpfender Städte aus Sicht der stadttechnischen Infrastruktur. *IÖR-Schriften*, 49.
- Wiechmann, Thorsten (2008): Planung und Adaption: Strategieentwicklung in Regionen, Organisationen und Netzwerken. Zugl.: Dresden, Univ., Habil.-Schr., 2007, Dortmund: Rohn.
- Wiechmann, Thorsten; Hutter, Gérard (2008): Die Planung des Unplanbaren: Was kann die Raumplanung von der Strategieforschung lernen? In: Alexander Hamedinger, Andrea Breidfuss, Jens S. Dangschat und Oliver Frey (Hg.): *Strategieorientierte Planung im kooperativen Staat*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, S. 102–121.
- Wildemann, Horst (2018): Nur die Agilen werden überleben. In: *WELT*, 12.06.2018. Online verfügbar unter: <https://www.welt.de/wirtschaft/bilanz/article177398860/Unternehmensfuehrung-So-funktioniert-Agiles-Management.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2020.
- Wilkinson, Cathy (2011): Social-ecological resilience: Insights and issues for planning theory. In: *Planning Theory & Practice* 11 (2), S. 148–169.
- Wisner, Ben; Blaikie, Piers; Cannon, Terry; Davis, Ian (2004): *At Risk - Second Edition: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. 2nd ed., New York NY: Taylor and Francis.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1999): *Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken: Jahresgutachten 1998*, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2003): *Welt im Wandel - Energiewende zur Nachhaltigkeit*, Berlin: Springer.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): *Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Hauptgutachten. 2., veränd. Aufl.*, Berlin: Selbstverlag.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2016): *Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte*. Unter Mitarbeit von Hans Joachim Schellnhuber, Dirk Messner, Frauke Kraas, Claus Leggewie, Peter Lemke, Matthies Ellen et al., Berlin: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2019): *Unsere gemeinsame digitale Zukunft: Zusammenfassung*. 1. Auflage, Berlin: Wissenschaftlicher Beirat d. Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.
- Wohlin, Claes (2014): Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering. Online verfügbar unter: <https://www.wohlin.eu/ease14.pdf>, zuletzt geprüft am 26.04.2020.
- Wolf, Christof; Best, Henning (2010a): *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse*, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Wolf, Christof; Best, Henning (2010b): Lineare Regressionsanalyse. In: Christof Wolf und Henning Best (Hg.): *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 607–638.

- Wolf, Klaus (2005): Stadt. In: Ernst-Hasso Ritter (Hg.): Handwörterbuch der Raumordnung. 4., neu bearb. Aufl. Hannover: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, S. 1048–1054.
- Woppowa, Stefan; Odenhausen, Michael (2014): Unwetterfront "Andreas" - 15 Minuten Hagelsturm mit katastrophalen Folgen. Hg. v. General Reinsurance AG. Online verfügbar unter: <http://media.genre.com/documents/iipc1404-de.pdf>, zuletzt geprüft am 23.09.2019.
- World Commission on Environment and Development (1987): Our Common Future. United Nations. Online verfügbar unter: https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/nachhaltige_entwicklung/dokumente/bericht/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf.download.pdf/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf, zuletzt geprüft am 18.07.2019.
- Zarth, Michael (Hg.) (2018): Raumordnungsbericht 2017: Daseinsvorsorge sichern. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Stand Juni 2017, Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- Zolli, Andrew (2012): Forget Sustainability. It's About Resilience. Opinion. In: *New York Times* 2012, 02.11.2012. Online verfügbar unter: <https://www.nytimes.com/2012/11/03/opinion/forget-sustainability-its-about-resilience.html>, zuletzt geprüft am 16.03.2019.

15.2 Rechtsquellenverzeichnis

- BauGB – Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 587)
- BauNVO – Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786)
- GG – Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Mai 1949 (BGBl. III, Gliederungsnummer 100-1), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. November 2019 (BGBl. I S. 1546)
- GO NRW – Gemeindeordnung für das Land Nordrhein-Westfalen in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Juli 1994 (GV. NW. S. 270), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 18. Dezember 2018 (GV. NW. S. 759). Online verfügbar unter: https://recht.nrw.de/lmi/owa/pl_text_anzeigen?v_id=2320021205103438063#FN2 (zuletzt geprüft am 10.01.2020)
- ROG – Raumordnungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 15 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808)
- WHG – Wasserhaushaltsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254)

15.3 Internetquellenverzeichnis

- Website 100RC 1 – Website der 100 Resilient Cities-Initiative der Rockefeller-Stiftung: About us. Online verfügbar unter: <http://www.100resilientcities.org/about-us/#section-2>, zuletzt geprüft am 05.07.2019.
- Website 100RC 2 – Website der 100 Resilient Cities-Initiative der Rockefeller-Stiftung: What is Urban Resilience? Online verfügbar unter: <http://100resilientcities.org/resources/#section-1>, zuletzt geprüft am 06.07.2019.

15. Quellenverzeichnis

- Website Ärzteblatt: Herkunft der Cholera im Jemen geklärt. Online verfügbar unter: <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/100160/Herkunft-der-Cholera-im-Jemen-geklaert>, zuletzt geprüft am 29.04.2020.
- Website Ärzte ohne Grenzen – Website Ärzte ohne Grenzen e. V.: Die akute Katastrophe ist vorüber, doch Zyklon Idai und Zyklon Kenneth haben Mosambik schwer zugesetzt. Online verfügbar unter: <https://www.aerzte-ohne-grenzen.de/hilfe-zyklon-idai>, zuletzt geprüft am 20.09.2019
- Website Bauder – Website der Paul Bauder GmbH & Co. KG: Foto der Aufsparrendämmung BauderPIR SWE. Online verfügbar unter: https://www.bauder.de/fileadmin/bilder/steildach/produkte/BauderPIR_SWE.jpg, zuletzt geprüft am 28.10.2019.
- Website BBSR – Website des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Stadt- und Gemeindetypen 2017. Online verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/StadtGemeindetyp/StadtGemeindetyp_node.html, zuletzt geprüft am 18.09.2019.
- Website Bing Maps – Bing Maps Onlineservice der Firma Microsoft. Online verfügbar unter: www.bing.de/maps, zuletzt geprüft am 28.07.2018
- Website BPB – Website der Bundeszentrale für politische Bildung: Bevölkerung mit Migrationshintergrund I. Online verfügbar unter: <https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61646/migrationshintergrund-i>, zuletzt geprüft am 02.05.2020.
- Website Destatis 1 – Website des Statistischen Bundesamts: Auszug aus dem Gemeindeverzeichnis. Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Archiv/GVAuszugQ/AuszugGV1QAktuell.xlsx?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 26.04.2020.
- Website Destatis 2 – Website des Statistischen Bundesamts: Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche (Tabellencode: 31231-0003). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?>, zuletzt geprüft am 29.04.2020.
- Website Destatis 3 – Website des Statistischen Bundesamts: Länge des Kanalnetzes, Abwasserbehandlungsanlagen, Angeschlossene Einwohnerwerte, Jahresabwassermenge, Schmutzwasser (Tabellencode: 32213-0001). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?>, zuletzt geprüft am 29.04.2020.
- Website Destatis 4 – Website des Statistischen Bundesamts: Vorausberechneter Bevölkerungsstand (Tabellencode: 12421-0002). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?>, zuletzt geprüft am 01.05.2020.
- Website Destatis 5 – Website des Statistischen Bundesamts: Lebendgeborene (Tabellencode: 12612-0001). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?>, zuletzt geprüft am 01.05.2020.
- Website Destatis 6 – Website des Statistischen Bundesamts: Gestorbene, Sterbefälle je 1000 Einwohner (Tabellencode: 12613-0001). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?>, zuletzt geprüft am 01.05.2020
- Website Destatis 7 – Website des Statistischen Bundesamts: Wanderungen zwischen Deutschland und dem Ausland (Tabellencode: 12711-0003). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?>, zuletzt geprüft am 01.05.2020.

- Website Destatis 8 – Website des Statistischen Bundesamts: Ausländer (Tabellencode: 12521-0001). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?>, zuletzt geprüft am 01.05.2020.
- Website Destatis 9 – Website des Statistischen Bundesamts: Bevölkerung (Tabellencode: 12411-0005). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?>, zuletzt geprüft am 01.05.2020.
- Website Destatis 10 – Website des Statistischen Bundesamts: Verbraucherpreisindex (inkl. Veränderungsraten). (Tabellencode: 61111-0001). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?>, zuletzt geprüft am 07.05.2020.
- Website De Urbanisten 1 – Website De Urbanisten BV: Water Square Benthemplein. Online verfügbar unter: http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/URBANISTEN_Watersquare-Benthemplein-04.jpg, zuletzt geprüft am 05.11.2019.
- Website De Urbanisten 2 – Website De Urbanisten BV: Water Square Benthemplein. Online verfügbar unter: http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/URBANISTEN_Watersquare-Benthemplein-26.jpg, zuletzt geprüft am 05.11.2019.
- Website DWD 1 – Website des Deutschen Wetterdienstes: Deutschlandwetter im Sommer 2018. Online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20180830_deutschlandwetter_sommer_news.html, zuletzt geprüft am 20.03.2019.
- Website DWD 2 – Website des Deutschen Wetterdienstes: Reichlich Sommertage. Online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2018/10/12.html, zuletzt geprüft am 20.03.2019.
- Website EPZ – Website des Elementarschaden Präventionszentrum: Hagelregister. Online verfügbar unter: <https://www.hagelregister.at/hagelregister/>, zuletzt geprüft am 06.05.2020.
- Website Google Maps – Google Maps Onlineservice der Firma Google LLC. Online verfügbar unter: www.google.de/maps, zuletzt geprüft am 28.07.2018
- Website Integrata Cegos – Website der Integrata Cegos GmbH: Scrum und Agilität – Von den Grundlagen zur Zertifizierung. Online verfügbar unter: <https://static.integrata-cegos.de/wp-content/uploads/2018/07/04120432/Scrum-Prozess-neu-900px.png>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.
- Website IÖR-Monitor – Website des Online-Kartenservice des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung: Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor). Online verfügbar unter: <https://monitor.ioer.de/>, zuletzt geprüft am 03.05.2020.
- Website KlimafolgenOnline – Onlineportal des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) e. V.: KlimafolgenOnline. Online verfügbar unter: <http://www.klimafolgenonline.com/>, zuletzt geprüft am 03.05.2020.
- Website LightningMaps – Website des Online-Services LightningMaps.org: Blitzortungen vom 28.07.2013 um 12 Uhr (+ 12 h). Online verfügbar unter: <https://images.lightning-maps.org/blitzortung/europe/index.php?map=de2&date=201307281200-720>, zuletzt geprüft am 22.09.2019
- Website LPB – Website der Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg: Aufgaben von Kommunen in Baden-Württemberg. Online verfügbar unter: https://www.kommunalwahl-bw.de/aufgabe_kommunen.html, zuletzt geprüft am 25.08.2019

15. Quellenverzeichnis

- Website NatCatSERVICE – Website des Natural catastrophe services der Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Geographical overview of relevant natural loss events worldwide 1980-2018. Online verfügbar unter: <https://natcatservice.munichre.com/>, zuletzt geprüft am 23.09.2019.
- Website Regionalstatistik 1 – Website der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden (Tabellencode: 31231-02-01-4). Online verfügbar unter: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/data>, zuletzt geprüft am 29.04.2020
- Website Regionalstatistik 2 – Website der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Gebietsfläche in qkm (Tabellencode: 11111-01-01-5). Online verfügbar unter: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/data>, zuletzt geprüft am 03.05.2020.
- Website Regionalstatistik 3 – Website der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Bevölkerung nach Geschlecht und Nationalität (Zensus 2011). (Tabellencode: 12111-01-01-5). Online verfügbar unter: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/data>, zuletzt geprüft am 03.05.2020.
- Website Regionalstatistik 4 – Website der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Bevölkerung nach Geschlecht und Altersgruppen (17). (Tabellencode: 12411-02-03-5). Online verfügbar unter: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/data>, zuletzt geprüft am 03.05.2020.
- Website Regionalstatistik 5 – Website der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Durchschnittsalter der Bevölkerung. (Tabellencode: 12411-07-01-5). Online verfügbar unter: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/data>, zuletzt geprüft am 03.05.2020.
- Website Regionalstatistik 6 – Website der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Bodenflächen nach Art der tatsächlichen Nutzung. (Tabellencode: 33111-01-02-5). Online verfügbar unter: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/data>, zuletzt geprüft am 03.05.2020.
- Website Regionalstatistik 7 – Website der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden. (Tabellencode: 31231-02-01-5). Online verfügbar unter: <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/data>, zuletzt geprüft am 03.05.2020.
- Website Reutlingen 1 – Website der Stadt Reutlingen: Foto der Gewitterwolke vom 28.07.2013 – Fotografiert von Bastian Werner. Online verfügbar unter: <https://www.reutlingen.de/ceasy/resource/20655?&doCrop=1&width=990&height=472>, zuletzt geprüft am 01.06.2020.
- Website Reutlingen 2 – Website der Stadt Reutlingen: Hagelsturm am 28.07.2013. Online verfügbar unter: <https://www.reutlingen.de/de/Leben-in-Reutlingen/Unsere-Stadt/Reutlinger-Besonderheiten/Hagelsturm-im-Juli-2013>, zuletzt geprüft am 22.09.2019.
- Website SER – Website der Stadtentwässerung Reutlingen: Schmutz- und Niederschlagswassergebühr. Online verfügbar unter: <https://www.ser-reutlingen.de/abwassergebuehr>, zuletzt geprüft am 11.04.2020.
- Website SV Gebäudeversicherung – Website der SV SparkassenVersicherung Gebäudeversicherung AG: Ein Jahr nach dem Hagelschlag. Online verfügbar unter: <https://www.sparkassenversicherung.de/content/privatkunden/presse/detailseite/Ein-Jahr-nach-dem-Hagelschlag>, zuletzt geprüft am 02.05.2020.

- Website SWR – Website des Südwestrundfunk: 28. Juli 2018: Der Hagelsturm von Reutlingen. Online verfügbar unter: <https://www.swr.de/geschichte/hagelsturm-in-reutlingen-2013/-/id=100754/did=16317570/nid=100754/1t7fs49/index.html>, zuletzt geprüft am 22.09.2019.
- Website TIXIT – Website der TIXIT Bernd Lauffer GmbH & Co. KG: Bild eines Hagelschutz-Systems für Lichtkuppeln. Online verfügbar unter: https://www.tixit.de/fileadmin/user_upload/Hagelschutzgittersystem-lueftbare-lichtkuppel-prallschutz3-min.jpg, zuletzt geprüft am 28.10.2019.
- Website UBA – Website Umweltbundesamt: Siedlungs- und Verkehrsfläche. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#textpart-2>, zuletzt geprüft am 19.08.2019.
- Website VKG - Website Kantonalen Gebäudeversicherungen: Hagelregister. Online verfügbar unter: <https://www.hagelregister.ch/>, zuletzt geprüft am 06.05.2020.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis von rund fünf Jahren Arbeit. Sie wäre allerdings ohne die Unterstützung einiger Personen und Institutionen in dieser Form nicht möglich gewesen. Dafür möchte ich mich an dieser Stelle bedanken!

An erster Stelle danke ich der Stiftung Umwelt und Schadenvorsorge für das Stipendium und die Förderung meines Promotionsvorhabens. Sowohl die finanzielle Förderung durch die Stiftung, als auch die konstruktive Unterstützung durch das Kuratorium waren wichtige Grundlagen zur Erstellung der Arbeit. Darüber hinaus haben die Einbindung in das Kolleg „Resilienz in Zeiten von Unsicherheit und Ambivalenz“ und der interdisziplinäre Austausch mit den Stipendiat/innen wichtige Impulse für meine Arbeit gegeben.

Der SV Sparkassenversicherung Gebäudeversicherung AG danke ich für die vertrauensvolle Bereitstellung der Versicherungs- und Schadensdaten. Insbesondere Herrn Gegler und Herrn Havers danke ich für die unkomplizierte Übergabe der Daten sowie für die freundliche Beantwortung meiner Fragen.

Mein besonderer Dank gilt meinen Betreuern. Bei Prof. Dr. Johann Jessen bedanke ich mich für die Übernahme des Erstgutachtens, die wohlwollende Begleitung meines Vorhabens über den gesamten Zeitraum und die stets umgehende Klärung aller organisatorischen Fragen. Prof. Dr. Stefan Siedentop danke ich herzlich für die Förderung meines Promotionsvorhabens von Beginn an, den regelmäßigen, freundlichen Austausch, aber auch für die konstruktive Kritik. Prof. Dr. Jörn Birkmann danke ich für die Übernahme des Drittgutachtens und den inhaltlichen Input im Rahmen eines Workshops in Stuttgart.

Dem ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH danke ich für die Bereitstellung meiner Arbeitsgrundlagen, die Unterstützung bei Fortbildungen und die generelle Förderung meiner Promotion. Die intensive und offene Diskussion verschiedener Arbeitsschritte und Zwischenergebnisse im Rahmen des Doktorandenkolloquiums hat mir hilfreiche Anregungen für die Erstellung der Arbeit geliefert.

Frau Dipl.-Psych. Susanne Penger danke ich für das offene Ohr bei Statistikfragen und die kritische Diskussion meiner empirischen Ergebnisse. Die externe Perspektive auf meine Daten hat geholfen, die Ergebnisse besser einordnen zu können und die Potenziale der statistischen Analyse methodisch korrekt auszuschöpfen.

Christine und Jana, Euch danke ich herzlich für die sicherlich vielen Stunden, die Ihr mit der sprachlichen Korrektur meiner Arbeit zugebracht habt. Das hat die Arbeit qualitativ noch einmal aufgewertet und lässt mich beruhigt sein, dass sie auch für Externe verständlich ist. Euren Einsatz weiß ich sehr zu schätzen.

Ein ganz besonderer Dank gilt Sebastian für das Lektorat des ersten Entwurfes der Arbeit und die zahlreichen Hinweise zum Aufbau, Inhalt und auch den nicht unbedeutenden Details. Während ich mir eine schöpferische Auszeit genommen habe, hast Du dich neben der Arbeit und einem eigenen Promotionsvorhaben durch den deutlich umfangreicheren Erstentwurf durchgearbeitet. Vielen Dank! Die inhaltliche Diskussion mit Dir hat wesentlich zur besseren Strukturierung und Nachvollziehbarkeit der Arbeit beigetragen.

Meinen Eltern danke ich dafür, dass sie meine Laufbahn stets gefördert haben, mir aber gleichzeitig die Freiheit ließen mich in die Richtung zu entwickeln, die meinen Interessen und Stärken entspricht. Ohne Euch wäre das alles nicht möglich gewesen.

Ein großer Dank gilt meiner Verlobten, die geraden in den letzten 18 Monaten großes Verständnis für meine intensiven Arbeitsphasen am Schreibtisch aufgebracht und mir stets den Rücken freigehalten hat. Mit viel Einfühlungsvermögen ist es Dir stets gelungen mich an den richtigen Stellen zu motivieren, aber gleichzeitig auch darauf zu achten, dass ich mir die notwendigen Auszeiten nehme. Zudem hat auch die inhaltliche Diskussion meiner Arbeit mit Dir dazu geführt, dass ich einige Ideen kritischer hinterfragt habe. Das war großartig und eine unheimlich wertvolle Unterstützung. Dafür bin ich Dir sehr dankbar!

Martin Schulwitz

im Juni 2020

Anhang

| | |
|--|-------|
| Anhang A – Steckbriefe der Bau- und Nutzungsstrukturtypen..... | II |
| Anhang B – Geodaten..... | XV |
| Anhang C – Beschreibung der Arbeitsschritte bei der Analyse der Geodaten | XVI |
| C.1 Einbindung der IÖR-Daten in ArcGIS | XVI |
| C.2 Verschneidung der Rasterzellen und BNT | XVI |
| C.3 Import der Versicherungs- und Schadensdaten in ArcGIS und Verknüpfung mit BNT-Kennwerten | XVIII |
| Anhang D – Versicherungsdaten | XIX |
| D.1 Auflistung der Spaltenbezeichnungen in der Versicherungs- und Schadensdatenbank sowie Beschreibung der Informationen | XIX |
| Anhang E – Empirische Ergebnisse der Versicherungs- und Schadensdaten | XXI |
| E.1 Berechnung des Umrechnungsfaktors der Wohnfläche auf die Geschossfläche | XXI |
| E.2 Weitere Auswertungen der Schadensdaten..... | XXII |
| E.3 Vollständige Graphen des Kapitels 8 | XXIII |
| Anhang F – Abwasserinfrastrukturkostenmodell..... | XXV |
| F.1 Umrechnung der Altersstruktur für das Kohorten-Komponenten Modell und Berechnung der Raten der Komponenten der Bevölkerungsentwicklung | XXV |
| F.2 Berechnung der Altersstruktur auf BNT-Ebene | XXVI |
| F.3 Einstellungsmöglichkeiten und Nutzung des Modells..... | XXVI |
| F.4 Wesentliche Rechenschritte des Abwasserkostenmodells | XXIX |
| F.5 Teilszenarien | XXXI |
| F.6 Entwicklung der Altersstruktur in den Szenarien | XXXIV |
| Anhang G – Schweizerisches Hagelregister..... | XXXVI |

Anhang A – Steckbriefe der Bau- und Nutzungsstrukturtypen

Abbildung A.1: Steckbrief zum BNT "Traditionelle Blockstrukturen"

| Traditionelle Blockstrukturen (Block) | |  | |
|---|-------------------|---|---|
| Straßenmeter je Hektar | 112–138 | | |
| Geschosszahl | 4–6 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 70–80 | | |
| Literaturkennwerte | | | |
| Verdichtungstyp | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 204 | 229 | 254 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 53 | 49 | 55 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 95 | 100 | 112 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 109 | 117 | 138 |
| Geschossflächen- dichte | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 50 | 63 | 90 |
| Versiegelungsgrad (%) | 69 | 85 | 92 |
| Straßenmeter je Hektar | 161 | 195 | 217 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 169 | 205 | 228 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p>Zumeist in (vor-)gründerzeitlichen Innenstadtquartieren gelegene Mehrfamilienhäuser in Altbauweise. Die kompakte Blockrandbebauung bildet Innenhöfe; einzelne Fragmente können fehlen (offene/geschlossene Blockrandbebauung) oder mit neueren Gebäuden überbaut sein. Die Geschosszahl ist für jede Blockseite meist einheitlich.</p> | | |  |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.2: Steckbrief zum BNT „Zeilenbebauung“

| Zeilenbebauung (Zeile) | |  | |
|---|-------------------|---|------------|
| Straßenmeter je Hektar | 102–113 | | |
| Geschosszahl | 3–5 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 45–55 | | |
| Literaturkennwerte | | | |
| Verdichtungstyp | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 174 | 231 | 290 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 58 | 72 | 83 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 137 | 125 | 144 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 250 | 300 | 400 |
| Geschossflächen- dichte | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 59 | 73 | 98 |
| Versiegelungsgrad (%) | 42 | 58 | 70 |
| Straßenmeter je Hektar | 113 | 151 | 189 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 119 | 159 | 198 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p>Überwiegend längere Gebäudezeilen in meist paralleler oder gruppierter Anordnung. Dominanter Mehrfamilienhausbau der 1920er und -30er sowie den -50er und -60er Jahren. Die in den 20er und 30er Jahren entstandenen Zeilenbauten sind zumeist als Werksiedlungen oder Gartenstädte, mit Hausgartenanlagen in den Abstandsflächen, entstanden. In den Neuen Bundesländern meist in industrieller Bauweise errichtet.</p> | |  | |

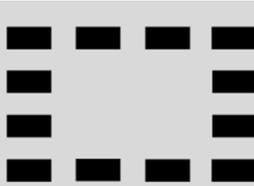
Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.3: Steckbrief zum BNT "Geschosswohnungsbau in offener Bauweise"

| Geschosswohnungsbau in offener Bauweise (Platte) | |  | |
|--|--------------------------|---|---|
| Straßenmeter je Hektar | 110–141 | | |
| Geschosszahl | 4 und mehr | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 45–55 | | |
| Literaturkennwerte | | | |
| <i>Verdichtungstyp</i> | <i>gering verdichtet</i> | <i>moderat verdichtet</i> | <i>verdichtet</i> |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 225 | 252 | 309 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 75 | 84 | 103 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 104 | 135 | 129 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 87 | 102 | 119 |
| Geschossflächen- dichte | 0,8 | 0,9 | 1,1 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 43 | 84 | 125 |
| Versiegelungsgrad (%) | 39 | 52 | 67 |
| Straßenmeter je Hektar | 89 | 126 | 168 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 93 | 132 | 125 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p>Die oft hofbildend oder als Mäander angeordneten Gebäude umschließen, wie auch die Zeilenbebauung, meist halböffentliche Höfe. Insbesondere in den neuen Bundesländern wurde Plattenbautyp in den 1970er und -80er Jahren in kleineren innerstädtischen Einheiten oder in eigenständige Plattenbauwohn- gebieten umgesetzt.</p> | | |  |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.4: Steckbrief zum BNT "Sonstige Mehrfamilienhäuser"

| Sonstige Mehrfamilienhäuser (MFH) | |  | |
|--|-------------------|---|---|
| Straßenmeter je Hektar | 100 | | |
| Geschosszahl | 2–5 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 45–55 | | |
| Literaturkennwerte | | | |
| Verdichtungstyp | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 120 | 145 | 168 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 40 | 48 | 56 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 120 | 146 | 133 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 160 | 160 | 160 |
| Geschossflächen- dichte | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 37 | 53 | 70 |
| Versiegelungsgrad (%) | 52 | 63 | 73 |
| Straßenmeter je Hektar | 137 | 169 | 202 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 144 | 177 | 212 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p><i>Gekennzeichnet durch eine mittlere bis hohe Dichte, wurde diese Form der Mehrfamilienhaus-Wohngebiete vor allem in den neuen Bundesländern ab 1990 errichtet. In den alten Bundesländern wurden Gebiete dieses Typs auch schon vor 1990 errichtet. Die meist aufgelockerte Bebauung ist oft als offene Blockrandbebauung mit halböffentlichen Innenhöfen angeordnet.</i></p> | | |  |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.5: Steckbrief zum BNT "Dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung"

| Dichte Ein-/Zweifamilienhausbebauung (EFH_dicht) | |  | |
|---|--------------------------|---|---|
| Straßenmeter je Hektar | 110–131 |  | |
| Geschosszahl | 1–2 |  | |
| Versiegelungsgrad (%) | 45–55 |  | |
| Literaturkennwerte | | | |
| <i>Verdichtungstyp</i> | <i>gering verdichtet</i> | <i>moderat verdichtet</i> | <i>verdichtet</i> |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 60 | 81 | 81 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 18 | 25 | 25 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 118 | 141 | 124 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 123 | 147 | 130 |
| Geschossflächen- dichte | 0,3 | 0,4 | 0,4 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 37 | 47 | 69 |
| Versiegelungsgrad (%) | 44 | 55 | 66 |
| Straßenmeter je Hektar | 129 | 160 | 189 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 135 | 168 | 198 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p><i>Vorwiegend dicht angeordnete Doppel- und Einzelhausbebauung, welche oft im Zusammenhang mit Zeilenbauten der 1920er und -30er Jahre entstanden ist. Aber auch danach wurde der Typ häufig errichtet. Das Innere der Bau- blöcke ist meist bebaut. Die verdichtete Ein- und Zweifamilienhausbebauung ist meist in größeren Städten, insbesondere in den alten Bundesländern zu finden.</i></p> | | |  |

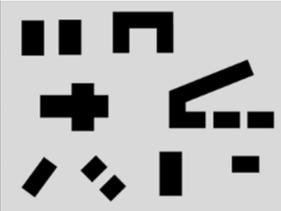
Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.6: Steckbrief zum BNT "Lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung"

| Lockere Ein-/Zweifamilienhausbebauung (EFH_locker) | |  | |
|---|--------------------------|---|---|
| Straßenmeter je Hektar | 73–124 | | |
| Geschosszahl | 1–2 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 30–40 |  | |
| Literaturkennwerte | | | |
| <i>Verdichtungstyp</i> | <i>gering verdichtet</i> | <i>moderat verdichtet</i> | <i>verdichtet</i> |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 30 | 41 | 41 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 6 | 8 | 8 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 112 | 97 | 132 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 106 | 93 | 132 |
| Geschossflächen- dichte | 0,15 | 0,2 | 0,2 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 24 | 36 | 47 |
| Versiegelungsgrad (%) | 32 | 47 | 57 |
| Straßenmeter je Hektar | 114 | 145 | 178 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 120 | 152 | 187 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p><i>Überwiegend geprägt von freistehenden Einfamilienhäusern, angeordnet in geringer Dichte. Teilweise auch kleinere, einzelne Mehrfamilienhäuser (z. B. Stadtvillen) mit sehr großen Gärten und Freiflächen, sodass die Einwohnerdichte über die Gesamtfläche sehr gering bleibt. Zumeist am Rand des Siedlungskörpers von Groß- und Mittelstädten oder in Kleinstädten gelegen.</i></p> | | |  |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.7: Steckbrief zum BNT "Dorfkern/Ortslage"

| Dorfkern/Ortslage (Dorf) | |  | |
|---|-------------------|---|---|
| Straßenmeter je Hektar | 90–99 | | |
| Geschosszahl | 1–4 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 45–55 | | |
| Literaturkennwerte | | | |
| Verdichtungstyp | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 30 | 30 | 41 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 5 | 5 | 7 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 85 | 84 | 93 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 62 | 84 | 86 |
| Geschossflächen- dichte | 0,15 | 0,15 | 0,2 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 30 | 38 | 53 |
| Versiegelungsgrad (%) | 51 | 59 | 72 |
| Straßenmeter je Hektar | 147 | 161 | 184 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 154 | 169 | 193 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p>Die gewachsene, traditionelle dörfliche Struktur zeichnet sich durch eine geringe Bebauungsdichte aus. Ein- und Zweifamilienhäuser sowie kleinere Mehrfamilienhäuser sind straßenbegleitend angeordnet, oder befinden sich freistehend auf großen Grundstücken. Die Grundstücke sind überdurchschnittlich oft landwirtschaftlich genutzt und mit Nebengebäuden bebaut, welche Nichtwohnaktivitäten dienen.</p> | | |  |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.8: Steckbrief zum BNT "Streusiedlung"

| Streusiedlung (Streu) | |  | |
|---|-------------------|---|------------|
| Straßenmeter je Hektar | 112–138 | | |
| Geschosszahl | 3–6 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 70–90 | | |
| Literaturkennwerte | | | |
| Verdichtungstyp | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 204 | 229 | 254 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 53 | 49 | 55 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 95 | 100 | 112 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 109 | 117 | 138 |
| Geschossflächen- dichte | 0,1 | 0,15 | 0,2 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | - | - | - |
| Versiegelungsgrad (%) | - | - | - |
| Straßenmeter je Hektar | - | - | - |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | - | - | - |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p><i>Streusiedlungen sind kleine Ansammlungen von Ein- und Zweifamilienhäusern und Gebäuden landwirtschaftlicher Nutzung. Sie liegen als Weiler oder straßenbegleitend abseits der Siedlungskörper. Sie zeichnen sich durch eine sehr geringe Siedlungsdichte aus und sind von landwirtschaftlich genutzten Flächen umgeben.</i></p> | |  | |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.9: Steckbrief zum BNT "Innerstädtische Mischbebauung"

| Innerstädtische Mischbebauung (Misch) | |  | |
|---|-------------------|---|---|
| Straßenmeter je Hektar | 112–138 | | |
| Geschosszahl | 3–6 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 70–90 | | |
| Literaturkennwerte (*Werte auf Basis der Literaturkennwerte für andere BNT geschätzt) | | | |
| Verdichtungstyp | gering verdichtet | moderat verdichtet | verdichtet |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 204 | 229 | 254 |
| Wohnungsdichte (Wohneinheiten / ha) | 53 | 49 | 55 |
| Kanalmeter / ha (Trinkwasser) | 95 | 100 | 112 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 109 | 117 | 138 |
| Geschossflächen- dichte | 1,2 | 1,3 | 1,4 |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 26 | 55 | 68 |
| Versiegelungsgrad (%) | 67 | 83 | 93 |
| Straßenmeter je Hektar | 148 | 185 | 219 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 155 | 194 | 230 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p>Geprägt durch eine vertikale und horizontale Nutzungsmischung aus Gewerbe- oder Einzelhandelsbetrieben, Büro- und Verwaltungseinrichtungen sowie Wohnnutzung. Meist in dichter Bauweise in Form von geschlossener Blockrandbebauung oder ähnlichen städtischen Baustrukturen im Stadt(teil-)zentrum.</p> | | |  |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Westphal 2008: 263ff.; Siedentop et al. 2006: 54-57, 107-109

Abbildung A.10: Steckbrief zum BNT "Industriegebiet"

| Industriegebiet (G_Indu) | |  | |
|---|------------|---|--|
| Straßenmeter je Hektar | 49–56 | | |
| ∅ Parzellengröße (ha) | 2,7 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 75–90 | | |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 1 | 6 | 12 |
| Versiegelungsgrad (%) | 41 | 74 | 80 |
| Straßenmeter je Hektar | 83 | 96 | 116 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 87 | 101 | 122 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p>Die meist in Stadtrandlage befindlichen Industriegebiete zeichnen sich durch eine hohe Bebauungsdichte und einen hohen Versiegelungsgrad aus. Dabei ist ihre Baustruktur geprägt von großflächigen Industrie- und Lagergebäuden, welche einzeln oder in kleineren Gruppen auf den großflächigen Grundstücken angeordnet sind. Oft sind Teile der technischen Anlagen von außen sichtbar.</p> | | |  |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Hillenbrand et al. 2016: 18ff.

Abbildung A.11: Steckbrief zum BNT "Logistikpark"

| Logistikpark (G_Logi) | | | |
|---|------------|--|------------|
| Straßenmeter je Hektar | 49–56 |  | |
| ∅ Parzellengröße (ha) | 2,4 |  | |
| Versiegelungsgrad (%) | 70–80 | | |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 0 | 1 | 2 |
| Versiegelungsgrad (%) | 67 | 77 | 89 |
| Straßenmeter je Hektar | 80 | 89 | 105 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 84 | 93 | 110 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p><i>Prägend sind die großen Lagerhallen und der hohe Versiegelungsgrad. Die großen Rangier- und Stellplatzflächen sind ebenso charakteristisch wie die verkehrsgünstige Lage am Stadtrand in der Nähe von Autobahnauffahrten.</i></p> | |  | |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Hillenbrand et al. 2016: 18ff.

Abbildung A.12: Steckbrief zum BNT "Kleinteiliges Gewerbegebiet"

| Kleinteiliges Gewerbegebiet (G_klein) | | | |
|--|------------|--|------------|
| Straßenmeter je Hektar | 87–101 |  | |
| ∅ Parzellengröße (ha) | 0,6 |  | |
| Versiegelungsgrad (%) | 65–75 | | |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 3 | 11 | 22 |
| Versiegelungsgrad (%) | 31 | 53 | 73 |
| Straßenmeter je Hektar | 76 | 106 | 151 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 80 | 111 | 159 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p><i>In diesem Gewerbe-BNT sind die zahlreichen kleineren Gebäude und Werkhallen in einer kleinteiligen, dispersen Siedlungsstruktur angeordnet. Auf den kleinen Parzellen, mit meist hohem Versiegelungsgrad, befinden sich oft Park- und Lagerflächen. Brach- und Freiflächen unterbrechen regelmäßig die Bebauung. Dienstleister und Werkstätten prägen die Branchenstruktur. Teilweise befinden sich auf den Parzellen auch einzelne Wohneinheiten.</i></p> | |  | |

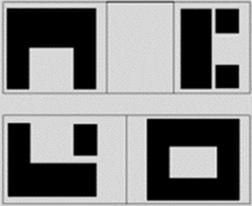
Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Hillenbrand et al. 2016: 18ff.

Abbildung A.13: Steckbrief zum BNT "Klassisches Gewerbegebiet"

| Klassisches Gewerbegebiet (G_klass) | | | |
|--|------------|--------|------------|
| Straßenmeter je Hektar | 64–75 | | |
| ∅ Parzellengröße (ha) | 1,9 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 75–85 | | |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 5 | 12 | 31 |
| Versiegelungsgrad (%) | 46 | 70 | 79 |
| Straßenmeter je Hektar | 83 | 118 | 148 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 87 | 124 | 155 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p><i>Neben dem produzierenden Gewerbe finden sich in diesem BNT vorwiegend Betriebe des großflächigen Einzelhandels sowie des Großhandels. Entsprechend großflächig sind die Produktionshallen und Verkaufsräume. Charakteristisch sind die großen Parkflächen und die verkehrsgünstige Lage.</i></p> | | | |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Hillenbrand et al. 2016: 18ff.

Abbildung A.14: Steckbrief zum BNT "Technologiepark"

| Technologiepark (G_Techno) | |  | |
|---|------------|--|------------|
| Straßenmeter je Hektar | 90–104 | | |
| ∅ Parzellengröße (ha) | 1,1 | | |
| Versiegelungsgrad (%) | 65–75 | | |
| Kennwerte Fallregion Reutlingen | | | |
| | 1. Quartil | Median | 3. Quartil |
| Einwohner je Hektar Brutto-Wohnbau- land | 1 | 10 | 35 |
| Versiegelungsgrad (%) | 26 | 31 | 62 |
| Straßenmeter je Hektar | 41 | 59 | 126 |
| Kanalmeter / ha (Schmutzwasser) | 43 | 62 | 132 |
| Kurzcharakterisierung | | | |
| <p>Dieser BNT ist geprägt durch meist freistehende Gebäudekomplexe, die Unternehmen aus FuE-Branchen sowie Dienstleistern Büror- und Laborräume bieten. Oft in hofbildender Block- oder U-Form angeordnet, oder als mehrgeschossige Punktbebauung umgesetzt. Technologie- und Wissenschaftsparks befinden sich zumeist in Stadtrandlage und weisen oft eine einheitliche Architektur auf.</p> | |  | |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlagen: Hillenbrand et al. 2016: 18ff.

Anhang B – Geodaten

Siehe Dateianhang, Ordner „Anhang B“:

- Geodatenbanken mit den Shapes der aufsummierten Schadensdaten je km² für Baden-Württemberg
- Geodatenbanken mit den Shapes der aufsummierten Versicherungs- und Schadensdaten je Kommune der Fallregion
- Geodatenbanken mit den Shapes der BNT-Flächen, einschließlich der Werte der Raumindikatoren und summierten Versicherungs- und Schadensdaten
 - *Anmerkung des Autors: Aus Gründen des Datenschutzes wurden bei den BNT mit den Identifikationsnummern 51, 129, 228 & 747 die Werte der Versicherungs- und Schadensdaten aus der Attributtabelle entfernt. Bei diesen BNT-Flächen könnten die Kennwerte einzelnen Gebäuden zugeordnet werden. In die Analysen in Kapitel 8 sind die Werte allerdings eingeflossen.*

Anhang C – Beschreibung der Arbeitsschritte bei der Analyse der Geodaten

C.1 Einbindung der IÖR-Daten in ArcGIS

Auf der Website des IÖR-Monitors werden über das Auswahlmü die Karten aufgerufen (vgl. Website IÖR-Monitor), die jeweils einen der drei Raumindikatoren, die in Kapitel 8 analysiert werden sollen, darstellen. Als räumliche Ebene wird das Raster von 100 m * 100 m ausgewählt. Anschließend können unter dem Reiter „Export“ die URL-Links zum Web Map Service (WMS) abgerufen werden. Diese Links ermöglichen es, die Rasterdaten der Raumindikatoren in die eigenen Analysen in ArcGIS einzubinden.

Dazu wird für die drei Indikatoren jeweils der Rasterbildausschnitt der Fallregion in ArcGIS mit der Toolbox *Raster to Point* in ein Punktshape umgewandelt. Die Toolbox wandelt jedes Pixel in einen georeferenzierten Punkt um, der die Attributeigenschaften des Pixels enthält. Anschließend können die Attributeigenschaften des erstellten Punktshapes über das Werkzeug *Spatial join* auf ein zuvor vorbereitetes Rasterflächen-Shape (Toolbox *Create Fishnet*) übertragen werden. Das bedeutet, dass die Attributeigenschaften jedes Punktes anhand der georeferenzierten Position³² auf die an dieser Stelle liegende Polygonfläche der Abmessung 100 m * 100 m übertragen wird. Auf diesem Wege werden die als Rasterbild vorliegenden Daten des IÖR-Monitors in ein Shape, aus in Rastern angeordneten Polygonen, umgewandelt, die für die weiteren Analysen verwendet werden können. Alle drei Raumindikatoren werden zusammen in die Attributtabelle einer Shape-Datei geschrieben.

C.2 Verschneidung der Rasterzellen und BNT

Wie in Kapitel 7.4 beschrieben, stimmt der räumliche Zuschnitt der Raumindikatoren, die für Rasterzellen vorliegen, nicht mit dem Zuschnitt der BNT-Flächen überein. Damit die Raumindikatoren in Analysen auf der räumlichen Ebene der BNT verwendet werden können, müssen die Raumindikatoren auf die BNT-Flächen umgerechnet werden.

Dazu werden die BNT-Flächen mittels *Intersect*-Werkzeug mit den Rasterflächen verschnitten, sodass sich für jede Kombination aus räumlich überlagerter Rasterfläche und BNT-Fläche ein einzelnes Polygon ergibt, das sowohl die Attribute des jeweiligen BNT, als auch der Rasterfläche mit den räumlichen Indikatoren beinhaltet (siehe Abbildung A.15c). Anhand der Flächenanteile der einzelnen Teilstücke an der jeweiligen Rasterfläche konnten nun die Indikatorwerte für jede Teilfläche berechnet werden. Dabei musste jedoch berücksichtigt werden, dass nicht alle Rasterflächen vollständig bebaut sind bzw. nicht vollständig von BNT-Flächen überdeckt werden (siehe z. B. den Vegetationsstreifen rechts in A.15). Eine einfache Berechnung des Flächenanteils jeder Teilfläche an dem Hektar Rasterfläche würde in vielen Fällen dazu führen, dass aufgrund unbebauter Flächen innerhalb der Rasterflächen nicht alle Einwohner auf die BNT-Flächen verteilt würden.

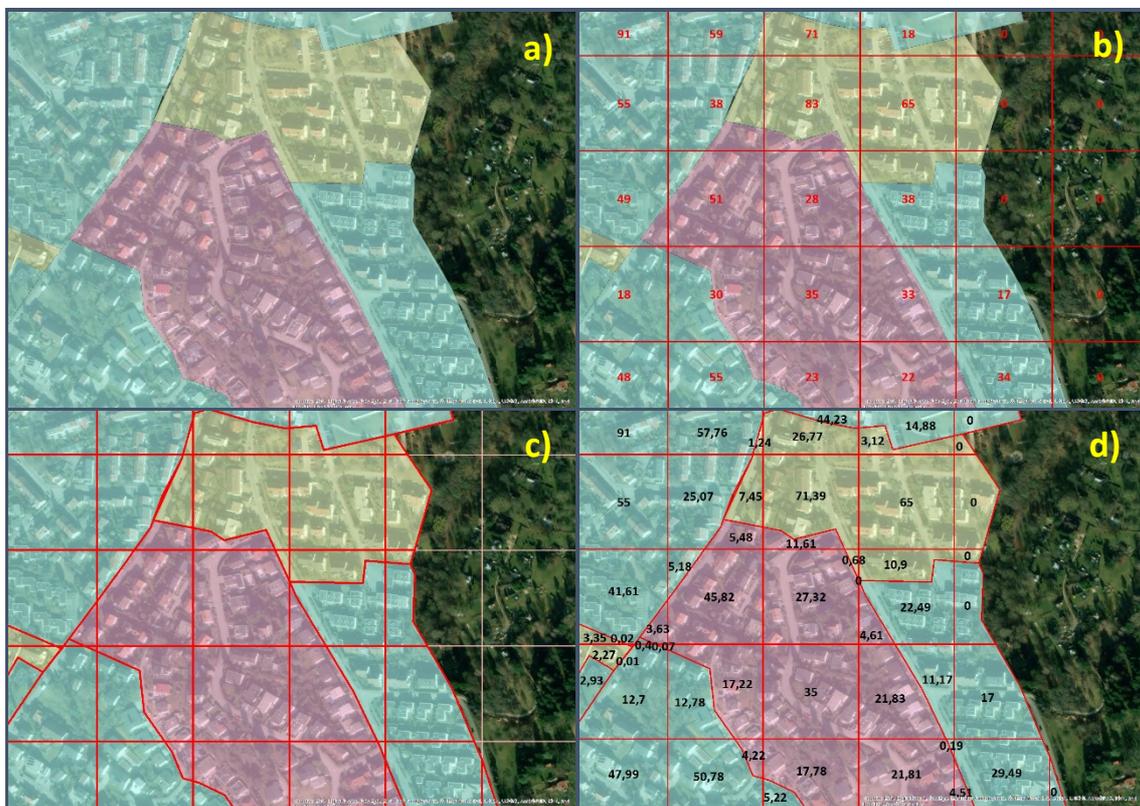
Um dieser Herausforderung zu begegnen, muss zunächst berechnet werden, wie viel Fläche einer jeden Rasterzelle bebaut ist bzw. von BNT-Flächen überdeckt wird. Dazu werden im GIS mit dem *Summarize*-Befehl die Flächen aller innerhalb einer Rasterzelle gelegenen BNT-Teilflächen anhand der individuellen Rasterflächen-Identifikationsnummer (ID) aufsummiert. Die Ergebnistabelle wird wiederum anhand der Raster-ID mit dem Raster-Shape „GRID_BNT_intersect“ verknüpft (*join*-Befehl), sodass jeder Teilfläche in der neuen Spalte „SumBNT_FI“ die Summe der gesamten BNT-Fläche

³² Das im Rahmen dieser Arbeit verwendete Koordinatensystem ist: ETRS 1989 LAEA

in m² für das jeweilige Raster zugeordnet werden kann. So kann anschließend der Flächenanteil der Teilfläche an der Summe der BNT-Flächen je Rasterzelle durch Division berechnet und in die Zellen der Spalte „FlAnt_gew“ eingetragen werden.

Der sich ergebende Dezimalwert wird anschließend mit der Bewohnerzahl der jeweiligen Rasterzelle (Spalte „Bev11“) multipliziert, um die geschätzte Bewohnerzahl je Teilfläche zu erhalten (siehe Abbildung A.15d). Einige Stichproben ergaben, dass durch dieses Verfahren alle Bewohner einer Rasterzelle vollständig auf die BNT-Teilflächen verteilt werden. Da es sich bei dem ermittelten Flächengewichtungsfaktor um einen Dezimalwert handelt, ergeben sich für die Bewohnerwerte je Teilfläche meist ebenfalls Dezimalwerte. Dies ist in der Realität wenig sinnvoll, da es beispielsweise keine 7,43 Einwohner auf einer Fläche geben kann. Allerdings handelt es sich nur um Hilfwerte, die im weiteren Verlauf der Analysen und Modellierungen in unterschiedlicher Art und Weise aufsummiert oder als Faktoren oder Divisor weiterverwendet werden. Daher erfolgt an dieser Stelle keine Rundung der Werte und auch kein Randsummenabgleich.

Abbildung A.15: Verknüpfung der IÖR-Indikatorwerte mit den BNT in vier Schritten (a-d)



Quelle: eigene Darstellung; Geobasisdaten: Geobasis-DE/BKG 2017

Für die Indikatoren Versiegelungsgrad und Straßenmeter je ha stellt sich die Berechnung der konkreten Werte je Teilfläche etwas anders dar, als bei der Bevölkerungszahl. Da größere Verkehrsflächen wie Autobahnen oder Gleisanlagen nicht in die BNT-Abgrenzungen einbezogen wurden, sich aber auf die Indikatoren Straßenmeter je ha und Versiegelungsgrad auswirken, kann das auf die Bevölkerungszahl angewendete Verteilungsverfahren auf diese beiden Indikatoren nicht angewendet werden. Es würde zu einer Überschätzung der Indikatorwerte führen, sodass beispielsweise Versiegelungsgrade über 100 % auf einzelnen Teilflächen erreicht werden könnten. Der Versiegelungsgrad jeder Teilfläche wird daher berechnet, indem der Indikatorwert (Versiegelungsgrad je ha in %) durch 100 dividiert (um ihn auf den Dezimalwert umzurechnen) und mit der Fläche in m² der

jeweiligen Teilfläche multipliziert wird. Das Ergebnis ist ein Kennwert, der angibt, wie viele m² des jeweiligen Teilstücks versiegelt sind (Spaltenname: „gew_Vsgl“). Zur Berechnung der Straßenmeter je Teilfläche wird der ermittelte Kennwert mit dem einfachen Flächenanteil der Teilfläche an einer Rasterzelle (Teilfläche in m²/10.000 m²) multipliziert. Diese beiden Vorgehensweisen liefern zwar zu niedrige Indikatorwerte für die bebauten Teilflächen, wenn der Rest einer Rasterzelle tatsächlich unbebaut ist, vermeidet aber Versiegelungsgrade über 100 % oder extrem hohe Indikatorwerte, wenn eine BNT-Teilfläche nur einen sehr geringen Flächenanteil an einer Rasterfläche hat und der Rest der Rasterfläche mit Verkehrsflächen überbaut ist, die nicht durch BNT erfasst sind.

Das Verfahren wird in ähnlicher Vorgehensweise auch für den Indikator der Straßenmeter je ha angewendet. Allerdings erfolgt zu Beginn keine Division des Indikatorwertes durch 100. Der jeder Teilfläche zugeordnete Indikatorwert der jeweiligen Rasterzelle wird mit dem einfachen Flächengewichtungsfaktor der Teilfläche multipliziert, um die anzunehmenden Straßenmeter je Teilfläche zu bestimmen (Spaltenname: „gew_StDi“).

C.3 Import der Versicherungs- und Schadensdaten in ArcGIS und Verknüpfung mit BNT-Kennwerten

Nachdem die Versicherungs- und Schadensdaten in SPSS importiert wurden und dort der Schadenindikator *Schadensquotient* berechnet wurde, sind die Daten für die weiteren Analysen in das GIS zu importieren. Dazu werden sie zunächst aus SPSS in das CSV-Format exportiert und anschließend in die Software ArcGIS importiert. Dort wird anhand der in der Attributtabelle hinterlegten X-Y-Koordinaten je Versicherungsobjekt mit dem Werkzeug *Make XY Event-Layer* ein Punkt-Layer erstellt und dieser anschließend als Punkt-Shape gespeichert. Das Punkt-Shape wird ebenfalls mit dem Koordinatensystem „ETRS_1989_LAEA“ georeferenziert. Eine Stichprobenprüfung in unterschiedlichen Bereichen bestätigte anschließend die korrekte und unverzerrte Lage des Punkt-Shapes. Nach einigen allgemeinen Analysen des Gesamtdatensatzes (siehe Kapitel 6.1 und 6.2) werden per *Cut*-Befehl die Punkte innerhalb der Fallregion aus dem restlichen Datensatz exportiert. Anschließend werden die Attributtabelle der BNT-Flächen, in denen die Punkte liegen und die jeweils die spezifischen Kennwerte der Raumindikatoren beinhalten (siehe Kapitel 7.4), per *Spatial join* mit den Punktshapes der einzelnen Schadensfälle verknüpft. Dies stellt die Grundlage für die objektbezogenen Analysen in Kapitel 8 dar.

Im Hinblick auf die Aufsummierung der Versicherungs- und Schadenssummen je BNT-Fläche (siehe Anhang B) werden die Punkt-Shapes der Versicherungs- und Schadensdaten per *Spatial join* mit den BNT-Flächen verknüpft, in denen sie liegen. Dabei werden die Versicherungs- und Schadenssummen aller Einzelobjekte aufsummiert.

Anhang D – Versicherungsdaten

Siehe Dateianhang, Ordner „Anhang D“:

- MS Excel-Datei „Versicherungsdaten_Übersicht“: Mittelwerte, Summen und statistische Lagemaße der Versicherungs- und Schadensdaten aggregiert nach Jahren (Gesamtdatensatz)
- MS Excel-Datei „Versicherungsdaten Fallregion“: Aggregierte Versicherungs- und Schadenswerte der Fallregion (nur Hagelsturmversicherungen)
- SPSS-Datei „RegR_Hagelsturmversicherungen2012“: Versicherungsdaten der Versicherungsobjekte in der Fallregion zum 31.12.2012, anonymisierter Datensatz [Sperrvermerk zu beachten!]
- SPSS-Datei „Schadensdaten_Hagelsturm von Reutlingen“: aufbereiteter und anonymisierter Datensatz der Objektschäden in der Fallregion für den Hagelsturm von Reutlingen (28.07.2013), einschließlich zugeordneter BNT-Flächen und Raumindikatoren [Sperrvermerk zu beachten!]

Sperrvermerk: Die beiden SPSS-Dateien des Anhangs D sind aus Datenschutzgründen durch die SV Sparkassenversicherung Gebäudeversicherung ausschließlich zu Prüfungszwecken für die vorliegende Arbeit freigegeben. Eine davon abweichende Nutzung ist nicht gestattet. In der veröffentlichten Version dieser Arbeit entfallen diese Dateien.

D.1 Auflistung der Spaltenbezeichnungen in der Versicherungs- und Schadensdatenbank sowie Beschreibung der Informationen

Die in den Rohdatensätzen der Bestandsdaten der Gebäudeversicherungen sowie der Schadensdaten vorhandenen Informationen sind zuzüglich der zugehörigen Spaltenbeschriftung in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Informationen, die für die vorliegende Arbeit irrelevant sind (z. B. Identifikationsnummer der Versicherung), sind in der Tabelle nicht aufgeführt.

Informationen, die sich im Laufe der Analysen als nicht weiter relevant herausgestellt haben, wurden aus den oben angeführten Dateien entfernt, um den Speicherbedarf der Dateien zu reduzieren.

Tabelle A.1: Informationen der Bestands- und Schadensdatenbank

| Information | Spaltenbezeichnung |
|--|--|
| Bestandsdaten | |
| Versicherungssumme des Objekts nach Gleitendem-Neuwertfaktor | B_VS_GLNW_END |
| Versicherungssumme des Objekts nach Baukostenindex | B_VS_BKI_END |
| Selbstbehalt des Versicherungsnehmers | B_SB_BETRAG |
| Jahreshöchstentschädigung | B_JHE_BETRAG |
| Höchstentschädigung je Schadensfall | B_HE_BETRAG |
| Art des Versicherungsnehmers (privat, gewerblich, öffentlich) | B_RISIKOART |
| Kategorie des versicherten Gegenstands (Gebäude, Inhalt, Betriebsunterbrechung) | B_DECKUNGSART |
| Baujahr des Objekts (unregelmäßig ausgefüllt) | B_BAUJAHR |
| Angaben zur Nutzung des Gebäudes (privat, gewerblich, öffentlich) | B_NUTZUNGSART |
| Bauart des Gebäudes in 9 Klassen (sehr unregelmäßig ausgefüllt) | B_BAUARTKLASSE |
| Anzahl der Geschosse (sehr unregelmäßig ausgefüllt) | B_ANZAHL_GESCHOSSE |
| Ausbaustufe des Dachgeschosses in 5 Klassen (sehr unregelmäßig ausgefüllt) | B_DACHGESCHOSS |
| Ausbaustufe des Kellers in 5 Klassen (sehr unregelmäßig ausgefüllt) | B_KELLER |
| Lage des Objekts nach ZÜRS-Zonierung ³³ | B_ZONE_ZUERS |
| Lage des Objekts nach GDV-Sturmzonen ³⁴ | B_ZONE_STURM_S |
| Schadensdaten | |
| Eindeutige Schadensereignisnummer von Massenelementar-Ereignissen | SCHADENSEREIGNISNUMMER |
| Datum des Schadensereignisses | SCHADENSEREIGNISDATUM |
| Schadensursache (nach verschiedenen Kategorien) | RISIKOBEREICHSBEZEICHNUNG & URSACHE (größere Kategorisierung) |
| Gesamtschadenssumme (ausgezählte Summe + Reserven) | GESAMTSCHADENAUFWAND |
| Anzahl der Einzelschäden (i.d.R. = 1; kann z. B. bei Wohnungsbaugenossenschaften aber auch höher sein) | ANZAHL_EINZELSCHÄDEN |

Quelle: eigene Darstellung

³³ ZÜRS = Zonierungssystem für Überschwemmungen, Rückstau und Starkregen

³⁴ Der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) hat ein Zonierungssystem für Sturmrisiken entwickelt, bei dem jede Postleitzahl einer von zwei Sturmzonen zugeordnet wird, wobei Objekte in Zone 2 einem höheren Sturmrisiko unterliegen als in Zone 1

Anhang E – Empirische Ergebnisse der Versicherungs- und Schadensdaten

E.1 Berechnung des Umrechnungsfaktors der Wohnfläche auf die Geschossfläche

Als Grundlage zur Bestimmung der Geschossfläche je Gebäude in Kapitel 8.1 kann die Wohnfläche je Gebäude berechnet werden. Da sich die Geschossfläche neben der Wohnfläche auch aus Flächen zusammensetzt, die nicht zum Wohnen genutzt werden (z. B. Flure), wird ein Umrechnungsfaktor benötigt. Dieser Umrechnungsfaktor wird auf Basis der bei SIEDENTOP ET AL. angegebenen Faktoren zur Ermittlung des Nettowohnbaulandes aus der Strukturtypenfläche berechnet (vgl. Siedentop et al. 2006: 66). In der Literaturquelle werden Flächenanteile für das Nettowohnbauland sowie für „Nichtwohnnutzung in Wohngebäuden“ (ebd.) angegeben. Vereinfachend wird angenommen, dass der Flächenanteil des Nettowohnbaulandes mit dem Anteil der Wohnfläche gleichgesetzt werden kann und sich zusammen mit den Flächen der Nicht-Wohnnutzung die Grundfläche der Gebäude (entsprechend der Außenmaße) ergibt. Demzufolge kann aus den beiden Kennwerten der Faktor berechnet werden, der auf die anzunehmende Wohnfläche anzuwenden ist, um die Geschossfläche zu berechnen (siehe Tabelle A.).

Tabelle A.2: Berechnung des Umrechnungsfaktors von Wohnfläche auf Geschossfläche

| BNT (Kurzbezeichnung) | Anteil Nettowohn- bauland an Strukturtypenfläche | Anteil Nicht-Wohn- nutzung in Wohnge- bäuden | Umrechnungsfaktor der Wohnfläche auf die Geschossfläche |
|----------------------------------|---|---|--|
| Block | 45 % | 15 % | 1,333 |
| Zeile | 60 % | 5 % | 1,083 |
| Platte | 70 % | 5 % | 1,071 |
| MFH | 70 % | 5 % | 1,071 |
| EFH_dicht | 70 % | 5 % | 1,071 |
| EFH_locker | 70 % | 5 % | 1,071 |
| Dorf | 25 % | 10 % | 1,4 |
| Misch | 45 %* | 15 %* | 2,666* |

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: Siedentop et al. 2006: 66; *geschätzte Werte

Der Faktor ergibt sich aus der Division des Anteils des Nettowohnbaulandes durch die Summe der beiden Flächenanteile. Exemplarisch wird vereinfachend für den BNT Zeilenbebauung von einer Wohnung von 60 m² ausgegangen, für die entsprechend 5 m² Nicht-Wohnfläche anzunehmen sind. Der Quotient aus 60 m² und 65 m² beträgt 1,083. Multipliziert man eine Wohnfläche von 60 m² mit dem Umrechnungsfaktor 1,083 erhält man eine Geschossfläche von rund 65 m².

Für den BNT „innerstädtische Mischbebauung“ werden die gleichen Flächenanteile wie beim BNT „Traditionelle Blockrandbebauung“ angenommen. Der sich ergebende Umrechnungsfaktor wird allerdings verdoppelt, da aufgrund der Definition des BNT in Kapitel 7.2.1 anzunehmen ist, dass in den Gebäuden zu gleichen Teilen Wohn- und Gewerbeflächen vorhanden sind. Dementsprechend ist die auf Basis der Wohnfläche anzunehmende Geschossfläche zu verdoppeln.

E.2 Weitere Auswertungen der Schadensdaten

Tabelle A.3: Korrelationsanalyse auf Grundlage der Schadensfälle mit einem Schadensquotienten innerhalb des Interquartilsbereichs

| | | | Schadensquotient je Objekt (in %) | Schaden / qm Geschossfläche | Einwohner je ha BNT-Fläche | Straßenmeter je ha BNT-Fläche | Versiegelungsgrad (in %) | Baujahr |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------|
| Spearman-Rho | Schadensquotient je Objekt (in %) | Korrelationskoeffizient | 1,000 | ,370** | ,004 | ,006 | ,004 | -,014 |
| | | Sig. (2-seitig) | . | ,000 | ,703 | ,537 | ,672 | ,171 |
| | | N | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 |
| Schaden / qm Geschossfläche | Schaden / qm Geschossfläche | Korrelationskoeffizient | ,370** | 1,000 | ,001 | ,088** | -,096** | ,140** |
| | | Sig. (2-seitig) | ,000 | . | ,928 | ,000 | ,000 | ,000 |
| | | N | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 |
| Einwohner je ha BNT-Fläche | Einwohner je ha BNT-Fläche | Korrelationskoeffizient | ,004 | ,001 | 1,000 | ,372** | ,484** | -,067** |
| | | Sig. (2-seitig) | ,703 | ,928 | . | ,000 | ,000 | ,000 |
| | | N | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 |
| Straßenmeter je ha BNT-Fläche | Straßenmeter je ha BNT-Fläche | Korrelationskoeffizient | ,006 | ,088** | ,372** | 1,000 | ,504** | -,066** |
| | | Sig. (2-seitig) | ,537 | ,000 | ,000 | . | ,000 | ,000 |
| | | N | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 |
| Versiegelungsgrad (in %) | Versiegelungsgrad (in %) | Korrelationskoeffizient | ,004 | -,096** | ,484** | ,504** | 1,000 | -,071** |
| | | Sig. (2-seitig) | ,672 | ,000 | ,000 | ,000 | . | ,000 |
| | | N | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 |
| Baujahr | Baujahr | Korrelationskoeffizient | -,014 | ,140** | -,067** | -,066** | -,071** | 1,000 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,171 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | . |
| | | N | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 | 9854 |

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: SV AG

Tabelle A.4: Korrelationsanalyse zwischen der Geschossfläche je Objekt und dem Schadensquotient

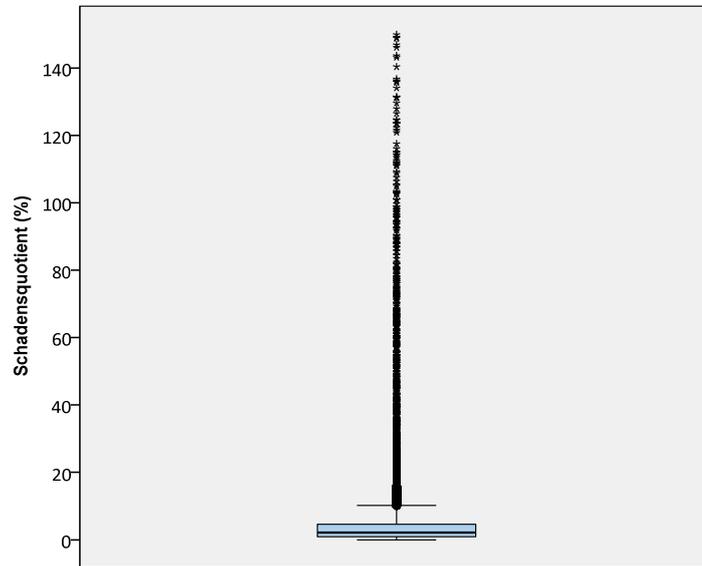
| | | | Schadensquotient (%) | Geschossfläche in m ² |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Spearman-Rho | Schadensquotient (%) | Korrelationskoeffizient | 1,000 | -,020** |
| | | Sig. (2-seitig) | . | ,005 |
| | | N | 19708 | 19708 |
| Geschossfläche in m ² | Geschossfläche in m ² | Korrelationskoeffizient | -,020** | 1,000 |
| | | Sig. (2-seitig) | ,005 | . |
| | | N | 19708 | 19708 |

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Quelle: eigene Darstellung; Datengrundlage: SV AG

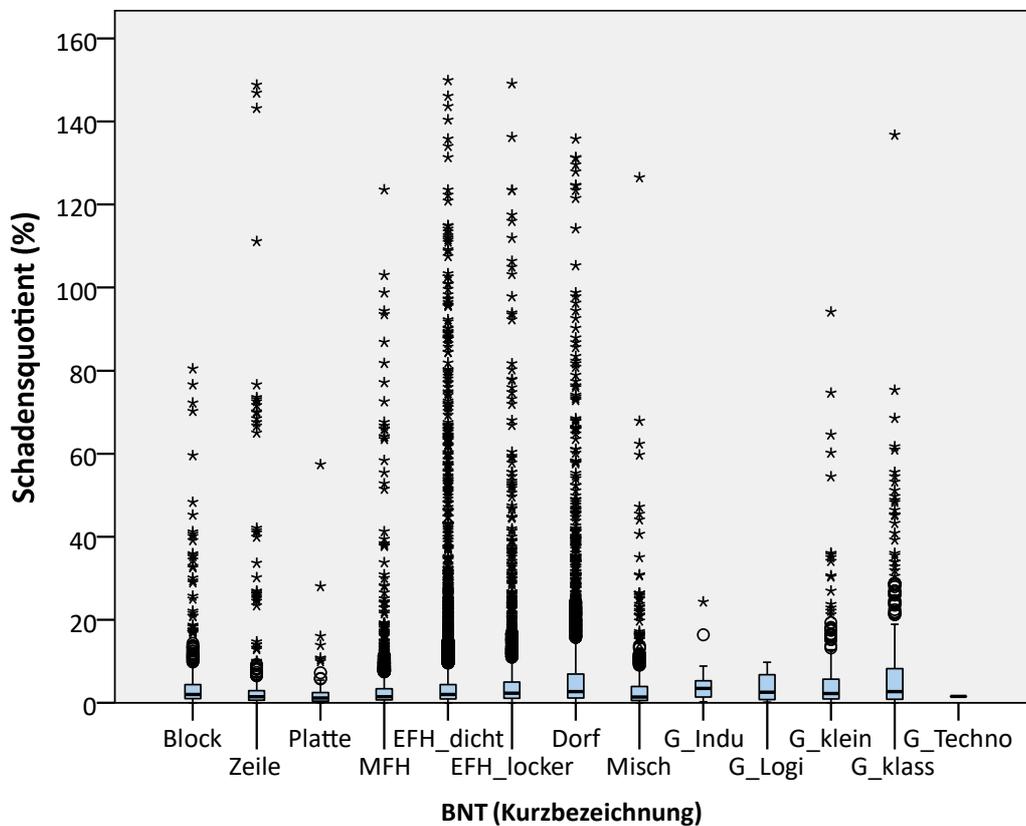
E.3 Vollständige Graphen des Kapitels 8

Abbildung A.16: Vollständiger Boxplot der Schadensquotienten der Sturm- und Hagelschäden in der Fallregion (zu Abb. 66)



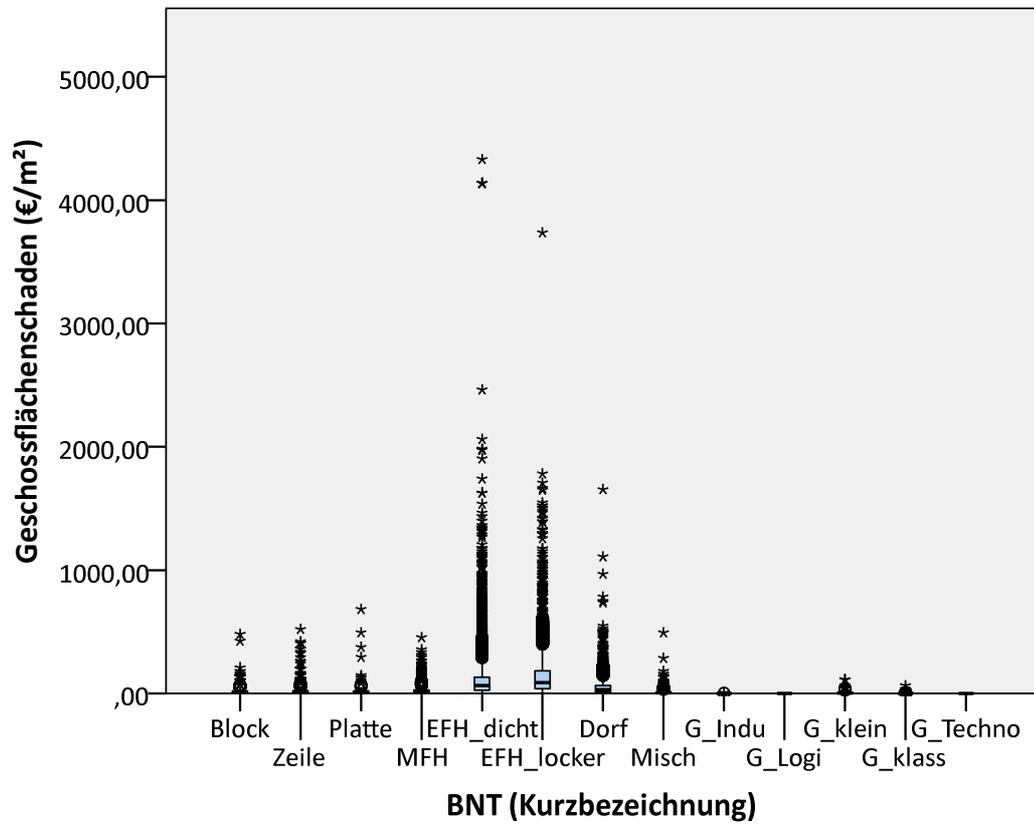
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: SV AG

Abbildung A.17: Vollständige Boxplots der Schadensquotienten nach BNT (zu Abb. 70)



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: SV AG

Abbildung A.18: Vollständige Boxplots der Geschossflächenschäden nach BNT (zu Abb. 71)



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung; Datengrundlage: SV AG

Anhang F – Abwasserinfrastrukturkostenmodell

Siehe Dateianhang, Ordner „Anhang F“:

- Ordner „Datengrundlagen“: statistische Datengrundlagen des Modells
- MS Excel-Datei „Abwasserinfrastrukturkostenmodell“
- SPSS-Datei „Modellergebnisse“: modellierte Entwicklung der fiktiven Abwassertarife sowie Index- und z-Werte

Anmerkung: Grundlage der Erläuterungen in den nachfolgenden Abschnitten ist die MS Excel-Datei mit dem Abwasserinfrastrukturkostenmodell.

F.1 Umrechnung der Altersstruktur für das Kohorten-Komponenten Modell und Berechnung der Raten der Komponenten der Bevölkerungsentwicklung

In den verschiedenen Datengrundlagen, die für die Bevölkerungsvorausberechnung verwendet werden, stimmen die Abgrenzungen der Altersgruppen zum Teil nicht überein. Die auf Kreisebene verfügbaren Daten zur Altersstruktur sind weiter ausdifferenziert, als auf kommunaler Ebene. Daher werden als Hilfswerte sogenannte „Intragruppenanteile“ berechnet. Das heißt beispielsweise, dass für die Altersgruppe der unter 3-Jährigen aus der, auf Kreisebene vorliegenden, Altersstruktur nach Altersjahren die Anteile der Einwohnerzahl der einzelnen Altersjahre an der Gesamteinwohnerzahl der jeweiligen Altersgruppe berechnet werden (siehe Tabellenblatt „Altersstruktur“, Zelle Q54ff.). Dafür wird aus den Altersstrukturen der drei an der Fallregion beteiligten Kreise bevölkerungsgewichtet eine gemeinsame Altersstruktur der Fallregion berechnet (siehe Zelle M55ff.). Aus den Intragruppenanteilen kann durch Multiplikation mit der Einwohnerzahl der jeweiligen Altersgruppen aus den Kommunen der Fallregion der theoretisch anzunehmende Besatz jedes Altersjahres in den Kommunen berechnet werden (siehe Zelle BF2ff.). Auf dieser Basis können die altersjahrgangsspezifischen Daten zu neuen Altersgruppen zusammengefasst werden, so auch zu den angestrebten 5er-Altersgruppen. Rundungen aufgrund der sich ergebenden Dezimalzahlen werden im gesamten Modell erst am Ende in der Ergebnisausgabe bzw. der Ergebnisdarstellung durchgeführt, um den Einfluss von Rundungsfehlern möglichst zu minimieren.

Die Zahlen der Geburten- und Sterbefälle liegen altersdifferenziert nur auf Kreisebene vor, dafür aber bereits in die im Modell verwendeten 5er-Altersgruppen eingeteilt. Dividiert durch die vorliegenden Einwohnerzahlen nach Altersgruppe und Geschlecht, können für die drei Kreise altersgruppenspezifische Geburten- und Sterberaten berechnet werden. Um den Einfluss von Ausreißern auf die Ratenbildung zu reduzieren, wird jeweils die durchschnittliche Rate der Basisjahre 2014–2016 berechnet (siehe Tabellenblätter „Fertilität“ und „Mortalität“ im Modell).

Die Wanderungsstatistik liegt für die Kommunen der Fallregion lediglich differenziert nach sechs Altersgruppen vor, die unterschiedlichen Lebensphasen entsprechen: Kinder und Jugendliche (0–unter 18 Jahre), junge Erwachsene/Studierende (18–unter 25 Jahre), Erwachsene (25–unter 30 Jahre), Familien (30–unter 50 Jahre), fortgeschrittenes Erwachsenenalter (50–unter 65 Jahre) und Senioren (65 Jahre und mehr). Die Altersgruppen stimmen nicht mit den, in der Modellierung verwendeten, 5er-Altersgruppen überein. Zwar liegen auf Kreisebene Wanderungsdaten für eine weiter ausdifferenzierte Altersstruktur vor, doch ist die Verwendung der Daten auf Kreisebene in diesem Fall nicht angebracht, da die Daten auf dieser Ebene die intraregionalen Wanderungen

zwischen den Kommunen der Fallregion nicht berücksichtigen würden. Wie auch schon bei der Anpassung der Altersstruktur an die 5er-Altersgruppen, wird die als Divisor verwendete Altersstruktur an die aufgeführten Altersgruppen angepasst, um so die Wanderungsraten der Jahre 2013–2016 zu berechnen und daraus den Durchschnitt zu bilden (siehe Tabellenblatt „Wanderungen“, Zelle A130ff.). Aufgrund der hohen Flüchtlingszuwanderung ab 2015 wird im Fall der Migration ein viertes Basisjahr zur Ratenbildung herangezogen. Jedweder Versuch der weiteren Ausdifferenzierung der Wanderungsquoten in kleinere Altersgruppen wäre spekulativ und lässt eine geeignete Datengrundlage vermissen. Daher ist die einzig mögliche Vorgehensweise, die Wanderungsraten der sechs Altersgruppen der Wanderungsstatistik jeweils auf alle 5er-Altersgruppen zu übertragen, die den Altersgruppen der Wanderungsstatistik zuzuordnen sind (siehe Zelle A131ff.). Legt man die Annahme zugrunde, dass es sich bei den Altersgruppen der Wanderungsstatistik um Altersgruppen handelt, die eine bestimmte Lebensphase in der Normalbiographie einer Person darstellen, so kann für diese Altersgruppen auch ein ähnliches Wanderungsverhalten unterstellt werden. Im Grenzfall der 5er-Altersgruppe der *15–unter 20-Jährigen* wird entsprechend der Intragruppenanteile (s. o.) anteilig die Wanderungsquoten der *unter 18-Jährigen* und der *18–unter 25-Jährigen* angewendet.

F.2 Berechnung der Altersstruktur auf BNT-Ebene

Im Tabellenblatt „Bevölkerungsfortschreibung“ erfolgt ab Zeile 31 die Berechnung der Bevölkerungsentwicklung auf BNT-Ebene durch Anwendung der altersgruppenspezifischen, relativen Bevölkerungsentwicklung auf den Bevölkerungsbesatz der BNT-Flächen. Dieser Bevölkerungsbesatz beruht, je nach Auswahl durch den Nutzer, auf den Realdaten der Fallregion, die auf Grundlage der Daten des IÖR-Monitors ermittelt wurden, oder auf Literaturkennwerten. Ohne zusätzliche Eingaben werden für alle BNT die Anteile der einzelnen Altersgruppen an der Gesamtbevölkerung (relative Altersstruktur) auf den Bevölkerungsbesatz der BNT-Flächen angewendet, um so die Altersstruktur für alle Flächen jedes BNT zum Ausgangszeitpunkt 2016 bestimmen. Sofern Abweichungen zur kommunalen Altersstruktur bekannt sind, können diese für jeden BNT als Faktorwerte auf die relative Altersstruktur im Ausgangsjahr eingegeben werden (siehe Zelle F32ff.). Anzumerken ist, dass bei Anwendung der Realdaten aus dem IÖR-Monitor der Bevölkerungsbesatz der BNT-Flächen dem Stand des Zensus vom Mai 2011 entspricht, die Bevölkerungsmodellierung aber mit dem 31.12.2016 beginnt. Die real anzunehmende, kleinräumige Bevölkerungsentwicklung zwischen diesen beiden Zeiträumen kann auf Basis der verfügbaren Daten nicht berechnet werden. Als einzige mögliche Annäherung wird daher die relative Bevölkerungsentwicklung der jeweiligen Kommune zwischen dem Zensusstand zum 09.05.2011 und dem Stand der Bevölkerungsfortschreibung zum 31.12.2016 auf den Bevölkerungsbesatz nach Zensusdaten angewendet, um so den anzunehmenden Bevölkerungsbesatz der BNT-Flächen zum Ausgangszeitpunkt der Modellierung am 31.12.2016 zu erhalten (siehe Spalte R „Bev_16“ in Tabellenblatt „BNT_Flaechen“).

F.3 Einstellungsmöglichkeiten und Nutzung des Modells

Die zentralen Einstellungen des Modells können im Tabellenblatt „Konfigurator“ vorgenommen werden. Dort werden alle Einstellungsoptionen zusammengeführt, die für die vorgesehenen Anwendungsfälle ausreichend sind. Sollen spezifischere Änderungen am Modell vorgenommen werden, insbesondere die Erstellung und Konfiguration von Szenarien, so ist dies in den entsprechenden Zellen in den weiteren Tabellenblättern möglich.

Tabelle A.5: Erläuterung der Farbcodierung im Modell

| Farbe | Bedeutung |
|-------------------|--|
| Orange | Zelle, die eine Einstellungsoption bietet. Der Nutzer kann per Drop-down Liste oder Eingabe eine Auswahl zur Konfiguration der Modellierung treffen. |
| Hellgrau | Zellen, die Zwischenergebnisse beinhalten. Da die Zellen Formeln enthalten sollten sie nicht überschrieben werden. |
| Dunkelgrau | Zelleneinfärbung dient der Übersichtlichkeit (Struktur, Hervorhebung von Überschriften) |
| Grün | Zellen, die aufgrund der aktuellen Konfiguration des Modells wichtige Kennwerte enthalten, die in die Modellierung einfließen. |
| Hellrot | Wichtige Zwischenergebnisse zum weiblichen Bevölkerungsstand. Sollte nicht überschrieben werden. |
| Hellblau | Wichtige Zwischenergebnisse zum männlichen Bevölkerungsstand. Sollte nicht überschrieben werden. |
| Dunkelrot | Hinweis auf einen Fehler in der Rechnung, der eine Änderung durch den Nutzer erfordert. (erscheint nur im Falle eines solchen Fehlers) |
| Gelb | Erläuterungen zu Daten, Rechenschritten oder Zwischenergebnissen. Auch zur Markierung hinterlegter Literaturkennwerte. |
| Violett | Schätzwerte |
| Weiß | Enthalten Datengrundlagen, die zur Berechnung verwendet werden. Können überschrieben werden, sofern aktuellere/genauere Daten vorliegen. |

Quelle: eigene Darstellung

Grundsätzlich ist bei der Verwendung des Tools zu beachten, dass die in Tabelle A.5 dargestellte Farbcodierung verwendet wird, um dem Nutzer den Umgang mit dem Tool und das Erkennen relevanter Zellen zu erleichtern.

Im Konfigurator ist zunächst die Kommune auszuwählen, für die die Modellierung durchgeführt werden soll (siehe Zelle B3). Es besteht auch die Option die gesamte Fallregion auszuwählen, sodass die Bewohner und BNT-Flächen aller Kommunen der Fallregion in die Rechnung einfließen.

Direkt darunter finden sich die Einstellungsoptionen des Bevölkerungsmodells (Zelle A7ff.). Für die vier Komponenten der Bevölkerungsentwicklung können gesondert nach Geschlecht und für vier Zeitspannen (jeweils 20–25 Jahre) per Drop-Down-Menü die vordefinierten Teilszenarien ausgewählt werden, die dann umgehend als Faktoren auf die jeweiligen Raten der Komponenten wirken. Voreingestellt ist für alle Komponenten und Zeiträume das Szenario „Status quo“ das in Form des Faktors 1 von einer Stagnation der Raten der Komponenten ausgeht. Generell wird im gesamten Modell beim Szenario „Status quo“ von einer unveränderten Fortschreibung der jeweiligen Kennwerte mit dem Faktor 1 ausgegangen.

Die vier Zeiträume, für die Szenarien eingestellt werden können, wurden unter der Prämisse ausgewählt, sich ändernde Szenarioannahmen im Zeitverlauf des gesamten Modellierungszeitraums abbilden zu können. Gleichzeitig soll sich der Einstellungsaufwand in Grenzen halten, sodass nicht für

jede fünfjährige Fortschreibungsperiode eine gesonderte Szenarioeinstellung vorgesehen ist. Die Möglichkeit, in jeder vierten Fortschreibungsperiode für 20 bzw. 25 Jahre Szenarioeinstellungen vornehmen zu können, stellt hierbei einen geeigneten Kompromiss zwischen den beiden Anforderungen dar.

Im „Konfigurator“ rechts neben den Einstellungsmöglichkeiten des Bevölkerungsmodells befinden sich ab Spalte M drei Buttons. Den Buttons ist jeweils ein VBA-Skript zugeordnet, das bei Anklicken aktiviert wird und gleichzeitig Szenarioeinstellungen an unterschiedlichen Stellen im Tabellenblatt „Konfigurator“ vornimmt. Die vorgenommenen Einstellungen werden dann im Beschreibungsfeld H5ff. aufgeführt. Die in dieser Form vordefinierten *Gesamtszenarien* sollen dazu dienen, komplexere und deutlich voneinander abweichende Szenariokonfigurationen auf einfache Weise einstellen zu können (siehe Kapitel 9.3). Der Button „Alles zurücksetzen“ setzt alle Einstellungen im Tabellenblatt wieder auf die Ausgangskonfiguration zurück. Die *Gesamtszenarien* sind in Kapitel 9.3 ausführlicher beschrieben.

Um unterschiedliche Modellkonfigurationen sowie Ergebnisse für unterschiedliche BNT miteinander vergleichen zu können, bietet das Modell fünf Speicherplätze, die über die entsprechenden Buttons in Spalte Q aktiviert werden. Per VBA-Skript werden die Ergebnisse der Bevölkerungs- und Kostenmodellierung für die jeweils aktuelle Konfiguration an die dafür vorgesehenen Positionen im Tabellenblatt „BNT_Speicher“ kopiert. Einige Grafiken der Ergebnisübersicht (siehe Tabellenblatt „Übersicht“) greifen auf die entsprechenden Zeilen der Speicherplätze zu, sodass basierend auf den gespeicherten Ergebnissen automatisiert Ergebnisgrafiken erstellt werden. Über eine Auswahl in Zelle Q4 kann ausgewählt werden, für welchen BNT die Ergebnisse der aktuellen Konfiguration abgespeichert werden sollen. Für jeden Speicherplatz wird automatisch eine Bezeichnung der gespeicherten Konfiguration aus dem Szenarionamen (aus Zelle K3; frei definierbar) und dem ausgewählten BNT erstellt, die in den neben den Buttons der Speicherplätze stehenden Zellen angezeigt werden.

Ab Zeile 17 besteht im „Konfigurator“ die Möglichkeit, Veränderungen an den zugrundeliegenden BNT-Flächen vorzunehmen. Wird in Zelle B19 „ja“ ausgewählt, so werden als Grundlage für die weitere Modellierung ab 2016 die real in den Gemeinden erhobenen BNT-Flächen verwendet. Wird dagegen „nein“ ausgewählt, so werden die in den Zellen D24ff. eingegebenen Werte als Grundlage der Modellierung herangezogen. In diesem Fall werden dann auch für die Bevölkerung je BNT-Fläche und die Straßenmeter die idealtypischen Literaturkennwerte (vgl. Westphal 2008; Siedentop et al. 2006) anstelle der für die Region auf Basis des IÖR-Monitors erhobenen Werte herangezogen. Auch wenn als Grundlage der Modellierung ab 2016 die Realwerte der BNT-Flächen angenommen werden, besteht die Möglichkeit, Änderungen der Flächen in den folgenden Szenarienzeiträumen in den Zellen F24–37, H24–37 und J24–37 einzugeben, falls modelliert werden soll, dass BNT-Flächen hinzukommen oder zurückgebaut werden. Zusätzlich kann bei einer positiven Auswahl in Zelle F19 eine vereinfachte Modellierung der Siedlungsflächenentwicklung auf Basis der modellierten Bevölkerungsentwicklung einberechnet werden, um dem erhöhten Wohnraumbedarf bei starkem Bevölkerungswachstum Rechnung zu tragen (siehe Kapitel 9.2.3).

Für die Gewerbegebiete können in Zeile 42 vordefinierte Gewerbeszenarien ausgewählt werden. Für jeden Szenariozeitraum kann für alle BNT nur ein Szenario ausgewählt werden. In der

Szenariokonfiguration der Gewerbeszenarien (siehe Tabellenblatt „Gewerbeszenarien“) können die Szenarien jedoch so definiert werden, dass sie nur auf einzelne BNT oder unterschiedlich auf die verschiedenen Gewerbe-BNT wirken. Die Gewerbeszenarien wirken durch die Anwendung von Faktoren auf die angenommenen EGW je BNT. Im Tabellenblatt sind ebenso die berechneten Kennwerte des gewerblichen Abwasseraufkommens je Hektar in Einwohnergleichwerten in den Zellen D18–D23 hinterlegt.

Die nächste Einstellungsoption zur Konfiguration von Szenarien besteht im Tabellenblatt „Konfigurator“ ab Zeile 50 in Form der Szenarieneinstellungen der Kostenparameter. Differenziert nach den BNT, den vier Szenarioperioden sowie den vier Kostenfaktoren Investitionskosten, Betriebskosten, Instandhaltungskosten und Personal- und Verwaltungskosten können jeweils per Drop-down Menü spezifische Szenarien ausgewählt werden. Die Menüs greifen jeweils auf die im Tabellenblatt „Kostenszenarien“ in den orangenen Feldern ab Zeile 24 hinterlegten Szenarien zu. Je Kostenparameter können bis zu fünf Szenarien eingestellt werden, die als Faktor auf die Ausgangskennwerte wirken.

Des Weiteren kann in den Zellen A71 bis B72 der erhöhte Betriebskostenaufwand bei Unterauslastung der Kanäle in Folge von Bevölkerungsrückgängen eingestellt werden. In Spalte A werden die Grenzwerte des relativen Verhältnisses als Dezimalzahl der modellierten Einwohnerentwicklung zur idealtypischen Einwohnerzahl je ha BNT-Fläche angegeben. Mangels Informationen über die Auslegungsgrößen der Kanäle in der Fallregion wird als Idealwert vereinfacht von den bei SIEDENTOP ET AL. angegebenen Einwohnerdichten je BNT für moderat verdichtete Kommunen mit stabiler Bevölkerungsentwicklung ausgegangen (vgl. Siedentop et al. 2006: 57), die jedoch von Netto-Einwohnerdichten auf die Einwohnerzahl je ha BNT-Fläche umgerechnet werden (siehe Zellen AC25ff. im Tabellenblatt „BNT-Kennwerte“). Bei Unterschreitung der festgelegten Grenzwerte des Bevölkerungsrückgangs, wird im Tabellenblatt „Infrastrukturkostenmodell“ (in den Zeilen 14, 33, 52 usw.) automatisch der im Tabellenblatt „Konfigurator“ in den Zellen B71 und B72 angegebene Faktor auf die Betriebskosten angewendet. Sowohl die Grenzwerte, als auch die Kostenfaktoren können vom Nutzer frei definiert werden.

F.4 Wesentliche Rechenschritte des Abwasserkostenmodells

Um die Rechenlogik des Modells nachvollziehen zu können, werden in diesem Abschnitt die wesentlichen Rechenschritte erläutert und dargelegt, in welchem Tabellenblatt welche Berechnungen durchgeführt werden. Ausgangspunkt für alle Berechnungen sind die Einstellungen im Tabellenblatt „Konfigurator“, da davon ausgehend die Ausgangsdaten der Berechnungen abgerufen und Szenariofaktoren angewendet werden. Welche Einstellungsmöglichkeiten bestehen und wie diese mit den weiteren Rechenschritten verknüpft sind, wird in Anhang F.3 erläutert.

Die Bevölkerungsfortschreibung wird im gleichnamigen Tabellenblatt durchgeführt. Grundlage sind die Altersstruktur nach Altersgruppen und Geschlecht im Ausgangsjahr 2016, die entsprechend der ausgewählten Gemeinde aus dem Tabellenblatt „Altersstruktur“ abgerufen wird. Für die Bevölkerungsfortschreibung auf Kommunalebene (bzw. regionaler Ebene im Falle der entsprechenden Auswahl) werden jeweils die kommunalspezifischen und alters- sowie geschlechtsdifferenzierten Geburten-, Sterbe und Wanderungsraten aus den Tabellenblättern „Fertilität“, „Mortalität“ und

„Wanderungen“ abgerufen und auf die entsprechende Personenzahl der Altersgruppe³⁵ angewendet. So können durch Multiplikation die zugehörigen, jährlichen Fallzahlen für die Komponenten der Bevölkerungsentwicklung berechnet werden. Da im vorliegenden, vereinfachten Modell die Fortschreibung nicht jährlich, sondern immer für eine fünfjährige Fortschreibungsperiode erfolgt, werden die aus den Multiplikationen resultierenden Fallzahlen mit dem Faktor 5 multipliziert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die im „Konfigurator“ eingestellten Bevölkerungsszenarien bereits in den Tabellenblättern der einzelnen Komponenten als Faktoren für den jeweiligen Zeitraum auf die Raten der Bevölkerungsentwicklung angewendet werden.

Der neue Bevölkerungsstand nach einer fünfjährigen Fortschreibungsperiode wird entsprechend der in Kapitel 9.2.1 beschriebenen Methode berechnet. Um den verfälschenden Effekt von Rundungen auf die Gesamtergebnisse – gerade bei der Fortschreibung von mehreren Komponenten und Altersgruppen über einen längeren Zeitraum – möglichst zu minimieren, wird im Tabellenblatt „Bevölkerungsfortschreibung“ auf die Rundung der Werte verzichtet und mit Dezimalwerten gerechnet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Dezimalwerte allerdings nicht in jeder Zelle dargestellt. Die tatsächliche Rundung auf ganze Zahlen erfolgt allerdings erst im Tabellenblatt „Übersicht“ bei der Darstellung der Ergebniswerte. Die Berechnung der kommunalen Bevölkerungsentwicklung dient als Grundlage zur Berechnung der Bevölkerungsentwicklung auf BNT-Ebene.

Die Disaggregation der kommunalen Bevölkerungsentwicklung auf die BNT erfolgt anhand der anzunehmenden Bevölkerungszahl je BNT. Diese kann, je nach Auswahl im „Konfigurator“, auf zwei Arten geschätzt werden: anhand der konkret für jede BNT-Fläche berechneten Einwohnerzahl auf Basis der Daten des IÖR-Monitors oder durch Multiplikation der literaturbasierten, idealtypischen Einwohnerdichten je BNT mit den eingegebenen BNT-Flächen. Egal nach welcher Methode die anzunehmende Einwohnerzahl je BNT bestimmt wird, wird sie im Tabellenblatt „Bevölkerungsfortschreibung“ in den Zellen C34-47 summiert für alle Flächen jedes BNT aufgeführt. Darauf basierend wird der Anteil der Bevölkerung jedes BNT an der aufsummierten, anzunehmenden Gesamtbevölkerung aller BNT in der jeweils ausgewählten Kommune berechnet. Diese BNT-Anteile werden mit den Bevölkerungszahlen nach Altersgruppen (nicht nach Geschlecht) der jeweils ausgewählten Kommune multipliziert. Das Ergebnis ist die geschlechtsunspezifische Altersstruktur nach Altersgruppen je BNT zum Ausgangsjahr 2016 (siehe ab Zeile 50). Dabei entspricht die Altersstruktur in jedem BNT relativ der Altersstruktur der jeweiligen Kommune und die Bevölkerung der gesamten Kommune zum Stand 2016 wird entsprechend der anzunehmenden Anteile auf die BNT aufgeteilt. Im Tabellenblatt „Bevölkerungsfortschreibung“ ist es zudem möglich manuelle Änderungen an der Altersstruktur je BNT durch Eingabe von Faktorwerten vorzunehmen (siehe Zelle F34ff.).

Die Fortschreibung der BNT-spezifischen Altersstruktur erfolgt durch die Anwendung der relativen Bevölkerungsentwicklung der kommunalen Bevölkerungsfortschreibung auf die berechnete Altersstruktur der BNT. Dazu wird für jede Fortschreibungsperiode gesondert für jede Altersgruppe die relative Bevölkerungsentwicklung zwischen Ausgangs- und Endjahr berechnet. Der ermittelte Wert wird dann als Faktor mit der entsprechenden Altersgruppenbesetzung je BNT multipliziert, um die

³⁵ Im klassischen Kohorten-Komponenten-Modell würde man dies als Kohorte bezeichnen, da es sich jeweils um einen Geburtenjahrgang handelt. Da im vorliegenden Modell aber immer fünf Altersjahre zusammengefasst sind und zudem das Geburtsjahr nicht weiter berücksichtigt wird, wäre diese Bezeichnung nicht zutreffend.

Altersgruppenbesetzung nach der Fortschreibungsperiode zu berechnen (siehe Zellen Q54ff. im Tabellenblatt „Bevölkerungsfortschreibung“). Altersstrukturbedingte Effekte der Bevölkerungsentwicklung sowie altersspezifische Szenarien schlagen sich somit auch in den BNT nieder. Ein *Nachrücken* der Altersgruppen in die nächsthöhere Altersgruppe nach einer Modellierungsperiode, wie bei der Bevölkerungsfortschreibung auf kommunaler Ebene, erfolgt hierbei allerdings nicht. Die relative Bevölkerungsentwicklung wird als Entwicklung innerhalb der Altersgruppen berechnet. Demensprechend schlagen sich mögliche Altersstruktureffekte auch in diesen relativen Werten nieder. Die Ergebnisse der kommunalen und BNT-spezifischen Bevölkerungsentwicklung sind im Tabellenblatt „Übersicht“ aufgetragen und werden zum Teil automatisch in Graphen dargestellt. Über die Nutzung der Speicherplätze im „Konfigurator“ können zudem bis zu fünf unterschiedliche BNT und Modellkonfigurationen miteinander verglichen werden – ebenfalls auch automatisiert in unterschiedlichen Graphen (siehe Zelle T75ff. in der „Übersicht“).

Neben der Bevölkerungsfortschreibung werden im Modell auch die Abwasserinfrastrukturkosten modelliert. Um die Abwasserinfrastrukturkosten berechnen zu können, muss zunächst die Abwasserinfrastrukturmenge in Form der Leitungsmeter abgeschätzt werden. Das Infrastrukturmengenmodell im gleichnamigen Tabellenblatt berechnet daher auf Basis der aufsummierten Flächen je BNT und unter Anwendung der idealtypischen Kennwerte aus dem Tabellenblatt „BNT-Kennwerte“ die summierten Leitungsmeter je BNT.

Anhand der berechneten Leitungsmeter je BNT und der, aus der Literatur ermittelten, Kostenkennwerte (siehe Kapitel 9.2.4; in Tabellenblatt „BNT-Kennwerte“), wird im Tabellenblatt „Infrastrukturkostenmodell“ die Kostenentwicklung je BNT und nach Kostenarten berechnet. Auch sind dort die anzunehmenden Kostenfaktoren für Szenarien oder bevölkerungsbedingte Betriebskostensteigerungen aufgeführt. Entsprechend der Einstellungen im „Konfigurator“ entstammen die Kostenfaktoren der Szenarien aus dem Tabellenblatt „Kostenszenarien“ und die bevölkerungsbedingten Betriebskostensteigerungen direkt aus dem „Konfigurator“. Neben den Kostenentwicklungen ist je BNT auch die Entwicklung der Einwohnerzahl aufgeführt, sodass einerseits die Abweichung der Einwohnerzahl vom Idealwert (= Literaturkennwert) berechnet werden kann und andererseits auch die Gesamtkosten je Einwohner (= fiktiver Abwassertarif) ermittelt werden. Die Ergebnisse werden in das Tabellenblatt „Übersicht“ übertragen und dort in Graphen dargestellt. Im Tabellenblatt „Infrastrukturkostenmodell“ sind ab Zeile 269 zudem die Ergebniskennwerte aufsummiert für alle BNT und lediglich für die Wohn-BNT aufgeführt. Der *fiktive Abwassertarif* je BNT stellt das Ergebnis des Abwasserinfrastrukturkostenmodells dar, das gemäß Kapitel 9.1 zu berechnen war.

F.5 Teilszenarien

Im Modell sind an unterschiedlichen Stellen Teilszenarien hinterlegt, die über die Drop-down Auswahlfelder im Tabellenblatt „Konfigurator“ aktiviert werden können. Standardeinstellung des Modells ist in allen Fällen das Teilszenario „Status quo“, das von einer unveränderten Fortschreibung der Kennwerte ausgeht, d. h. dass der Faktorwert 1 auf die Variablen angewendet wird. Alle Szenarien können durch den Nutzer angepasst werden, indem die Faktorwerte verändert werden. Zum Teil sind leere Felder angelegt, in die zusätzliche Szenarien eingefügt werden können. Diese Felder tauchen mit der Bezeichnung „- leer -“ in den Auswahlmenüs auf.

In der nachfolgenden Tabelle sind alle vordefinierten Szenarien aufgeführt. Daneben ist die Wirkweise kurz beschrieben. Alle vordefinierten Teilszenarien wirken gleichermaßen auf die jeweiligen Raten der Männer und Frauen, mit Ausnahme der Geburtenrate, die lediglich auf die Frauen bzw. Mütter angewendet wird. Den Überschriften sind in Klammern die Stellen im Modell zugeordnet, an denen die hinterlegten Szenarien zu finden sind.

Tabelle A.6: Auflistung der vordefinierten Teilszenarien

| Teilszenariobezeichnung | Wirkweise bzw. Faktorwert |
|--|---|
| Bevölkerungsszenarien (siehe Tabellenblatt <i>Bevölkerungsszenarien</i>) | |
| Geburten (Zellen N7ff.) | |
| Geburtenzuwachs | Faktor 1,05 auf Geburtenraten aller Altersgruppen der Mutter |
| Geburtenrückgang | Faktor 0,95 auf Geburtenraten aller Altersgruppen der Mutter |
| Wirtschaftskrise | Faktor 0,9 auf Geburtenraten aller Altersgruppen der Mutter |
| Familienpolitik | Faktor 1,15 auf Geburtenrate der 25 – unter 35-Jährigen Mütter |
| Sterbefälle (Zellen N32ff.) | |
| Rückgang | Faktor 0,9 auf Sterberate aller Altersgruppen |
| Hohe Alterung | Faktor 0,9 auf Sterberaten der 60 – unter 80-Jährigen & Faktor 0,95 auf Sterberaten der ab 80-Jährigen |
| Hitzewellen | Faktor 1,05 auf Sterberaten der 60 – unter 75-Jährigen sowie der unter 5-Jährigen & Faktor 1,1 auf Sterberate der ab 75-Jährigen & Faktor 1,02 auf Sterberate aller übrigen Altersgruppen |
| Zuzüge (Zellen N57ff.) | |
| Zuwachs | Faktor 1,05 auf Zuwanderungsrate aller Altersgruppen |
| Rückgang | Faktor 0,9 auf Zuwanderungsrate aller Altersgruppen |
| Familienpolitik | Faktor 1,15 auf die Zuwanderungsrate der 0 – unter 20-Jährigen & der 25 – unter 40-Jährigen |
| Wirtschaftskrise | Faktor 0,7 auf die Zuwanderungsrate 0 – unter 50-Jährigen |
| Fortzüge (Zellen N82ff.) | |
| Zuwachs | Faktor 1,05 auf Abwanderungsrate aller Altersgruppen |
| Rückgang | Faktor 0,9 auf Abwanderungsrate aller Altersgruppen |
| Familienpolitik | Faktor 0,7 auf die Abwanderungsrate der 0 – unter 20-Jährigen & der 25 – unter 40-Jährigen |
| Wirtschaftskrise | Faktor 1,2 auf die Abwanderungsrate 0 – unter 50-Jährigen |
| Gewerbeszenarien (siehe Tabellenblatt <i>Gewerbeszenarien</i>, Zellen C26ff.) | |
| Wirtschaftskrise | Faktor 0,9 auf angenommene EGW je 5-jähriger Modellierungsperiode (Zinseszins-Rechnung), alle Gewerbe-BNT |
| Volllaufen | Faktor 1,05 auf angenommene EGW je 5-jähriger Modellierungsperiode (Zinseszins-Rechnung), alle Gewerbe-BNT |

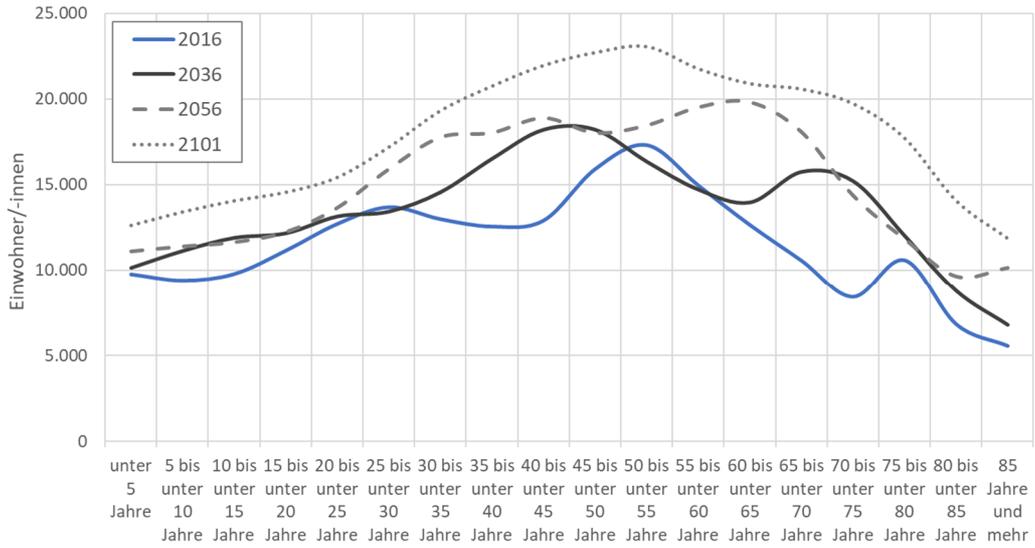
Tabelle: Fortsetzung von Tabelle A.6

| Teilszenariobezeichnung | Wirkweise bzw. Faktorwert |
|--|---|
| Infrastrukturkostenszenarien (siehe Tabellenblatt <i>Kostenszenarien</i>) | |
| Investitionskosten (Zellen A24ff.) | |
| goldene Jahre | Faktor 0 auf Investitionskosten |
| ungeplanter Neubau | Faktor 2 auf Investitionskosten |
| Teilkostenreduzierung | Faktor 0,8 auf Investitionskosten |
| Zusatzinvestitionen | Faktor 1,25 auf Investitionskosten |
| Betriebskosten (Zellen A31ff.) | |
| höherer Aufwand | Faktor 1,1 auf Betriebskosten |
| Hitzewellen | Faktor 1,25 auf Betriebskosten |
| NASS-Umsetzung | Faktor 0,8 auf Betriebskosten |
| Dezentralisierung | Faktor 0,7 auf Betriebskosten |
| Instandhaltungskosten (Zellen A38ff.) | |
| frühzeitige Sanierung | Faktor 1,3 auf Instandhaltungskosten |
| passive Instandhaltung | Faktor 0,6 auf Instandhaltungskosten |
| Materialverbesserungen | Faktor 0,8 auf Instandhaltungskosten |
| Klimafolgen | Faktor 1,1 auf Instandhaltungskosten |
| Kosten Personal und Verwaltung (Zellen A45ff.) | |
| Personalkostensteigerungen | Faktor 1,15 auf Personal- und Verwaltungskosten |
| Digitalisierung | Faktor 0,8 auf Personal- und Verwaltungskosten |
| Nährstoffhandel | Faktor 1,1 auf Personal- und Verwaltungskosten |

Quelle: eigene Darstellung

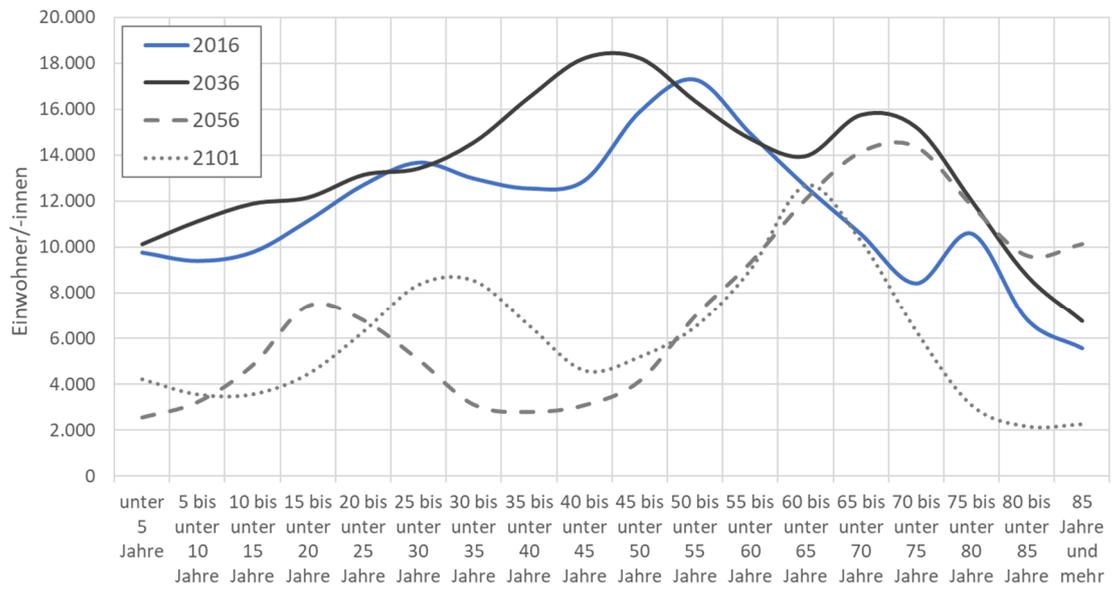
F.6 Entwicklung der Altersstruktur in den Szenarien

Abbildung A.19: Altersstrukturentwicklung im Szenario "Status quo"



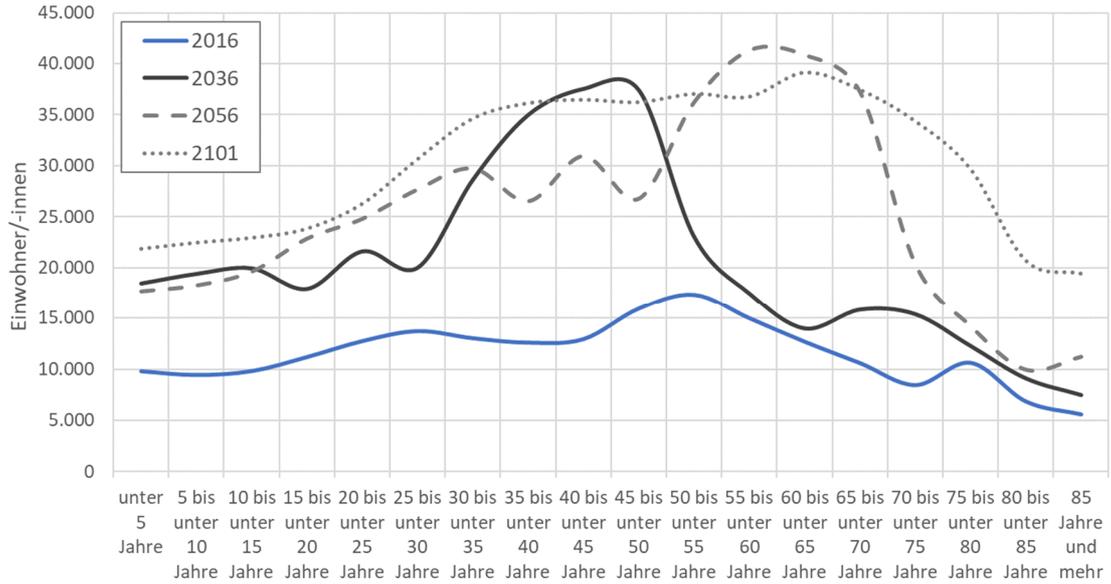
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Abbildung A.20: Altersstrukturentwicklung im Szenario "Wirtschaftskrise"



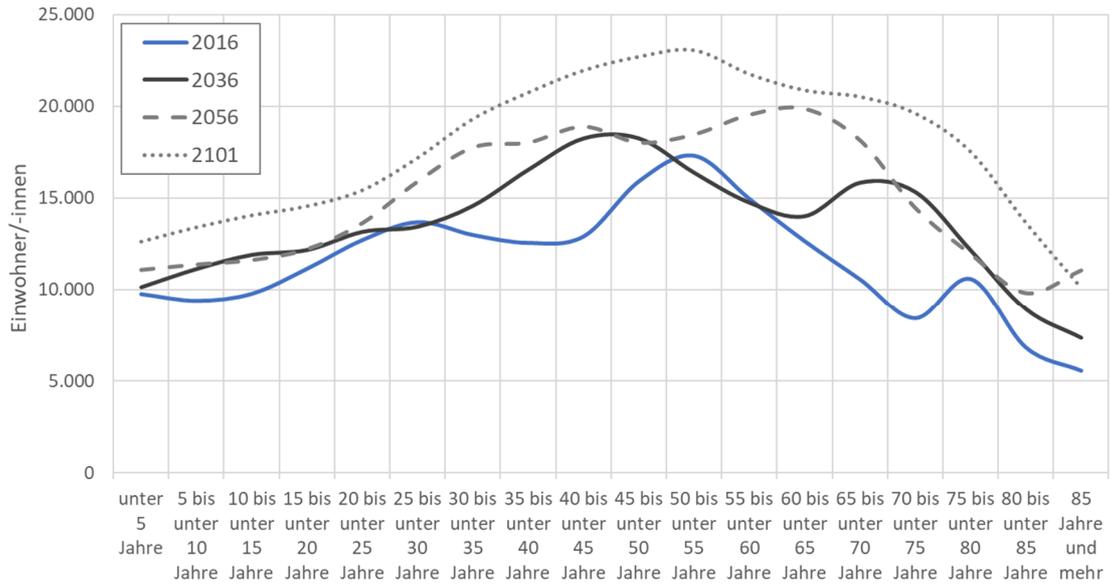
Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Abbildung A.21: Altersstrukturentwicklung im Szenario "Familienpolitik"



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Abbildung A.22: Altersstrukturentwicklung im Szenario "Hitzewellen"



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung

Anhang G – Schweizerisches Hagelregister

Tabelle A.7: Aufstellung von Baumaterialien mit Funktion und HW-Klasse aus dem Schweizerischen Hagelregister

| Bauteil-kategorie | Produkt | | Dicke [mm] | Einsatz | Funktion | HW |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Ziegel | Biberschwanz (Ton) | ohne Falz | | Dach | Wasserdichtheit | 4 |
| | | Aussehen | | | Aussehen | 4 |
| | Flachziegel (Ton) | mit Falz | | Dach | Wasserdichtheit | 4 |
| | | | | | Aussehen | 4 |
| Rollladen | Hohlprofil (Metall) | | 0.45 | Fassade | Aussehen | 1 |
| | Hohlprofil (Metall) | geschäumt | 0.25 | Fassade | Aussehen | 1 |
| | Hohlprofil (Metall) | Ganzmetall | 0.9 | Fassade | Aussehen | 2 |
| Raffstoren | Blech gefaltet (Metall) | | 0.45 | Fassade | Aussehen | 1 |
| | Blech gebogen (Metall) | | 0.6 | Fassade | Aussehen | 1 |
| Verglasung | Floatglas | | 4.0 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | Drahtglas | | 7.0 | Dach | Wasserdichtheit | 3 |
| | Einscheibensicherheitsglas (ESG) | | 6.0 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | Verbundssicherheitsglas (VSG) | | 8.0 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | Isolierglas | | 24.0 | Fassade | Wasserdichtheit | 5 |
| Bleche | Abdeck | Kupfer | 0.6 | Dach | Aussehen | 1 |
| | | | | Fassade | Aussehen | 2 |
| | | Chromstahl verzinkt | 0.5 | Dach | Aussehen | 2 |
| | | | | Fassade | Aussehen | 2 |
| | | Kupfer-Titan-Zink | 0.7 | Dach | Aussehen | 2 |
| | | | | Fassade | Aussehen | 2 |
| | Welle | Stahl verzinkt | 0.7 | Fassade | Aussehen | 2 |
| | Trapez | Aluminium | 0.7 | Fassade | Aussehen | 1 |
| Faserzementplatten | Gewellt | unbeschichtet | 5.5 | Dach | Wasserdichtheit | 4 |
| | | | | | Aussehen | 4 |
| | Flach | lasierende Beschichtung | 6.0 | Fassade | Wasserdichtheit | 5 |
| | | | | | Aussehen | 5 |
| Putz auf Aussenwärmedämmung | Kunststoffputz auf EPS | | | Fassade | Wasserdichtheit | 3 |
| | Silikatputz auf Mineralwolle | | | | Fassade | Wasserdichtheit |
| | | | Fassade | Aussehen | | 3 |
| | Kunststoffputz auf Mineralwolle | | | Fassade | Wasserdichtheit | 4 |
| | | | Fassade | | Aussehen | 4 |
| | Holzbretter | Lärche | | unbeschichtet gehobelt | 25.0 | Fassade |
| unbeschichtet sägerau | | | 25.0 | Fassade | Aussehen | 2 |
| beschichtet gehobelt | | | 25.0 | Fassade | Aussehen | 1 |
| beschichtet sägerau | | | 25.0 | Fassade | Aussehen | 2 |
| Fichte | | unbeschichtet gehobelt | 25.0 | Fassade | Aussehen | 2 |
| | | unbeschichtet sägerau | 25.0 | Fassade | Aussehen | 2 |
| | | beschichtet gehobelt | 25.0 | Fassade | Aussehen | 2 |
| | | beschichtet sägerau | 25.0 | Fassade | Aussehen | 2 |

Tabelle: Fortsetzung von Tabelle A.7

| Bauteil-kategorie | Produkt | | Dicke [mm] | Einsatz | Funktion | HW |
|---------------------------------|---|-------------------|-----------------|----------------------|----------------------|----|
| Dichtungsbahnen | Polyvinylchlorid, weichgemacht (PVC – P) | starr | 1.5 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | | flexibel | 1.5 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | Thermoplastische Polyolefine (TPO) | starr | 1.6 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | | flexibel | 1.6 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) | starr | 1.5 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | | flexibel | 1.5 | Dach | Wasserdichtheit | 4 |
| | Polymerbitumenbahn SBS beschiefert | starr | 5.2 | Dach | Wasserdichtheit | 5 |
| | | flexibel | 5.2 | Dach | Wasserdichtheit | 4 |
| Polymerbitumenbahn SBS besandet | starr | 3.7 | Dach | Wasserdichtheit | 5 | |
| | flexibel | 3.7 | Dach | Wasserdichtheit | 4 | |
| Kunststoffplatten | Polymethylmethacrylat (PMMA) | normal, Platte | 4 | Dach | Wasserdichtheit | 4* |
| | | | | | Lichtdurchlässigkeit | 4* |
| | | schlagzäh, Platte | 4 | Dach | Wasserdichtheit | 5* |
| | | | | | Lichtdurchlässigkeit | 4* |
| | | schlagzäh, SDP 16 | | Dach | Wasserdichtheit | 4* |
| | | | | | Lichtdurchlässigkeit | 4* |
| | schlagzäh, S4P 32 | | Dach | Wasserdichtheit | 4* | |
| | | | | Lichtdurchlässigkeit | 3* | |
| | schlagzäh WP 76/18 | 4 | Dach | Wasserdichtheit | 4* | |
| | | | Fassade | Wasserdichtheit | 3* | |
| | Polycarbonat (PC) | Platte | 4 | Dach | Wasserdichtheit | 5* |
| | | S3P 16 | | Dach | Wasserdichtheit | 5* |
| | Glasfaser verstärkter Kunststoff (GFK-UP) | Trapez | 1.4 | Dach | Wasserdichtheit | 2* |
| | | | | | Aussehen | 1* |
| | | | | Fassade | Wasserdichtheit | 3* |
| | | | | | Aussehen | 1* |
| | | Welle | 1.4 | Dach | Wasserdichtheit | 3* |
| | | | | | Aussehen | 1* |
| Fassade | | | | Wasserdichtheit | 3* | |
| | | | | Aussehen | 2* | |
| Strukturplatte | 2.0 | Dach | Aussehen | 2* | | |
| Flachplatte | 5.0 | Fassade | Wasserdichtheit | 5* | | |
| | | | Aussehen | 3* | | |
| Licht-Kuppel | Polymethylmethacrylat (PMMA), Aussen- und Innenschale | | 3.0/2.0 | Dach | Wasserdichtheit | 2* |
| | Polycarbonat (PC) Aussen-, PMMA Innenschale | | 3.0/2.0 | Dach | Wasserdichtheit | 5* |
| | | | | | Aussehen | 3* |

Quelle: Stucki und Egli 2007: 30f.