Beiträge zum Stuttgarter Maschinenbau

Michael M. Hertwig

Entwicklung einer Methode zur systemdynamischen Modellierung im urbanen Raum

stuttgarter
maschinenbau
interdisziplinär und vielfältig

Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT

Universität Stuttgart

Beiträge zum Stuttgarter Maschinenbau **Band 30**

Herausgeber: Prof. Dr. Katharina Hölzle, MBA
Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel

Michael M. Hertwig

Entwicklung einer Methode zur systemdynamischen Modellierung im urbanen Raum

Fraunhofer Verlag

Kontaktadresse:
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement (IAT)
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
info@iat.uni-stuttgart.de
https://www.iat.uni-stuttgart.de/

Titelbild: © Michael M. Hertwig

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.de abrufbar.

ISSN: 2750-655X
ISBN: 978-3-8396-2020-5

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2023

Druck und Weiterverarbeitung: Fraunhofer-Druckerei, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© Fraunhofer Verlag, 2024
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
verlag@fraunhofer.de
www.verlag.fraunhofer.de

als rechtlich nicht selbständige Einheit der

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.
Hansastraße 27 c
80686 München
www.fraunhofer.de

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.
Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Geleitwort

Die deutsche Wirtschaft ist weltweit bekannt für ihren Anlagen- und Maschinenbau. Dabei ist die Universität Stuttgart mit ihren beiden Maschinenbaufakultäten – unter deren Dach sich 42 Institute befinden – die größte universitäre Einrichtung für den Maschinenbau in Deutschland. Unsere wissenschaftliche Exzellenz stützt sich dabei auf unsere zahlreichen Promovierenden und ihre hervorragenden Dissertationen. Viele dieser Dissertationen entstehen in lokaler, nationaler und internationaler Zusammenarbeit mit renommierten Universitäten und außeruniversitären Einrichtungen wie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, der Fraunhofer-Gesellschaft und der Max-Planck-Gesellschaft. Dabei reicht das inhaltliche Spektrum der Dissertationen von Biotechnik, Energietechnik, Fahrzeugtechnik, Kybernetik und Systemtechnik, Produktentwicklung und Konstruktionstechnik, Produktionstechnik bis hin zur Verfahrenstechnik und stützt sich auf die sechs Forschungsschwerpunkte Advanced Systems Engineering, Autonome Produktion, Software-Defined Manufacturing, Resiliente Versorgung, Biointelligenz und Dekarbonisierung der Industrie. Die Ergebnisse aus den Dissertationen zielen darauf ab, kunden-, produkt-, prozess- und mitarbeiterorientierte Technologie zielgerichtet und zeitnah zu entwickeln und anzuwenden.
Viele der im Rahmen der Forschungsarbeiten an den Instituten entstandenen Dissertationen werden in diesen »Beiträgen zum Stuttgarter Maschinenbau« veröffentlicht. Die beiden Fakultäten des Stuttgarter Maschinenbaus wünschen den Promovierenden, dass ihre Dissertationen aus dem Bereich des Maschinenbaus in der breiten Fachwelt als maßgebliche Beiträge wahrgenommen werden und so den Wissensstand auf ein neues Niveau heben.

Für den Stuttgarter Maschinenbau

Stefan Weihe Oliver Riedel

Vorwort der Herausgeber

Grundlage für gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Fortschritt ist Innovation. Diese entsteht aus dem Zusammenwirken von Technologie, Markt und Mensch. Die Betrachtung dieser drei Faktoren erfordert eine transdisziplinäre Zusammenarbeit und Integration unterschiedlicher Perspektiven und Fähigkeiten.

Die Forschung am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart und dem kooperierenden Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO zeichnet sich durch diese transdisziplinäre und integrierende Sichtweise aus. Hier wird Forschung mit der Überzeugung betrieben, für Fragestellungen aus der Praxis wissenschaftliche Lösungen zu finden und diese in die Anwendung zu bringen. Auf Basis eines gemeinsamen Verständnisses, welches den Menschen in den Mittelpunkt der Betrachtungen stellt, wird der Wandel von Organisationen und Gesellschaften systemisch untersucht. Darauf aufbauend werden empirisch fundierte Modelle und Lösungsansätze abgeleitet.

Dieser Herausforderung stellen sich die Promovierenden der Institute IAT und IAO und berichten ihre Erkenntnisse vorliegend in den »Beiträgen zum Stuttgarter Maschinenbau«. Mit dieser aktuellen Reihe wird die Arbeit der früheren Institutsleiter an IAT und IAO, Hans-Jörg Bullinger und Dieter Spath, zusammen mit Wilhelm Bauer fortgeführt und auf die Zukunft ausgerichtet. Wir Herausgeber wünschen den Autorinnen und Autoren, dass ihre Dissertationen aus den Bereichen Arbeitswissenschaft, Technologie- und Innovationsmanagement in der breiten Fachwelt als wichtige und maßgebliche Beiträge wahrgenommen werden und so den Wissensstand auf ein neues Niveau heben.

Univ.-Prof. Dr. Katharina Hölzle, MBA

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel

Entwicklung einer Methode zur systemdynamischen Modellierung im urbanen Raum

Development of a method for system dynamic modeling in urban environments

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Michael Maximilian Hertwig
aus Bangkok, Thailand

Hauptberichter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel
Mitberichter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz
Tag der mündlichen Prüfung:	22. November 2023

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT
der Universität Stuttgart

2024

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart sowie am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), die im gemeinsamen Betrieb agieren.

Dem Leiter des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel, danke ich für die großzügige Förderung meiner Forschungsarbeiten und die wichtigen Anregungen, die zum Gelingen beitrugen.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath, Emeritus des IAT der Universität Stuttgart, und Prof. Dr.-Ing Prof. e. h. Wilhelm Bauer, Institutsleiter des Fraunhofer IAO danke ich für die Ermunterung zur Aufnahme der Arbeit.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schulz, dem Leiter des Instituts für Fördertechnik und Logistik (IFT), danke ich für die Übernahme des Mitberichts. Wertvoll waren seine Impulse aus der Perspektive seines Forschungsumfeldes für die Weiterentwicklung sowie seine wohlwollende Unterstützung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss, dem Inhaber des Lehrstuhls Kraftfahrzeugmechatronik am Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart (IFS), danke ich für die Übernahme des Vorsitzes und das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Für die vielfältige Unterstützung danke ich meinen Kollegen am Institut, die mich mit Rat und Diskussionsbereitschaft bei der Weiterentwicklung meiner Gedanken unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt Michael Seiring, Marcus Cramer und Dr.-Ing. Christoph Schulz, deren Unterstützung und Beitrag wichtige Grundsteine für die Realisierung legten.

Meinen Eltern danke ich, für die Unterstützung, die ich auf meinem gesamten Bildungsweg erhalten habe, ohne den diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Darüber hinaus gilt mein Dank meiner Frau Ann-Kathrin, die mit viel Geduld und Opferbereitschaft die Fertigstellung dieser Arbeit maßgeblich ermöglicht hat.

Butzbach, 2024 Michael Hertwig

Inhaltsverzeichnis

Danksagung ..... **iii**

Abkürzungsverzeichnis ..... **ix**

Abbildungsverzeichnis ..... **xii**

Tabellenverzeichnis ..... **xviii**

Kurzfassung ..... **xix**

Abstract ..... **xxi**

1 Einleitung **1**

1.1 Motivation 1

1.2 Forschungsfragestellung 2

1.3 Struktur der Arbeit 3

2 Zentrale Begriffe **5**

2.1 Urbanität 5

2.2 Produktion 6

2.3 Zusammenfassung 8

3 Theorie und Stand der Forschung **9**

3.1 Produktion im urbanen Raum 9

3.1.1 Transformation der Produktion 9

3.1.2 Bedeutung von produzierendem Gewerbe für die Schaffung und Erhaltung von Wohlstand 18

3.1.3 Urbaner Raum 19

3.1.4 Urbane Produktion 20

3.2 Modellierung zur Beschreibung von Wirkzusammenhängen 28

3.2.1 Zielstellung der Modellierung von Wirkzusammenhängen 30

3.2.2 Analyse bereits existierender Systemdynamikmodelle 38

3.3 Strategische Unternehmensentwicklung 48

3.3.1 Entwicklung einer unternehmensbezogenen Strategie 48

3.3.2 Szenario-basierter Ansatz 49

3.3.3 Systemdynamisches Modell zur Szenario-Ableitung 50

3.3.4 Integration der Systemdynamischen Szenario-Ableitung in die Strategieentwicklung 50

4 Methodik 53

4.1 Verständnis der urbanen Produktion 53

4.2 Systemdynamische Modellierung 56

4.2.1 Problemdefinition 57

4.2.2 Generische Modellierung der Wirkbeziehung 57

4.2.3 Entwicklung von dynamischen Elementen 58

4.2.4 Anwendung des Ansatzes zu Verprobung 58

4.2.5 Bewertung und kritische Betrachtung 59

4.3 Weiterentwicklungsmaßnahmen im Kontext urbaner Produktion 59

5 Modellentwicklung 63

5.1 Definition von Abstraktionsebenen 63

5.2 Rahmenbedingungen für die Modellierung 66

5.2.1 Wiederverwendung oder Weiternutzung von existierenden Modellen und Modellaspekten 67

5.2.2 Berechnung der Ausgabekenngrößen als Relativwerte 67

5.2.3 Vordergründige Betrachtung fokussiert nicht auf wirtschaftliche Entwicklungen 68

5.2.4 Simulation ist auf langfristige Betrachtung ausgelegt 69

5.2.5 Standortweiterentwicklung und Re-lokalisierung 70

5.3 Weitere unterstützende Elemente bei der Transformation 71

5.4 Vorgehen bei der Spezifizierung 74

5.4.1 Unternehmenskennzahlen 75

5.4.2 Entwicklungsszenarien basierend auf der Maßnahmenauswahl 78

5.4.3 Ergebniskenngrößen 79

5.5 Modellbeschreibung 83

5.5.1 Erstellung des beschreibenden qualitativen Modells 83

5.5.2 Überführung in ein quantitatives Modell 86

5.6 Beschreibung der Maßnahmenwirkung für die Szenario- Ausprägung 100

5.7 Auswahl von Maßnahmen für die Betrachtung 101
5.7.1 Ansatz zur Implementierung von Maßnahmen in das Systemdynamische Modell 103
5.7.2 Nachhaltige Wassernutzung durch Wasseraufbereitung 104
5.7.3 Reduktion der Versiegelung von industriell genutzten Flächen 105
5.7.4 Steigerung der Nutzung von regenerativen Energien 107
5.7.5 Steigerung des Einsatzes von Digitalisierungsmethoden der Produktion 109
5.7.6 Steigerung der Kapazitätsflexibilität 110
5.7.7 Einführung des non-territorialen Arbeitens und Homeoffice für die flexible Arbeitsgestaltung 112
5.7.8 Weiterentwicklung des Lieferverkehr 113
5.7.9 Optimierung des Personenindividualverkehrs 116
5.7.10 Unterstützung der Mitarbeitenden durch Angebote der Kinderbetreuung 117
5.7.11 Unterstützung bei der Gestaltung der Wohnsituation 119
5.7.12 Bewirtungsunterstützung 121
5.7.13 Bereitstellung weiterer Angebote und Vergünstigungen für Mitarbeitende 122
5.7.14 Aufbau und Betrieb einer ‚Offenen Werkstatt' 123
6 Modellverprobung und Evaluierung an praxisnahem Beispiel 127
6.1 Vorgehen zur Validierung des entwickelten Ansatzes 127
6.2 Fallstudie 1 – kleines Unternehmen 133
6.2.1 Modelladaption 134
6.2.2 Beschreibung der definierten Szenarios 137
6.2.3 Auswertung der Systemdynamik-Simulation 138
6.2.4 Schlüsse und Folgerungen 142
6.3 Fallstudie 2 – Mittleres Unternehmen 143
6.3.1 Modelladaption 145
6.3.2 Beschreibung der definierten Szenarios 147
6.3.3 Auswertung der Systemdynamik-Simulation 149
6.3.4 Schlüsse und Folgerungen 153
6.4 Generische Evaluierung 154

7 Ergebnisevaluierung und kritische Bewertung der Ergebnisse 159

7.1 Zusammenfassung der angestrebten methodischen Ziele 159

7.2 Abgleich der Evaluationsergebnisse mit Zielen 161

8 Fazit und Ausblick 165

8.1 Zusammenfassung 165

8.2 Ausblick 166

9 Anhang 169

9.1 Systemdynamische Modelle als Grundlage für die Entwickelte Modellierung 169

9.1.1 Auflistung und Beschreibung der Systeme zur Erhebung der Nachhaltigkeit im ökonomischen Kontext 178

9.1.2 Strukturierte Aufbereitung von unterschiedlichsten Nachhaltigkeitskenngrößen 186

9.1.3 Teilmodelle des qualitativen Modells der urbanen Produktion 194

9.1.4 Teilmodelle des quantitativen Zustands-Fluss-Modells der urbanen Produktion 197

9.1.5 Vollständige Darstellung der mathematischen Gleichungen im quantitativen systemdynamischen Modell 206

9.1.6 Auflistung potenzieller Weiterentwicklungsmaßnahmen im Kontext der urbanen Produktion sowie Einordnung 216

9.1.7 Kausaldiagramme der modellierten Maßnahmen 223

9.1.8 Unterlagen zur Dokumentation der Evaluierung 227

10 Literatur 237

Curriculum Vitae 291

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
ABS	Agentenbasierte Simulation
B-2-C	Konsumentengeschäfts-/Endkundenbereich (Business-to-Customer)
CIM	Computer Integrateg Manufacturing
CLD	Causal-Loop-Diagramme
CO2	Kohlenstoffdioxid
CPS	Cyber-Physische Systeme
CSD	Commission Development on Sustainable Indicators
CSR	Corporate Social Responsibility
BOM	Stückliste (Bill of Material)
DAX	Deutsche Aktien Index
DES	Discrete-Event-Simulation
DJSI	Dow Jones Sustainability Index
dmnl	Dimensionslos
E-Commerce	Elektronische Handel
E^3-Factory	Energie- und ressourceneffiziente Produktion, Emissionsneutrale Fabrik, Einbindung des Menschen in die Produktion
EBIT	Earnings before Taxes (Gewinn vor Steuern)
EF	Eco Footprint
EMAS	Environmental Management and Audit Scheme
EPI	Environmental Pressure Indicators
EU	Europäische Union
FMS	flexiblen Fertigungssysteme
FuE	Forschung und Entwicklung
GINFORS	Global Interindustry Forecasting System
GRI	Global Reporting Initiative
HoliPORT	Konzeptstudie: Holistische Standortentwicklung von produzierenden Unternehmen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit dem Umfeld
i.e.S.	im engeren Sinne
i.w.S.	im weiteren Sinne
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Standard Organisation

KFZ	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
kWh	Kilowattstunde
LCA	Lifecycle Analysis (Lebenszyklusanalyse)
LKW	Lastkraftwagen
m²	Quadratmeter
m³	Kubikmeter
M4SM	General Motors Metrics for Sustainable Manufacturing
MA	Mitarbeitende
MDF	Mitteldichte Faserplatten
MFA	Materialflussanalyse
min	Minuten
MIPS	Materials Input per Unit Service
NASA	National Aeronautics and Space Administration - amerikanischen Raumfahrtbehörde
NIST	National Institute of Standards and Technology
OECD	Organisation für ökonomische Zusammenarbeit und Entwicklung
ÖPNV	öffentlicher Personalverkehr
PIMS	Profit Impact of Market Strategy (Gewinnauswirkung von Marktstrategien)
PSI	Product Sustainability Index
PTB	persistente, bioakkumulierbaren und toxischen Chemikalien
PVC	Polyvinylchlorid
ROI	Return on Invest
SMART	Spezifisch | Messbar | Attraktiv | Realistisch | Terminiert
SD	Systemdynamik
SDG	Sustainable Development Goals
SEPP	Simulationsbasiertes strategisches Entscheidungsunterstützungssystem zur Planung der Produktion
SFC	Stock-Flow Consistent Ecological Macroeconomics
SFD	Stock-Flow-Diagrammen
SLIM	Sustainable and Lifecycle Information-based Manufacturing
SMIR	Sustainable Manufacturing Indicator Repository
STREM	Stuttgart Real Estate Market

TGA	technischen Gebäudeausstattung
T-Modell	Modellbezeichnung des Unternehmens Ford - Bauzeit 1908 - 1927
UN	Vereinte Nationen
URBAN	systemdynamisches Modell zur Beschreibung der Wechselwirkungen im städtischen Kontext
VCI	Verband der Chemischen Industrie
vs	versus
WORLD	Weltmodell zur systemdynamischen Beschreibung der Wechselwirkungen im globalen Kontext
WZ	Klassifikation der Wirtschaftszweige

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit 4

Abbildung 2: Einteilungsmöglichkeit von Agglomerationsräumen hinsichtlich der Begrifflichkeit „urban“ (Dobbs et al., 2011, Spangenberg, 2008) 6

Abbildung 3: Magisches Dreieck der Produktion (Spath, 2005) 7

Abbildung 4: Bevölkerungsverteilung in Deutschland nach Alter für die Jahre 1990 und 2018 (Statistisches Bundesamt, 2019, S. 11), ergänzt um die Generationsbetrachtung (Schnetzer, 2021)..... 15

Abbildung 5: Verschiebung der Technologierolle im Produkt (Eigner, 2014)..... 17

Abbildung 6: Proportionale Entwicklung der Beschäftigung für den primären, sekundären und tertiären Wirtschaftssektor in Deutschland (Abnehmende Entwicklung im Jahr 2011 prognostiziert, als Linien dargestellt, nach Reuter und Zinn, 2011) (Statista, 2018)..... 19

Abbildung 7: Ausschnitt aus Flächennutzungsplan der Stadt Stuttgart (Schulze Dieckhoff et al., 2001) 20

Abbildung 8: Links - Planetare Grenzen (Azote für das Stockholm Resilience Centre, vgl. Persson et al., 2022 und Steffen et al., 2015); rechts - verallgemeinerter Wirkungspfad, der die Produktionskapazität, die Freisetzung in die Umwelt, den Verbleib und die Verteilung mit der Störung von Erdsystemprozessen verbindet (Persson et al., 2022, S. 1512) 21

Abbildung 9: Cluster für die Einteilung der urbanen Produktion (Brandt, Gärtner und Meyer, 2018, S. 6) 23

Abbildung 10: Spannungsfeld der urbanen Produktion (Bauer, 2015b, S. 12)..... 24

Abbildung 11: Potenziale der urbanen Produktion, eingruppiert nach Stakeholdergruppe/-perspektive (eigene Darstellung basierend auf Lentes, 2016, S. 4–5 und Bathen et al., 2019, S. 33)..... 25

Abbildung 12: Einordnung der neuen Arbeitsmethoden (Bonny, 2018, S. 12) 27

Abbildung 13: Konkretisierung der Simulationsbeschreibung und damit verbundener Eingrenzung potenzieller Lösungen (in Anlehnung an Oyarbide et al., 2003) 42

Abbildung 14: Systemdynamisches Simulationsmodell für den hybriden Ansatz der Fertigungssystemsimulation (Oyarbide et al., 2000, Oyarbide et al., 2003) 42

Abbildung 15: Rahmenwerk für nachhaltige Fertigung nach Kibira, Jain und McLean (Kibira, Jain und McLean, 2009) 43

Abbildung 16: Konzept für die Modellierung und Ableitung der Simulation bezogen auf das Rahmenwerk der Ultraeffizienzfabrik (Kuhlmann und Sauer, 2016) 44

Abbildung 17: Dreistufiges Vorgehensmodell der Konzeptstudie mit unterschiedlichen Detaillierungsansätzen (Hertwig, 2017) 45

Abbildung 18: Thematische Clusterung des systemdynamischen Modells der dynamischen Erfolgslogik (Schmid, 2012, S. 196) 47

Abbildung 19: Einordnung von Modellen gemäß der Fokussierung in den zwei Charakterisierungsdimensionen (angelehnt an Schmid, 2012, S. 187) 48

Abbildung 20: Szenario-basierter Ansatz als Bestandteil der Strategieentwicklung (angelehnt an Georgantzas, 2011, S. 679) in der strategischen Unternehmensentwicklung (Georgantzas und Acar, 1995, Trippner, 2021) 51

Abbildung 21: Urbane Produkt als Schnittmenge von Produktion (in engeren und im weiteren Sinne) und urbanem Raum (Piegeler und Spars, 2019, S. 6) 54

Abbildung 22: Erweitertes Input-Output-Modell basierend auf dem „Urban manufacturing model“ nach (Spath, Bauer und Lentes, 2015, S. 3) 55

Abbildung 23: Mögliches Betrachtungsansatz für urbane Produktion in Anlehnung an Rahmenwerke zu nachhaltiger Produktion (Molamohamadi und Ismail, 2013) 56

Abbildung 24: Modellierungsprozess - methodisches Vorgehen in fünf Schritten (Sterman, 2000, S. 86) sowie dessen Abwandlung im Rahmen der vorliegenden Arbeit (fett hervorgehoben) 56

Abbildung 25: Potenzielle Strukturierung der Wirkungsebenen für die Betrachtung nachhaltiger Produktion (angelehnt an (Herrmann et al., 2020)) 63

Abbildung 26: Konzeption des Betrachtungsraumes mit der Darstellung der Systemgrenze (in Anlehnung an Romero und Ruiz, 2014) 64

Abbildung 27: Betrachtungsperspektiven für die Weiterentwicklung von Produktionsunternehmen im Kontext des urbanen Umfeldes 66

Abbildung 28: CO2-Bepreisung (unter Verwendung von Trading economics, 2022 – historische Daten, Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, 2020-Zertifikate-Preisvorgaben ab 2021) 72

Abbildung 29: Vorgehen für die Modell-Spezifizierung auf den Anwendungspartner 75

Abbildung 30: Ausgewählte Unternehmenskennzahlen, die für die Spezifizierung des generischen Wechselwirkungsmodell genutzt werden 77

Abbildung 31: Einordnung der Nachhaltigkeits-Betrachtungssysteme nach Detaillierungsebene und technischem Detaillierungsgrad (in Anlehnung an (Bordt, 2009, S. 8, Feng, Joung und Li, 2010, S. 392)) 80

Abbildung 32: Gedankenmodell zu den Nachhaltigkeitskenngrößen zur Ableitung der Ergebniskenngrößen für die Untersuchung von urbanen Produktionsunternehmen 81

Abbildung 33: Ergebniskenngrößen – Auswahl relevanter Nachhaltigkeitsindikatoren 82

Abbildung 34: Übersicht über Qualitatives Modell – Wechselwirkungsmodell (Causal-Loop Diagramm) 84

Abbildung 35: Qualitatives Teilmodell für die ökologische Perspektive 85

Abbildung 36: Symbolik der Variablen-Typen der quantitativen Modellierung in Vensim 87

Abbildung 37: Quantitatives Modell mit allen Teilmodellen innerhalb der Perspektiven 88

Abbildung 38: Quantitatives Teilmodell „Bilanz“ der ökonomischen Perspektive 90

Abbildung 39: Quantitatives Teilmodell „Vermögen“ der ökonomischen Perspektive 91

Abbildung 40: Quantitatives Teilmodell „PKW“ der ökologischen Perspektive 94

Abbildung 41: Quantitatives Teilmodell „Beitrag zum Umfeld“ der sozialen Perspektive 96

Abbildung 42: Zusammenhang der Ergebnisgrößen in der Produktionsperspektive 97

Abbildung 43: Generischer branchentypischer Innovationszyklus in Jahren (Klose, 2016, Spath, 2008, Schlund, 2014) 99

Abbildung 44: Zusammenhang der Innovationsfähigkeit von Unternehmen mit Bezug zu den Aufgaben für Forschung und Entwicklung (F&E) (in Anlehnung an (Klose, 2017) 99

Abbildung 45: Quantitatives Teilmodell „Produktion“ der Produktionsperspektive 99

Abbildung 46: Ansatz zur zeitsensitiven Einbindung von Weiterentwicklungsmaßnahmen 101

Abbildung 47: Ableitung von Maßnahmen aufbauend auf dem Gestaltungsrahmen der urbanen Produktion 102

Abbildung 48: Schematische Darstellung der Wirkzusammenhänge der Wassernutzung unter Einsatz von Wasseraufbereitung (in Anlehnung an Sartorius, 2007, S. 5 und Ergänzung durch Aspekte aus Ante et al., 2018, S. 22–23) 104

Abbildung 49: Schematische Zusammenhänge für die Reduktion von versiegelten Flächen 106

Abbildung 50: Schematische Darstellung der Wirkzusammenhänge des Einsatzes von regenerativer Energiegewinnung 108

Abbildung 51: Schematische Darstellung der Wirkzusammenhänge bei der Steigerung der Digitalisierung in der Produktion 110

Abbildung 52: Darstellung der Wirkzusammenhänge für die Erhöhung von Kapazitätsflexibilität 111

Abbildung 53: Wirkungsmechanismen, die durch non-territoriales Arbeiten, insbesondere im Homeoffice entstehen 113

Abbildung 54: Schematische Darstellung der Veränderung von Lieferkonzepten, z.B. Kommissionierung und „Letzte Meile-Anlieferung“ nach dem „Just-in-time“-Ansatz 115

Abbildung 55: Beeinflussungsmöglichkeiten für die Optimierung der Individualmobilität der Mitarbeitenden 116

Abbildung 56: Wirkung einer Unterstützung für die Kinderbetreuung 118

Abbildung 57: Unterstützungspotenziale bei der Wohnungssuche durch Unternehmen 120

Abbildung 58: Grundlegender Wirkmechanismus der Schaffung einer unternehmensbezogenen Bewirtung 122

Abbildung 59: Wirkungsmuster für die Bereitstellung zusätzlicher Vergünstigungen für Mitarbeitende 123

Abbildung 60: Typischer Aktionsraum für durch Unternehmen betriebene offene Werkstätten (Erweiterung von Simons, Petschow und Peuckert, 2016, S. 37) 124

Abbildung 61: Wirkungsbeziehung für eine offene Werkstatt 125

Abbildung 62: Sechsstufiger Evaluierungsansatz mit beratungsorientierten Elementen für den Wissenstransfer ins Unternehmen (unter Verwendung von (Lux und Schuldt-Baumgart, 2022, Grames, 2020, Andersen und Richardson, 1997, Moellers et al., 2017, Moellers et al., 2019)) 128

Abbildung 63: Beispielhafte Darstellung der Ergebnis-Aufbereitung am Beispiel des Kennwerts Biodiversitätsindex (links: Einzellauf-Darstellung alle berechneten Szenarien, recht: Mehrfachlauf-Darstellung am Ergebnis eines Szenarios) 132

Abbildung 64: Vereinfachter Wertschöpfungsprozess des Evaluierungsbeispiel (kleines Unternehmen) 133

Abbildung 65: Organisationsstruktur des kleinen Unternehmens 134

Abbildung 66: Konjunkturelle Entwicklung der Industriegüterindustrie aufbauend auf dem Geschäftsklima-Index des ifo-Instituts mit Bezugsjahr 2015 (Index = 100) (Berlemann et al., 2012, Fled et al., 2021, Institut für Wirtschaftsforschung, 2020a, Institut für Wirtschaftsforschung, 2020b) 135

Abbildung 67: Unterjährige Konjunkturentwicklung als Abweichung auf den jährlichen Konjunkturindex des ifo-Instituts (Wollmershäuser et al., 2019, thinkaboutgeny.com, 2017, Fluch, 2020, Donhauer, Ademmer et al., 2020) 136

Abbildung 68: Unternehmensspezifische Informationen zu Lage und Anforderungen an Arbeitskräfte für das kleine Unternehmen 137

Abbildung 69: Unternehmensseitige Bewertung der modellierten Maßnahmen 137

Abbildung 70: Entwickelte Szenarien für das kleine Produktionsunternehmen 138

Abbildung 71: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit ökologischem Bezug (1/2) 139

Abbildung 72: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit ökologischem Bezug (2/2) 139

Abbildung 73: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit ökonomischem Bezug 140

Abbildung 74: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit sozio-technischem Bezug 141

Abbildung 75: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit Umfeldbezug 142

Abbildung 76: Vereinfachter Wertschöpfungsprozess des Evaluierungsbeispiel (mittleres Unternehmen) 144

Abbildung 77: Organisatorische Struktur des mittleren Unternehmens 145

Abbildung 78: Indexierte Prognose des Vertriebserfolgs auf jährlicher Basis, historische Werte und Prognose des Managementteams (Mittleres Evaluationsunternehmen, 2021) 146

Abbildung 79: Saisonale Schwankungen der geschäftlichen Entwicklung auf monatlicher Basis, basierend auf empirischen Werten des Unternehmens (Mittleres Evaluationsunternehmen, 2021) 146

Abbildung 80: Unternehmensspezifische Informationen zu Lage und Anforderungen an Arbeitskräfte für das kleine Unternehmen 147

Abbildung 81: Unternehmensseitige Bewertung der Weiterentwicklungsmaßnahmen 148

Abbildung 82: Abgeleitete Szenarien für das mittlere Unternehmen 148

Abbildung 83: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit ökologischem Bezug (1/2) 149

Abbildung 84: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit ökologischem Bezug (2/2) 150

Abbildung 85: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit ökonomischem Bezug 151

Abbildung 86: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit sozio-technischem Bezug 151

Abbildung 87: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit Umfeldbezug 152

Abbildung 88: Sammlung von aktuellen Herausforderungen aus Unternehmensperspektive (Hertwig, 2021b) 155

Abbildung 89: Trend-Sammlung hinsichtlich urbaner Produktion (Hertwig, 2021b) 156

Abbildung 90: Einschätzung der Nachwuchsführungskräfte am Ende des Evaluierungsworkshops (Hertwig, 2021b) 157

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entwicklung der Produktionsparadigmen (Rao, 4. Mai 2013, Boër und Dulio, 2007, S. 6) 10

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Modellierungsmethoden hinsichtlich Einsatzzweck und Eigenschaften (Maidstone, 2010) 33

Tabelle 3: Vergleich der qualitativen und quantitativen Modellierungsansätze (Wolstenholme, 1998, S. 4–5) 36

Tabelle 4: Analyse von systemdynamischen Modellen hinsichtlich Nutzbarkeit im Kontext der Forschungsfragestellung 39

Tabelle 5: Potenzielle Einteilung der Maßnahmen für die Identifikation relevanter Maßnahmen 61

Tabelle 6: Unternehmensspezifische Initialisierung für die ökonomische Perspektive 89

Tabelle 7: Stützvariablen ohne zeitliche Varianz für die ökonomische Perspektive 89

Tabelle 8: Unternehmensspezifische Initialisierung für die ökologische Perspektive 92

Tabelle 9: Stützvariablen ohne zeitliche Varianz für die ökologische Perspektive 93

Tabelle 10: Unternehmensspezifische Initialisierung für die soziale Perspektive 95

Tabelle 11: Stützvariablen ohne zeitliche Varianz für die soziale Perspektive 96

Tabelle 12: Unternehmensspezifische Initialisierung für die Produktionsperspektive 98

Tabelle 13: Stützvariablen ohne zeitliche Varianz für die Produktionsperspektive 98

Tabelle 14: Bewertungskriterien als Basis für den Erfüllungsgrad 160

Tabelle 15: Erfüllungsgrad der benannten Anforderungen 163

Kurzfassung

Seit der industriellen Revolution ist das produzierende Gewerbe Attraktor von Arbeitskräften und Garant für steigendes Wachstum gewesen. Die zunehmende Tertiarisierung der Wirtschaft hat die Attraktivität der Fabriken in der direkten Nachbarschaft leiden lassen. Für den Erhalt von Wohlstand und Resilienz der Wirtschaft ist eine Vielfalt der wirtschaftlichen Aktivitäten relevant, damit leistet auch die Produktion einen Beitrag. Aufgrund der Erkenntnisse zum anthropogenen Klimawandel und der Ausbeutung der natürlichen Ressourcen rückt zunehmend das nachhaltige Wirtschaften sowie die Schaffung von lebenswerten Umgebungen in den Fokus. Die Umsetzung der nachhaltigen Transformation erfolgt in Unternehmen zögerlich. In Weiterentwicklungsmaßnahmen müssen die Steigerung von Nachhaltigkeit und Umfeldverträglichkeit adressiert werden, mit welchem methodischen Ansatz lässt sich die Berücksichtigung in Entscheidungen der Unternehmen unterstützen?

Die Forderungen der nachhaltigen urbanen Transformation sind einerseits komplex, andererseits sind die Zielsysteme in Unternehmen vorrangig von ökonomischen Rahmensetzungen geprägt. Dies wird zusätzlich dadurch ergänzt, dass Produktion nicht losgelöst vom Umfeld stattfindet. Insbesondere in direkter Nachbarschaft zu Wohnquartieren sind Unternehmen besonders gefordert. Daher fällt es Unternehmen schwer geeignete Maßnahmen zu identifizieren, die negativen ökologischen Beiträge nicht nur verringern, sondern mittelfristig einen positiven Beitrag im Umfeld leisten. Dies wird noch dadurch verstärkt, dass viele Nachhaltigkeitsmaßnahmen einen langfristigen Wirkungshorizont besitzen und sich die Amortisation selten in typischen Investitionszyklen von drei bis fünf Jahren zuverlässig rechnen lässt.

Angestrebt ist den Unternehmen die mehrdimensionale Wirkung von Maßnahmen verständlich zu machen und so ein Werkzeug zu schaffen, das die Berücksichtigung von Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit und Umfeldverträglichkeit in der strategischen Unternehmensentwicklung unterstützt. Dazu müssen die Beziehungen und Wechselwirkungen verständlich dargestellt und im besten Fall quantifiziert werden. Bei der Untersuchung passender Methoden wurde die systemdynamische Modellierung als zielführend identifiziert, um einerseits den Umfang der Beziehung zu erfassen und anderseits die Komplexität sichtbar und beherrschbar zu gestalten.

Um einen für Unternehmen anwendbaren Ansatz zu erreichen, entstand ein generisches Grundmodell, welches die relevanten Betrachtungsperspektiven abdeckt. Dieses kann mittels unternehmensspezifischer Kennwerte auf das betrachtete Unternehmen angepasst werden. Durch die Festlegung der zeitliche Wirkungsstartpunkte der Maßnahmen lässt sich der Einfluss der Maßnahmen auf Kenngrößen über einen längeren Zeithorizont ermitteln. So können auch Kombinationen

mehrerer Maßnahmen als Szenarien ausgeprägt und somit deren ökonomischer, ökologischer und sozialer Beitrag sowie ihre Wirkung auf das urbane Umfeld dargestellt werden.

Der entwickelte Ansatz soll insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) dabei unterstützen, nachhaltigkeitsbezogene Maßnahmen in der Strategie zu verankern. Denn KMU haben nicht ausreichend Personal, um umfassende Expertise im Themenfeld Nachhaltigkeit auszuprägen. Zur Überprüfung der Anwendbarkeit des entwickelten Ansatzes erfolgten zwei Evaluierungen, jeweils in einem kleinen und einem mittleren Produktionsunternehmen. So konnten die Stärken und Schwächen des Ansatzes in praxisnaher Umgebung erprobt werden. Die Evaluierung zeigte auch, in welcher Form die Unternehmen von der Methode profitieren konnten. Neben der Anwendbarkeit in praxisnaher Umgebung erfolgte ein Workshop mit jungen Führungskräften, um eine Bereitschaft zur Implementierung zusätzlicher Dimensionen zur wirtschaftlichen Betrachtung zu validieren.

Mit der Arbeit wird aufgezeigt, welcher Ansatz Unternehmen befähigen könnte, die Nachhaltigkeitsperspektive verstärkt in die strategische Unternehmensentwicklung zu implementieren. Durch die Schaffung von Verständnis über komplexe Zusammenhänge, die mit einem auf das Unternehmen individualisierbaren Modells auch quantifiziert werden können, wird eine Grundlage für die Unternehmensführung geschaffen, neben kurzfristig amortisierbaren Maßnahmen auch langfristig wirksame Nachhaltigkeitsmaßnahmen in der Strategie zu verankern. Damit leistet die Arbeit einen Beitrag zur Befähigung und Stärkung nachhaltiger, urbaner Produktion.

Abstract

Since the Industrial Revolution, manufacturing has been an attractor of labor and a guarantor of increasing growth. The increasing tertiarization of the economy has caused the attractiveness of factories in the immediate neighborhood to suffer. A diversity of economic activities is relevant for maintaining the prosperity and resilience of the economy, thus manufacturing also contributes. Due to the findings on anthropogenic climate change and the exploitation of natural resources, the focus is increasingly shifting to sustainable management and the creation of livable environments. The implementation of sustainable transformation in companies is hesitant. In further development measures the increase of sustainability and environmental compatibility must be addressed, with which methodical approach can the consideration in decisions of the enterprises be supported?

On the one hand, the demands of sustainable urban transformation are complex; on the other hand, the target systems in companies are primarily shaped by economic frameworks. This is complemented by the fact that production is not performed in isolation from its environment. Companies are particularly challenged in the immediate vicinity of residential areas. This makes it difficult for companies to identify suitable measures that not only reduce negative ecological contributions, but also make a positive contribution to the environment in the medium term. This is intensified by the fact that many sustainability measures have a long-term economic horizon and the return on investment can rarely be reliably calculated in typical investment cycles of three to five years.

The objective is to provide companies with an understanding of the multidimensional impact of measures and thus to create a framework that supports the consideration of measures to increase sustainability and the compatibility of the surrounding environment in the strategic development of the company. For this purpose, the relationships and interactions must be presented in a comprehensible way and, in the best case, quantified. In the investigation of suitable methods, system dynamic modeling was identified as target-oriented in order to capture the scope of the relationship on the one hand and to make the complexity visible and manageable on the other hand.

To achieve an approach that can be applied to companies, a generic basic model was developed that covers the relevant perspectives. This can be adapted to the company under consideration by means of company-specific parameters. By defining the starting points of the measures in terms of time, it is possible to determine the influence of the measures on parameters over a longer time horizon. In this way, combinations of several measures can also be expressed as scenarios and thus their economic, ecological, and social contribution as well as their effect on the urban environment can be represented.

The approach developed is intended to support small and medium-sized enterprises (SMEs) in anchoring sustainability-related measures in their strategy. SMEs often do not have sufficient personnel capacities to develop comprehensive expertise in the field of sustainability. To verify the feasibility of the methodology, two evaluations were done, one in a small and one in a medium sized manufacturing company. This allowed the strengths and weaknesses of the approach to be validated in a realistic environment. The evaluation also showed in which way the companies could benefit from the method. In addition to the applicability in a practical environment, a workshop was held with young managers to validate a willingness to implement additional dimensions for economic consideration.

The work shows which approach could enable companies to implement the sustainability perspective more strongly in strategic corporate development. By creating an understanding of complex interrelationships, which can also be quantified with a model that can be individualized to the company, a basis is created for corporate management to anchor long-term effective sustainability measures in the strategy in addition to measures that can be amortized in the short term. In this way, the work contributes to the empowerment and strengthening of sustainable, urban production.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Digitalisierung ist ein Treiber für Veränderung. Insbesondere die Formulierung von Bedürfnissen verändert sich. Die damit verbundene Individualisierung von Kundenanforderungen führt zur Reduktion von Gleichprodukten.

Produktion wird immer noch vielfach isoliert betrachtet. Vor allem Herstellungsprozesse werden besonders unternehmensintern stark unter Gesichtspunkten von Effektivität und Effizienz optimiert. Die angestrebten Optimierungen sind meist monetär getrieben und von regulatorischen Rahmenbedingungen begrenzt. Dieses Vorgehen wird auch bei den Projekten im Kontext Ressourcen- und Energieeffizienz angewendet. Vielfach werden so gute Ansätze geschaffen und genutzt. Aber diese Ansätze haben weitere Abhängigkeiten und diese bleiben meist unberücksichtigt. Erst wenn die Wirkung sichtbar stört bzw. andere wichtige Kennwerte negativ beeinflusst werden, erfolgen Eingriffe zur Reduktion der Störungen. Damit ist eine holistische, langfristig angelegte strategische Entwicklung selten möglich.

Außerdem erfolgten die Analyse und Entwicklung losgelöst vom Umfeld. Insbesondere die im Umfeld lebenden und arbeitenden Menschen werden selten berücksichtigt. Dies führt nicht immer zur Zustimmung bei Entwicklungsmaßnahmen des Unternehmens, da im urbanen Umfeld diese Entwicklung negative Auswirkungen zeigt, oder das Verständnis und damit verbunden die Akzeptanz für die Maßnahmen fehlt. Denn nur wenn die Produktion inklusive des Umfeldes, in das es eingebettet ist, betrachtet wird, kann in der Gestaltung der Maßnahmen eine Adressierung dieser Bedürfnisse erfolgen. Jede Region, in der sich Menschen zum Leben agglomerieren, kann als urbaner Raum betrachtet werden, wobei die Spezifika dieser Urbanität signifikant differenziert sind. Eine nachhaltige Entwicklung zum Vorteil aller Beteiligter ist langfristig eine bessere Lösung.

Für die frühzeitige Bewertung von Wechselwirkungen und deren Resultate ist eine ganzheitliche Analyse unersetzlich. Holistische Ansätze dienen der Betrachtung und Bewertung von allen Einflüssen innerhalb bestehender Grenzen. So können Auswirkungen frühzeitig sichtbar gemacht werden.

Im Rahmen bereits erfolgreich abgeschlossener Projekte ist die Modellierung zur Komplexitätsbeherrschung diskutiert worden. Eine komplette ganzheitliche Modellierung ist bisher nicht verfügbar. Für viele Unternehmen kann ein generisches Wechselwirkungsmodell, welches mit Kennwerten des Unternehmens individualisierbar ist, einen großen Mehrwert haben. Besonders profitieren davon kleinere Unternehmen mit begrenzter Personalkapazität für Projekte ohne direkten Beitrag zur Wertschöpfung. Erweitert um eine Methode zur Entwicklung einer strategischen

Planung auf Basis von Wechselwirkungen, ist für eben jene Unternehmen sehr bedeutsam. Denn zum einen unterstützt ein Wechselwirkungsmodell das Verständnis von Abhängigkeiten, zum anderen lassen sich diese Wechselwirkungen somit sowohl qualitativ als auch quantitativ bewertbar machen. Da die Systemdynamik eine sehr komplexe Thematik mit hohem Bedarf an Einarbeitung ist, muss ein Vorgehensmodell zur Identifikation von relevanten Wechselwirkungen entwickelt werden (Sterman, 1994). Darüber hinaus soll ein allgemein gültiges Basismodell zur einfachen Erweiterung zur Individualisierung erstellt werden.

1.2 Forschungsfragestellung

Die Transformation der Wertschöpfung, insbesondere der Produktion, fällt vielen Unternehmen nicht leicht. Die üblichen Zeiträume für Trendanalysen für unternehmerischer Strategien sind kurz- bis mittelfristig (Fink, 2017, S. 10–15), was zwei bis fünf Jahren entspricht (Mietzner, 2009). Somit erfolgen Betrachtungen meist auch in diesen Zeiträumen. Jedoch ist die Verwirklichung von nachhaltigen Konzepten nur langfristig möglich. Die Umsetzung von Entwicklungen mit Fokus auf Nachhaltigkeit sind ebenso Investitionen in das Unternehmen, wie die Beschaffung von technischem Werkzeug für die Erstellung der Produkte und Dienstleistungen. Die Besonderheit der Nachhaltigkeit ist der hohe Vernetzungsgrad sowie die Interdisziplinarität (Fink und Rammig, 2014, S. 4–5).

Diese Besonderheit stellt für Unternehmen einen nur schwierig aufzulösenden Gegensatz dar. Die angewendeten Betrachtungszeiträume, in denen sich Investitionen als tragfähig herausstellen müssen, lassen sich kaum mit den Wirkzeiträumen der Nachhaltigkeitsbemühungen übereinbringen (Herrmann et al., 2014, S. 283–284). Um auch unter den sich ändernden Rahmenbedingungen wettbewerbsfähig zu bleiben, stehen die Unternehmen vor einen Paradigmenwechsel. Die Unternehmen müssen sich als Bestandteil des urbanen Ökosystems verstehen (Spath und Lentes, 2012, S. 243). Vielfach sind nachhaltig agierende Unternehmen durch weitere Motivatoren in ihrem Handeln bestätigt. So sind für die verantwortlichen Akteure weitere Aspekte relevant (Dornbracht, 2013, Hundsdörfer, 2015).

Da eine auf fiskalische Betrachtung begrenzte Analyse eine Investitionsentscheidung nur erschwert zulässt, ist es das Ziel zu untersuchen, ob die ganzheitliche Betrachtung des Unternehmens eine bessere Entscheidungsgrundlage stellt. Durch eine Modellierung von komplexen Wirkmechanismen, soll eine Betrachtung von verschiedenen Perspektiven auf das Unternehmen ermöglicht werden. Ausgehend von vorliegenden Unternehmenskennwerten sollen verschiedene potenzielle Entwicklungsszenarien zur Steigerung der Umfeldverträglichkeit und Nachhaltigkeit des Unternehmens mittels des Modells simuliert werden. Dabei steht nicht ausschließlich die Reduktion von

negativen Effekten im Mittelpunkt. Gelingt es dadurch Unternehmen auch zu motivieren in Aspekte mit Bezug zum Umfeld zu investieren, da die Betrachtung sich nicht ausschließlich auf die Fabrik bezieht.

1.3 Struktur der Arbeit

Basierend auf einer kurzen Einführung ins Themenfeld sind in Kapitel 1 sowohl die Motivation wie auch die zu untersuchenden Inhalte dargestellt. In Abbildung 1 wird die allgemeine Struktur der Arbeit dargestellt.

Um das Themenfeld abzugrenzen, erfolgt in Kapitel 2 die Gegenüberstellung der beiden Kernbegriffe, die ausschlaggebend sind für die Themenfelder der urbanen Produktion. Anschließend erfolgt die Darstellung der Grundlagen, welche für das allgemeine Verständnis der Arbeit relevant sind. Hier wird die Begrifflichkeit der urbanen Produktion spezifiziert, unterschiedliche Ansätze der Modellierung beleuchtet und wie eine zielführende Verknüpfung im Kontext der strategischen Unternehmensentwicklung möglich sind. In Kapitel 4 wird das methodische Vorgehen detailliert und damit die Grundlage für die Entwicklungstätigkeiten in Kapitel 5 gelegt. Bei der Entwicklung erfolgt zuerst das generische Modell. Es wird der gewählte Ansatz beschrieben, um es auf den Betrachtungsraum, das zu untersuchende Unternehmen, anzupassen. Zusätzlich wird auf die Ausprägung der potenziellen Weiterentwicklungen eingegangen und beispielhaft untersetzt. In Kapitel 6 erfolgt die Applikation des entwickelten Ansatzes auf zwei Unternehmen, welches durch die Diskussion mit Führungskräften unterstützt wird. Der entwickelte Ansatz sowie die Ergebnisse aus der Evaluierung werden kritisch untersucht, um so die Anwendbarkeit objektiviert zu betrachten. Abschließend wird in Kapitel 8 die Arbeit zusammengefasst, wobei auch ein Ausblick auf weiterführende, noch zu untersuchende, Elemente erfolgt.

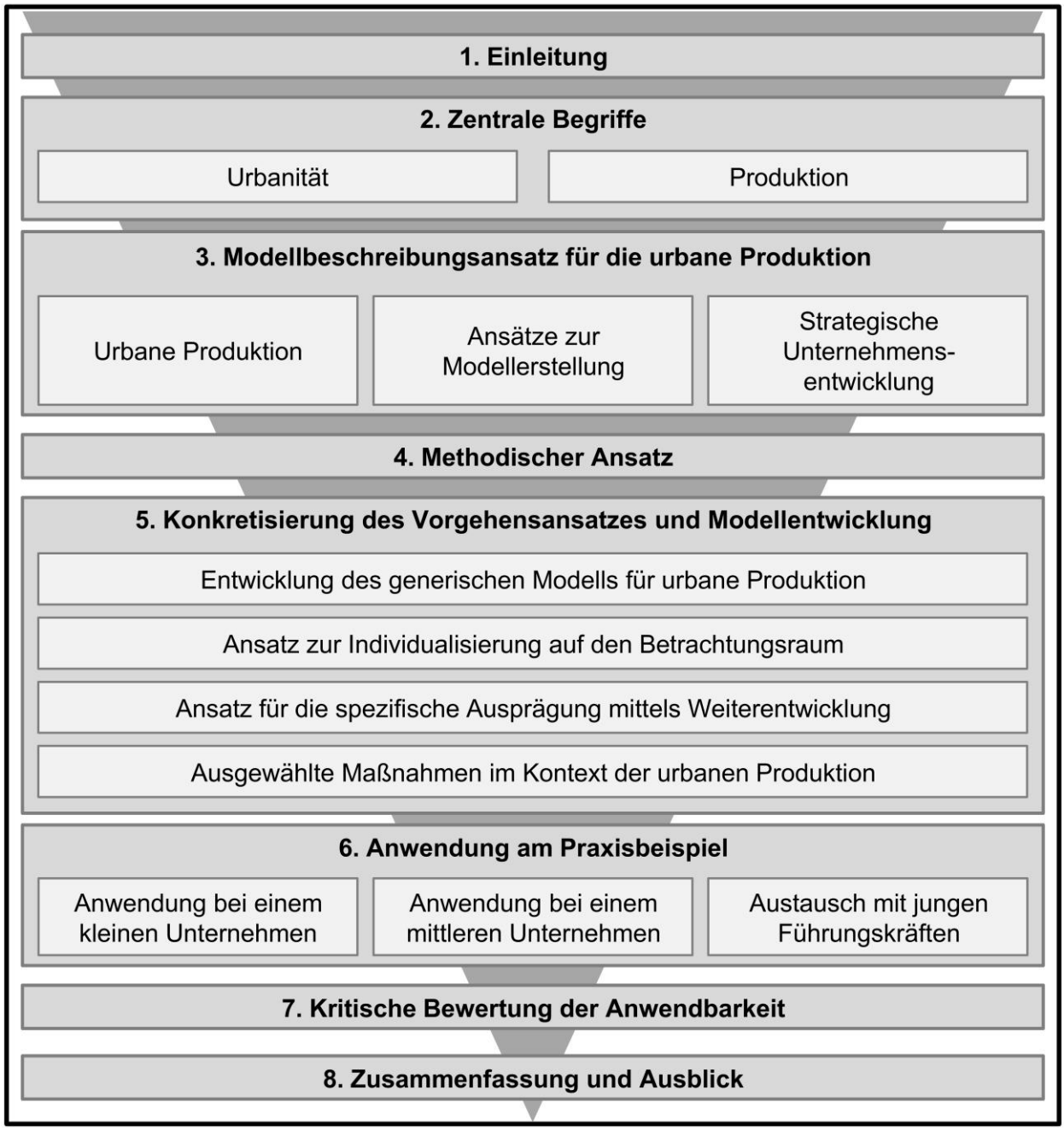


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

2 Zentrale Begriffe

2.1 Urbanität

Einer der Megatrends der aktuellen Zeit ist die Urbanisierung (Heß, 2008). Damit wird die Migration der Menschen zu Agglomerationen beschrieben. Die Attraktivität der Städte ist ungebrochen. Diese ist in allen Teilen der Welt sichtbar. Besonders markant ist dies durch das starke Wachstum der Wirtschaftskraft in den Megastädten dieser Welt (Dobbs et al., 2011), aber auch in den Industrienationen ist immer noch eine Migration zu städtischen Zentren zu beobachten.

Urban ist ein aktuell häufig verwendeter Begriff. Vielfach wird er im Kontext der zunehmenden Verstädterung verwendet. Doch die Nutzung des Begriffes im heutigen Verständnis ist ein junges Phänomen. War der Begriff Urbanität über Jahrhunderte im Wandel, so ist Georg Simmel einer der ersten Vertreter, der die Unterteilung der Ansiedlungen in Groß- und Kleinstädte propagiert (Sonne, 2014). Beschreibt Lefebvre, Gottdiener und Stuart (2001, S. 4–6, 2014, S. 204) Urbanität als Raum-Spannungs-Gefüge, wobei die Spannung zwischen der Repräsentation des Raumes und dem Raum für Repräsentation aber auch der räumlichen Praxis entspringt (Dörfler, 2011, King, 2018, S. 19, Illigens, 2017, S. 45–46). So verbindet Edgar Salin mit Urbanität die Bedingungen der Bürgertugend (soziale Stellung unabhängig von Herkunft, denn von Bildung und Leistung) und Mitwirkung an der Stadtregierung (gelebte aktive Demokratie). Differenzierter ist die kritische Analyse von Walter Siebel. In der Analyse zeigt er drei Betrachtungsansätze für Urbanität auf (Siebel, 1994).

1) Urbanität ist der Ort des *„dichten Nebeneinanders der Funktionen von Wohnen, Arbeiten und Erholung (Siebel, 1994, S. 12)“*
2) *„Ort, wo gesellschaftliche Konflikte sichtbar werden, aber ist sie auch noch der Ort, wo diese Konflikte ausgetragen und gelöst werden (Siebel, 1994, S. 13)“*
3) *„Städte sind von Anfang an und zuallererst Ort der Emanzipation von Natur. Sie sind der Ort, wo die Unabhängigkeit von Natur gelebt werden (Siebel, 1994, S. 14)“*

Der radikale Ansatz unterscheidet zwischen rural (ländlich geprägt) und urban (städtisch geprägt) (Spangenberg, 2008, S. 2–4). Aber dieser radikale Ansatz beschreibt nur teilweise die reale Differenzierung (Abbildung 2). Denn eine strikte Abgrenzung ist in realen Räumen nur bedingt möglich, da die Übergänge fließend sind und so die Unterscheidung deutlich differenzierter ist. Um diesen greifbarer zu gestalten, führt Küpper (2016, S. 4) die Dimension „Ländlichkeit“ ein. Im Umkehrschluss lässt sich daraus als Gegensatz die Urbanität besser beschreiben. Somit gelingt es auch das Stadt-Land-Kontinuum zu strukturieren, um eine Abgrenzung aus dem fließenden Übergang zu schaffen.

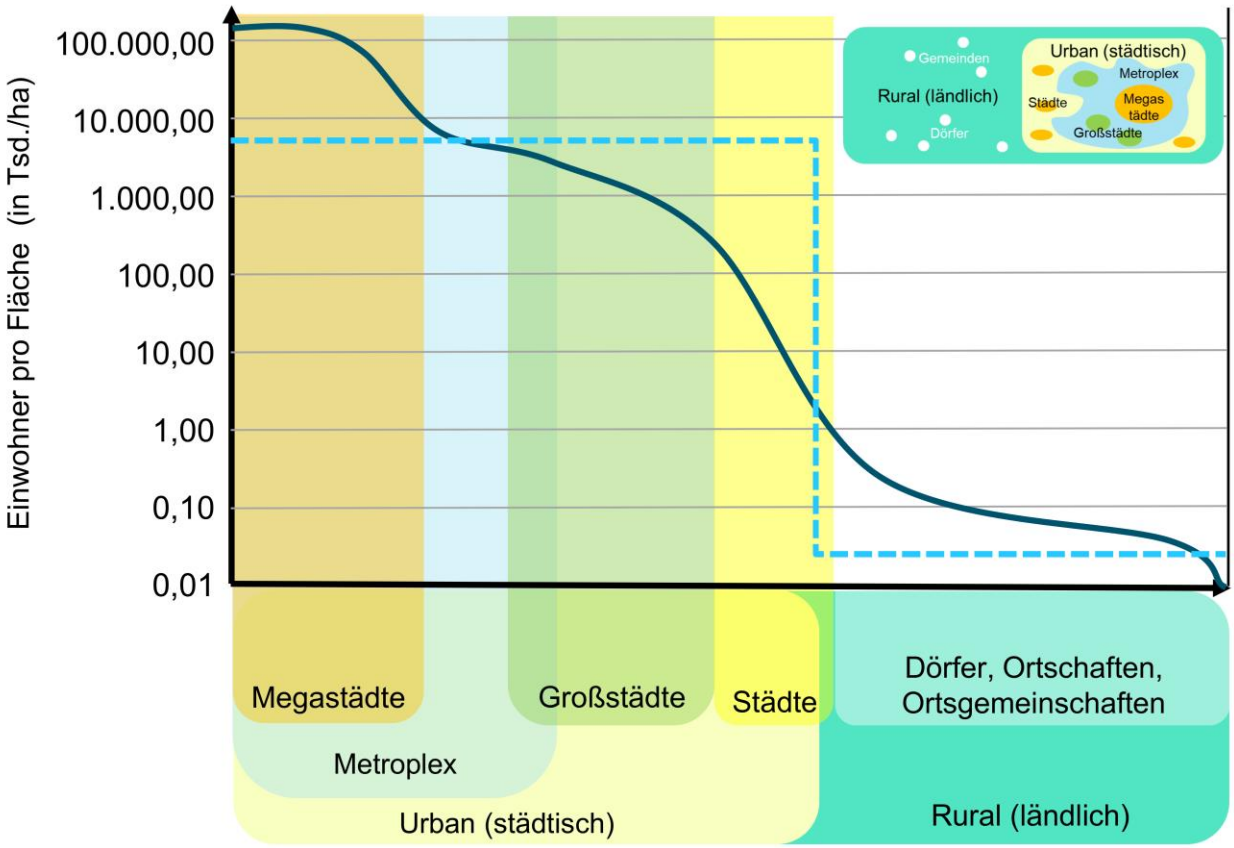


Abbildung 2: Einteilungsmöglichkeit von Agglomerationsräumen hinsichtlich der Begrifflichkeit „urban“ (Dobbs et al., 2011, Spangenberg, 2008)

Im Fokus dieser Arbeit sollen urbane Zentren nach mitteleuropäischen Maßstäben stehen. Denn neben Nordamerika und Ozeanien zählt Mitteleuropa zu den Regionen, deren Entwicklung der städtebaulichen Muster eng mit der Industrialisierung verbunden ist. Anders als in aufstrebenden Nationen mit hoher Volatilität ist der Lebensstandard im Durchschnitt sehr hoch. Dazu kommt, dass Europa bereits einen sehr hohen Anteil an Agglomeration erfahren hat. So leben ein Anteil von mehr als 74 % der Bevölkerung in städtischen Gebieten, gemäß der Definition in Abbildung 2 (United Nations, 2015).

2.2 Produktion

Der Begriff umfasst nach Gutenberg die Schaffung materieller Güter, Dienstleistungen und ideeller Güter (1971). Dabei erfolgt die Transformation von Produktionsfaktoren (Input) in Erzeugnisse (Output). Die Betriebswirtschaftslehre unterteilt die Produktionsfaktoren (Gutenberg, 1971).

Ausgangsstoffe bzw. Produktionsfaktoren können Rohstoffe, Halbzeuge, Dienstleistungen, Rechte und Informationen sein. Im Wertschöpfungsprozess werden diese Ausgangsstoffe, meist am Beschaffungsmarkt erworben, in höherwertige, am Markt nachgefragte Output-Faktoren

überführt (Schuh und Schmidt, 2014). Die Produktion besteht aus Aktivitäten, die in kosteneffektiver Weise die Ausgangsstoffe in Produkte überführt (Böllinghaus et al., 2009). Neben der Kosteneffizienz existieren aber auch weitere Zielparameter. So treten neben den Kosten die Durchlaufzeit sowie die Qualität als gleichrangige Erfolgskriterien zu Tage (Tress, 1987). Diese drei Zielparameter werden unter dem Begriff des magischen Dreiecks der Produktion (Abbildung 3) zusammengefasst (ZWF-Redaktion, 2009, Spath, 2005). Denn es ergibt sich ein Zielkonflikt hinsichtlich der Maximierung (Stahmer, 2010).

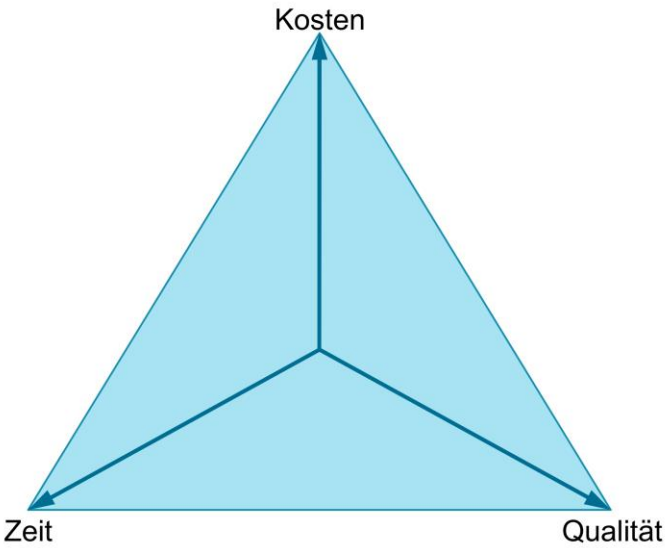


Abbildung 3: Magisches Dreieck der Produktion (Spath, 2005)

Die Produktion war immer wieder im Wandel begriffen. Dabei war die Ausreizung des Zielkonflikts der Erfolgsparameter ein wichtiger Treiber. Die aktuellen Digitalisierungsinitiativen verfolgen ebenfalls die Optimierung der Erfolgsparameter. Denn Unternehmen in Hochlohnländern haben hohe Kosten für Personal, was zu einer zunehmenden Automatisierung geführt hat (Brecher, 2011, Gerstenmayer, Semmler und Schmeja, 2005). Damit gelang es den Unternehmen auch gleichbleibende Qualität bei vorhersagbaren Zeiten zu realisieren. Um im globalen Wettbewerb standhalten zu können, den meist kostengünstigeren Produktionsbedingungen mit hohem manuellem Anteil, eine ähnliche Adaption an Kundenanforderungen entgegenzustellen, ist die digitalisierte Produktion potenzieller Zielpfad (Spath, Lentes und Richter, 2007). Denn es lassen sich Ansätze realisieren, die eine hohe Flexibilität mit wissensintensiven Tätigkeiten verbinden (Spath, Lentes und Haselberger, 2009).

2.3 Zusammenfassung

Diese neuen Ansätze in der Fertigung von Gütern, bietet gleichsam das Potenzial zur Adressierung von weiteren Anforderungen. Damit können Produktionsprozesse flexibler, kleinteiliger und adaptiver gestaltet werden. Durch die Adaptivität kann die Fabrik als Umfeld gestaltendes Element in ein integriertes Element überführt werden. Damit kann eine Symbiose zwischen Wertschöpfung und Raumnutzung ermöglicht werden.

3 Theorie und Stand der Forschung

3.1 Produktion im urbanen Raum

3.1.1 Transformation der Produktion

Produktion ist ständiger Veränderung unterworfen, welche historisch bereits seit der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert wirksam ist. Auslöser sind Dynamiken und Kräfte von außerhalb der Organisation oder durch neue Befähigungselemente innerhalb der Organisation. Unter der Betrachtung der Trends Globalisierung, Individualisierung und Industrie 4.0 verändern sich Industriebranchen nachhaltig. Das verbreitete Bild der rauchenden Schlote und lärmerzeugenden industriellen Produktion weicht zunehmend einer ressourcenoptimierten, effizienten und emissionsarmen Fertigung. Die Veränderung von Produktionsprozessen hat verschiedene Treiber, die sich in marktorientierte Treiber, gesellschaftliche Treiber und technologische Treiber zusammenfassen lassen. Dieser Einfluss von treibenden Kräften lässt sich auch an den jeweiligen Produktionsparadigmen (Tabelle 1) ablesen (Boër und Dulio, 2007, S. 6, Rao, 4. Mai 2013).

Unabhängig von den externen Triebfedern lassen sich die Entwicklungen aber immer nur im Verhältnis des magischen Dreiecks betrachten. Denn alle Einführungen von neuen Technologien oder Anpassungen von Prozessen, Abläufen und der Organisation erfolgen nicht zum Selbstzweck. Angestrebt wird die optimierte Ausrichtung des Zielkonflikts, welcher durch Realisierung geringer Kosten, Verbrauch minimaler Zeit und Erreichung hoher Qualität aufgespannt wird (Ramsauer, 2013, S. 9–10).

Mit der industriellen Revolution hat sich die Werkstattproduktion herausgebildet. Hierbei erfolgte eine Fertigung von kundenspezifischen Produkten in kleinen Mengen, wobei die Initiation des Produktionsprozesses erst nach dem Verkauf erfolgte. Die Fertigungsorganisation war vergleichbar mit Handwerksbetrieben bzw. deren Werkstätten.

Mit der Erfindung und Verbreitung des Fertigungsfließbands vollzog sich die Transformation zur Massenfertigung, bei der große Mengen an identischen oder sehr ähnlichen Produkten gefertigt wurden. Bekanntestes Beispiel ist die Fertigung des T-Modells bei Ford (Lotter und Wiendahl, 2012, S. 1). Die Nachfrage nach kostengünstigen Produkten war höher als das Angebot, danach war es ausreichend den Verkauf als Abschluss des Prozesses durchzuführen.

Mit zunehmendem Wohlstand der Kunden einerseits und der Einführung von computergesteuerter Steuerung andererseits wurde die Produktion flexibilisiert. Aus Massenprodukten wurden variantenreiche Produkte, um die differenzierten Anforderungen der Kunden passend sowie fristgerecht zu bedienen.

Tabelle 1: Entwicklung der Produktionsparadigmen (Rao, 4. Mai 2013, Boër und Dulio, 2007, S. 6)

Paradigma	**Wertstatt-produktion**	**Massen-produktion**	**Flexible Produktion**	**Mass Customization**	**Nachhaltige Produktion**
Beginn des Paradigmas	~1850	1913	~1980	2000	2020
Gesellschaftliche Bedürfnisse	Kundenindividuelle Produkte	Niedrigpreis-produkte	Produktvarianten	Globalisierte kunden-individuelle Produkte	„Saubere“ Produkte
Markt	Kleine Menge pro Produkt	Nachfrage > Angebot stabile Nachfrage	Angebot > Nachfrage kleiner Mengen pro Produkt	Wechselnde Nachfrage	Umwelt
Geschäftsmodell	Pull sell-design-make-assemble	Push design-make-assemble-sell	Push-Pull design-make-sell-assemble	Pull design-sell-make-assemble	Pull design for environment-sell-make-assemble
Technologische Basis	Elektrizität	Austauschbare Teile	Computer	Informations-technologie	NanoBio / Material-technologie
Prozessuale Basis	Werkzeug-maschinen	Fließband-fertigung / Spezialisiere Fertigungsstraßen	Flexible Montagesystem (FMS) / Roboter	Rekonfigurierbare Fertigungssysteme	Additive Fertigung

Die technische Weiterentwicklung, insbesondere der Informationstechnologie, schafft die Grundlage für die weitere Flexibilisierung, um die hoch dynamisch wechselnde Nachfrage abgestimmter zu adressieren. Dabei wurden die Fertigungssysteme dahingehend weiterentwickelt, um reaktiv auf Veränderungen anpassbar zu sein.

Die zunehmende Sichtbarkeit der Folgen der Ausbeutung des Planeten Erde sowie Umweltschäden aus Unglücken haben die gesellschaftliche Forderung nach Nachhaltigkeit und sauberen Produkten deutlich verstärkt, ähnlich, wie von Jovane, Koren und Boër (2003, S. 550) prognostiziert. Jedoch sind die Forderungen differenzierter, wie bei Analyse der Veränderungstreiber hervorgeht.

3.1.1.1 Marktorientierte Treiber

Als Änderungsimpulse, die einen Bezug zum Absatzmarkt haben, lassen sich als marktorientierte Treiber beschreiben. Damit sind alle Einflüsse, die aus Anforderungen von Kunden entstehen, sowohl direkt als auch implizit zu nennen. Es ergeben sich drei Strömungen – Individualisierung der Kundenanforderungen, der Globalisierungsdruck und Ausprägung der Wissensökonomie.

Individualisierung von Kundenanforderungen

Die zunehmende Forderung nach Individualisierung der Produkte an Kunden wird aktuell verschiedentlich betitelt. Meist sind die unterschiedlichen Benennungen auch der jeweiligen Perspektive geschuldet. Der Kern ist bei allen Benennungen die Fokussierung auf individuelle Bedürfnisse des Kunden (Arnoscht et al., 2011): *Produktpersonalisierung, Mass Customization, Mass Personalization, kundenindividuelle Produkte.*

Kosten- und Globalisierungsdruck

Mit dem Ende des kalten Kriegs nach Zusammenbruch der Sowjetunion Anfang der 90er Jahre erfolgte eine Internationalisierung der Wertschöpfungskette über das bekannte Maß hinaus. Die neuen Partner waren Länder, die aufgrund des ideologischen Konflikts nicht Teil des kostenorientierten Systems waren und nun als neuer Beschaffungsmarkt und Absatzmarkt zur Verfügung standen. „*Heute stehen bei dem, was oft als ‚Globalisierung 3.0' bezeichnet wird, einzelne Menschen im Vordergrund. Sie haben dank Computer und Internet überall auf der Welt die gleichen Werkzeuge, um auf dem Weltmarkt zu konkurrieren.*" (Heß, 2008, S. 9) Dieser Kompetenz- und Technologiezuwachs erzeugt einen anders artigen Konkurrenzdruck. „*Die Organisation des Wertschöpfungsprozesses in einer Art ‚Projektwirtschaft' versetzt Unternehmen in die Lage, flexibler sowie mit geteilten Kosten und Risiken auf die deutlich gestiegenen Anforderungen der globalen Märkte zu reagieren. Denn die Produktlebenszyklen verkürzen sich weiter, die Breite und Tiefe des Wissens, die für die erfolgreiche Entwicklung und Vermarktung von Produkten nötig sind, nehmen rasant zu.*" (Heß, 2008, S. 10) Aufgrund dieser Änderungen und der Verschiebung des wirtschaftlichen Pols von Europa und USA nach Asien führen neben dem anhaltenden Trend des globalen Wettbewerbes auch zu einer Lokalisierung von Wirtschaftsaktivitäten. Hierbei müssen sich Regionen und Unternehmen über die Stärken, den Beitrag und die Vorteile, die lokal vorhanden oder realisiert werden können, sichersein und bewerben. Unter dem Slogan „Think global, act local", der zwar seit 1915 im übertragenen Sinne in der Stadtplanung bereits bekannt ist (Geddes, 1915, S. 397), sind aktuell viele Unternehmen, besonders Gründungsunternehmen und Start-Ups

aktiv (Nicole, 2011). Dabei spielen besonders der lokale Beitrag und eine Befriedigung regionaler Interessen eine besondere Rolle, die aber durch die Digitalisierung auch portierbar wird.

Wissensökonomie

Die Wirtschaft hat sich immer wieder gewandelt. Die steigende Arbeitsteiligkeit und zunehmende Automatisierung haben den Bedarf an Spezialisten herausgebildet. Durch den zunehmenden Wohlstand erfolgte ebenfalls eine zunehmende Akademisierung. So hatten im Jahr 2019 mehr als 50 % der 20-24-jährigen einen Abschluss zur Zulassung zum Hochschulstudium (Statistisches Bundesamt, 2020). Die Akademisierung ist auch in den Berufsabschlüssen ablesbar. Darin zeigt sich bereits die Herausforderung von qualifizierten Fachpersonal mit Ausbildung. Gleichzeitig führt die steigende Technisierung der Arbeit durch Einsatz von rechnerbasierten Technologien ein zunehmendes Wissen komplexer Zusammenhänge voraus. Auch werden die Produkte komplexer, durch das Zusammenwirken von Bestandteilen verschiedener Domänen. Gleichsam setzt sich die Tertiarisierung der Wirtschaft mit steigendem Dienstleistungsanteil fort. Dabei spielt zunehmend eine Produkt-Service-Kombination eine größere Rolle, bei der um das physische Produkt eine Dienstleistung bzw. ein Dienstleistungsökosystem geschaffen wird.

3.1.1.2 Gesellschaftliche Treiber

Neben dem Markt hat sich die Gesellschaft gewandelt. Der erhöhte Wohlstand in weiten Teilen der Bevölkerung hat den Fokus, ausgehend von der Bedürfnispyramide nach Maslow, weiter in Richtung Selbstverwirklichung verschoben (Krech, Ballachey und Crutchfield, 1962, S. 72–77). Demnach spielen Konsum, Einklang von beruflichem, freizeitlichem und familiärem Leben und die Attraktivität der Lebens- und Arbeitsumwelt eine bedeutendere Rolle im Wertesystem der Menschen. Somit lassen sich die gesellschaftlichen Treiber auf Ausgeglichenheit von Arbeit und Privatleben und dem Erhalt der Umwelt und Steigerung der Nachhaltigkeit zusammenfassen. Dies wird durch die noch aktuelle Attraktivität urbaner Räume und der Alterung der Gesellschaft ergänzt.

Work Life Balance

Arbeit hatte immer den Zweck das Leben zu ermöglichen. Durch den Verdienst wurden Bedürfnisse befriedigt. Der zunehmende Wohlstand in vielen Bevölkerungsschichten zeigt die Werthaltigkeit der Zeit auf. Denn nach der Erfüllung von Statusbedürfnissen folgt die Selbstverwirklichung. Diese ist ausschließlich unter Einsatz der eigenen Zeit realistisch. Um aber diese

Selbstverwirklichung, ob in der Familie, im Sport, im Ehrenamt, im Hobby oder anderen Teilen des Lebens, realisieren zu können, bedarf es frei verfügbarer Zeit (Johnson, 2015). Die Reduktion der Tagesarbeitszeit war seit Gründung der Gewerkschaften das höhere Ziel. Mit dem neuen Tarifabschluss können Beschäftigte in Baden-Württemberg zeitweise die Wochenarbeitszeit reduzieren und Mitarbeiter mit besonderen Rahmenbedingungen haben die Wahl zwischen Reduktion der Arbeitszeit oder Zusatzzahlung (Diekmann, 2018). Dies zeigt den Wunsch der Mitarbeiter selbstbestimmter die Zeit einzuteilen und Prioritäten in der Nutzung zu setzen. In Kombination mit dem prognostizierten Fachkräftemangel sind Unternehmen verstärkt gefordert auf Bedürfnisse ihrer Mitarbeiter einzugehen, um etablierte Geschäftsprozesse in gewohnter Qualität umsetzen zu können (Spath, 2012, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2009).

Nachhaltigkeit und Umweltschutz

Ausgelöst durch die Erdfotografien („Earthrise“ und „Blue Marple“) aus dem Weltall durch die frühen Apollo-Missionen der NASA, durch die vielen Menschen erstmals die Verletzlichkeit des Planeten Erde klar ersichtlich wurde, wurden die Anstrengungen gesteigert, die Umwelt und Natur zu schützen (Kersten, 2016). Waren die Bemühung langzeitlich durch Individualinteressen von Verbänden und Aktivisten gesteuert, zeigen inzwischen auch die politischen Führungen mehrheitlich Interesse am Schutz des Klimas und der Umwelt (Heß, 2008). Aber auch das Verständnis der Kunden hat sich in diesem Zuge entwickelt. Durch die Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten und der Gestaltung von nachhaltigen Wertschöpfungsketten versuchen Unternehmen ihren jeweiligen Beitrag gegenüber Kunden und Interessenten transparent darzustellen. Gingen die Bemühungen von der effizienteren Nutzung von Energieträgern hin zur Einführung regenerativer Energien, so erfassten diese Bemühungen sukzessive alle Lebensbereiche, wie aus Studien zum Markt der Umwelttechnik zu entnehmen (Büchele et al., 2014). Die Kunden verändern das Konsumverhalten und Kaufen reflektierter ein. Aktuell ist ein Trend zu Gesundheit, Fitness und lokalen und fair gehandelten Produkten zu erleben (Seitz und Rauch, 2013, Stemper, 2017).

(Re-) Urbanisierung

Der Urbanisierungstrend ist ungebrochen. Aus Prognosen ergibt sich, dass bis 2050 ca. 68 % der Weltbevölkerung in Städten leben. Da die Migrationsbewegung in Industriestaaten länger stattgefunden hat, wird für Deutschland für 2050 ein Urbanisierungsgrad von ca. 85% prognostiziert (United Nations, 2011, Studtrucker et al., 2022). Nach der Jahrtausendwende schien die zunehmende Urbanisierung gesättigt (Siedentop, 2008). Die Städte hatten ihre Attraktivität verloren (Fricke, Siedentop und Zakrzewski, 2015, S. 35–37). Doch aktuell ist eine Phase der Re-

Urbanisierung erkennbar (Landeshauptstadt Stuttgart und Statistisches Amt, S. 137, Osterhage und Kaup, 2012, S. 136). Die Zunahme ist im globalen Vergleich geringer, aber trotzdem sichtbar. Denn neben der bekannten Migrationsbewegungen, jüngere Generationen ziehen in die Stadt, Familien in die Peripherie, gibt es zusätzliche Trends. So entscheiden sich verstärkt junge Familien gegen den Wegzug (Jessen, Siedentop und Zakrzewski, 2012, S. 210). Aber auch ältere Menschen ordnen Städte als Alterssitz positiv ein (Fricke, Siedentop und Zakrzewski, 2015). Motivatoren sind neben der besseren Infrastruktur und Angebote auch neue Lebenskonzepte mit Bezug zu Mobilität, Sportmöglichkeiten und Bildungseinrichtungen (Fricke, Siedentop und Zakrzewski, 2015, S. 109).

Demografischer Wandel

Unter demografischen Wandel werden Veränderung verstanden, die durch die Alterung der aktuellen Bevölkerung erzeugt werden (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2011). Die Baby-Boomer Generation (Jahrgang 1955–1964) stellt in der aktuellen Beschäftigtenzusammenstellung eine gewisse Mehrheit (Abbildung 4) (Statistisches Bundesamt, 2019, Schnetzer, 2021). Diese Generation wird im nächsten Jahrzehnt in Ruhestand gehen. Damit verlässt ein signifikantes Beschäftigungspotenzial in den nächsten Jahren den aktiven Arbeitsmarkt. Damit geht auch ein Fachkräftemangel einher, der Unternehmen zunehmend fordert attraktiv für Beschäftigte zu sein. In einigen Spezialisierungsberufen sind die Auswirkungen bereits sichtbar. Mit dem Austritt aus dem aktiven Arbeitsmarkt, kommt es zu einer Verschiebung bei den Beschäftigten und den Entscheidungsträgern (Fuchs, Söhnlein und Weber, 2011). Damit verbundene Herausforderungen sind die sich wandelnden Erwartungen an die Rahmenbedingungen der Beschäftigung. Beschäftigte stellen vermehrt die Work-Life-Balance in den Mittelpunkt, aber auch die Angebote des Arbeitsumfeld ändern sich zu mehr Kooperation und Vernetzung untereinander als Konkurrenz und Wachstum um jeden Preis. Die Anforderung hinsichtlich Flexibilisierung der Arbeit hat durch die Pandemie (ab März 2020) nochmals deutlich zugenommen.

Aber neben den Auswirkungen auf die Beschäftigung wirkt sich der demografische Wandel auf die gesamte Bevölkerung aus. So leben die Menschen länger und fühlen sich teilweise deutlich jünger als ihr reales Lebensalter (Wenzel, 2017). Diese Veränderung führt auch zu veränderten Lebensphasen, in denen die Bedürfniswelt der potenziellen Kunden sich komplett verändert. In der Wechselwirkung mit anderen Megatrends werden die Kundenanforderungen in urbanen Regionen entsprechend geprägt sein (Wenzel, Langwieser und Dziemba, 2012).

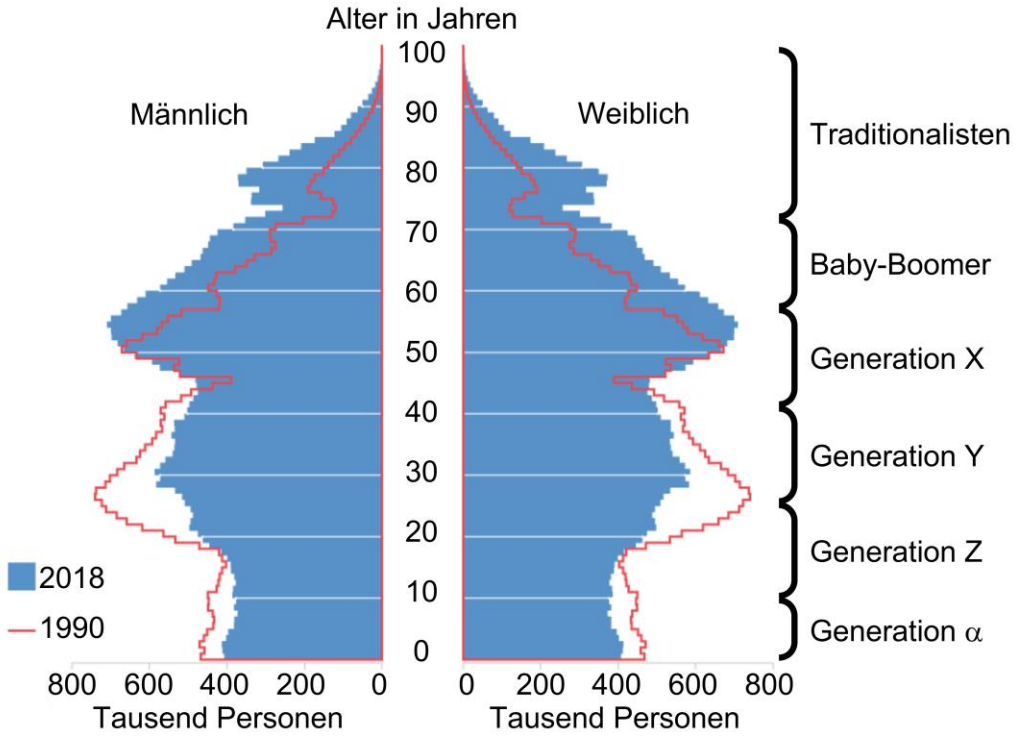


Abbildung 4: Bevölkerungsverteilung in Deutschland nach Alter für die Jahre 1990 und 2018 (Statistisches Bundesamt, 2019, S. 11), ergänzt um die Generationsbetrachtung (Schnetzer, 2021)

3.1.1.3 Technologische Treiber

Mit der Einführung des Begriffs „Industrie 4.0“ und der Gründung der Nationalen Plattform Industrie 4.0 wurde eine neue technologische Innovationswelle prognostiziert, die neue Potenziale für die Wertschöpfung bereithält (Bauernhansl, Hompel und Vogel-Heuser, 2014). Die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) ist die Vernetzung aller Einheiten, die eine lückenlose Kommunikation zwischen Menschen und Maschinen sowie Maschine und Maschine möglich werden lässt. Durch lokale Intelligenz in allen Systemen können neue Produktionsparadigmen realisiert werden (Wahlster, 2014). Die Treiber mit Einfluss auf die Produktion lassen sich in drei Felder charakterisieren: Digitalisierung der Produktion, Reife neuer Produktionstechnologien und Hybridisierung der Produkte.

Digitalisierung der Produktion

Durch die Erzeugung und Verwendung von Daten über jeden Zustand und Ablauf wird es möglich zu Prozessen eine digitale Repräsentation zu erzeugen. Entlang aller Lebenszyklen – Produkt, Technologie, Fabrik und Auftrag – werden zunehmend die Informationen und Daten digital vorliegen (Bauernhansl, Hompel und Vogel-Heuser, 2014). Wenn diese Daten durch Vernetzung aller

Entitäten auch jederzeit abrufbar, auswertbar und nutzbar sind, entsteht die Möglichkeit die Prozesse, Abläufe und Funktionen transparenter zu gestalten. Dieses zusätzliche Wissen, über Maschinenverhalten, Bearbeitungssequenzen, organisatorische Abhängigkeiten sowie ergänzt um datengetriebene Modelle, erlaubt es produktive Prozesse anders zu organisieren und zu steuern. Durch das detaillierte Wissen über Prozesse und Prozessverhalten können schneller schädigende Aspekte identifiziert und eliminiert werden (Wahlster, 2014, S. 18).

Digitalisierung erlaubt es, alle relevanten Informationen zu jeder Zeit an jedem Ort der Welt verfügbar zu machen. Verteilte, vernetzte Systeme werden selbst bei großer Komplexität beherrsch- und steuerbar. Denn benötigte Informationen, Wissen, Abläufe und Daten werden bereitgestellt, um Entscheidungen entsprechend der Rahmenbedingungen zu treffen (Krückhans und Meier, 2013).

Jedoch lassen sich immer wieder alle Aspekte auf das magische Dreieck (Abbildung 3, Seite 6) zurückführen (Ramsauer, 2013, S. 9–10, Spath, 2005). Auch neue Trends in der Technologie, wie die Digitalisierung, halten nicht zum Selbstzweck bei den produzierenden Unternehmen Einzug. Ansätze der Digitalisierung adressieren letztendlich das, von Kletti und Schumacher um die Dimensionen Transparenz und Reaktionsfähigkeit erweiterte, Magische Dreieck weiter auszureizen. Denn durch die Vernetzung und Digitalisierung sollen durch Abruf aller relevanter Daten entscheidungsrelevante Informationen jederzeit verfügbar sein (Kletti und Schumacher, 2014).

Reife neuer Produktionstechnologien

Technologische Entwicklungen haben immer schon die Produktion signifikant beeinflusst. Große Innovationen waren sicherlich die Dampfmaschine, das Fließband oder die speicherprogrammierbaren Steuerungen (Bauernhansl, Hompel und Vogel-Heuser, 2014). Aber Technologien, die aktuell die Vorstellung zur Produktion beeinflussen, sind Additive Fertigungsmethoden, Mensch-Roboter-Kollaboration und Systeme der künstlichen Intelligenz (Spath, Bauer und Lentes, 2014, Spath, 2013). Hinzukommen immer mehr Aspekte von sich selbstoptimierenden Produktionssystemen (Schmitt et al., 2011). Mit diesen neuen Ansätzen ist angestrebt die Zielkonflikte der Produktion – hohe Auslastung, geringe Kosten, hohe Termintreue und niedrige Durchlaufzeit – verstärkt auszulösen und die darin liegenden Potenziale nutzbar zu machen (Wiendahl, 2005).

Hybridisierung der Produkte

Die Produktparadigmen sind ähnlich der Produktionsorganisation von der verfügbaren Technologie beeinflusst. So haben sich die eingesetzten Technologien mit den technischen Innovationen weiterentwickelt. Mechanischen Produkte wurden zu mechatronischen Produkten weiterent-

wickelt. Mit der Verbreitung der Softwaretechnik erfolgt auch der zunehmende Einsatz von integrierten Systemen und software-basierten Steuerungen (siehe Abbildung 5) (Eigner, 2014, Katzenbach, 2015). Mit dem zunehmenden Anteil von Informationstechnologie am Produkt können auch mit steigendem Anteil Funktionen mittels Software abgebildet werden (Masior et al., 2020). Diese Hybridisierung von technischen Funktionen erlaubt eine Vereinfachung der Mechanik bei gleichzeitiger Erhaltung oder Steigerung der Funktionsvarianz, indem konkrete Funktionen mittels software-erzeugt bzw. gestaltbar sind (Barwasser et al., 2020).

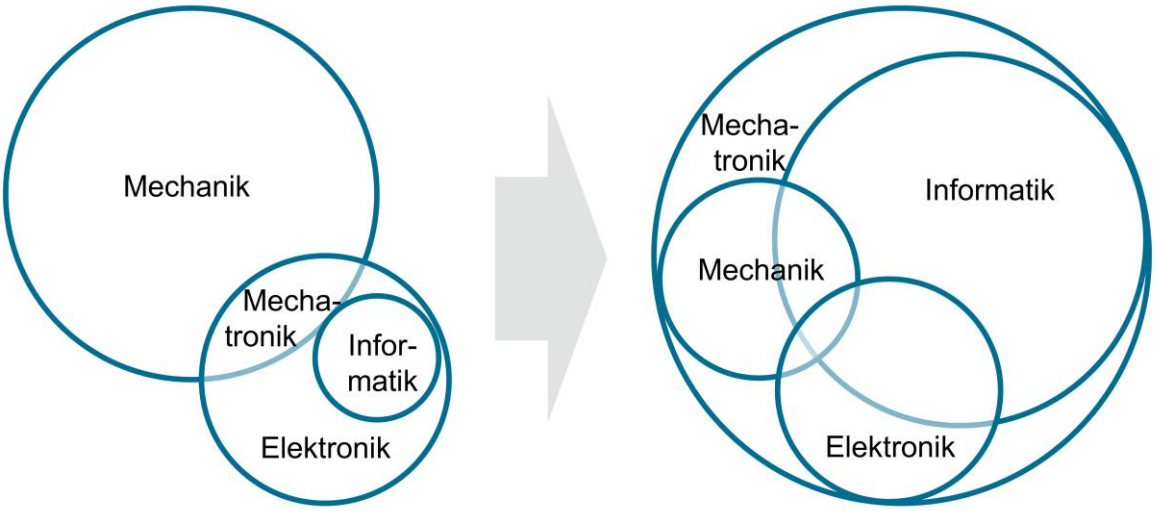


Abbildung 5: Verschiebung der Technologierolle im Produkt (Eigner, 2014)

Diese umrissenen Treiber führen zu Veränderungen, wie Produktion zukünftig gestaltet und organisiert wird. Produktionsmethoden, die bisher nur nach langer Rüst- und Anfahrzeit hohe Qualität produzieren, werden befähigt schneller die geforderte Qualität zu liefern (Trompisch, 2017). Die Entwicklung der Produkte und Herstellprozesse wird bereits auf hohe Adaption und Anpassbarkeit auf den Kunden angepasst. Das ständige Wissen über Status und Qualität des Produkts legt die Basis für Produktanpassungen spät in der Fertigung, Individualisierung von Einzelkomponenten und zeitlicher Flexibilität innerhalb der Produktrealisierung, auch werden die Einbindung von Nutzern und die Anpassung des Serviceangebots um das Produkt möglich (Bauernhansl, Hompel und Vogel-Heuser, 2014). Damit einhergehend kann die Arbeit anders organisiert werden, denn Maschinenüberwachung und -steuerung kann dezentral erfolgen und während der Präsenzzeit des Mitarbeiters werden anspruchsvolle Tätigkeiten mit hohem Wertbetrag durchgeführt (Trompisch, 2017, Kersten, Koller und Lödding, 2014).

3.1.2 Bedeutung von produzierendem Gewerbe für die Schaffung und Erhaltung von Wohlstand

Erfolgt die Betrachtung von Produktionsstandorten gemäß ihrer historischen Entwicklung, stellt sich schnell deren Wichtigkeit heraus. Nach Gründung der Produktionsstädten zeigte das Potenzial auf Beschäftigung seine Wirkungen. Schnell entstanden Werksviertel nah am Produktionsort, um die Arbeitswege kurz zu halten. Vielfach wurden auch auf oder neben den Fabrikflächen Werkswohnungen für Betriebsangehörige geschaffen. Diese Aspekte führten dazu, dass die Fabriken teilweise von Wohnquartieren flaniert oder gar umschlossen wurden. Durch Neuordnung nach Krieg, Privatisierung und der Ausgliederung von Wohnraumvermietung an Beschäftigte in unabhängige Gesellschaften veränderten sich die Eigentumsverhältnisse. Das wirkte sich auch auf die Bewohner aus. So war zum Ende des Jahrtausends nur noch ein Bruchteil der Bewohner an Fabrik angrenzender Wohnungen bei dem lokal ansässigen Unternehmen beschäftigt. Damit bot die lokale Nähe von industrieller Produktion und Wohnraum das Risiko für Konflikte, wenn durch geplante Änderungen der Status quo in Frage gestellt wurde. Diese Konfliktpotenziale sowie die Begrenzung des flächenseitigen Wachstums der Unternehmen durch die angrenzende Wohnbebauung führte vielfach zur Abwanderung der Unternehmen aus der Stadt. In diesem Zuge erfolgte auch eine Umwidmung der Flächen für Wohn- oder Sondernutzung.

Die Sicht auf die Produktion und ihrer Bedeutung wird insbesondere von führenden Wirtschaftswissenschaftlern und Erfahrungen aus den Vereinigten Staaten von Amerika nicht bestätigt. So erfolgte die Ableitung einer Korrelation zwischen Wohlstandszunahme und Steigerung des tertiären Wirtschaftssektors. Nach Meinung von Burda stellt die Dienstleistung einen Ausweg aus der Beschäftigungskrise in der postindustriellen Gesellschaft dar (Burda, 1997). Im Verhältnis zu vielen Industrienationen besitzt Deutschland immer noch ein hohes Maß an Beschäftigung im sekundären Sektor. Damit liegt es auch über dem Durchschnitt der Euro-Zone (Urmersbach, 2022). Dieser Anteil hat sich trotz der Prognose des IAB aus dem Jahr 2011 zu weiteren Abnahme stabilisiert (Abbildung 6) (Reuter und Zinn, 2011). Mit Blick auf die wirtschaftliche Krise im Zeitraum 2008 und 2009 ist der höhere Anteil industrieller Produktion als Stabilisierung wahrzunehmen. Um diese Stabilität langfristig aufrecht zu erhalten, erscheint eine Sicherung der Produktionstätigkeiten in Deutschland und Mitteleuropa sinnvoll. Dazu ist auch die Akzeptanz der Menschen im Umfeld von produzierendem Gewerbe ein Erfolgsfaktor (Abele und Reinhart, 2011). Damit werden direkt die Schnittstellen zwischen Wohnort und Arbeitsort sichtbar. Mit Bezug zum urbanen Raum zeigt die Produktion Schnittstellen zum Stadtgefüge. Dabei sind verschiedene Betrachtungsebenen nötig, um ein holistisches Bild zu schaffen. Denn der Austausch erfolgt in verschiedenen Maßstäben.

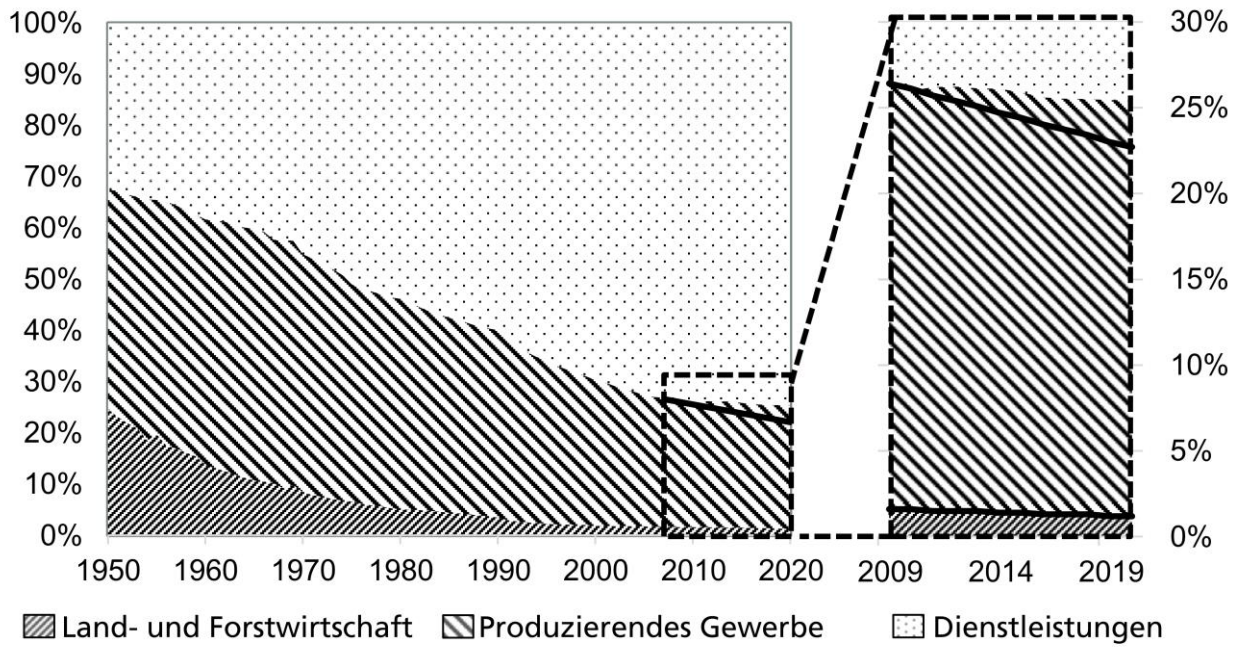


Abbildung 6: Proportionale Entwicklung der Beschäftigung für den primären, sekundären und tertiären Wirtschaftssektor in Deutschland (Abnehmende Entwicklung im Jahr 2011 prognostiziert, als Linien dargestellt, nach Reuter und Zinn, 2011) (Statista, 2018)

3.1.3 Urbaner Raum

Urban wird im europäischen Kontext synonym mit städtisch benutzt (Bibliographisches Institut GmbH, 2022, 2022). Vielfach erfolgt eine Einteilung nach siedlungsstrukturellen Kreistypen (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2020). Daraus ergeben sich vier Gruppen, wobei die Einwohnerdichte für die Identifikation von relevanten Räumen herangezogen wird. Steigt die Einwohnerzahl über 100 Einwohner pro Quadratkilometer lässt sich von Verdichtung sprechen. Diese Gebiete zeichnen sich vielfach durch gewachsene Strukturen aus. Über Jahrzehnte hinweg haben sich die Siedlungsstrukturen nach den Bedürfnissen und Anforderungen entwickelt. So haben sich auch immer, ausgehend vom jeweiligen Verständnis und Ideologie, Regeln ergeben. Die wichtigsten Regeln für die Stadtplanung der Neuzeit wurden 1924 durch die Charta von Athen in Form der Nutzungstrennung festgeschrieben (Hilpert, 2015). Es wird eine klare Trennung von Wohnen und Arbeiten favorisiert. Die Trennung zwischen industrieller Produktion und Lebensraum soll durch Grünzüge vervollkommnet werden. In Planungsprozessen soll bei der Erstellung der Struktur die jeweilige Schlüsselfunktion – Arbeiten, Wohnen, Erholen oder Fortbewegen – als Basis herangezogen werden. Der Grundsatz von Zeitersparnis beim Wechsel zwischen den Hauptfunktionen soll berücksichtigt sein, wobei das Wohnen im Mittelpunkt in der Stadt stehen soll (Streich, 2005). Diese Leitlinien bei der Planung und Umsetzung haben zur Verstetigung der Nutzungstrennung und damit getrennte Bereiche für Wohnen und Arbeiten geführt. Welche

Ausprägungen diese Nutzungstrennung im städtischen Bild ergibt, zeigt Abbildung 7. Hier werden die konkreten Abgrenzungen zwischen den Nutzungszone sichtbar. Dabei sieht Le Corbusier die Unterordnung von Individualinteressen dem Gemeinwohl als eine wichtige Maxime (Korby und Heckl, 2008, S. 47).

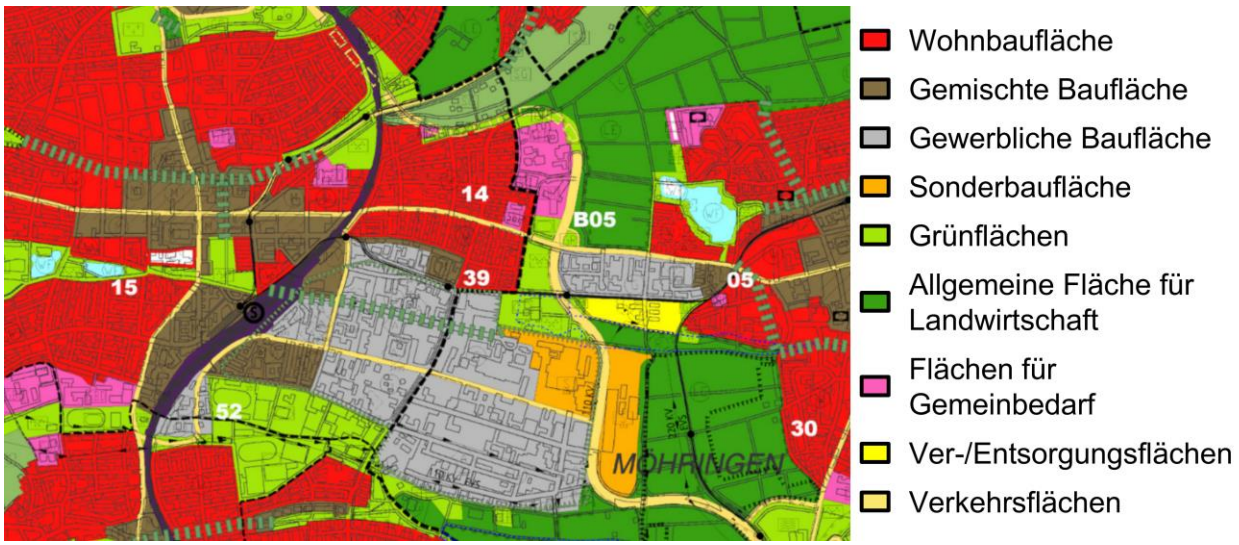


Abbildung 7: Ausschnitt aus Flächennutzungsplan der Stadt Stuttgart (Schulze Dieckhoff et al., 2001)

Mitteleuropa befindet sich in der Phase des Post-Wachstums (Waltenberg und Hafele, 2021). Damit einher geht das geringe Wirtschaftswachstum im internationalen Vergleich (Teulings und Baldwin, 2014). Trotz dieser Entwicklung strahlen Städte weiterhin Attraktivität für die Bevölkerung aus. Die Vielfalt unterschiedlicher Angebote führt immer noch zu Wanderungsbewegung, wenn auch nur in wenigen Prozentpunkten (Gatzweiler et al., 2006). Diese Wanderungsbewegungen resultieren in Abwanderung, großen Pendelströmen und Verschiebungen im Wohnungsmarkt. Die sich ergebenden Pendelströme, insbesondere durch motorisierten Individualverkehr, führen zu Verkehr und belasten die Gesundheit. Der große Anteil an Individualpendlern aus dem Umfeld von Städten bringt immer wieder Diskussionen zu einem benötigten Wandel der Struktur und der Organisation von Arbeit auf (Stahnke et al., 2016).

3.1.4 Urbane Produktion

Der „Club of Rome“, welcher sich 1968 formierte, stieß die Diskussion zu zukunftsorientieren Konzepten menschlichen Lebens an (Whitehead, 2015, Club of Rome, 2018). Aus diesen Diskussionen entstand der Vorschlag einer Untersuchung „die Grenzen des Wachstums“, dessen Ergebnisse im Jahr 1972 veröffentlicht wurden (Meadows et al., 1972, Club of Rome, 2021). Die

Analyse betrachtet im Wesentlichen die zeitliche Entwicklung von fünf Variablen (natürliche Ressourcen, Bevölkerung, industrielle Wertschöpfung pro Kopf, Nahrungsmittel pro Kopf und Verschmutzung) im Zeitraum 1900 bis 2100. Die Untersuchung betrachtet die Beziehungen sehr vereinfacht. Unabhängig von den getroffenen Vereinfachungen ergibt die Untersuchung aber konkret den Bedarf die wirtschaftliche Entwicklung zu überdenken. Denn die Endlichkeit von Ressourcen sowie das Wachstum von Emission und Bevölkerung führen im Modell gemäß der Berechnung zum Kollabieren des Systems. Die Annahmen sowie Ergebnisse sind mehrfach von den Autoren aktualisiert worden (Meadows et al., 1972, Meadows, Meadows und Randers, 1992, Meadows, Randers und Meadows, 2002). Darüber hinaus erfolgte ein Abgleich der Simulationsergebnisse mit Datenerhebungen zum jeweils aktuellen zeitlichen Stand (Branderhorst, 2020, Turner, 2012, Turner, 2014). Jeder dieser Abgleiche von aktuellen empirisch erhobenen globalen Kennwerten zum Vergleich der Analyse aus dem Jahr 1972 kommen zu einem übereinstimmenden Ergebnis. Eine Transformation hin zur Nachhaltigkeit ist noch nicht vollzogen (Branderhorst, 2020, Herrington, 2021). Trotz der Vereinfachung zeigen die Ergebnisse eine Überlastung des globalen Ökosystems. In einigen Handlungsfeldern (z.B. „Veränderung des Landsystems“ und „Unversehrtheit der Biosphäre“) sind seit Jahren die planetaren Grenzen überschritten (siehe Abbildung 8, links) (Grabbe, Potočnik und Dixson-Declève, 2022). Für die Erhebung der planetaren Grenzen dient die Wirkkette (siehe Abbildung 8, rechts). Diese lässt sich in technologische und ökologische Elemente unterteilen, bei der wesentliche Stellhebel sowie ihre Messgrößen in der Wirkungsrichtung verknüpft sind. Für die Bewertung der Wirkungen erfolgt ein Abgleich mit Kontrollvariablen. Je früher in der Wirkkette, desto größer die Wirkung, da Grundlagen für Folgeeffekte gelegt werden. Bei detaillierter Analyse wird sichtbar, dass die industrielle Produktion einen signifikanten Hebel darstellt.

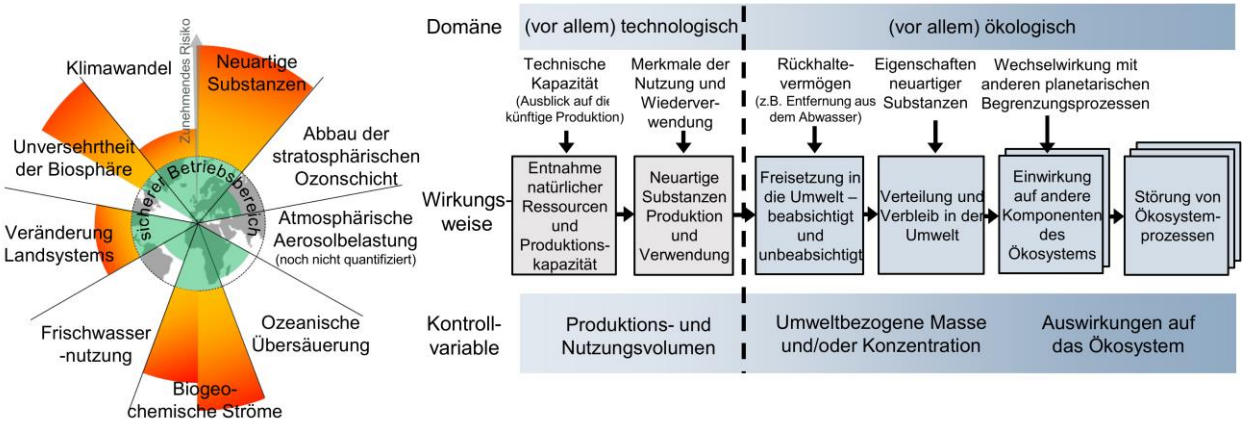


Abbildung 8: Links - Planetare Grenzen (Azote für das Stockholm Resilience Centre, vgl. Persson et al., 2022 und Steffen et al., 2015); rechts - verallgemeinerter Wirkungspfad, der die Produktionskapazität, die Freisetzung in die Umwelt, den Verbleib und die Verteilung mit der Störung von Erdsystemprozessen verbindet (Persson et al., 2022, S. 1512)

Die Ergebnisse dieser Betrachtungen resultierten in tiefgreifenden Debatten in Wissenschaft und Verwaltung, welche in der UN-Konferenz für Klima und Entwicklung – *Rio Earth Summit* – im Jahr 1992 mündete (Rechkemmer, 2005, S. 11). Im wissenschaftlichen Diskurs erfolgte die Übersetzung in die Fachbereiche. Für nachhaltige Produktion sollen effizientere Produktionsprozesse (in Bezug auf Energie- und Ressourcenverbrauch) angestrebt werden. Durch Präventionsstrategien sollen potenzielle Einflüsse frühzeitig unterbunden werden. Bei den eingesetzten Produktionstechnologien und -verfahren sollen während des gesamten Produktlebenszyklus Emissionen, Erzeugung von Umweltgiften und Verschmutzungen eliminiert werden. Durch die Minimierung oder Vermeidung von Abfällen soll der negative Eintrag in die Biosphäre reduziert werden. Nach O'Brien (1999) erfolgte eine Konkretisierung von nachhaltiger Fertigung auf die folgenden Aspekte:

- Umweltbewusstsein muss Bestandteil der Organisationskultur werden,
- Nachhaltigkeitskriterien müssen in Produkt- und Prozessgestaltung integriert werden,
- in grundlegende Designverfahren muss Demontage, Recyclingfähigkeit und Verwendung regenerativer Materialien mitgedacht werden,
- maximale Nutzung und Wiederverwendung von recycelten Komponenten und Materialien,
- Organisationen müssen sowohl schlank als auch umweltverträglich sein,
- in das Re-Engineering müssen Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte integriert werden,
- Methoden zur Optimierung, wie Kaizen, müssen ebenfalls Umweltfragen beantworten,
- Unternehmensmetriken müssen Nachhaltigkeitskriterien beinhalten,
- Hersteller müssen verlängerte Lebenszyklen unterstützen und
- Einsatz von umweltfreundlichen Technologien.

Mit der nachhaltigen Produktion liegt eine Orientierung für die Weiterentwicklung von produzierenden Unternehmen vor. Die steigende Komplexität des Umfeldes dieser Unternehmen erhöhen jedoch die Anzahl an Zielkonflikten. Die räumliche Nähe von produzierenden Unternehmen zu Wohnquartieren erweitert den Betrachtungsraum und damit das potenzielle Konfliktfeld. Deshalb soll im Weiteren die enge Verknüpfung der Bereiche Wohnen, Arbeiten, Freizeit und Verkehr als urbaner Kontext im Rahmen der nachfolgenden Erläuterungen verstanden werden. Denn wie auch von Juraschek et al. beschrieben, ist die Ansiedlung von Fabriken in abgetrennten Gewerbegebieten – Folgen der Nutzungstrennung – nicht direkt als urbane Produktion zu bezeichnen (Juraschek et al., 2018a). Urbane Produktion ist insbesondere in Ökotonen, der verstärkten Vermischung von verschiedenen Bereichen, relevant. Denn die Vermischung von verschiedenen Bereichen bietet ein großes Potenzial zur positiven Entwicklung von Unternehmen und Umfeld. Denn die Koexistenz von verschiedenen Arten eröffnet einen größeren Lösungs- und Handlungsraum.

Brandt, Gärtner und Meyer schlagen basierend auf der Analyse aktueller Forschungsprojekte und der laufenden eigenen Projekte „Urbane Produktion – zurück in die Stadt“ und „Produktion zurück ins Quartier? Neue Arbeitsorte in einer gemischten Stadt“ folgende Definition vor:

> *„Urbane Produktion bezeichnet die Herstellung und Bearbeitung materieller Güter in dicht besiedelten Gebieten, die häufig lokale Ressourcen und lokal eingebettete Wertschöpfungsketten nutzt. Die Nähe zum Lebensraum verlangt emissionsarme und ressourceneffiziente Produktions- und Transportweisen, um Nutzungskonflikte mit den Anwohnerinnen und Anwohnern zu vermeiden. Die eigenwirtschaftlich agierenden Betriebe weisen dabei vielfach Synergieeffekte mit kreativen Milieus und Dienstleistungen auf“ (vgl. Brandt, Gärtner und Meyer, 2017, S. 4).*

Bei der Betrachtung der Produktion im stadtplanerischen Kontext ist es sinnvoll, deren Charakteristik zu beschreiben. So kann es gelingen Erfolgsfaktoren aus Stadtplanerischer Sicht und sozialer Perspektiven herauszuarbeiten (Brandt et al., 2017, Brandt, Gärtner und Meyer, 2018). Dabei ist eine Clusterbildung in drei Themenblöcke erfolgt (Abbildung 9).

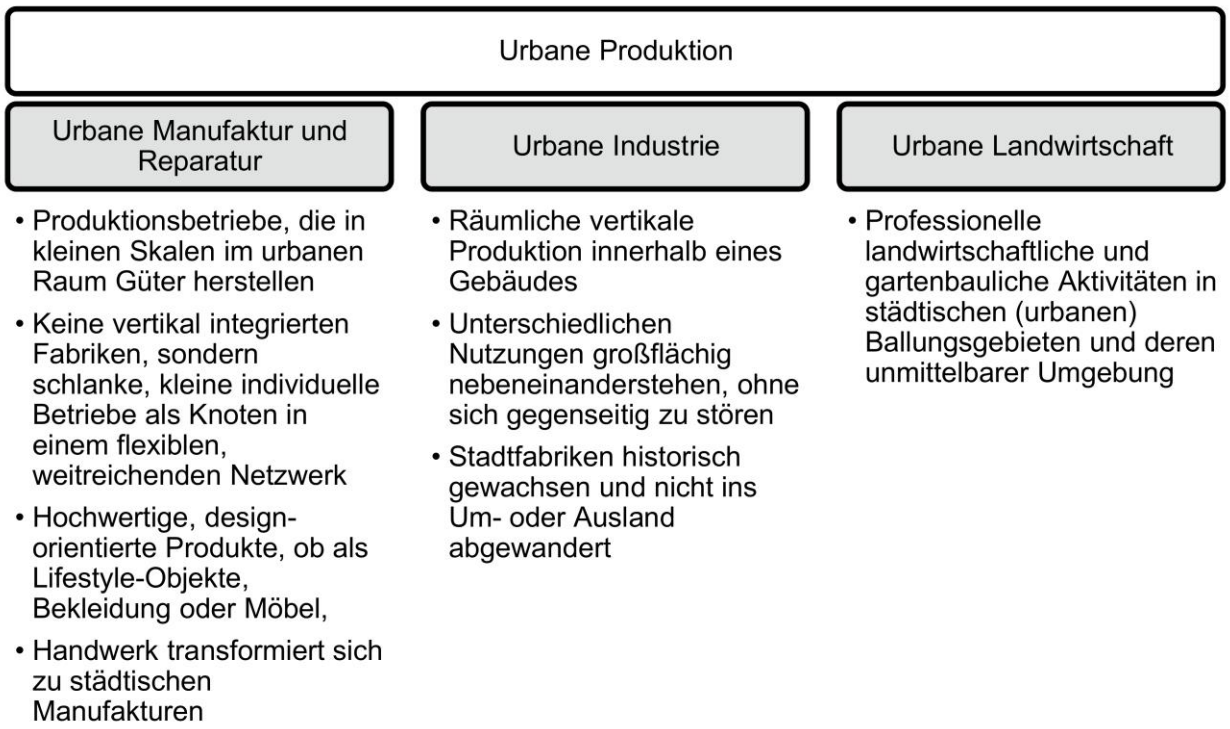


Abbildung 9: Cluster für die Einteilung der urbanen Produktion (Brandt, Gärtner und Meyer, 2018, S. 6)

Um die Produktion im urbanen Raum möglich zu machen, bedarf es eines Umdenkens. Denn die Umsetzung erfordert eine stadt-kompatible Gestaltung der Produktion (Spath und Lentes, 2013). Aktuelle Tendenzen der Entmischung und damit möglichen Segregation werden für viele Städte

zur Herausforderung, da damit auch soziale Probleme unüberwindbar werden. Das existierende Spannungsfeld wurde von Bauer in Abbildung 10 illustriert (Bauer, 2015b). Die Komponenten des Stadtsystems – Wohnen, Handel, Bildung, u.a. - gilt es zu vernetzen und Symbiosen generieren. Dabei eröffnen die identifizierbaren Faktoren – Flächen, Wachstum, Verkehr, u.a. – die Handlungsfelder für den Dialog und die urbane Wertschöpfung. So kann es gelingen Produktion langfristig als Komponente des urbanen Umfeldes zu erhalten. Dazu muss der Betrachtungsansatz verändert werden. Dies beinhaltet sowohl das Selbstverständnis des Unternehmens als auch die Perspektive des Umfeldes auf die Stadt-Komponente Produktion. Neben dem effizienten Umgang mit Energie und Ressourcen müssen Emissionen, wie Abgase, Gerüche und Lärm, reduziert werden. Wenn die Produktion in das Umfeld optimal integriert wird, können zusätzliche Potenziale erreichbar gemacht werden. So arbeitet Stiehm (2017) Gestaltungsansätze für Produktion heraus, um eine Akzeptanz im urbanen Raum zu fördern.

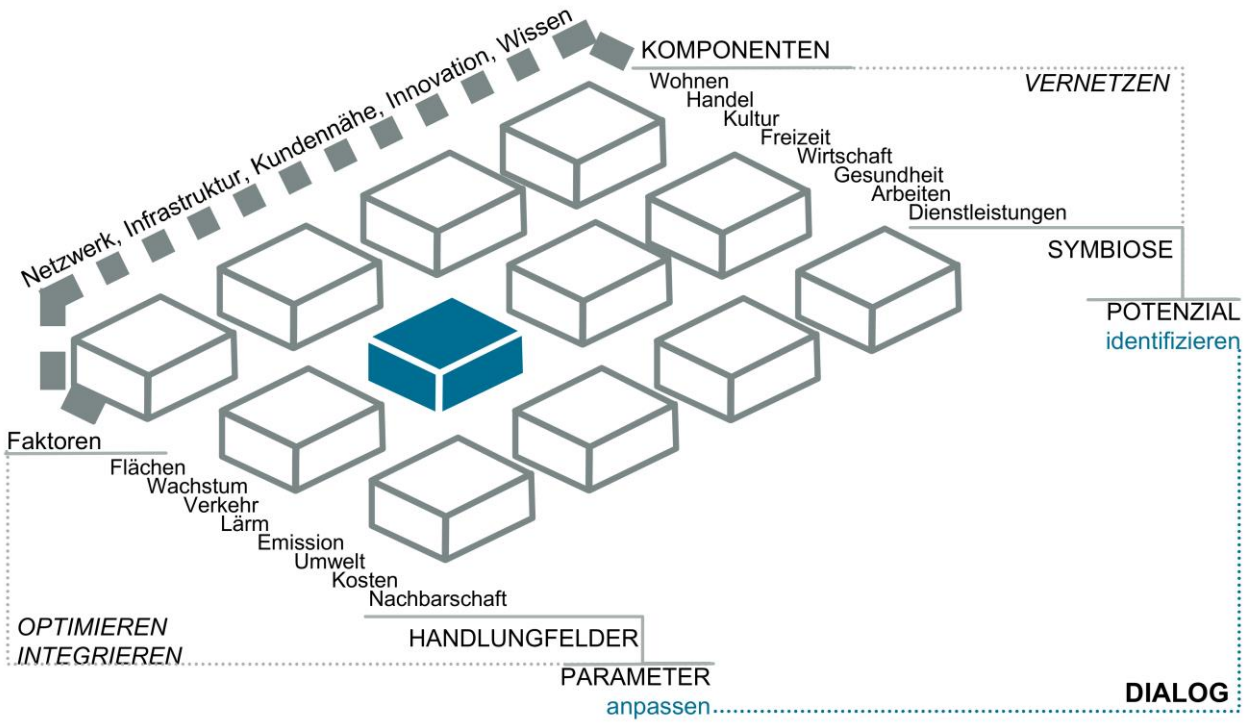


Abbildung 10: Spannungsfeld der urbanen Produktion (Bauer, 2015b, S. 12)

Gleichsam erfolgt ein Bezug zu den formulierten Potenzialen, welche urbane Produktion für unterschiedliche Anspruchsgruppen bereithält (Abbildung 11). Diese können nach Bathen et al. (2019, S. 33) in vier Perspektiven unterteilt werden. Für das Unternehmen spielen insbesondere die Zufriedenheit der Mitarbeitenden sowie der unternehmerische Standortvorteil eine bedeutsame Rolle. Gleichzeitig sollten aber die kommunale Perspektive und Quartiersperspektive nicht

gänzlich unberücksichtigt bleiben, da hier gewichtige Gründe für die langfristige gegenseitig Unterstützung liegen (Lentes, 2016, S. 9).

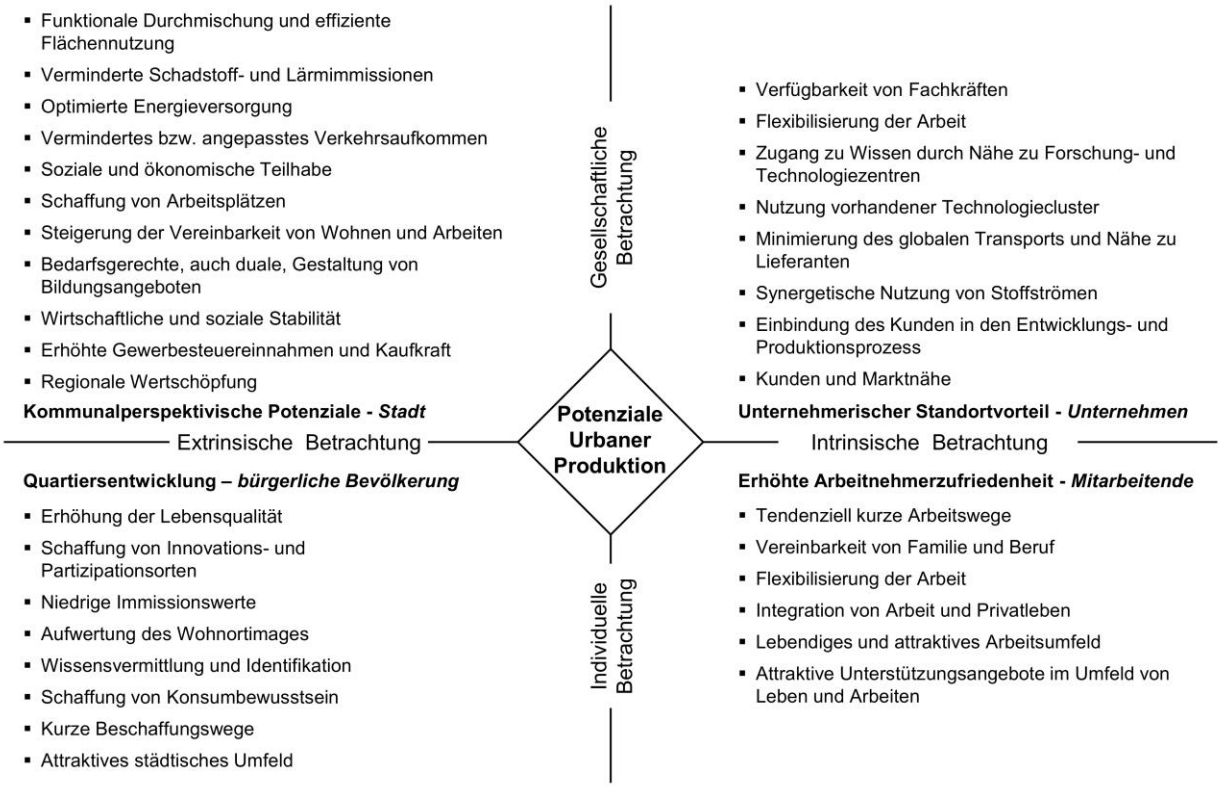


Abbildung 11: Potenziale der urbanen Produktion, eingruppiert nach Stakeholdergruppe/-perspektive (eigene Darstellung basierend auf Lentes, 2016, S. 4–5 und Bathen et al., 2019, S. 33)

Urbane Produktion versteht die Einbettung von Fertigungseinrichtungen in das Stadtsystem. Um die Gestaltung der Produktionssysteme am konkreten Beispiel zu entwickeln, werden aktuell konkrete Industrie- und Gewerbeansiedlungen in urbanen Räumen untersucht. Zielstellung ist es anhand konkreter Herausforderungen Entwicklungspfade abzuleiten. Bestehende Areale mit Industrie-Anteil sind durch hohe Komplexität gekennzeichnet. Denn Änderungen können sich auf verschiedene Aspekte des urbanen Raumes auswirken. Deshalb erfordert die Untersuchung einen interdisziplinären Ansatz, um die Bedarfe aller Beteiligten berücksichtigen zu können. Durch die Definition der „Sustainable Development Goals“ (Nachhaltigkeitsentwicklungsziele SDG) durch die Vereinten Nationen existieren Indikatoren mit internationalem Gewicht (United Nations, 2015). Zu diesen Indikatoren lassen sich Entwicklungsziele für die Kommunen und Städte ableiten. Auf globaler Ebene sind die angestrebten Entwicklungen ebenfalls durch die Vereinten Nationen dokumentiert. An diesen Indikatoren und Zielen können auch Entwicklungsperspektiven der Unternehmen ausgerichtet werden, denn sie bieten die Basis für eine strategische Ausrichtung. Bei

den weiteren Analysen und Betrachtungen erfolgt eine Fokussierung auf die urbane Industrie, wie sie von Brandt, Gärtner und Meyer beschrieben wird (Brandt, Gärtner und Meyer, 2018). Denn eine Detailanalyse von Juraschek et al. hinsichtlich dem Beitrag urbaner Fabriken zu den Nachhaltigkeitsentwicklungszielen zeigt große Überdeckung zwischen dem potenziellen Einfluss und den erstellten Zielstellungen (Juraschek et al., 2018b). Aus diesen Erkenntnissen wird ein anzustrebendes Optimum formuliert. Dabei soll es gelingen, die Produktionsimmobilie optimal ins Umfeld einzubetten. Durch den Stoff- und Energieaustausch mit dem Umfeld soll das beidseitige Profitieren aus den Wechselwirkungen ermöglicht werden. Negative Einflüsse sollen vermieden werden. Damit soll es gelingen eine Fabrik mit positiver Auswirkung zu entwickeln (Herrmann et al., 2014, Herrmann et al., 2015). Dieser Idealzustand ist anzustreben und sicherlich in Neuentwicklungen zu realisieren (Kühne, 2020).

Bei den Einordnungen von Produktionsaktivitäten lassen sich zwei Dimensionen nutzen, um die Tätigkeiten zu strukturieren (Abbildung 12). Für die Einordung des Produktionssystem dienen Perspektiven, wie Größe des Marktes, Fertigungstyp und Prozessorganisationsformen. Dabei stehen große Märkte, Massenfertigung und flussorientierte Prozesse für eine Ausprägung mit hoher Standardisierung gegenüber kleinen Märkten, Manufakturen und beschäftigungsorientierter Prozesse mit starkem Individualisierungsfokus. Als zweite Dimension dient die Produktionstechnologie und deren Wissensorientierung. So stehen einfache Techniken hoch technologisierten Technologien gegenüber. Bei der Einordnung der Arbeitsmethoden bilden sich drei Pole heraus, in denen eine sehr unterschiedliche Ausprägung von mechanischer Arbeit, ingenieurstechnischer/wissenschaftlicher Arbeitsweise und Organisationsarbeit vorherrscht.

Urbane Produktion ist aktuell vorrangig in kleinen, spezifischen Marktsegmenten anzutreffen. Eine Charakterisierung der urbanen Produktion beinhaltet kleinteilige Produktionsprozesse, die von hohem Individualisierungsgrad geprägt sind. Die Prozesse sind wissensintensiv, flexibel, kundenorientiert und innovativ. Befähigung hierfür schafft die zunehmende Technisierung der Arbeit, die mit hohem Bedarf an Expertise und Erfahrung einhergehen. Damit lässt sich die urbane Produktion zwischen wissenschaftlicher und handwerklicher Arbeitsweise und Technik einordnen. Langfristig werden durch die zunehmende Digitalisierung sowie Vernetzung kleinteiliger Einrichtungen auch größere Märkte angesprochen (Pfeilrichtung, Abbildung 12). Diese Veränderungen werden sich auch auf den Anteil an Organisationsarbeit auswirken. Der Anteil an der Wertschöpfung wird weiter steigern, da die Dienstleistung als Ergänzung des physischen Produkts durch die Produkthybridisierung (Produkt-Dienstleistungs-Kombination) zunehmen wird.

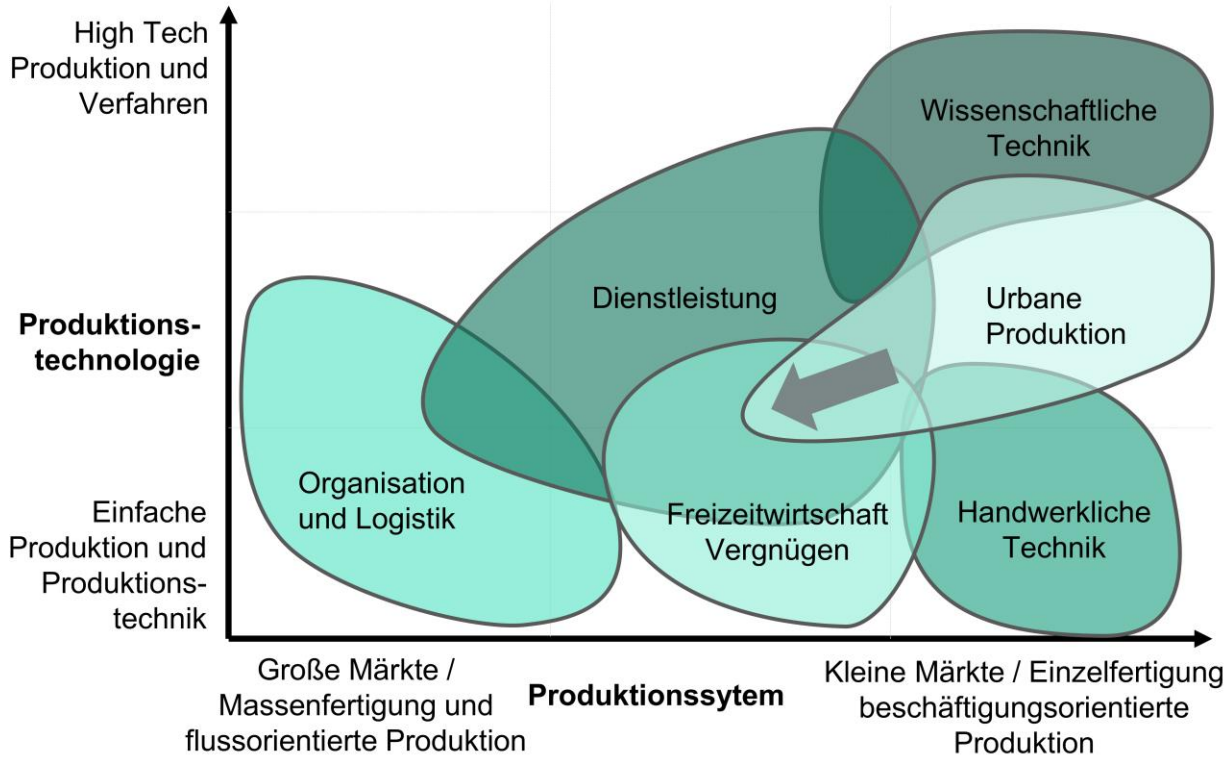


Abbildung 12: Einordnung der neuen Arbeitsmethoden (Bonny, 2018, S. 12)

Eine weitere Triebfeder bei der Veränderung der Arbeitswelt ist die zunehmende Wissensorientierung in allen Tätigkeiten. Dieser Anteil an Wissensarbeit wirkt sich auch auf die benötigten Arbeitskräfte und deren Qualifikation aus. Gemäß den aktuellen Wanderungsbewegungen sind gut gebildete Fachkräfte in urbanen Räumen mit erhöhter Wahrscheinlichkeit und Häufigkeit anzutreffen. Denn städtische Gebiete bieten für jede Generation und Altersgruppe Attraktoren. Um für Fachkräfte mit der passenden Expertise attraktiv zu sein, müssen Unternehmen zumindest teilweise in der Nähe dieser Attraktoren die Möglichkeit zu Arbeiten schaffen (Mahlau, 2016). Es müssen demnach kleinteiligere Arbeitsstrukturen mit dezentralen Elementen entstehen, um Wirtschaftlichkeit mit Deckung des Personalbedarfs in Einklang zu bringen (Bauer und Lentes, 2014). Dabei kann der Einsatz digitaler Arbeitswerkzeuge, die Vernetzung von Fertigungsmaschinen und der dezentrale Datenzugriff ein Beitrag in der Ausprägung der passenden Organisation von urbaner Produktion sein (Lentes und Hertwig, 2021).

Auch Stadtplaner haben die Herausforderung, welche das Spannungsfeld Stadt-Produktion schafft, erkannt (Oediger und Walter, September 2020, S. 5–6). An vielen Standorten gibt es deshalb Initiativen die Umwidmung von Betriebsflächen in Wohnflächen nicht in vollem Umfang weiter voranzutreiben (Smith et al., 2014, S. 3). Denn Gewerbe, welches einmal den urbanen Raum verlassen hat, kann nur unter Anstrengung erneut angesiedelt werden. Die Gründe sind vielfältig. Die

freiwerden Flächen sind vielfach kleinteilig oder zergliedert. Damit ist es schwieriger Produktion monolithisch zu denken. Gleichsam schränkt das begrenzte Flächenangebot das Potenzial für etwaige Expansion ein. Auch erschweren aktuell implementierte Genehmigungsverfahren eine Ansiedlung von Industrie oder produzierendem Gewerbe (Smith et al., 2014, S. 6). Aufgrund der hohen Flächennutzungskonkurrenz sind die Boden-(erwerbs-)kosten nicht vergleichbar zu Flächen im Außenraum urbaner Gebiete. So zeigen Analysen zu durchschnittlichen Bodenkosten Faktor zwei bis drei höhere Werte in agglomerierten Zonen im Vergleich zu ländlichen Räumen (Spiekermann und Wegener, 2009). Aus diesem Grund arbeiten Städte an aktiven Konzepten, um, trotz Flächenkonkurrenz, die städtischen Standorte attraktiv zu halten. Als Beispiel ist die Stadt Stuttgart mit ihren Aktivitäten „Entwicklung Wirtschaftsflächen Stuttgart“ zu nennen (Gwildis, 2015). Ähnliche Ansätze sind auch aus anderen Standorten bekannt, die in der Vorgabe der Bebauung und Nutzung (Bebauungsplan) entsprechende Anforderungen formulieren, z.B.:

- Mindest-Anzahl an Beschäftigten pro Fläche,
- Gebäudegesamthöhen und Auflagen hinsichtlich Erscheinungsbildes und
- Anzahl an Geschossen (Kreuzer, 2018).

Damit ergeben sich unterschiedliche Ausprägungen für die urbane Produktion. Denn eine Nutzungsmischung kann sowohl horizontal und vertikal stattfinden (Bauer und Lentes, 2014).

Gleichzeitig erfolgt eine Anpassung des Planungsrechts. Das Gebietstyp „Urbanes Gebiete“ wird als zusätzliche Ausprägung eines Mischgebietes, in dem Wohnnutzung und nichtstörende gewerbliche Nutzung nebeneinanderstehen, eingeführt (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016a, S. 2). Mit dieser neuen Gebietsform soll bei Restrukturierung von Gebietsflächen das Zusammenbringen von Wohnen und wirtschaftlichen Arbeiten in direkter räumlicher Nähe ermöglicht werden (Thiel, 2017). Auch wenn die konkrete Ausprägung jeweils von den Kommunen und städtischen Planungsstellen zu bestimmen ist, löst der neue Gebietstypus starre Rahmensetzungen auf und erlaubt dichtere Bebauung und gibt kein Nutzungsverhältnis vor. Gleichermaßen wurde die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) entsprechend angepasst, um eine Ansiedlung von Gewerbebetrieben zu erleichtern bzw. bestehende Ansiedlungen nicht zu vertreiben (Zimmermann, 2019).

3.2 Modellierung zur Beschreibung von Wirkzusammenhängen

Modelle sind nach Wedekind et al. als „wissenschaftlich […] anspruchsvolle hypothetische Behauptung“ (Wedekind et al., 1998) zu verstehen. Ein Modell ist nach Kowalk als „*Zusammenfassung von Merkmalen eines realen (oder empirischen) künstlichen Systems sowie eine Festlegung der Beziehungen zwischen diesen Merkmalen*“ (Kowalk, 1996, S. 30) zu verstehen. Angelehnt an

Stachowiak (Stachowiak, 1973) beschreibt Rupprecht ein Modell als ein durch „*einen subjektiven, zweckgebundenen und zeitbezogenen Konstruktionsprozess geschaffene Repräsentation eines Originals*“ (Rupprecht, 2002, S. 14).

Frühe Modelle waren maßstabsgerechte Nachbauten oder Proben der realen Anwendungen. Mit ihnen war es möglich Funktionsweisen und methodische Überlegungen zu überprüfen. Dieser Ansatz ist vor allem für große und komplexe Aufbauten verwendet worden. Er wurde insbesondere im industriellen Zeitalter für hoch komplexe Produkte angewandt, deren Entwicklung nur durch große Teams erfolgen konnte und damit verbundene Entscheidungsprozesse professionalisiert (Bossel, 1994, S. 11). Auch sind Funktionsmodelle eingesetzt worden, um Abhängigkeiten und Beziehungen besser analysieren zu können. Doch diese Konstruktion und Aufbau und teilweise Zerstörung dieser modellhaften Aufbauten ist kosten- und zeitintensiv. Umso stärker sollen physische Modelle begrenzt oder reduziert werden.

Eine Lösung bieten rechnerbasierte Modelle, die eine Simulation von Zusammenhängen erlauben (Fleissner, 2010). Dazu muss das zu untersuchende Modell spezifiziert werden. Denn unter Simulation ist eine numerische Behandlung der modellierten Zusammenhänge, indem Gleichungssysteme gelöst werden, zu verstehen (Wedekind et al., 1998). Nach Bossel lassen sich die Modellspezifikationen immer in Vorgabegrößen (Parameter und exogene Größen), Zustandsgrößen und Zwischengrößen (Beziehungen und Zustandsgleichungen für die Veränderungsraten) einteilen und müssen dem entsprechend detailliert werden (Bossel, 1994). Vereinfacht lässt sich ein Modell immer als Kombination aus Input (Eingangs- oder Vorgabegrößen) und Output (Zustands- bzw. Zwischengrößen), verknüpft mit der Verarbeitung bzw. Berechnung, beschreiben (Küpper, 1979, Müller-Merbach, 1977). Um den Aufwand für die Simulation zu optimieren, ist der Einsatz von Simulationsprogrammen sinnvoll, da sich damit die Spezifizierung allein auf die Modellbeschreibung beschränkt. Simulationen bieten „*durch variable Veränderungen der zugrunde liegenden Parameter die Möglichkeit, unterschiedliche Szenarien sowohl zu planen als auch zu optimieren, ohne dass dabei in das reale System eingegriffen werden muss.*" (Noortwyck et al., 2019, S. 1)

Die anfänglich begrenzte Rechenleistung und -kapazität limitierten die ersten Simulationen auf einfache Berechnungsformeln. Deren Komplexität und Umfang war meist auf Ausschnitte oder geringen Detailgrad begrenzt. Die steigende verfügbare Kapazität an Rechenleistung lässt eine immer detailliertere Modellentwicklung für die Nutzung in Simulationen zu (Jockisch und Rosendahl, 2010). Unabhängig von der Weiterentwicklung der Rechentechnik, welche die Berechnung größerer Modelle mit höherer Präzision erlaubt, existieren verschiedene Ansätze für die Erstellung von Modellen. Die Art der Modellbildung ist neben der Ideologie vom Anwendungsfall abhängig. Analysen bzgl. der Eignung von Ansatz und Technologie ist von verschiedenen

Wissenschaftlern durchgeführt worden (Lyneis, 2000, Fügenschuh und Vierhaus, 2013). Es gilt deshalb die Methodik und das Vorgehen auf die Zielsetzung abzustimmen.

3.2.1 Zielstellung der Modellierung von Wirkzusammenhängen

Modelle kommen immer dann zum Einsatz, wenn das zu betrachtende System in seiner Komplexität eine lineare Beziehung der Zustandsgrößen des Systems überschreitet. Die Beziehungen zwischen den Zustandsgrößen wird als Wirkungsstruktur bezeichnet (Bossel, 1994, S. 20). Da ein Modell immer eine Vereinfachung des realen Systems darstellt, ist die Klärung der Problemstellung des Modellzwecks relevant, um eine passende Aussage zur Kernfragestellung zu geben (Bossel, 1994, S. 28). Die Problemstellung ergibt sich aus der Forschungsfragestellung. Der Modellzweck hat Einfluss auf die Art der Modellierung. Denn daraus lassen sich relevante Modellcharakteristika ableiten. So existieren zwei unabhängige Dimensionen.

Modell für die Erklärung

Beim Ansatz der „Systemstruktur im Modell nachzubilden“ (Bossel, 1994, S. 29) wird versucht das Systemverhalten zu beschreiben. Dabei werden die Details und Wirkungsverbindungen so weit nachgebildet, wie es für die Beantwortung der Fragestellung zielführend erscheint. Hierbei wird das System modelliert. Die Wirkungsstrukturen des Systems werden analysiert, verstanden und dann in ein Modell (White-Box Model, Barlas, 1996, S. 185–186) überführt. Diese Modelle, für die interne Verlässlichkeit der Modellstruktur bedeutsam ist, werden auch als strukturtreue Modelle bezeichnet (Bossel, 1994, S. 29). Durch die Systemanalyse sind auch Aussagen möglich, wenn bisher keine Beobachtungen und damit keine Approximationen möglich sind. Dieser wirkungsstrukturbeschreibende Ansatz bietet ebenfalls die Möglichkeit damit die Wirkbeziehungen im System zu erklären. Damit eignet er sich, die Komplexität der Wirkungen des Systems verständlich zu beschreiben. Die Erstellung kleiner Modelle in Gruppen bietet das Potenzial, dass alle Beteiligten nach Abschluss der Modellierung die Wirkbeziehungen verstanden haben. Deshalb finden diese Ansätze Anwendung, wenn das Verständnis für Abhängigkeiten und Beziehungen für den Lernerfolg eminent sind. Dieses gesteigerte Verständnis in komplexen Systemen erlaubt eine höhere Validität von Entscheidungen im Organisationshandeln (Barlas, 1996, S. 200–201). Denn durch das erhöhte Verständnis der Herausforderungen und Probleme können kritische Aspekte besser identifiziert werden. Damit wird auch die Kommunikation über potenzielle Folgen für die betroffenen Einheiten unterstützt (Ghaffarzadegan, Lyneis und Richardson, 2011, S. 40).

Modell für Prognosen

Durch die Beschreibung des Systemverhaltens werden aus der Analyse von historischen Daten, Beobachtungen oder Messwerten, Beziehungen abgeleitet, die das Verhalten des Systems synchron dieser Datenlage abbilden. Dieser Ansatz wird insbesondere im Kontext der Datenanalytik angewendet. Denn damit kann das Verhalten des Systems anhand von historischen Daten approximiert und extrapoliert werden. Die konkrete Nachbildung aller Wirkgefüge steht nicht im Fokus (Black-Box Model, Barlas, 1996, S. 185), eher Korrelationen von Eingangskenngrößen mit den Ergebnisvariablen. Damit ist dieser Ansatz besonders bei Systemen mit einem komplexen inneren Wirkungsgefüge geeignet, wobei das Ergebnis der Berechnung im Vordergrund steht. Deshalb wird dieser Ansatz häufig für Prognosen im Kontext ökonomischer und strategischer Entscheidungsunterstützung genutzt. Durch die korrelative Beschreibung von Einflussgrößen und Ergebnisindikatoren lassen sich diese Modelle nutzen, um strategische Vorhersagen abzuprüfen. Denn die Modelle des Systemverhaltens zeigen ein durchschnittliches Leistungsverhalten des betrachteten Systems. Durch die Schaffung von Szenarien lassen sich verschiedene Rahmenbedingungen bzw. deren Entwicklungen synthetisch erproben und bieten damit eine Möglichkeit verschiedene Annahmen zu validieren (Lyneis, 2000, S. 5).

In der Praxis findet selten die Anwendung einer Methodik als singulärer Ansatz statt. Meist erfolgt eine Kombination beider Dimensionen, wobei abhängig vom Modellzweck die Priorisierung der Dimension gewählt wird. Modelle mit stärkerem verhaltensbeschreibendem Fokus werden als Prognosemodelle klassifiziert. Überwiegt im Gegensatz die Systemstruktur mit den konkreten Wirkungsverknüpfungen werden diese als Erklärungsmodelle bezeichnet.

Auswahl der Modellierungsmethode

Simulationsmethoden sind der Versuch passend zu einer konkreten Fragestellung die Realität abzubilden, um Vorhersagen, Vergleichsaussagen oder eine Bewertung verschiedener Zustände zu erhalten. Der Einsatz von Simulationen kann aufwandsintensive Tests minimieren, das Verständnis über das Verhalten oder zur Abschätzung von zukünftigen Situationen dienen (Liggesmeyer, 2009). Abhängig von der Fragestellung oder dem Simulationsziel existieren verschieden Modellierungsansätze.

Bei direkten Abhängigkeiten, die unmittelbar zusammenhängen und zeitdiskret aufgelöst werden können, hat sich die Discrete-Event-Simulation (DES) durchgesetzt. Besonders für sich wiederholende Prozesse mit einem engen Ergebnisrahmen eignet sich diese. Eine Zustandsänderung einer Variablen löst direkt Berechnungen hinsichtlich der Auswirkungen aus. Somit wird ausgehend von der Zustandsänderung das Ergebnis beeinflusst. Es lassen sich konkrete Flüsse physischer

Größen, Zustände von Bestandseinheiten sowie aktuelle Status von Prozessen berechnen. Dazu bedarf es einer hohen Datendichte und valider Daten. Deshalb eignet sich diese Methode besonders für bekannte Zusammenhänge mit nummerisch beschreibbaren Variablen.

Für übergeordnete Abhängigkeitsmodellierungen, bei denen die zeitlich exakte Auflösung von Abhängigkeiten zu Gunsten der Bewertbarkeit komplexer Zusammenhänge in den Hintergrund tritt, hat sich die Systemdynamik (SD) als erfolgreiche Methode etabliert. Durch die mathematische Modellierung des Gesamtbetrachtungssystems können kontinuierlich Zustände (in definierten Zeitabständen) der einzelnen Größen berechnet werden (Romero und Ruiz, 2014). Anders als bei der Discrete-Event-Simulation sind Auswirkungen aufgrund einer kurzfristigen Situationsänderung nur schwer aufzulösen. Diese Methode eignet sich deshalb für die Bewertung von Analysen langfristiger Änderungen sowie deren Auswirkungen, die vielleicht zum Simulationsstart noch nicht exakt berechnet werden können, da die Berücksichtigung aller Abhängigkeiten im Gesamtsystem schwierig ist.

Der jüngste Ansatz zur Simulation von Fabrikbetriebsprozessen ist die Agentenbasierte Simulation (ABS). Hierbei werden einzelne Entitäten erzeugt, die klare Ziele verfolgen. Durch Regeln erhalten die Agenten Vorgaben, wie sie bei der Erreichung ihres Ziels vorgehen können (Romero und Ruiz, 2014). Dieser Ansatz lässt sich immer dann einsetzen, wenn die Objekte im System einer gewissen Entscheidungslogik folgen. Ein Nebeneffekt ist eine visuell attraktive grafische Darstellung des Systemverhaltens.

Für die Entscheidung, welche Modellierungsmethode auszuwählen sinnvoll ist, spielt vorrangig die Zielsetzung der Analyse eine Rolle. In Tabelle 2 erfolgt eine Gegenüberstellung der einzelnen Methoden, wodurch Anhaltspunkte für Auswahl der Methode ableitbar sind. Dabei wird die Methode in der Zeile der in der Spalte (durch → gekennzeichnet) gegenübergestellt und so die Unterschiede bzw. Besonderheiten herausgestellt.

Alle Modellierungsansätze können eine Entscheidungsunterstützung befähigen, da unterschiedliche Ausprägungen ermittelt werden können. Die Discrete-Event-Simulation bietet sich immer an, wenn alle Systemgrößen einfach quantifizierbar sind und das Ergebnis hinsichtlich der statistischen Exaktheit belastbar sein soll. Die Systemdynamik erlaubt eine Modellierung von komplexen und zeitabhängigen Zusammenhängen, was auch schwierig zu quantifizierende Systemgrößen sowie deren Einfluss über den Simulationsverlauf mit einbezieht (Sweetser, 1999). Aus Quellen geht die hohe Anwendbarkeit der systemdynamischen Modellierung hinsichtlich der drei Hauptbetrachtungssichten – ökonomisch, ökologisch und sozial – sowie der jeweiligen Zusammenhänge hervor (Zhang, Calvo-Amodio und Haapala, 2013). Aus diesem Grund eignet sich die Methode der Systemdynamik für das untersuchte Forschungsfeld.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Modellierungsmethoden hinsichtlich Einsatzzweck und Eigenschaften (Maidstone, 2010)

→	Diskret-Event-Simulation (DES)	Systemdynamische Simulation (SD)	Agentenbasierte Simulation (ABS)
Diskret-Event-Simulation (DES)		• Einsatz bei Netzwerken von Warteschlangen • Diskret • Mikroskopische Analyse • Statistische Verfahren – Nutzung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen	• Verhalten von Entitäten durch das System bestimmt (passiv) • Warteschlangen ein Schlüsselelement • Stochastisch oder Eingangsverteilungen für zufälliges Verhalten • Erweiterung um ABS, um aktive Einheiten zu generieren
Systemdynamische Simulation (SD)	• Einsatz, wenn eine Beschreibung durch Flussverhalten funktioniert • kontinuierlich • Makroskopische Analyse • Meist deterministisch		• Gut formuliertes SD-Modell hat eine gleichwertige Formulierung in ABS • Deterministisch
Agentenbasierte Simulation (ABS)	• Agenten in ABS haben ihre eigenen Ziele und Verhaltensweisen (aktiv) • Agentenbasiertes-System hat kein Konzept von Warteschlangen etabliert • Stochastisch oder Eingangsverteilungen für zufälliges Verhalten	• Zu jeder Formulierung ein SD-Modell möglich • Stochastisch • Fehlende Einfachnutzbare Software zur Erstellung von Modellen	

Systemdynamische Modellierung

Die Wissenschaft und Forschung diskutiert viele Zusammenhänge aktuell unter dem Systemgedanken. Der Systemgedanke erlaubt es, dynamische Beziehungen und Sachverhalte, ob technisch oder sozio-politisch, in ihren Verhaltensmustern und Wechselwirkungen zwischen den Systementitäten zu analysieren und zu betrachten (Arndt, 2017, Bosch, Maani und Smith, 2007). Diese Betrachtungsweise erlaubt es auch komplexe Zusammenhänge so zu beschreiben, dass die gegenseitige Beeinflussung berücksichtigt ist. Der Systemgedanke ist bereits seit ca. 50 Jahren bekannt (Forrester, 1989). Vorreiter in diesem Bereich sind Wissenschaftler wie Prof. Forrester (Forrester, 1969, Forrester, 1971) und Meadows (Meadows et al., 1972), die mit dem Systemgedanken versucht haben, die Entwicklung von globalen Zusammenhängen vorherzusagen und so versuchten alternative Entwicklungen frühzeitig zu analysiert (Alfeld, 1995). Durch die Übersetzung des Systemgedankens in technische Beschreibungen, entstand die systemdynamische Modellierung, welche es erlaubt Wirkzusammenhänge eines Systems über die Zeit zu berechnen und aus den Ergebnissen Schlüsse zu ziehen (Oyarbide, 2003, S. 25). Ziel war eine Unterstützung bei der Entscheidung in politischen und wirtschaftlichen Richtungsfragen. So waren in ersten Fragestellungen, welche mittels systemdynamischer Ansätze adressiert wurden, wo allem ökonomischen und ökologische Entwicklung der Gesellschaft – Urban Dynamics (Forrester, 1969) und Industrial Dynamics (Forrester, 1971). Mit der Erkenntnis, der Vielfältigkeit des Ansatzes der systemdynamischen Modellierung ist das Betrachtungsgebiet immer stärker detailliert worden. Auch sind neue Ansätze und Ideen im Kontext der systemdynamischen Betrachtungsmethodik entwickelt worden, wobei hier Vester (Malik Management Zentrum St. Gallen, 2006, Vester, 1994, Vester, 2002) eine gewichtige Rolle innehat. So ist auch der Fokus in den vergangenen Jahren immer intensiver auf Prozesse innerhalb vom Unternehmen gelenkt worden. Wird dabei der Betrachtungsfokus auf produktive Prozesse im Sinne der Schaffung materieller Güter gerichtet, so sind Ansätze in verschiedenen Bereichen der Produktentstehung ermittelbar. Mit Methoden der Systemdynamik sollten Entscheidungsunterstützung bei der Nutzung von Effizienzprozessen im direkten und indirekten Bereich geschaffen werden (Battjes, 1999). Dabei sind Optimierung von Logistikprozessen, Prozessabläufen, Kapazitätsplanungen untersucht worden. Besonderes Ziel war es dabei, verschiedentliche Zielausrichtung in der Produktion, teils gegenläufige Bestrebungen, mit systemischen Ansätzen zu beschreiben, um Lösungen für die verbesserte Unterstützung abzuleiten (Dvornik, Munitic und Mitrovic, 2005, Orcun, Uzsoy und Kempf, 2006, Duffie, Roy und Shi, 2008, Lui, 2011, Chowdhury, Deb und Das, 2014).

Bei der Systemdynamik wird der Betrachtungsraums als System betrachtet. Damit beschreiben die Systemgrenzen den Rahmen der Betrachtung. Die Systemgrenzen sind so zu wählen, dass relevante Beziehung im System enthalten sind. Innerhalb des Systems werden die relevanten

Systemvariablen identifiziert. Durch die Analyse der Wechselwirkungen zwischen den Systemvariablen lässt sich das Systemverhalten beschreiben.

Die Systemdynamik besitzt zwei Herangehensweisen (qualitativ und quantitativ), je nachdem, ob etwas beschrieben oder modelliert werden soll. Damit verbunden sind auch die Intension und das Ziel des Modells (Coyle, 1996).

Der qualitative Ansatz beschäftigt sich mit Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Für die Erstellung kommen Kausaldiagramme (Causal-Loop-Diagramme - CLD) zum Einsatz, um die Wirkbeziehung auch visuell darzustellen. Dieser Ansatz eignet sich für:

- Analyse eines Problems oder Systemstrukturierung, um eine lernende Organisation zu unterstützen (Senge, 1990)
- Analyse von möglichen Entwicklungsalternativen, die am geeignetsten sind (Vennix, 1996)
- Unterstützung des Analyseprozesses in der Anfangsphase eins Modellierungsprojektes für die Systemdynamik
- Darstellung eines systemdynamischen Modells für die Unterstützung der Kommunikation, um unnötige Detaildiskussionen zu unterstützen (Homer und Oliva, 2001)

Mit dem quantitativen Ansatz werden die Wirkbeziehungen in ein parametrisierbares, mathematisches Modell überführt. Die Darstellung erfolgt zumeist in Zustandsflussdiagrammen (Stock-Flow-Diagrammen - SFD). Mit diesem Modellierungsansatz lassen sich folgende Aspekte adressieren:

- Eine dynamische Darstellung des modellierten Systems, um Problemursachen zu verstehen (Sterman, 2000)
- Entwicklung möglicher verschiedener Szenarien, um Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit des modellierten Systems zu untersuchen (Morecroft, 2015)

Die Fragestellung, wann welches Verfahren mehr oder minder geeignet ist, ist bisher vielfach diskutiert, aber unzureichend geklärt (Richardson, 1996). Wolstenholme versucht durch seine Diskussion eine Abgrenzung zu bieten (1998). Dabei werden Stärken und Schwächen der beiden Ansätze beleuchtet (Tabelle 3).

Basierend auf diesen Informationen soll im Rahmen dieser Arbeit Untersuchungen des Kontextes mittels des quantitativen Modells im Fokus stehen. Auch wenn der quantitative Modellierungsansatz durch die Erzeugung mathematischer Berechnungsformeln deutlich erhöhte Aufwendungen bedarf, so ist die damit verbundene Analyse belastbarer. Die Komplexität des Betrachtungssystems ist durch eine hohe Anzahl von Rückschlüssen und Abhängigkeiten gekennzeichnet. Damit besteht nicht ausschließlich lineares Verhalten, welches ohne Simulation nicht qualifiziert

bewertet werden kann. Zwar bietet die qualitative Modellierung die Möglichkeit über Wirkungsbeziehungen aufzuklären, aber Effektgröße lässt sich nicht abschätzen. Dies erschwert eine Betrachtung der Wirkungen über eine größere Anzahl an Berechnungsschritten, da die Unsicherheiten fortgeschrieben werden. Die quantitative Modellierung erlaubt es zusätzlich, durch Variation von Parametern unterschiedliche Berechnungsergebnisse auszuprägen. Dadurch unterstützt dieser Ansatz Ungenauigkeiten und unpräzise Einflüsse als Fehlannahmen in der Bewertung zu reduzieren.

Tabelle 3: Vergleich der qualitativen und quantitativen Modellierungsansätze (Wolstenholme, 1998, S. 4–5)

	Qualitative Modellierung	Quantitative Modellierung
Stärken	Systemdenken unterstützt signifikant beim Verständnis und Denken	Die quantitative Systemdynamik fügt die Dimension der Daten zu den Abbildungsstrukturen hinzu und ermöglicht so die Computersimulation von Systemen, um das Verhaltensweisen über den Zeitverlust zu ermitteln.
	„Casual-Loop"-Systemdenken verbessert das lineare und komplexe Denken durch die Einführung von kreisförmigen Kausalitäten und bietet ein Medium, mit dem Menschen externe mentale Modelle und Annahme treffen können, diese können sie durch Austausch anreichern.	Sich beeinflussendes Verhalten, bereits auf einfachem Niveau, ist selbst für erfahrene Experten schwierig, da der Mensch nur eine begrenzte Anzahl an Variablen gleichzeitig betrachten kann.
	Es erleichtert die Schlussfolgerung von Verhaltensweisen durch die Unterstützung der mentalen Simulationsansätze.	Quantitative System Dynamik bringt das beste beider Welten zusammen – Mensch mit kreativen Fähigkeiten und Computer mit der Datenbearbeitung.
	Das regelbezogene System erlaubt die Analyse mit den Ansätzen für Verbesserung bei der Anpassung zu.	Computersimulationsmodelle erzeugen signifikanten Mehrwert durch die detaillierte und hemmungslose Analyse

Stärken	Durch die Verwendung von Strukturmodellen, insbesondere der gesamten generischen Zwei-Schleifen-Strukturen, Regeln, Grenzen und Verzögerungen, wird es ermöglicht potenzielle unbeabsichtigte Konsequenzen zu erkennen und erhöht damit die Chance zu Erreichung der Ziele.	Es erlaubt die Kombination von harten und weichen Faktoren, was besonders und leistungsstark ist.
	Die Methode bringt ein benötigtes Werkzeug in das strategische Management und erlaubt Managern den Zugang zum Denken in Abhängigkeiten und Feedback-Schleifen.	
Schwächen	Um Experte für die Erstellung der ‚Causal-Loop' Diagramme zu werden ist Erfahrung in der Erfahrung in der quantitativen Modellierung erforderlich.	Die Daten für die Computersimulation sind vielfach nicht vorhanden, damit bleiben Teile des Modells hochspekulativ.
	Die relativ einfache Modellierung unterstützt es die Anwendung auf unpassende Fragestellungen.	Modelle sind häufig eine idealisierte Darstellung der Realität, beschränkt durch die Restriktion der Stock-Flow-Modellierung.
		Herausforderung ist ein einfaches ausgeglichenes und elegantes Modell mit dem geeigneten Detailgrad in der verfügbaren Zeit zu entwickeln.
		Es besteht immer der Trend zu Modellen, die zu detailliert und komplex sind, und nur unzureichend validiert werden können, auch entgegen der Vorstellung des Entwicklers.
		Viel Erfahrung ist nötig, um geeignete Teamzusammenstellung und einen effizienten Modellierungsprozess zu realisieren.

Schwächen		Das Ideal ist die Schaffung eines wirklichen ‚Modell fürs Lernen' zu schaffen, bei dem die Teilnahme ebenso wichtig ist, wie die die Vorhersagen
		Die benötigte Zusammensetzung von Fähigkeiten ist schwierig zu finden.

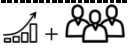
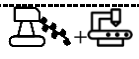
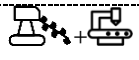
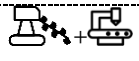
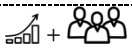
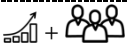
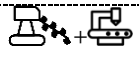
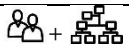
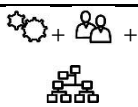
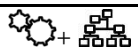
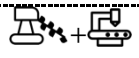
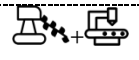
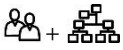
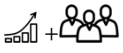
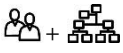
3.2.2 Analyse bereits existierender Systemdynamikmodelle

Bei der Betrachtung der seit Forrester entwickelten Modelle ist ersichtlich, dass eine systemische Betrachtung des Bezugskontextes erfolgen soll. Die entwickelnden Wissenschaftler versuchen mit den Ansätzen der Systemdynamik eine ganzheitliche Betrachtung der Herausforderung zu unterstützen. Der Anspruch, Fragestellungen aus der systemischen Perspektive zu beleuchten, führt im Gegenzug zur Kritik der Methodik (Currie, Smith und Jagals, 2018, Moon, 2016). Denn abhängig von der konkreten Fragestellung werden die Systemgrenzen und Annahmen gesetzt (Myrtveit, 2005, S. 9–10). Daraus resultiert eine große Anzahl von individuellen systemdynamischen Modellen, die sich mit ähnlichen Aspekten beschäftigen. Eine Weiternutzung von bestehenden Modellbestandteilen erfolgt nicht, da die Modelldokumentationen nicht hinreichend transparent sind. Außerdem werden alle Kausaldiagramme in individuelle Zustandsflussdiagramme überführt, ohne die Modularisierung und damit Weiternutzung zu berücksichtigen.

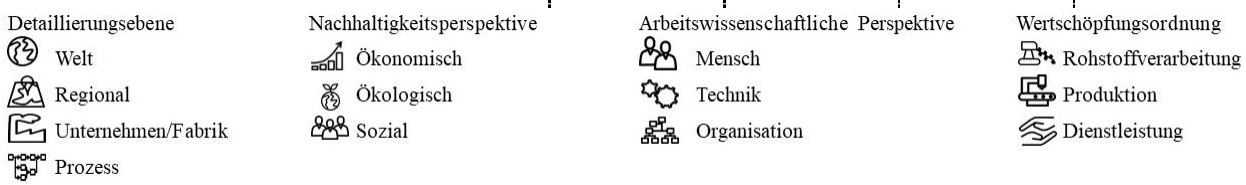
Um diesen Bruch aufzulösen, erfolgte eine Recherche, um geeignete Ansätze für die Adressierung der gestellten Forschungsfragestellung zu identifizieren. Durch die Bewertung der Passfähigkeit wurden relevante systemdynamische Modelle identifiziert. Durch eine Detailanalyse (Detaillierungsebene, Nachhaltigkeitsperspektive, Arbeitswissenschaftliche Perspektive und Wertschöpfungsordnung) wurden die Modelle klassifiziert (Tabelle 4). Dies soll die Nutzbarkeit von Modellbestandteilen erhöhen.

Unternehmen mit hohem Produktionsanteil sind durch signifikante Spezialisierung geprägt. Diese folgt aus dem Bedarf von teils detaillierten Kenntnissen über einzelne Zusammenhänge und Abhängigkeiten. Dieser spezialisierte Fokus steht im Gegensatz zu ganzheitlichen Ansätzen, die auch Wechselwirkungen zu anderen Bereichen bzw. innerhalb angrenzender Bereiche zu berücksichtigen anstreben (Mandel, Lentes und Schließmann, 2014, Lentes et al., 2016b). Das Management ist an der holistischen Sicht interessiert, wobei hier die monetär messbaren Verbesserungen der Unternehmensleistungsfähigkeit im Vordergrund stehen (Bauer, 2015a).

Tabelle 4: Analyse von systemdynamischen Modellen hinsichtlich Nutzbarkeit im Kontext der Forschungsfragestellung

Modellierungsansatz	Detaillierungsebene	Nachhaltigkeitsperspektive	Arbeitswissenschaftliche Perspektive	Wertschöpfungsordnung
Miniworld (Bossel, 2004)				
WORLD2 (Forrester, 1973)				
WORLD3 (Meadows et al., 1972)				
WORLD6 (Sverdrup und Koca, 2018)				
Urban Dynamics (Forrester, 1969)				
Industrial Dynamics (Forrester, 1971)				
URBAN1 (Affeldt, 1999)				
Worklife satisfaction (Grace und Parker, 2017)				
Manpower planning (Gregoriades, 2001)				
HoliPOrt (Hertwig, 2017)				
SEPP (Hettesheimer, 2017)				
DezenEnergie (Hollmann, 2019)				
SFC Model (Jackson, Victor und Naqvi, 2016)				
Sustainable and Lifecycle Information-based Manufacturing (SLIM) Modell (Kibira, Jain und McLean, 2009, Jain und Kibira, 2010)				
Environment-Industry-Modell (Kantardgi, 2003b)				
STREM-Modell (Kapourani, Eleftheria-Eleni, Kapmeier, Florian, 2017)				
Firm internal Process model (Khaledi, 2015)				

Ultraeffizienzfabrik (Kuhlmann und Bauernhansl, 2015)				
Generic model for manufacturing (Lin et al., 1998)				
Aircraft market model (Lyneis, 2000)				
GINFORS (Distelkamp und Meyer, 2017, Hirschnitz-Garbers et al., November 2017)				



Ebenfalls nur unzureichend betrachtet sind Wechselwirkungen zwischen Unternehmen und Umgebung. Ein Unternehmen ist ein Element, welches ins Umfeld eingebettet ist, wobei die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten bisher noch wenig untersucht sind. In ersten Projekten werden Unternehmen als Symbiosepartner in Gewerbeansiedlungen betrachtet und ihre potenziellen Abhängigkeiten beschrieben. Dabei kann das Unternehmen im urbanen Kontext als beteiligtes Element betrachtet werden. Diese begrenzte Betrachtungsperspektive bietet Potenzial für die Unternehmensleitung, Bedürfnisse des Umfeldes zu verstehen und damit auch diese Anforderungen adressieren zu können.

Aktuell sind verschiedenste Ansätze für die Simulation mittels Systemdynamik vorhanden. Die bestehenden Systeme variieren zwischen Unternehmensleistungssimulation (Baines und Harrison, 1995, Pretschuh, Traxl und Zeichen, 2002) und konkreter Prozessverbesserungen durch Unterstützung bei Entscheidungen, die bei Veränderungen zu treffen sind (Zwicker, 1980, Ebrahimpour und Fathi, 1985). Eine konkrete Beschäftigung mit der Entwicklung und Optimierung von Produktionen unter dem Schwerpunkt der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz ist bereits auf verschiedenen Detaillierungsebenen erfolgt (Hubbert, 2016, S. 3–4, Fiksel, 2002, S. 7–8). Jedoch stellt sich die Herausforderung ein systemdynamisches Modell zu finden, welches die Situation der Brown-Field-Entwicklung geeignet beschreibt.

3.2.2.1 Allgemeiner Ansatz für den Einsatz von Systemdynamik für die Simulation von Fertigungssystemen

Systemdynamik bietet eine Unterstützung bei der strategischen Bewertung von Szenarien. Gemäß Baines (1994) müssen die Perspektiven teilweise zusammengefasst werden, um ein leichtgewich-

tiges Modell zu erhalten. Um die Potenziale der Modellierung zugänglich zu machen, ist eine verstärkte Fokussierung auf die fertigungstechnischen Herausforderungen erforderlich. Weiterhin stellt die Erstellung und Qualifizierung eines passfähigen Systemdynamischen Modells für viele verantwortliche Manager eine nur schwer zu lösende Aufgabe dar (Baines, Darlow und Lin, 1996). Um einen solchen Ansatz zu schaffen, haben Lin et al. ein allgemeines generisches Systemmodell für Produktionsprozesse entwickelt (1996). Dieser vereinfacht die Struktur des Systemdynamischen Modells, in dem abgeschlossene Einheiten entwickelt werden. Diese können je nach Kontext zusammengebracht werden, was dabei die Anwendbarkeit für verschiedentliche Kontexte und Fragestellungen unterstützt. Um die Anwendbarkeit sicher zu stellen, erfolgten drei wesentliche Schritte bei der Modellerstellung (Lin et al., 1998, S. 345):

1. Identifikation von elementaren Strukturen, die ein Fertigungssystem auszeichnen. Außerdem erfolgte eine Ableitung von Anforderungen für die strategischen Entscheidungsprozesse.
2. Basierend auf den erhobenen Strukturen und Anforderungen erfolgte die Entwicklung der systemdynamischen Blöcke und Abhängigkeiten.
3. Diese generischen Blöcke wurden mithilfe eines Unternehmens geprüft und entsprechend angepasst.

Die Anwendung des Modells auf einen konkreten Sachverhalt erlaubt die Verifikation der Einheiten. Im Evaluationsmodell haben nur wenige Eingangsvariablen ausreichend großen Einfluss auf das System. Diese lassen sich auf: Produktionsrate, Stückliste (BOM), Arbeitsverteilung, benötigte Arbeitskraft, Fehlerrate, Variation der Fehlerrate, In-Effizienzfaktoren und Regeln zusammenfassen. Im Vergleich zeigt die Anwendung des Modells eine Abweichung von 2 % zu einem Discrete-Elemente-Simulation des gleichen Zusammenhangs (Lin et al., 1998, S. 347). Durch diese Evaluation mittels unternehmensspezifischer Kennzahlen konnte die Anwendbarkeit gezeigt werden.

3.2.2.2 Hybrider Ansatz zur Simulation von Fertigungsprozessen

Die Erweiterung des generischen Ansatzes von Baines ist für den Einsatz von konkreten diskreten Fertigungsschritten ausschließlich mittels einer Konkretisierung auf diskrete Schritte möglich (1994, Oyarbide et al., 2000). Um die Konkretisierung zu realisieren, ist die Kombination zwischen der Systemdynamik für die holistische Betrachtung und die Discrete-Event-Simulation für diskretisierbare Schritte nötig (Oyarbide, 2003). Denn nach der Betrachtung gibt es verschiedene Betrachtungslevel, die eine zugehörige Detailtiefe erlauben (Abbildung 13). Die Systemdynamik wird genutzt, um den Fertigungsfluss zu sichern. Das Modell (Abbildung 14) stellt die Basis dar,

um die einzelnen Arbeitsschritte durch Discrete-Event-Simulation zu konkretisieren und so die Details für den One-Piece-Flow zu ermitteln (Oyarbide et al., 2003).

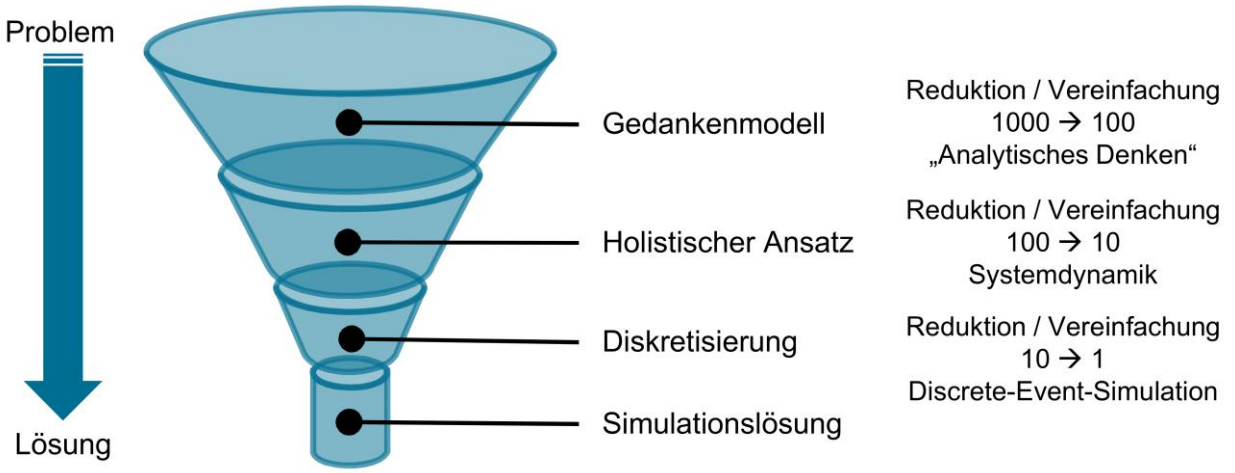
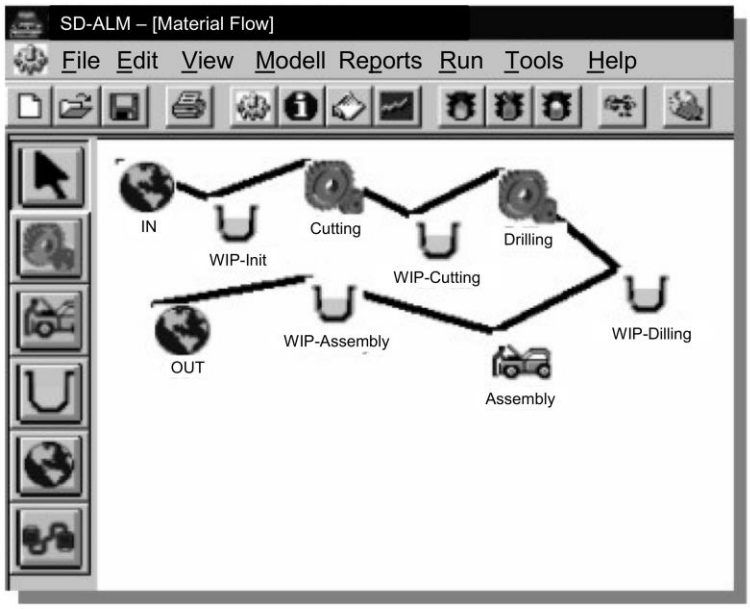


Abbildung 13: Konkretisierung der Simulationsbeschreibung und damit verbundener Eingrenzung potenzieller Lösungen (in Anlehnung an Oyarbide et al., 2003)



RATES

Element	*Quantity*	*Cycle Time*
IN	2	18sec.
Cutting	1	40sec.
Drilling	1	25sec.
Assembly	1	20sec.
OUT	1	10sec.

LEVELS

Element	*Initial Value*	*Max. Value*
WIP-Init	0	100
WIP-Cut	0	200
WIP-Drill	0	500
WIP-Assy	0	200

Abbildung 14: Systemdynamisches Simulationsmodell für den hybriden Ansatz der Fertigungssystemsimulation (Oyarbide et al., 2000, Oyarbide et al., 2003)

3.2.2.3 Nachhaltiges und Lebenszyklusbasierte Fertigung - *Sustainable and Lifecycle Information-based Manufacturing* (SLIM)

Im Rahmen des Sustainable and Lifecycle Information-based Manufacturing (SLIM) des National Institute of Standards and Technology (NIST) konnte ein systemdynamisches Rahmenwerk

(Anhang 2) für nachhaltige Produktion (*System Dynamic Framework for Sustainable Manufacturing*) entwickelt werden. Die herkömmliche Betrachtung von Sozialperspektive, Umweltperspektive und Finanzperspektive ist um die Fertigungsperspektive erweitert worden (Kibira, Jain und McLean, 2009). Das entwickelte generische Rahmenwerk (Abbildung 15) existiert sowohl in mittlerer Auflösung als auch hoher Auflösung. Bei dem Modell in mittlerer Auflösung (Anhang 3) sind lediglich die wichtigsten Variablen im Modell verankert. Das Modell mit hoher Auflösung (Anhang 4) beinhaltet alle Variablen im Modell, die von Jain und Kibira (2010) als relevant definiert wurden. Die Analyse des systemdynamischen Modells erlaubt eine Bewertung der Betrachtungsdetails. Das Rahmenwerk für nachhaltige Fertigung bezieht sich auf ein breiteres Betrachtungsfeld, was die Lieferkette ebenso wie die Produktnutzung mit beinhaltet. Die Detailbetrachtung des einzelnen Produktionsunternehmens ist mit dem SD-Modells von Kibira, Jain und McLean (2009) nicht möglich. Eine Spezifizierung des Modells und damit verbunden eine Anpassung auf das zu betrachtende Unternehmen stehen nicht im Fokus des erstellten Modells.

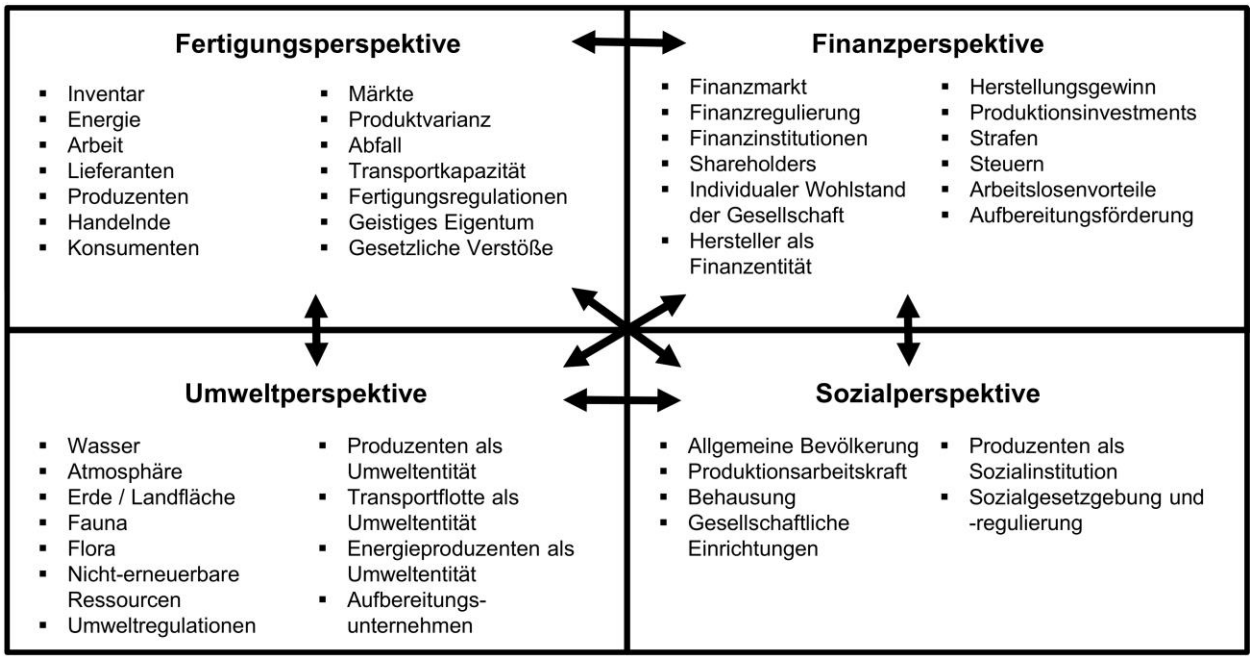


Abbildung 15: Rahmenwerk für nachhaltige Fertigung nach Kibira, Jain und McLean (Kibira, Jain und McLean, 2009)

3.2.2.4 Ultraeffizienzfabrik

In Kooperation dreier Fraunhofer-Institute (IAO, IPA und IGB) am Standort Stuttgart entstand das geförderte Konzept *Ultraeffizienzfabrik – Ressourcenschonende Produktion im urbanen Umfeld (Lentes et al., 2016b)*. Das Betrachtungsmodell hat verschiedene Betrachtungsebenen und Perspektiven. Im Projekt wurde an Methoden geforscht, die das Ziel verfolgen Stoff- und

Energiekreisläufe zu schließen. Es wurde ein generisches Modell geschaffen, welches sich auf die urbane Betrachtungsebene bezieht. Einige Bestandteile des Modells sind detaillierter ausgeführt, wodurch Aspekte der Produktionsebene analysiert werden können. Aufgrund der begrenzten Validierung des systemdynamischen Modells können die Zusammenhänge teilweise aufgegriffen werden, müssen aber validiert werden. Für eine Perspektive ist ein deutlich detailreicheres systemdynamisches Modell erstellt worden, welches auch verschiedene Betrachtungsebenen beinhaltet (Abbildung 16). Leider liegt es ausschließlich für die Perspektive Energie vor (Kuhlmann und Bauernhansl, 2015). Ansätze hieraus lassen sich übertragen, machen aber sicherlich eine Anpassung an die gesetzte Fragestellung nötig.

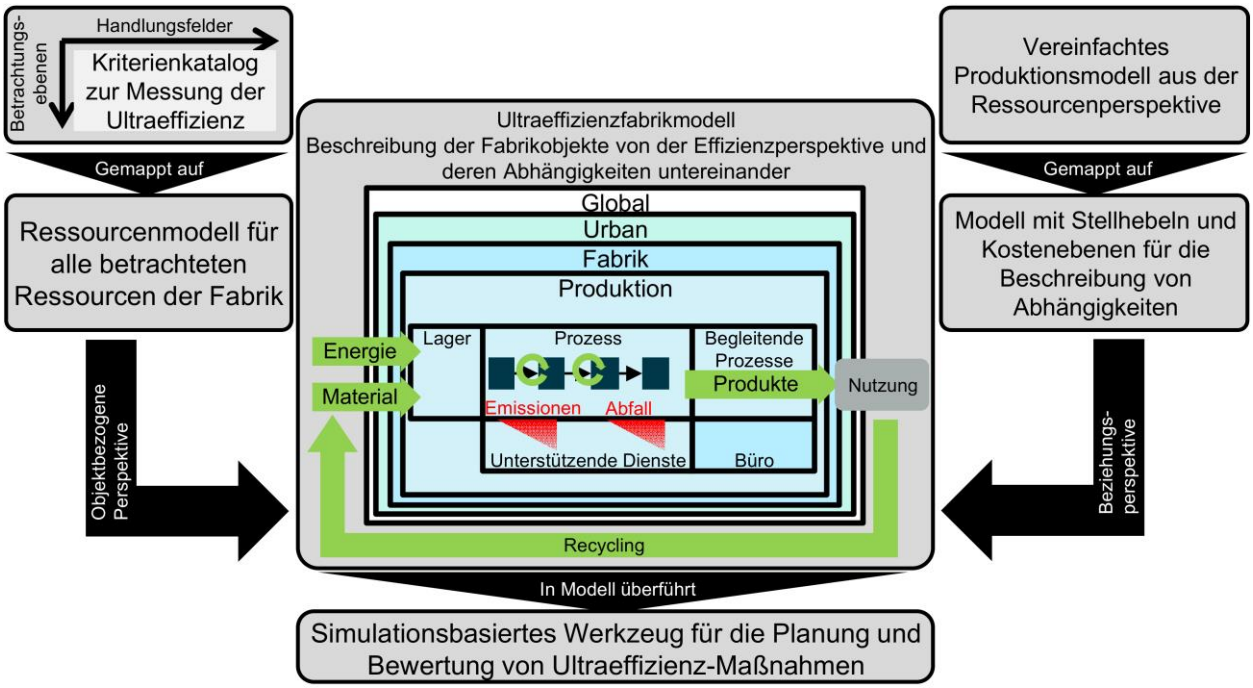


Abbildung 16: Konzept für die Modellierung und Ableitung der Simulation bezogen auf das Rahmenwerk der Ultraeffizienzfabrik (Kuhlmann und Sauer, 2016)

3.2.2.5 Holistische Standortentwicklung von produzierenden Unternehmen

Bei der *Konzeptstudie – Holistische Standortentwicklung von produzierenden Unternehmen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit dem Umfeld* steht das Unternehmen innerhalb eines Industrie- bzw. Gewerbegebiets im Fokus (Hertwig, 2017). Denn aufgrund der gewachsenen Strukturen in Deutschland sind viele Unternehmen innerhalb dieser speziell ausgewiesenen Zonen lokalisiert. Durch die verstärkte Zusammenarbeit verschiedener Unternehmen im Verbund lassen sich mittels langfristiger Planung Mehrwerte für alle Partner schaffen. Bei der Studie ist das Unternehmen als Betrachtungsgegenstand im Mittelpunkt. Es werden innerhalb der Studie Wechselwirklungen zwischen Unternehmen und Unternehmensansiedlung (z.B. Industrie- und Gewerbegebiete) betrachtet. Dazu ist ein dreistufiges Bewertungsmodell entstanden (Abbildung 17). Dieses sieht erst in der detailliertesten Stufe die Verwendung eines systemdynamischen Modells (Anhang 5) vor. Durch die Ausprägung als Kausaldiagramm sollen Wirkmechanismen erklärbar werden. Da es ausschließlich als qualitatives Modell (Kausaldiagramm) ausgeführt ist, können keine Zustandsflussdiagramm-Bestandteile direkt weiter genutzt werden. Weiterhin sind die Wechselwirkungen von Unternehmen untereinander im Fokus, wodurch nur einzelne Aspekte mit Relevanz für ein Modell zur urbanen Produktion sind. Außerdem enthält das entwickelte Modell nicht die komplette Komplexität, was ausschließlich Ausschnitte des Modells nutzbar gestaltet.

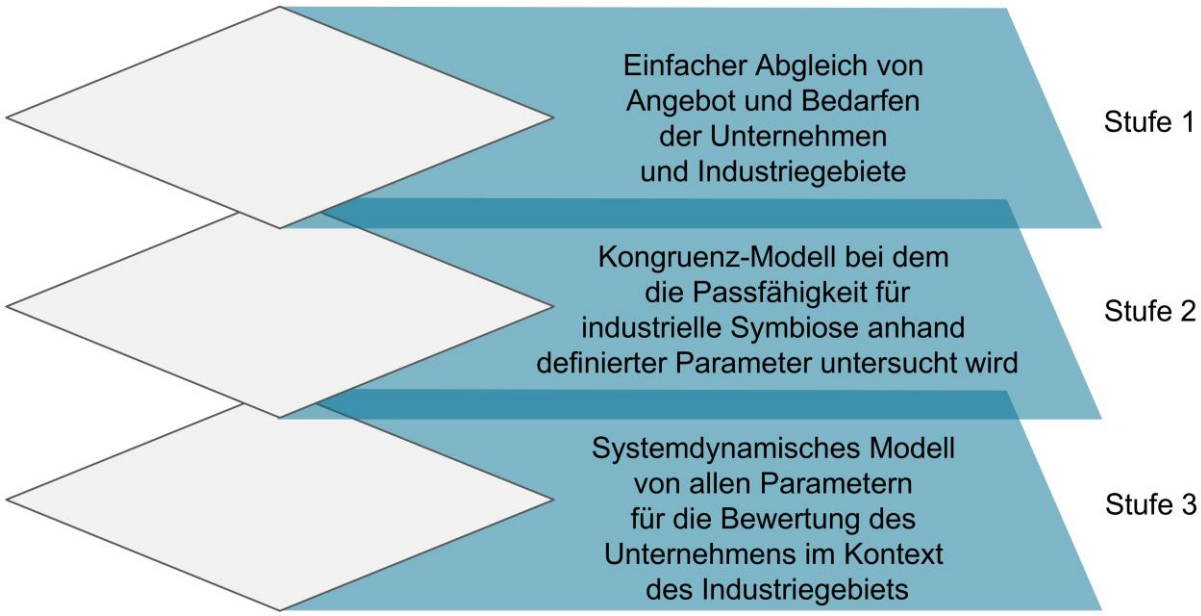


Abbildung 17: Dreistufiges Vorgehensmodell der Konzeptstudie mit unterschiedlichen Detaillierungsansätzen (Hertwig, 2017)

3.2.2.6 Dynamische Erfolgslogik

Da sich Systemdynamik gut einsetzen lässt, um komplexe Zusammenhänge hinsichtlich der möglichen Wechselwirkungen zu beschreiben, ist das Ziel von Schmid (Schmid, 2012) in seiner Dissertation Unternehmensdynamiken zu modellieren. Hierbei sollten Erfolgskriterien modelliert werden, um positive und negative Auswirkungen von Veränderungen sichtbar zu machen. Bei der kritischen Diskussion der Modellcharakteristika erfolgt eine Spezifizierung. Da bei dem Modell der dynamischen Erfolgslogik ein Abgleich von ermittelter Prognose mit vorliegenden Eintrittswerten erfolgt, liegt der Fokus des Modells stärker auf der Erklärung der Dynamiken. Da eine grundlegenden Prognosefähigkeit für Unternehmen wichtig ist, wird es gemäß Schmid (2012, S. 187) in Abbildung 18 (vgl. Seite 47) eingeordnet. Es kann somit primär den „kleinen“ Erklärungsmodellen zu geschrieben werden (Schmid, 2012, S. 187).

3.2.2.7 Erfolgsdynamik zur Entscheidungsunterstützung im strategischen Management

Im Rahmen der Arbeit werden die Wirkzusammenhänge als Ursache-Wirkungsdiagramme erstellt. Damit werden Wechselwirkungen eindeutig erstellt. Ausgehend von dieser qualitativen Modellierung erfolgt die Formulierung von quantifizierten Beziehungen. Diese werden in Form von Bestands-Flussgrößendiagrammen erstellt und mit mathematischen Formeln für die numerische Berechnung ergänzt (Anhang 9) (Schmid, 2012, S. 100). Dabei erfolgt die thematische Clusterung angelehnt an der Methode der Balanced Scorecard (farbliche Einteilung, Abbildung 18). Eine weitere Unterteilung unterstützt die Erstellung und Validierung der Bestands-Flussgrößendiagramme.

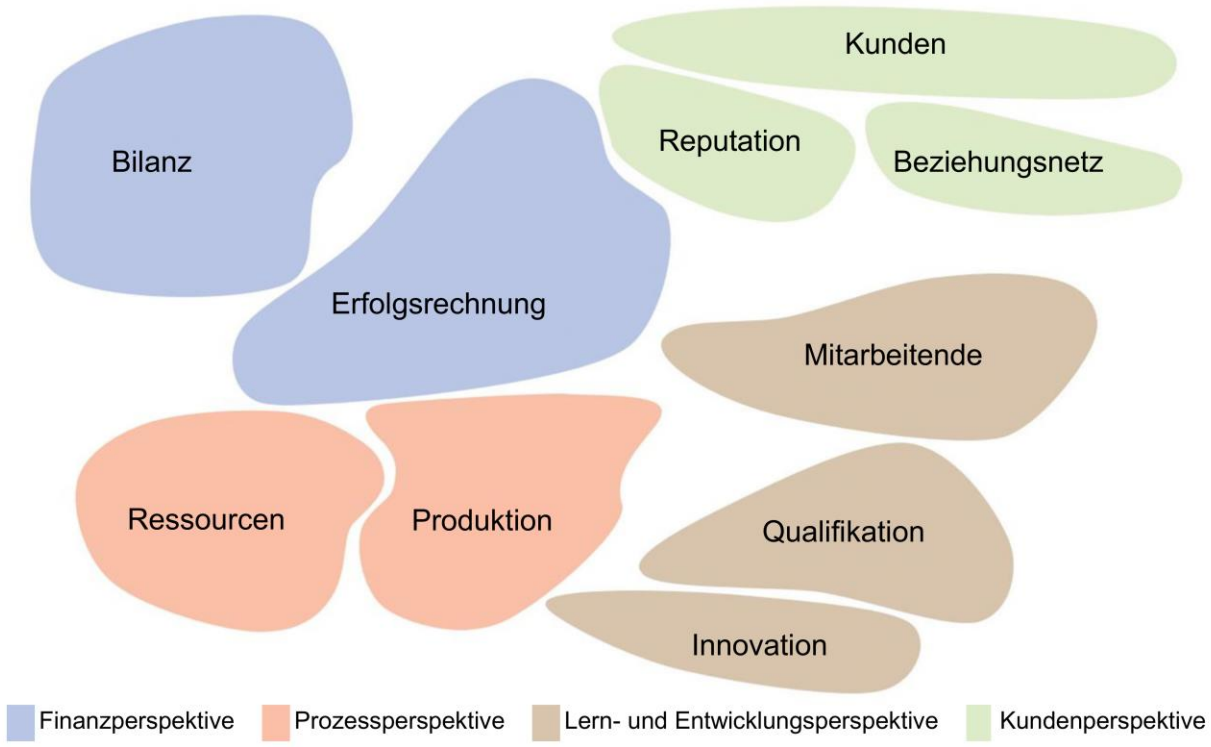


Abbildung 18: Thematische Clusterung des systemdynamischen Modells der dynamischen Erfolgslogik (Schmid, 2012, S. 196)

Die vorgestellten systemdynamischen Modelle lassen sich gemäß der verfolgten Anwendung (vgl. Kapitel 3.2.1) gruppieren, wobei mit der Modellierung der Fokus auf eine Vorhersagefunktion oder Erläuterungsfunktion gelegt werden kann. Um den in dieser Arbeit verfolgten Ansatz einzuordnen, erfolgte ein direkter Vergleich der verschiedenen Modellansätze. Durch eine Einordnung der verschiedenen systemdynamischen Modelle mit Bezug zur Nachhaltigkeit bzw. Produktion werden die unterschiedlichen Zielvorstellungen sichtbar (Abbildung 19, Seite 48).

Das Modell für die *Urbane Produktion* verfolgt konkret das Ziel der Ableitung von Prognosen basierend auf aktuellen Daten. Um aber die Ableitungen potenzieller zukünftiger Entwicklungen zu unterstützen, müssen die Unternehmen die Zusammenhänge und Wechselwirkungen verstehen. Die entwickelte Methode muss demnach auch geeignet sein, den Wissenstransfer zu unterstützen und die Diskussion auf inhaltlicher Ebene zu befähigen. Dazu darf die erklärende Funktion nicht zu schwach ausgeprägt sein.

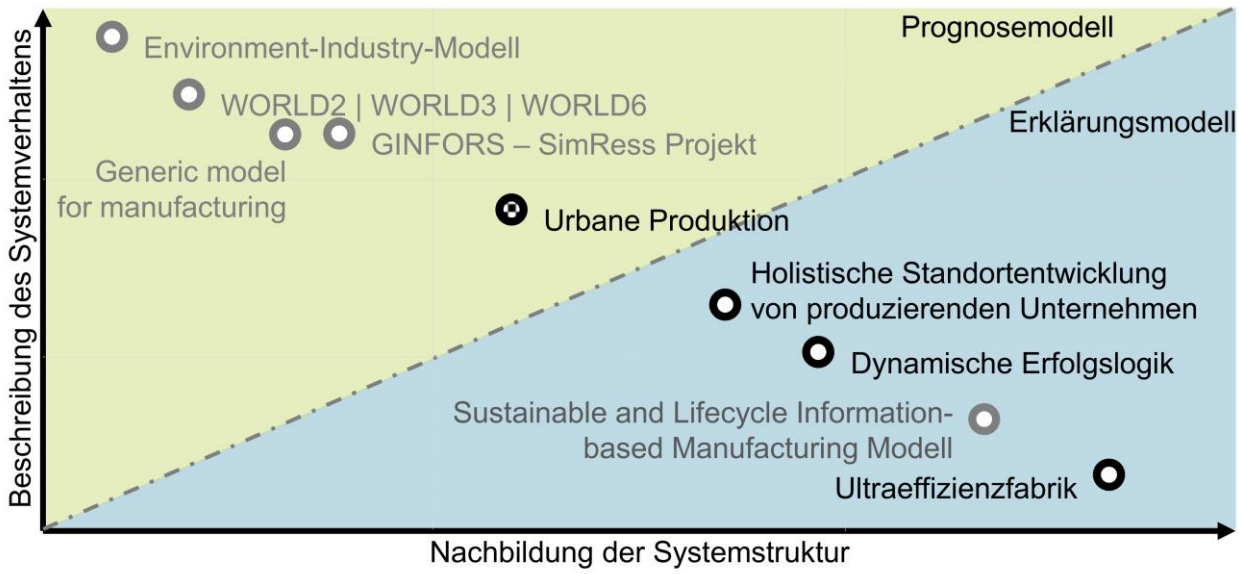


Abbildung 19: Einordnung von Modellen gemäß der Fokussierung in den zwei Charakterisierungsdimensionen (angelehnt an Schmid, 2012, S. 187)

3.3 Strategische Unternehmensentwicklung

Der Strategie-Begriff hat seinen Ursprung in der Antike und ist immer wieder im Kontext der Kriegsführung adaptiert und verwendet worden. Durch die Schaffung von Parallelen zwischen Militär und Wirtschaft wird die Übertragung des Strategie-Begriffes auf das unternehmerische Handeln übertragen (Neumann und Morgenstern, 1944). Gegenwärtig definiert Schuh et al. Strategie als „*...eine grundsätzliche und langfristig ausgerichtete Verhaltensweise eines Unternehmens und relevanter Teilbereiche gegenüber der Umwelt mit der Absicht, die angestrebten Ziele zu realisieren*“ (Schuh et al., 2011, S. 66).

3.3.1 Entwicklung einer unternehmensbezogenen Strategie

Typischerweise erfolgt die Strategieentwicklung phasenbasiert und kann vereinfacht auf drei Phasen (siehe Abbildung 20, Seite 51) agglomeriert werden (Arx, 2006, Trippner, 2021).

In der ersten Phase werden aus der Vision strategische Ziele (1) abgeleitet. Diese Ziele müssen in Einklang von Vorgaben durch gesetzliche Rahmenbedingungen, Anforderungen seitens der Gesellschafter und weiterer Beteiligten sein. Optimalerweise findet dieser Prozess iterativ unter Einbindung relevanter Beteiligter statt (Will und Wuscher, 2014, S. 9).

Aufbauend auf die Zieldefinition werden anschließend (2) Informationen zusammengetragen und strukturiert, um die Grundlage für erfolgreiche Erfüllung der Ziele zu legen. Dazu gilt es die aktuelle Situation der Organisation sowie korrespondierender Wechselwirkungen zu analysieren. Bei entsprechender Informationslage kann auch ein Bedarf zur Anpassung der strategischen Ziele

notwendig werden. Dazu stehen vielfältige Methoden zur Verfügung, abhängig davon welche Perspektive für die Strategie im Fokus steht. Denn diese Informationen legen die Grundlage für mögliche Handlungsoptionen (Epstein und Marckstein, 2014).

Die Konkretisierung und Ausgestaltung dieser möglichen Handlungsoptionen bilden den Abschluss der Strategieentwicklung (3). Mit ihr wird die Grundlage für die Umsetzung und erfolgreiche Begleitung gelegt, indem die ausgewählten Handlungsprämissen an die aktuellen Rahmenbedingungen angepasst und ggf. verfeinert werden. Denn die Zielstellung der entwickelten Handlungsoptionen ist es, den Unternehmenserfolg langfristig zu sichern. Dabei sollen mögliche Risiken identifiziert und bestenfalls eliminiert werden. Dies kann durch eine Chancenerkennung und die Komplexitätsoptimierung unterstützt werden, in dem die Flexibilität erhöht bzw. Synergieeffekte geschaffen werden. Die priorisierten Handlungsoptionen können für die geeignete Umsetzbarkeit in eine Roadmap überführt werden (Machate, 2006).

Die zunehmende Komplexität und Dynamik im betrieblichen Umfeld gepaart mit Digitalisierungstechnologien und der Transformation in Energie, Mobilität und Produktionstechnologie erhöhen die Unsicherheiten für den strategischen Planungsprozess (Wulf et al., 2012). Um diese Unsicherheiten und Unwägbarkeiten handhabbar zu gestalten, bietet sich die strategische Vorausschau als Ansatz an. Viele dieser Ansätze sind aufwändig und eignen sich nur bedingt für die Anwendung in kleinen und mittleren Unternehmen (Mietzner et al., 2017). Denn für die verlässliche Gewinnung von Informationen für die Ableitung belastbarer Aussagen hinsichtlich potenzieller Entwicklungen ist großer Aufwand nötig. Nach Mietzner, Kamprath und Wagner (2010) und Wulf et al. (2012) bietet ein Szenario-basierter Planungsansatz das Potenzial Szenarien strukturiert und handhabbar in die Unternehmensstrategieentwicklung einzubinden. Die Eignung der Szenario-basierte Betrachtung gewinnt auch in der Analyse von Nachhaltigkeitstechnologien zunehmend an Bedeutung (Berner et al., 2016).

3.3.2 Szenario-basierter Ansatz

Die Szenario-Technik ist je nach Anwendungsfeld spezifisch ausgeprägt, weshalb angepasste Vorgehensweisen entwickelt wurden (Becker, 2020). Alle Vorgehensweisen haben gemein, dass ein Szenario eine Beschreibung eines möglichen Zustands des Betrachtungsgegenstands in der Zukunft darstellt, wobei Einfluss auf gestaltbare Faktoren genommen werden kann. In der Szenario-Entwicklung werden für verschiedene Einflussfaktoren mögliche Ausprägung abgeleitet. Die Kombination dieser Einflussfaktoren beschreiben in Summe das jeweilige Szenario. Basierend auf dem jeweiligen Szenario wird es damit möglich, Wirkungen abzuschätzen (Gausemeier, Fink und

Riepe, 1998, Yudutskii, 2001). Im Kern lässt sich die Szenario-Entwicklung auf vier generelle Schritte zusammenfassen:

1) Definition des Betrachtungsraums,
2) Entwicklung einer Datenbasis,
3) Entwicklung der Szenarien und
4) Entscheidung zu relevanten Handlungsoptionen (Phelps, Chan und Kapsalis, 2001).

Jedoch zeigt die Szenario-Technik Schwächen, da meist ein lineares Denken zugrunde liegt und damit Wechselwirkungsbezüge nur unzureichend berücksichtigt werden.

3.3.3 Systemdynamisches Modell zur Szenario-Ableitung

Der Einsatz der Systemdynamik eröffnet das Potenzial verschiedene Auswirkungen parallelisiert zu betrachten, sodass viele Alternativen ermittelt werden können (Mietzner und Reger, 2005). Dabei ist die Spieltheorie mit statistischen Ansätzen eine wichtige Grundlage. Unter Einsatz eines Multi-Szenarien-Ansatzes lassen sich Unsicherheiten berücksichtigen, und somit können die Varianzen mittels statistischer Methoden für das Gesamtsystem abgeschätzt werden (Masch, 2013). Die Berechnung alternativer Zukunftsentwicklung unterstützt das Management, indem eine Bewertung der Auswirkungen von Entscheidungen basierend auf der aktuellen Situation fassbar gestaltet werden (Hidayatno et al., 2017). Auch wenn der Einsatz von stochastischen Ansätzen keine bessere Aussagequalität der Zukunft ermöglicht, unterstützt es doch die Entscheidungsqualität, da die Zusammenhänge und deren Wirkungen sichtbar werden (Raynor, 2007, S. 13). Im Gegensatz zum linearen Ansatz der Szenario-Technik, unterstützt die Systemdynamik auch Rückschlüsse in der Betrachtung, wodurch zusätzliche Einwirkungen wie Rebound-Effekte ebenfalls in die Betrachtung integriert werden können (Engelbertink, 2019). Damit unterstützt die systemische Betrachtung auch längerfristig angelegte Vorhersagen, da auch komplexe Zusammenhänge in ihren Wirkungen beschrieben und ausgewertet werden können.

3.3.4 Integration der Systemdynamischen Szenario-Ableitung in die Strategieentwicklung

Durch eine Einbettung von systemdynamischen Methoden in die Strategieentwicklung wird der Szenario-basierte Ansatz integraler Bestandteil der strategischen Unternehmensentwicklung (siehe Abbildung 20, Seite 51). Damit sollen Entscheidungsprozesse mit Folgen für die langfristige Ausrichtung unterstützt werden, da Unsicherheiten frühzeitig aufgezeigt und berücksichtigt werden können (Ralyté, Rolland und Plihon, 1999, Torres, Kunc und O'Brien, 2017).

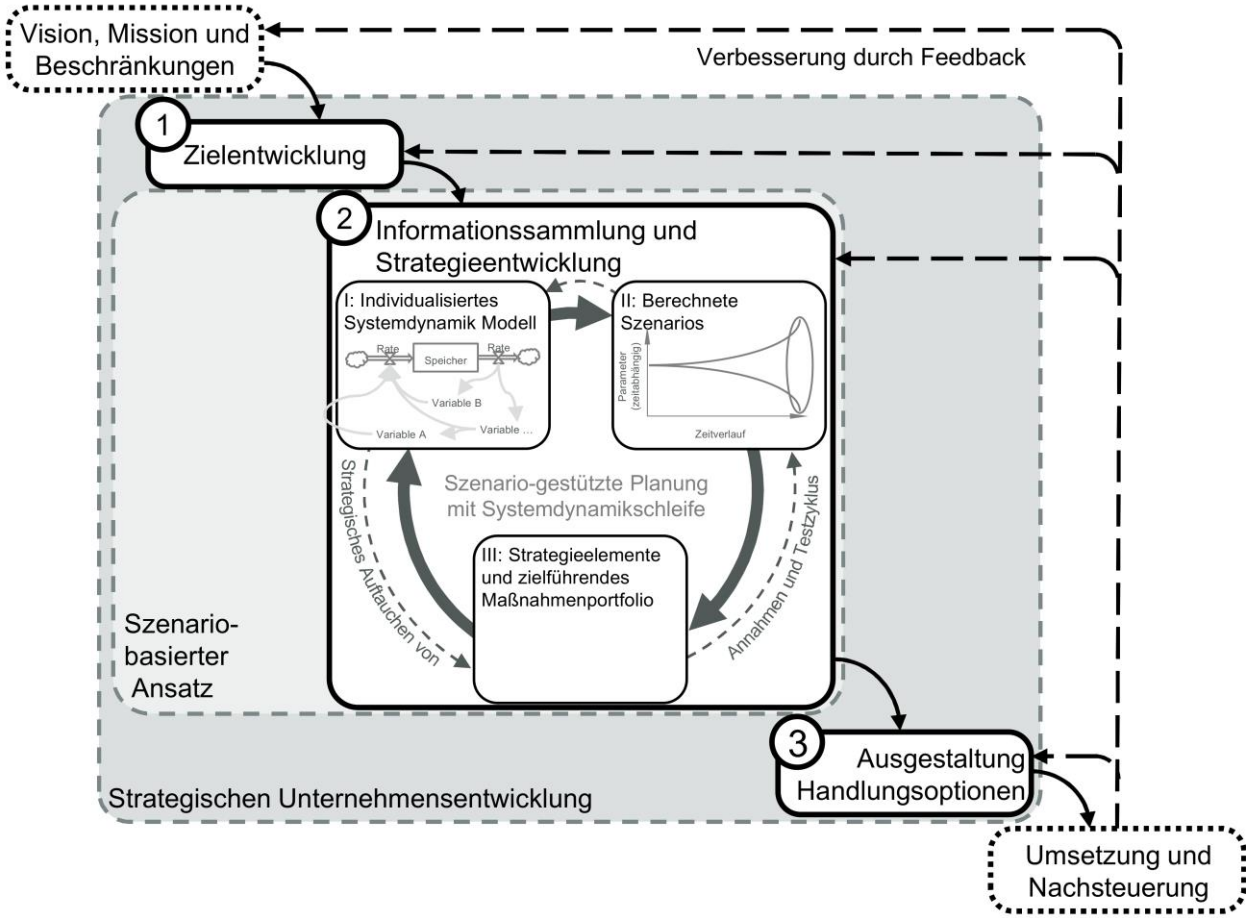


Abbildung 20: Szenario-basierter Ansatz als Bestandteil der Strategieentwicklung (angelehnt an Georgantzas, 2011, S. 679) in der strategischen Unternehmensentwicklung (Georgantzas und Acar, 1995, Trippner, 2021)

Mit diesem Ansatz wird angestrebt ein größeres Portfolio an relevanten Maßnahmen in der Unternehmensstrategie zu berücksichtigen. Durch die Aufspannung möglicher potenzieller Zukunftsentwicklungen können selbst komplexe Beziehungen und Auswirkungen dargestellt und bewertet werden. Da die Maßnahmen nicht in einem engen Kennzahlengerüst positive Resultate erzielen müssen, können längerfristige Entwicklungen gleichermaßen berücksichtigt werden. So besteht das Potenzial auch langfristig wirkende Optimierungen des Unternehmens – nachhaltige Strategiebestandteile – in Entscheidungsgremien positiv bewertet zu bekommen (Wulf, Meißner und Stubner, 2010).

4 Methodik

4.1 Verständnis der urbanen Produktion

Die Produktion, die Wertschöpfung und die physische Erstellung von Gütern gehören ebenso zu einer lebenswerten und attraktiven Stadt, wie Flächen für Handel und Freizeitaktivitäten. Denn auch wenn Arbeit dem Zweck der Einkommensgenerierung dient, so stellt sie eine sinnstiftende Komponente dar. Die Arbeit im urbanen Kontext steht im Spannungsfeld zwischen Stadt und Produktion (Abbildung 21). Als urbane Produktion im engeren Sinne wird die Erstellung von materiellen Gütern im urbanen Raum verstanden. Die Erstellung von Dienstleistungen im urbanen Raum ist als urbane Produktion im weiteren Sinne zu fassen (Piegeler und Spars, 2019, S. 6). Wenn produzierende Unternehmen im urbanen Kontext eine Weiterentwicklung anstreben, so darf diese nicht alleinig nach Effizienzaspekten erfolgen. Denn die Fokussierung auf die ökonomische Perspektive stellt keinen tragfähigen Ansatz unter Berücksichtigung der langfristigen Optimierung dar. Es müssen weitere Perspektiven in die Betrachtung einbezogen werden. Um den Beitrag des Unternehmens in ökologischer und sozialer Hinsicht zu konkretisieren, existieren entsprechende Berichtsformate (z.B. Nachhaltigkeitsberichte oder Corporate Social Responsibility Reports), die den Beitrag bzw. den Einfluss auf Natur, Umwelt und den Menschen messbar darstellen. Insbesondere in großen Unternehmen gibt es Abteilungen die Weiterentwicklungen in diesen Bereichen planen, dimensionieren und bei der Umsetzung begleiten. Dabei überwiegt die Einhaltung von gesetzlichen Rahmenbedingungen, um Strafen vorzubeugen, oder auch fiskalische attraktive Investitionen. Jedoch lassen sich nicht alle Weiterentwicklungsmaßnahmen in bestehende Amortisationsmuster pressen und benötigen längere Zeiträume, um die Wirkungen zu entfalten. Somit bietet sich eine erweiterte Betrachtung der Wirkzusammenhänge an. Nur das Bewusstsein der Bedeutung dieser unterstützt eine Änderung der Strategie, in der nicht ausschließlich Effizienzoptimierung im Fokus steht.

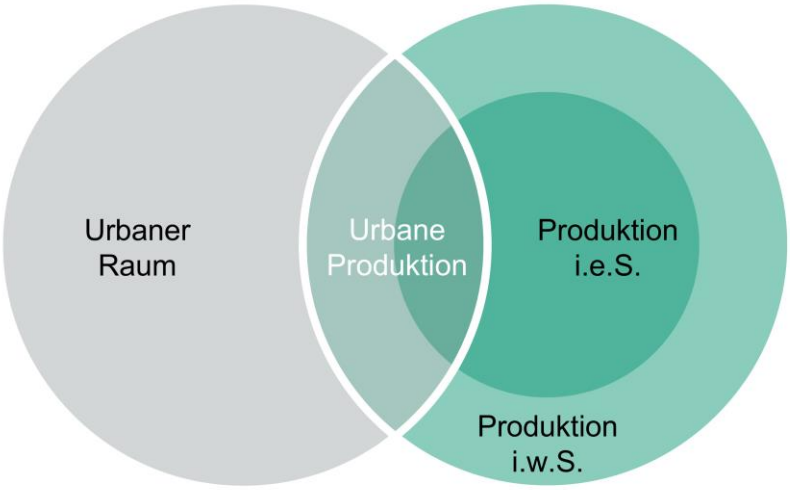


Abbildung 21: Urbane Produkt als Schnittmenge von Produktion (in engeren und im weiteren Sinne) und urbanem Raum (Piegeler und Spars, 2019, S. 6)

Dieser Paradigmenwechsel wird aktuell verstärkt in den Fokus genommen. In Initiativen wie der Ultraeffizienzfabrik (Lentes et al., 2016a), Positiv-Impact Factory (Herrmann et al., 2015, Herrmann et al., 2014) sowie der E³-Factory (Kondziella et al., 2019, Koch, Letzgus und Schröder, 2020, Beucker et al., 2020) werden Wirkmechanismen untersucht. Bereits Spath und Lentes (2012) postulierten, dass für mehr Akzeptanz für Fabriken nicht alleinig die Reduktion des negativen Einflusses durch diese relevant ist. So muss ein produzierendes Unternehmen positiv auf das Umfeld wirken, um als attraktiven Stakeholder erkannt zu werden (Spath, Bauer und Lentes, 2015, S. 7). Dazu gilt es die Handlungsfelder standortspezifisch zu analysieren, um Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Die Verknüpfungen sind vielfältig und ziehen sich durch alle Lebensbereiche (Spath, 2012, S. 4). Gemein haben die entwickelten Konzepte die Schonung von Ressourcen, durch Interaktion bzw. Zusammenarbeit der Fabrik oder Produktionseinheiten mit dem Umfeld. Offensichtlich wird aktuell der Fokus auf Stoff- und Energieströme gelegt, da durch optimale Gestaltung eine Reduktion von benötigter Energie oder eingesetzten Ressourcen ermöglicht wird.

Abstrahiert lässt sich die Produktion für die Modellierung ebenfalls als Input-Output-Modell darstellen. Mit diesem Herangehen lassen sich die Wechselwirkungen mit dem Umfeld identifizieren Das grundlegende „Urban manufacturing model“ von Spath, Bauer und Lentes (2015, S. 3) dient als Rahmen. Ausgehend vom vorliegenden Modell (Abbildung 22) erfolgt eine detaillierte Betrachtung von Wechselwirkungen. Das sich daraus ergebende Wirkgefüge ist vielfältig und komplex.

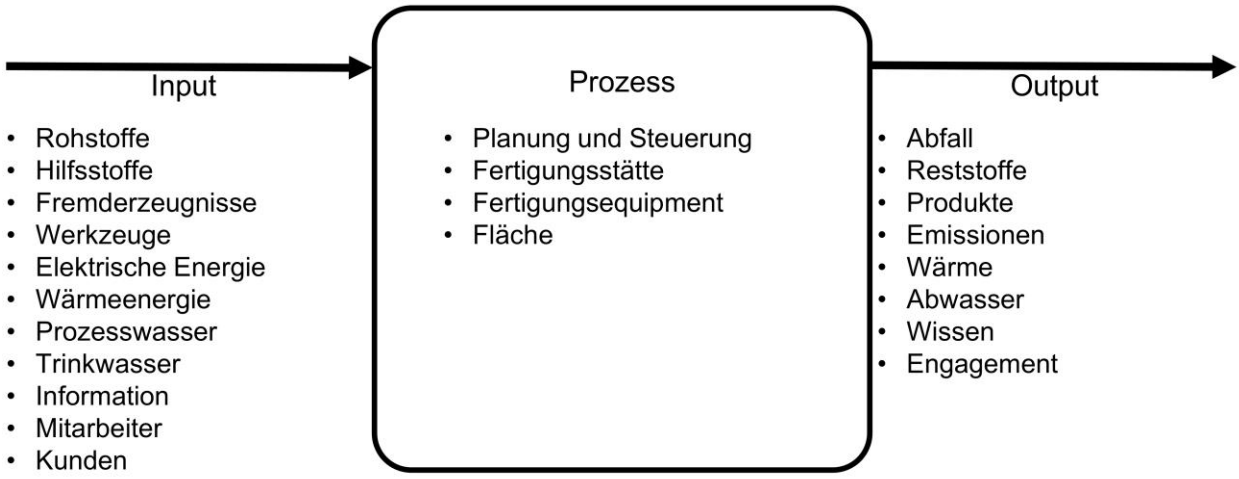


Abbildung 22: Erweitertes Input-Output-Modell basierend auf dem „Urban manufacturing model“ nach (Spath, Bauer und Lentes, 2015, S. 3)

Die Aspekte bei der Betrachtung sind im Kern eine nachhaltige Transformation der Produktionsprozesse und -stätten. Bereits 1994 von Elkington postuliert, ist Nachhaltigkeit der Ausgleich zwischen drei Hauptbetrachtungssichten – der ökonomischen Sicht, der ökologischen Sicht und der sozialen Sicht (Elkington, 1994). Durch die Ergänzung der drei Hauptbetrachtungssichten durch die Aspekte „Technologie“ und „Ausbildung“, entsteht das erste Rahmenwerk für nachhaltige Produktion. Eine Ergänzung des Rahmenwerkes um „Ethik“ und „Verlässlichkeit“ erfolgte durch Molamohamadi und Ismail (Molamohamadi und Ismail, 2013). Dieses ergänzende Rahmenwerk stellt die Basis für eine Betrachtung der urbanen Produktion. Für eine verstärkte Konzentration auf arbeitswissenschaftlichen Perspektiven erfolgte eine alternative Zusammenfassung des Rahmenwerks, um die Betrachtung von urbaner Produktion (Abbildung 23) als Aspekt der nachhaltigen Produktion zu unterstützen. Dabei bleibt das Betrachtungsfeld „Technologie“ erhalten. Ausbildung, Ethik und Verlässlichkeit werden neu zusammengeführt. Daraus werden zwei Betrachtungsfelder „Mensch“ und „Organisation“ abgeleitet. Damit kann das Kernbetrachtungsfeld der urbanen Produktion fassbar eingeschränkt werden.

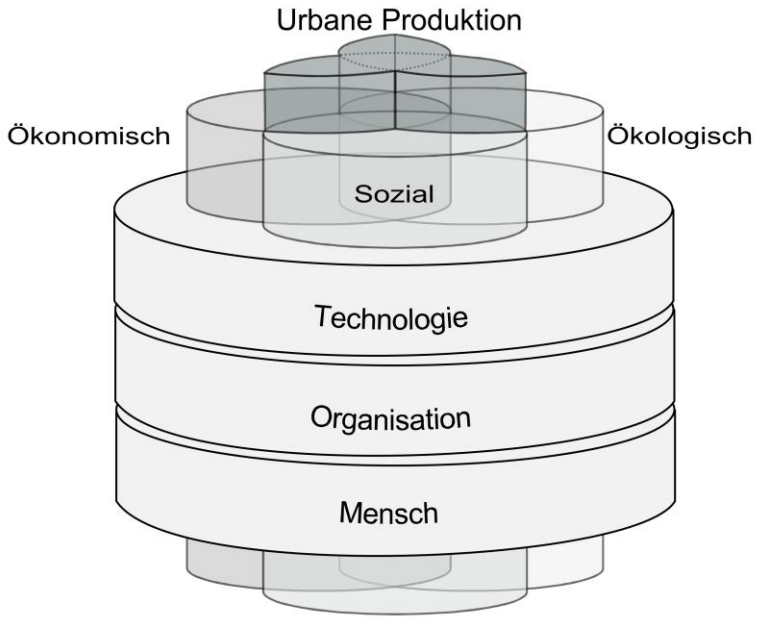


Abbildung 23: Mögliches Betrachtungsansatz für urbane Produktion in Anlehnung an Rahmenwerke zu nachhaltiger Produktion (Molamohamadi und Ismail, 2013)

Mit dieser Diskussion werden die Nachhaltigkeitsdimensionen mit dem arbeitswissenschaftlichen Gestaltungskontext verknüpft. Somit wird Nachhaltigkeit im arbeitswissenschaftlichen Sinne gestaltbar strukturiert. Mit der zu entwickelten Methode soll die Wirkungen der Maßnahmen aus dem arbeitswissenschaftlichen Gestaltungskontext auf die Nachhaltigkeit bewertet werden.

4.2 Systemdynamische Modellierung

Bei der Modellierung hat sich ein fünfstufiges Vorgehen (siehe Abbildung 24, oben) als Grundstruktur ergeben (Sterman, 2000). Auf diesem Vorgehen wird die Methodik aufgesetzt.

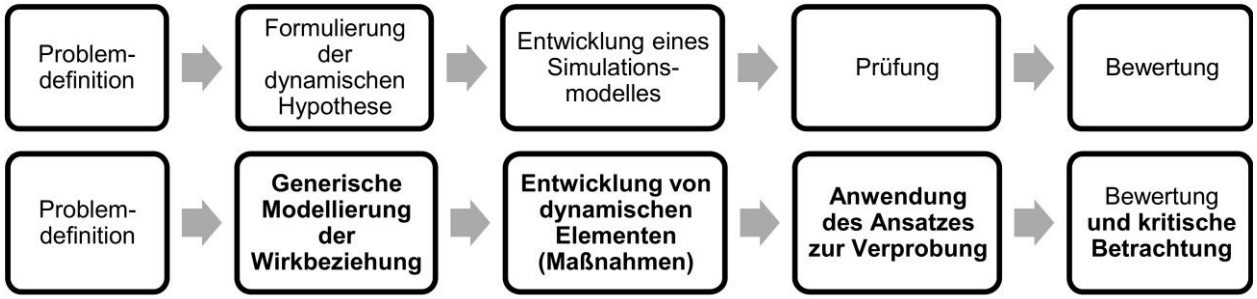


Abbildung 24: Modellierungsprozess - methodisches Vorgehen in fünf Schritten (Sterman, 2000, S. 86) sowie dessen Abwandlung im Rahmen der vorliegenden Arbeit (fett hervorgehoben)

Um dem Forschungsdesign zu entsprechen, werden Anpassungen vorgenommen (Abbildung 24, unten). Durch die Anpassung werden Tätigkeiten des von Sterman (2000, S. 86) beschriebenen methodischen Modellierungsvorgehens anderen Phasen zugeordnet. Die zugeordneten Schritte werden nachfolgend detailliert beschrieben.

4.2.1 Problemdefinition

Die Problemdefinition entspricht der Forschungsfrage. Es soll untersucht werden, ob Unternehmen durch eine ganzheitliche Betrachtung von Wirkzusammenhängen auch Maßnahmen und Aspekte mit längerfristiger Wirkung in die Entwicklungsplanung mit einbeziehen.

Dabei sollen Aspekte identifiziert werden, deren Berücksichtigung eminent sind. Auf Basis dieser sollen Kernelemente identifiziert und konkretisiert werden, um darauf die Modellierung aufzusetzen.

4.2.2 Generische Modellierung der Wirkbeziehung

Unter Berücksichtigung der Problemdefinition erfolgt die Analyse bestehender, validierte Systemdynamischer Modelle, die Aspekte, Ausschnitte oder konkrete Fragestellungen beleuchten. Diese bereits existierenden Zusammenhänge und Modelle von Wirkbeziehungen werden als Referenz herangezogen, um ein generisches Modell zur Beschreibung der Sachverhalte zu erzeugen.

Dabei werden gleichermaßen Kausaldiagramme und Zustandsflussdiagramme ausgewertet. Die modellierten Beziehungen werden analysiert und bei Eignung als Referenz genutzt. Ziel ist es, daraus ein komplexes, gesamtheitliches Modell zu erzeugen. Dabei wird angestrebt, ausschließlich die einzelnen Aspekte neu zu modellieren, für die keine Referenz herangezogen werden kann. Somit soll die Zuverlässigkeit des resultierenden Modells gesteigert werden.

Im Zuge dieser Betrachtung erfolgt auch die Erhebung von relevanten Kenngrößen. Im Kontext der Nachhaltigkeit existieren bereits Kenngrößen und Begriffe (Paju et al., 2010, Felicio et al., 2016, Feil et al., 2019, Kim, Leong und Chen, 2012). Jene werden mit der Forschungsfrage und dem Betrachtungsgegenstand abgestimmt. Insbesondere für die Beschreibung eines sozio-ökologischen Systems im Kontext der Produktion ist es wichtig, alle relevanten Aspekte geeignet zu beschreiben. Bereits Chertow hat mittels Untersuchung der existierenden Literatur eine Taxonomie abgeleitet (Chertow, 2000). Eine Erweiterung hat Joung et al. vorgenommen (Joung et al., 2013). Es müssen demnach das Kennzahlengerüst sowie deren Ermittlung definiert werden. Denn dies hat auch Einfluss auf die Spezifizierung des generischen Modells auf die Testfälle (Coyle, 2000).

Im Zuge der generischen Modellerstellung ist es wichtig, Konsistenztests durchzuführen. Dazu werden die Wirkbeziehungen mit Quellen abgeglichen. Die Modelle aus anderen Aspekten und Themenbereichen bieten eine Basis für die Sicherung der Zulässigkeit der Beziehung ebenso wie dem Verhalten (Coyle, 1999). Denn die bereits existierenden Modelle, welche in der wissenschaftlichen Gemeinschaft in die Diskussion gebracht wurden, enthalten vielfach abgesicherte Beziehungen, auf die aufgebaut werden kann. Ebenso bieten Vorschriften und Richtlinien zur Ermittlung von Kennwerten eine Absicherung.

4.2.3 Entwicklung von dynamischen Elementen

Das generische Modell bildet die Basis für die dynamische Betrachtung. Im generischen Modell sind die Kernbeziehungen modelliert. Um eine langfristige Entwicklung durch von außen induzierten Veränderungen durchzuführen, müssen diese dynamischen Aspekte konzipiert und in das Modell integriert werden.

Dazu muss in einem ersten Schritt eine Auswahl der zu untersuchenden Aspekte erfolgen. Denn die potenziellen Maßnahmen sind vielfältig und bedürfen unterschiedlichster Beziehungen und Detailgrade im Kern des Modells. Nach der Auswahl der zu detaillierenden Maßnahmen gilt es, die Beziehungen zum Kernmodell zu ermitteln und zu entwickeln. Diese Erweiterung bietet das Potenzial, Szenarien zu entwerfen und deren Verhalten zu simulieren. Es muss in diesem Schritt geklärt werden, wie sehen Szenarien konkret aus und wie erfolgt die Einflechtung dieser Szenarien in das Modell (Weidenhaupt et al., 1998). Kernaufgabe ist dabei die zeitliche Kopplung mit dem generischen Modell. Wie wirken sich die Maßnahmen aus, wobei der Bezug zum System und den Systemgrenzen aufrechterhalten werden, muss. Außerdem müssen Begrenzungen für die Szenarien definiert werden, z.B. Eintrittsbegrenzung und Wechselbeziehungen mit anderen Maßnahmen (Pourbafrani, van Zelst und van der Aalst, 2019).

Durch die Definition der Szenarien kann auch die Ausprägung der Sensitivitätsanalyse unterstützt werden. Dabei gilt es die Robustheit des Gesamtsystems nicht zu schwächen (Schmidt-Scheele, 2020). Dies muss in geeigneter Weise überprüft und angepasst werden.

4.2.4 Anwendung des Ansatzes zu Verprobung

Um die Hypothese zu validieren, bedarf es eines Versuchsgegenstands. Im gewählten Kontext soll ein Realitätsbezug hergestellt werden. Dazu soll das generische Modell auf den Untersuchungsgegenstand angepasst werden (De La Torre, Gustavo, Koç, Emre, 2016).

Ein produzierendes Unternehmen kann im vorliegenden Fall als Betrachtungsgegenstand kontextuiert werden. Es erfolgt mit unternehmensspezifischen Kenngrößen eine Anpassung des

allgemeine Beziehungsmodells auf den Betrachtungsgegenstand. Die bereitgestellten spezifischen Kenngrößen werden eingelesen. In einem Kalibrierungsschritt werden die modellierten Beziehungen so angepasst, dass die Simulation funktioniert und Abweichungen von den bereitgestellten Kenngrößen minimiert sind.

Mit Vertretern des Untersuchungsobjekts werden potenzielle und attraktive Szenarien entworfen. Diese Szenarien enthalten ein oder mehrere der Optimierungsmaßnahmen. Somit lassen sich verschiedene potenzielle Entwicklungen berechnen und so die Veränderung der Kenngrößen über den Zeitverlauf ermitteln.

Die ermittelten Berechnungsgrößen dienen den Vertretern des Untersuchungsobjektes als Diskussionsbasis. Die gemeinsam entworfenen Szenarien werden mit den Erwartungen der Ansprechpartner abgeglichen. Die mentalen Modelle und Effekte werden so mit quantifizierten Aussagen untermauert oder konterkariert. Die Verbesserung der Entscheidungsgrundlage durch die stabilere Vorhersage sowie Einbeziehung verschiedener Abhängigkeiten kann nur durch die Unternehmensvertreter eingeschätzt werden, da sie auf Grundlage der Simulationsergebnisse entsprechende Entscheidungen und Handlung treffen müssen.

4.2.5 Bewertung und kritische Betrachtung

Dabei soll die Nutzbarkeit im spezifizierten Anwendungskontext gezeigt werden. Das Modell wird auf die Aussagefähigkeit hin untersucht. Ebenso werden durch die Kalibrierung Überschreitungen von Grenzwerten bzw. die Destabilisierung sichtbar. Damit wird die funktionale Fähigkeit des Ansatzes validiert (Frank, Hattebuhr und Röckerath, 2017).

Durch die Diskussion mit den Vertretern der untersuchten Unternehmen soll es gelingen, den Ansatz hinsichtlich der Einsetzbarkeit zu bewerten (Coyle, 1996). Es sollen neben der Bewertung von Anwendbarkeit auch die zusätzlichen Weiterentwicklungsbedarfe herausgearbeitet werden. Denn die Modellerstellung ist immer ein Ausschnitt der Realität. Es stellt eine Annäherung an die physisch existierende Umwelt dar. Die Vereinfachungen sollen hinsichtlich der Eignung im Anwendungsfall weiter spezifiziert werden. Damit sollen Schwachstellen im Kernmodell sowie der Methode sichtbar gemacht werden.

4.3 Weiterentwicklungsmaßnahmen im Kontext urbaner Produktion

Ausgehend von aktuell etablierten Unternehmen ist die Zielstellung, eine Transformation des Unternehmens durch die Anwendung von Aspekten der urbanen Produktion zu unterstützen. Dabei wird angestrebt, negative Einflüsse zu minimieren und in positive Beiträge zu überführen

(Herrmann et al., 2015, S. 20). Daraus resultierend ist eine verbesserte Integration ins Umfeld. Zudem werden die Kreation von Symbiosen unterstützt (Herrmann et al., 2014, S. 287). Aktuelle Initiativen detaillieren Maßnahmen und Impulse zur Weiterentwicklung gemäß dem Paradigma urbaner Fabriken. Dabei adressieren sie das Spannungsfeld der urbanen Produktion. So gelingt es zunehmend, eine Sammlung an attraktiven Maßnahmen zur Weiterentwicklung zu erstellen. Sie unterliegen jedoch dem Bedarf der Abstimmung auf den Betrachtungsgegenstand und das betrachtete Umfeld. Denn aus den priorisierten Maßnahmen ergeben sich nicht selten in erster Ausprägung auch Zielkonflikte, da die Aufwendungen für die Realisierung der Maßnahmen das Umsetzungspotenzial für andere Initiativen mit verstärkt ökonomischem Fokus reduzieren.

Maßnahmen zur Weiterentwicklung wirken sich unterschiedlich auf das Unternehmen aus. Gemäß der bereits vorgestellten Zielrichtung sollten die präferierten Weiterentwicklungsmaßnahmen eine Verbesserung zu einer urbanen, verträglichen Produktion darstellen bzw. unterstützen. Messbar wird es durch eine positive Entwicklung von Kennzahlen in den Perspektiven der sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit. Zumeist wirken die Maßnahmen auf verschiedene Gestaltungsfelder einer Produktion im Wechselsystem mit dem Umfeld ein. Diese Gestaltungsfelder sind

- Energie (),
- Stoffe (),
- Mensch (),
- Raum + Boden (),
- Wissen (),
- Recht + Kultur (),
- Mobilität () sowie
- Image + Gestalt (★★☆) (Bucherer et al., 2019).

Potenziell relevante Maßnahmen lassen sich einerseits basierend auf dem adressierten Gestaltungsfeld, der Wirksamkeitsebene sowie andererseits dem organisatorischen Aufwand (z.B. Anzahl einzubindender Akteure bzw. Grad der individuellen, expliziten Gestaltungsfähigkeit) einteilen (siehe Tabelle 5). In vielen Fällen wirken sich die Weiterentwicklungsmaßnahmen direkt auf die unternehmensspezifischen Kennzahlen aus, aber die Ausgestaltung liegt nicht im Ermessen des Unternehmens. Auch wenn sie zusätzlich auf Kennzahlen der sozialen und ökologischen Perspektive wirken, so sollte der Maßnahmenfokus auf der Unternehmensebene liegen. Mittels dieser Einteilungskriterien können Maßnahmen aus verschiedenen Projekten zusammengetragen (siehe Anhang 41, Seite 216) und auf eine relevante Anzahl für den jeweiligen Betrachtungsfall gefiltert werden.

Tabelle 5: Potenzielle Einteilung der Maßnahmen für die Identifikation relevanter Maßnahmen

	Anzahl Gestaltungsfelder	**Wirkungsebene**	**Organisatorischer Aufwand**
Geringe Komplexität ↓ Zunehmende Komplexität ↓ Große Komplexität	Eines	Prozess	Organisationsintern
	Wenige (2-3)	Produktion	Organisations übergreifend
		Fabrik	
	Mittel (4-5)	Industriegebiet	Politische Interessen
	Viele (6-7)	Quartier	Anwohnerinteressen
		Stadt / Kommune	Sozio-politische Interessen
	Alle (8)	Regionales Umfeld	

5 Modellentwicklung

5.1 Definition von Abstraktionsebenen

Die Verwendung von Modellen ist eine zielorientierte Beschreibung der Realität. Die Beschreibung stellt ausschließlich einen Ausschnitt der Realität dar, bei der eine konkrete Fragestellung im Zentrum steht (Affeldt, 1999). Die Modellerstellung wird dieser Fragestellung untergeordnet. Damit entsteht die Forderung eine Abgrenzung des Modellierungsraumes (auch als Systemgrenzen bezeichnet) sowie die Auswahl einer geeigneten Detaillierung festzulegen. Denn ohne diese Einordnung besteht die Gefahr, Aufwände in der Modellierung zu schaffen, ohne damit das Ergebnis hinsichtlich der Fragestellung belastbarer zu gestalten. Zusätzlich erlaubt die Begrenzung des Betrachtungsraumes Abweichungen im Simulationsergebnis hinsichtlich der Ursache zu bewerten.

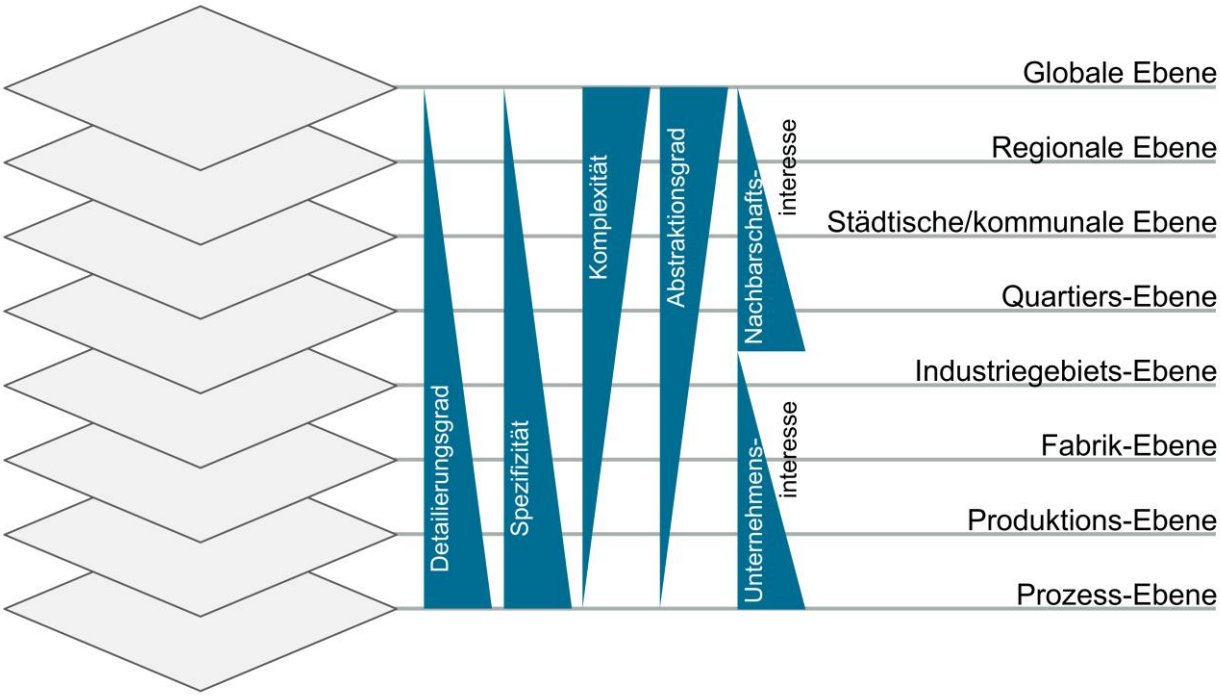


Abbildung 25: Potenzielle Strukturierung der Wirkungsebenen für die Betrachtung nachhaltiger Produktion (angelehnt an (Herrmann et al., 2020))

Für die Beschreibung des Betrachtungsraums ist die Definition der Kernfragestellung, die im Zentrum der Untersuchung steht, wichtig. Darüber hinaus muss jedoch die Wirkungsebene festgelegt werden (Abbildung 25), um daraus den Detailgrad der Wirkbeziehungen abzuleiten. So lassen sich die Wirkungsebenen von globalen Zusammenhängen über regionale und lokale Zusammenhänge bis auf standortinterne Zusammenhänge, z.B. auf Prozess-Ebene, herunterbrechen. Mit der Wahl der Wirkungsebene werden auch die Eigenschaften der Modellierung festgelegt. So ergeben sich

aus der Wirkungsebene der erreichbare Detailierungsgrad und die Spezifizierung des Modells hinsichtlich der realen Einzelentitäten. Denn mit zunehmender Abstraktion nimmt auch die Komplexität zu, die durch die Definition der Systemgrenze entsprechend gestaltet wird. Im Sinne der Forschungsfragestellung gilt es ein Optimum zwischen Abstraktionsgrad, Detailierung, Spezifizität und Komplexität zu finden, um ein aussagekräftiges Modell zu erhalten.

Gleichzeitig ist auch die Festlegung auf den organisatorischen Rahmen bedeutend. Denn ausgehend von dieser Betrachtungsdefinition werden verschiedene Wechselwirkungsbedingungen relevant und müssen in der Betrachtung berücksichtigt werden. So kann beispielsweise die Fabrik-Ebene alleinig die wertschöpfenden Elemente berücksichtigen oder gar das gesamte Fabrikgelände umfassen. Damit sind die zu betrachtenden und relevanten Wechselwirkungen unterschiedlich zu differenzieren, was bei der Festlegung der Systemgrenzen zu berücksichtigen ist.

Bei der Modellierung von Organisationen im Zusammenhang mit anderen Einheiten bestehen verschiedene Ansätze. Bei der Anwendung der Außensicht wird die Organisation hinsichtlich externer Abhängigkeiten und Zusammenhänge betrachtet. Dabei werden externe Schnittstellen betrachtet. Das Unternehmen bleibt als Black-Box im Modell. Bei der Verwendung der Innensicht werden innere Zusammenhänge des Unternehmens in den Fokus gestellt. Die Betrachtung der Partner für Input und Output bzw. wie sich die Zusammenhänge darstellen, spielt eine untergeordnete Rolle oder ist kein Teil der Betrachtung. Es muss demnach der Systemidentität und die Systemzweck festgelegt werden. Um das System vollständig zu beschreiben, müssen die Systemelemente sowie deren Wechselwirkungen konkretisiert werden (Bossel, 1994, Bossel, 2004).

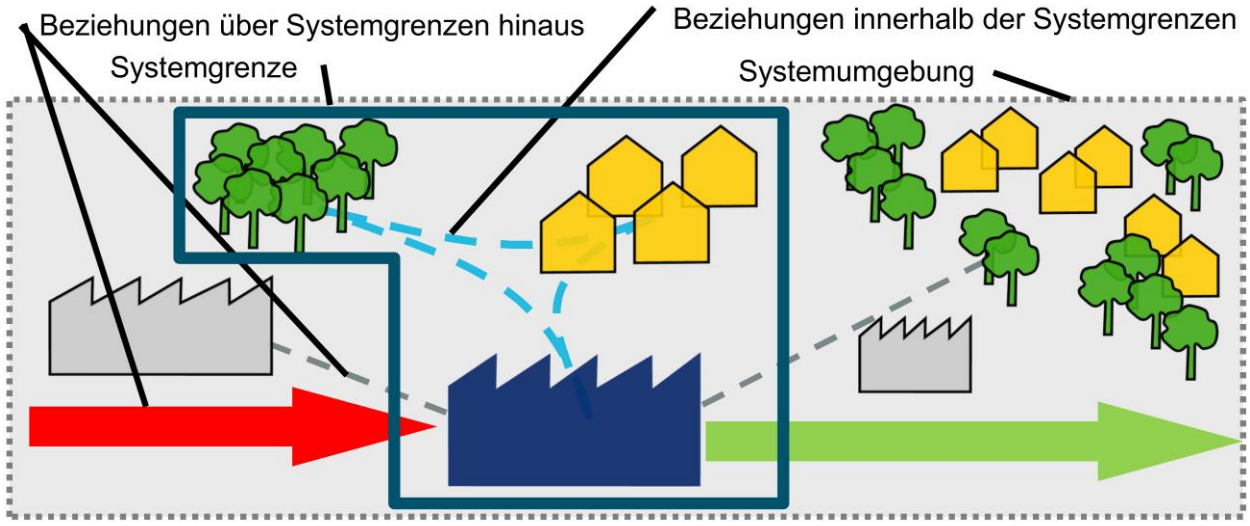


Abbildung 26: Konzeption des Betrachtungsraumes mit der Darstellung der Systemgrenze (in Anlehnung an Romero und Ruiz, 2014)

Im Fokus steht die Schnittstelle der Fabrik mit dem Umfeld. Denn Mechanismen der urbanen Produktion im Unternehmen einzusetzen, ist eine bewusste unternehmerische Entscheidung. Das Unternehmen sieht einen Nutzen für den Erfolg des Unternehmens. Weiterhin finden diese Wertschöpfungsprozesse in unmittelbarer Nachbarschaft zu Lebensräumen von Menschen statt, wodurch auch immer Konfliktpotenziale mit anderen Stakeholdern vorliegen. Die Aspekte der urbanen Produktion adressieren genau diese Herausforderungen, um negative Einflüsse zu schwächen und Vorteile für das Umfeld zu stärken.

Für die Systemgrenze wird das produzierende Unternehmen als Kern festgelegt. Das Modell wird für einen Standort erstellt. Bestandteil ist außerdem eine Abstraktion des urbanen Raumes. Denn zielführend ist es, die wechselseitigen potenziellen Beziehungen zwischen dem urbanen Umfeld und der Fabrik zu beleuchten (Henkel, 2022). Deshalb sind Wertschöpfungsbeziehungen zwischen Unternehmen ausgeklammert. Ökonomische Entwicklungen sind als singuläre Eingangsgröße ohne Wechselwirkung zu marktwirtschaftlichen Details berücksichtigt. Auch detaillierte Effekte im System Stadt werden nicht aufgenommen. Integriert werden verallgemeinerte soziale und ökologische Effekte, die in direktem Bezug zu Maßnahmen oder der Fabrik selbst stehen. Damit entsteht ein vereinfachtes Modell der produzierenden Organisation, die mit den Maßnahmen das System verändert oder beeinflusst (siehe Abbildung 26).

Die Analyse existierender Modelle hat aufgezeigt, dass für spezifische Fragestellungen immer wieder differenzierte Rahmenwerke mit unterschiedlichen Systemperspektiven entwickelt werden. So greifen z.B. Kibira, Jain und McLeanin dem von ihnen entwickelte Rahmenwerk für die Simulation nachhaltiger Fertigungsprozesse vier Systemperspektiven, die finanzielle, die umweltbezogene, die soziale und die fertigungsprozessbezogene Perspektive auf (Kibira, Jain und McLean, 2009). Das Team im Projekt Ultraeffizienzfabrik nutzt fünf Systemperspektiven (Energie, Material, Emission, Organisation und Mensch), die auf allen Wirkungsebenen Anwendung finden (Mandel, Lentes und Schließmann, 2014). Die Schaffung der Betrachtungsperspektiven erlaubt in sich geschlossene Subsysteme zu modellieren. Durch die Verknüpfung der Subsysteme ergibt sich das Gesamtsystem.

Urbane Produktion ist als Kombination aus nachhaltiger Produktion und verträglicher Einbettung ins Umfeld zu verstehen. Eine nachhaltige Produktion beinhaltet die Dimensionen der Nachhaltigkeit appliziert auf Produktdesign, Prozessgestaltung und Produktionssystem (Lee und Lee, 2014). Daraus ergeben sich vier Beschreibungsperspektiven – Ökonomie, Ökologie und Sozial sowie Produktion. Bei der Modellierung erfolgt die Untersuchung aller Aspekte im Kontext dieser Perspektiven. Bewusst werden dabei Beziehungen zwischen Unternehmen und Umfeld betrachtet. Denn genau diese Wechselwirkung soll bei der Erstellung im Fokus stehen. Um die Beziehungen der Beschreibungsperspektiven zu vervollständigen, müssen Rahmenbedingungen und

Hilfsbeziehungen betrachtet werden, was durch einen spezifischen Modellbestandteil erfolgt (Abbildung 27). Diese fünf Modell-Teile stellen den Beschreibungskern für das Modell der Urbanen Produktion dar, wobei die farbliche Zuordnung in Abbildung 27 nachfolgend konsistent für die jeweiligen Perspektiven genutzt wird.

Um aber der Zielstellung zur Unterstützung einer Weiterentwicklung gerecht zu werden, müssen die potenziellen Weiterentwicklungspfade ebenso ins Modell integriert werden. Die Weiterentwicklungspfade bestehen aus konkreten Maßnahmen, welche mit der zeitlichen Dimension versehen verknüpft werden können. Darüber lassen sich dann Szenarien potenzieller Entwicklungen erstellen und im Modell ermitteln. Die Konkretisierung der Wirkbeziehungen potenzieller Weiterentwicklungsmaßnahmen erfolgt in einer eigenen Modellperspektive (Abbildung 27).

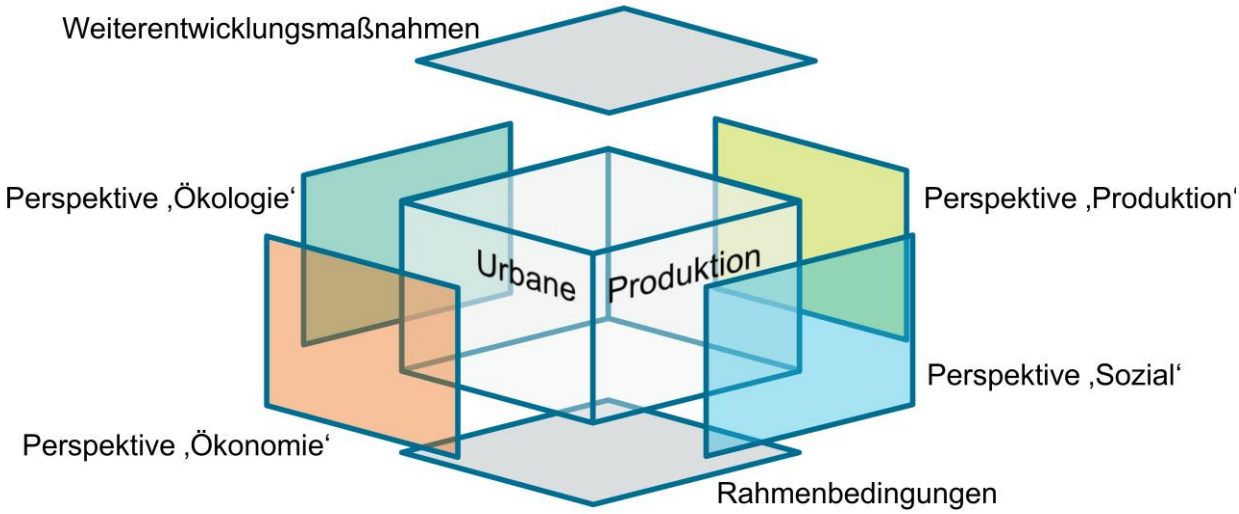


Abbildung 27: Betrachtungsperspektiven für die Weiterentwicklung von Produktionsunternehmen im Kontext des urbanen Umfeldes

5.2 Rahmenbedingungen für die Modellierung

Ein Modell stellt immer nur einen Ausschnitt der realen Umwelt dar. Somit sind für die Modellierung Rahmenbedingungen festzulegen, um die Funktionsgrenzen des entwickelten Modells in geeigneter Form abzubilden. Denn nur bei angepassten Rahmenbedingungen auf die jeweilige Forschungsfragestellung sind die Ergebnisse nutzbar. Dies wird auch in der kritischen Betrachtung von Fischer (1977, S. 229–230) deutlich, welche Saeed (2015, S. 44–45) bestärkt. Aber bei den Rahmenbedingungen sind nicht ausschließlich direkte Systemgrenzen im eigentlichen Sinne gemeint. So muss auch der Modellierungsrahmen beschrieben und nachvollziehbar diskutiert werden.

5.2.1 Wiederverwendung oder Weiternutzung von existierenden Modellen und Modellaspekten

Alle entwickelten systemdynamischen Modelle sind unter Fokussierung auf ein konkretes Ziel entwickelt (Bießlich et al., 2014, Hollmann, 2019, Bommer, 2010) und beantworten eine konkrete Fragestellung. Durch die Modellierung von komplexen Wirkzusammenhängen durch mathematische Beschreibungen stellen die bestehenden Modelle eine belastbare Basis dar. Nach Forrester (1991) und Coyle (1996) ist eine Weiternutzung von existierenden Modellen anzustreben. Aber aufgrund der meist sehr spezifischen Forschungsfragestellung sind die Modelle vielfach nur anteilig zu verwenden. So müssen die Detailtiefen erhöht oder weitere Einflussgrößen berücksichtigt werden (Strunk, 2019).

Vorteilhaft ist bei der Nutzung von bereits existierenden Modellen, dass die validierten mathematischen Beziehungen aufgegriffen und in die Modellerstellung integriert werden können (Coyle, 2001). So lassen sich größere Zusammenhänge mit größerer Modellierungstiefe aufnehmen. Es muss eine Anpassung der genutzten Ausgabevariablen und Eingabevariablen erfolgen, um eine Verfälschung der Berechnung zu verhindern (Strunk, 2019). Dies ist auch wichtig im Hinblick des Modellnutzungsszenarios. Denn das erstellte systemdynamische Modell wird einerseits als normatives Modell genutzt. Das heißt es legt die Betrachtungsbeziehungen fest inklusiver der benötigten Abstraktion (Cioni, 2010, S. 19). Andererseits soll das Modell präskriptiv eingesetzt werden und potenzielle Entwicklung in der mittel- bis langfristigen Zeitachse berechnen können (Cioni, 2010, S. 21–22).

➔ Es werden weitestgehend existierende Teilmodelle in der Erstellung des Modells genutzt.

➔ Modellbestandteile werden ausschließlich angepasst, wie es für die optimierte Zusammenarbeit mit anderen Teilmodellen nötig ist.

5.2.2 Berechnung der Ausgabekenngrößen als Relativwerte

Die Kenngrößen zur Berechnung werden geeignet normiert. Ziel ist es hiermit das Modell für verschiedene Unternehmen mit unterschiedlicher Ausprägung anwendbar zu gestalten (Perrin, 2013). Die Anwendbarkeit soll für produzierende Unternehmen gegeben sein. Produzierende Unternehmen sind, obwohl gleicher Einordnung gemäß der Klassifizierung der Wirtschaftszweige (WZ-Kennzeichen), sehr unterschiedlich (Momonova und Seidel, 2019). Produzierende Unternehmen unterscheiden sich in organisatorischer Strukturierung, regionaler Lage, verarbeitende Materialien und Fertigungstiefe (Stiehm, 2017). Um trotz der Unterschiedlichkeit eine allgemein nutzbares Simulationsmodell anwenden zu können, soll ein Bezug zur Ausgangssituation hergestellt werden.

Im Modell werden unterschiedlich einzuteilenden Kennwerte zur Berechnung von Wechselwirkungen verwendet. Diese Kennwerte können in messbare, kumulierte und geschätzte Kennwerte eingeteilt werden. Aus der unterschiedlichen Präzision dieser verwendeten Kennwerte besteht das Risiko einer Scheingenauigkeit. Diese wird durch die Wiederverwendung von existierenden Modellen bzw. Modellanteilen zusätzlich gestärkt. Durch die sich unterscheidenden Detaillierungsgrade der Modellanteile wird mit nicht identischen Modellierungstiefen gearbeitet. Prinzipiell ist die Kombination verschiedener Modellanteile zulässig. Um der Modellunschärfe entgegenzuwirken, ist die Nutzung von normierten Simulationsparameter zielführend (Gleißner, Just und Kamarás, 2017).

➔ Bei der Simulation erfolgt eine Normierungen für die Bezugsgrößen.

➔ Aufgrund der Normierung lassen sich die Ergebnisse der Berechnung auf die Ausgangsgröße beziehen, was eine Bewertung der Maßnahme unterstützt.

5.2.3 Vordergründige Betrachtung fokussiert nicht auf wirtschaftliche Entwicklungen

Bei der Betrachtung von urbaner Produktion spielt Nachhaltigkeit eine bedeutende Rolle. Nachhaltigkeit besteht aus sozialer, ökonomischer und ökologischer Perspektive. Mit der zu entwickelnde Methode soll die Verträglichkeit von Maßnahmen für Unternehmen bewertbar werden, während dabei die wirtschaftliche Betrachtung nicht in den Vordergrund tritt.

Da aber die wirtschaftliche Entwicklung einen gewichtigen Einfluss auf die Möglichkeit von Gestaltungsimpulsen besitzt, muss eine angemessene Berücksichtigung erfolgen. So soll die gesamtwirtschaftliche Entwicklung basierend auf dem ifo-Geschäftsklimaindex erfolgen (Wollmershäuser et al., 2019, S. 39–41). Die Angabe erfolgt immer auf ein Bezugsjahr, für 2020 wird das Jahr 2015 als Bezug (Index = 100) herangezogen (Institut für Wirtschaftsforschung, 2020b). Um die wirtschaftliche Entwicklung als Maß des geschäftlichen Erfolgs des produzierenden Unternehmens zu nutzen, wird eine Proportionalität angenommen. Um dies zu ermöglichen, wird eine wahrscheinlichkeitsbezogene Fortschreibung des ifo-Geschäftsklimaindexes angewendet. Dabei erfolgt der Bezug auf den Jahresdurchschnittswert. Um die saisonbedingten Unterschiede in der wirtschaftlichen Nachfrage abzubilden, wird eine monatliche Schwankung basierend aus Branchendaten oder Historiendaten des Unternehmens genutzt.

Der ifo-Geschäftsklimaindex beinhaltet indirekt die Aspekte der preislichen Entwicklung und der damit verbundenen Inflation (Wollmershäuser et al., 2019, S. 52–53). Deshalb wird auf eine Modellierung der Inflation verzichtet. Außerdem stellt die Inflation bzw. Inflationsrate eine

volkswirtschaftliche Kenngröße dar (Möller, 2002, S. 10–11), damit ist sie für die Entscheider eine wichtige, aber nicht beeinflussbare Größe.

Auch wenn in den Jahren 2020 und 2021 die Pandemie von SARS-CoV2 (COVID19) das aktuelle Handeln sowohl in wirtschaftlicher wie auch privater Hinsicht dominiert (Hartmann et al., 2020, S. 4–5), werden mögliche Auswirkungen der Pandemie nicht explizit im Modell berücksichtigt. Einige Prognosen diskutieren mögliche Auswirkungen der Pandemie und deren Folgen. Dabei werden verschiedenste Szenarien entwickelt und diskutiert (Zukunftsinstitut GmbH, 2020, S. 2 – 3). Dabei handelt es sich aber um Extrema der potenziellen Ausprägung, deren Berücksichtigung würde zusätzliche Unsicherheiten erzeugen. Und die Anwendbarkeit des Modells in einer Post-Corona Situation einschränken oder unmöglich machen würden.

➔ Die volatile wirtschaftliche Entwicklung kann nur unzureichend genau prognostiziert werden.

➔ Die Berücksichtigung von wirtschaftlichen Effekten erfolgt in Ausgewogenheit mit den Perspektiven Ökologie und Soziales.

➔ Wirtschaftliche Effekt werden bei der Bewertung von Maßnahmen mit betrachtet, stehen aber nicht im Fokus.

➔ Maßnahmen stellen eine (einmalige oder regelmäßige) Investition dar, damit ist der Umfang der Maßnahmen durch verfügbare Finanzmittel begrenzt.

5.2.4 Simulation ist auf langfristige Betrachtung ausgelegt

Bei der Betrachtung und Formulierung von Zielen für die nachhaltige Entwicklung erfolgen diese in langen zeitlichen Perioden. So sind die ersten Modelle zur Vorhersage von globaler Einwirkung auf das soziale und ökologische Umfeld bewusst sehr langfristig formuliert. Besonders deutlich wird diese langfristige Betrachtung bei dem Modell zu den Grenzen des Wachstumes (Meadows et al., 1972, S. 81). Dabei erfolgt der Bezug auf eine systemdynamische Studie von Randers und Meadows (1971), in der die zeitliche Verzögerung zwischen Ursache und Wirkung im Kontext des ökologischen Systems betrachtet wird. So wird bei diesen „Welt-Modellen“, deren Ziel die Modellierung komplexer globaler Zusammenhänge ist, vielfach ein Zeitraum zwischen 50 und 100 Jahren als Betrachtungszeit festgelegt (Meadows et al., 1972, S. 21, Forrester, 1971). Auch größere Zeiträume (bis zu 250 Jahren) sind für die Lebenszyklusbetrachtung von urbanen Zentren interessant, wobei die Wirkung der Maßnahmen auf 50 Jahre begrenzt ist (Forrester, 1969, S. 3 – 5).

Auch die Fragestellung der nachhaltigen Weiterentwicklung von produzierenden Unternehmen im urbanen Kontext sieht sich Zielkonflikten gegenübergestellt. Bei der Verwendung von integrierten Wirtschaft-Umwelt-Energie-Modellen lassen sich nachhaltigkeitsorientierte Fragestellungen

diskutieren. Um aber aus Szenarien verschiedene strategische Stoßrichtungen bewerten zu können, ist ein entsprechender Betrachtungszeitraum nötig. Bei einer makroökonomischen, multisektoralen Simulation erfolgt die Anwendung auf einen Zeitraum von 10 bis 20 Jahren (Stocker und Hinterberger, 2006, S. 1).

Bei der Betrachtung von hochdynamischen Beziehungen, insbesondere im Produktionsumfeld, werden kürzere Betrachtungszyklen gewählt (Volland, 2012, S. 136). Zielstellung ist hierbei eine Planungs- bzw. Entscheidungsbasis zu erhalten. Dabei werden Planungsparadigmen und direkte Beziehungen im Umfeld der Produktionsschritte sowie benötigte Ressourcen simuliert und überprüft (Wicht, 2014, S. 19). Identifizierte Engpässe können basierend auf den Ergebnissen optimiert werden (Strohhäussl, 2007, S. 39). Im sozio-technischen Kontext erzeugt eine Betrachtung von fünf oder weniger Jahren wenig Sinn, wie sich aus Analysen und Simulationen von Sayyadi und Awasthi (2017, S. 31 – 33) ableiten lässt.

Um eine sinnvolle Verbindung der unterschiedlichen Betrachtungsebenen zu schaffen, wird der Betrachtungszeitraum auf ca. 10 Jahre festgelegt. Damit kann an den Planungshorizont strategischer Betrachtung anknüpft werden.

- ➔ Der systemische Betrachtungsansatz vereinfacht zu Gunsten der ganzheitlichen Betrachtung existierender Wechselwirkungen einzelne Wirkbeziehungen.
- ➔ Die ganzheitliche Betrachtungsebene eignet sich für länger wirkende Effekt, als kurzfristige Effekte ausreichend detailliert zu beschreiben.
- ➔ Da die zeitliche Auflösung der Simulation in Wochen definiert ist, wird der Simulationszeitraum mit 524 Wochen repräsentiert.

5.2.5 Standortweiterentwicklung und Re-lokalisierung

Durch die zunehmende Verdichtung der Siedlungsräume führt die Entwicklung von Nutzungstrennung zu weiteren Zielkonflikten. Denn durch diese Separation steigt der Bedarf an Personenmobilität und Gütertransport. Dadurch entstehen negative sozio-technische und ökologische Einwirkungen auf das Umfeld (Berends und Haeffs, 2018, S. 4). Die Fortsetzung der Zersiedelung und damit verbundene zunehmende Belastung sind nicht tragbar. Deshalb werden abgeleitet von Nachhaltigkeitszielen nationale Nachhaltigkeitsstrategien entwickelt und evaluiert (Fink und Rammig, 2014, S. 4–5). Durch die Entwicklung neuer Industriegebiete am Rand von urbanen Zentren wird der negative Trend fortgesetzt. Gleichzeitig entstehen Brachflächen für deren weitere Nutzung sinnvolle Strategien entwickelt werden müssen.

Bei einer Veränderung der Unternehmensrahmenbedingungen steht ein Unternehmen immer vor der Entscheidung den existierenden Standort weiterzuentwickeln oder den bisherigen Standort zu

Gunsten eines neuen Standortes zu verlassen. Die Entscheidungskriterien sind vielfältig, die ein Unternehmen dabei in die Betrachtung einbezieht (Müller et al., 2016, S. 50–52). Um die Entwicklung eines etablierten Unternehmens zu mehr Verträglichkeit und Nachhaltigkeit zu unterstützen, sind beide Fälle berücksichtigt.

➔ Der Ansatz soll die ganzheitliche Entwicklung des Produktionsunternehmen adressieren.

➔ Dabei können Weiterentwicklungsmaßnahmen mit Bezug zum aktuell existierenden Standort untersucht und deren Wirkung gemäß den Paradigmen der Urbanen Produktion betrachtet werden.

➔ Gleichermaßen lassen sich Auswirkungen aus der Veränderung des Standortes hinsichtlich der Urbanen Produktion in der Betrachtung analysieren.

5.3 Weitere unterstützende Elemente bei der Transformation

Weitere Aspekte, die einen positiven Effekt hinsichtlich der Resultate bei der Anwendung der Maßnahmen haben können, sind parallel verlaufende, unabhängige Entwicklungen. Diese können die identifizierten Effekte verstärken, bleiben aber unberücksichtigt. Diese parallelen Effekte lassen sich wie folgt aufgliedern:

1. Zunehmende Wirksamkeit der CO_2-Bepreisung

Ausgehend von der Pariser Klimakonferenz ist eine maximale Erhöhung der Durchschnittstemperatur auf der Erde um 2 °C gegenüber der Durchschnittstemperatur vor der industriellen Revolution verhandelt worden (United Nations, 2015). Dafür müssen alle Staaten, die das Abkommen ratifiziert haben, passende Maßnahmen ergreifen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016b). Die Europäische Union hat als eine Maßnahme eine Besteuerung von CO_2-Emissionen vorgesehen. Dazu dienen CO_2-Zertifikate, die auch zwischen Unternehmen gehandelt werden können, damit lassen sich unterschiedliche Emissionsmengen ausgleichen. Doch ebenfalls sind mit dem Stichjahr 2021 auch feste Vorgaben für den Zertifikate-Handel festgelegt worden. Ein wichtiges Element ist die vorgegebene Bepreisung der CO_2-Zertifikate, welche über die Jahre auch noch preislich ansteigt (Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, 2020). Aus Abbildung 28 lässt sich ein signifikanter Anstieg für die Kosten für CO_2-Emissionen entnehmen.

Die Auswirkungen dieses zusätzlichen Kostenfaktors ist bei vielen kleinen und mittleren Unternehmen noch nicht direkt präsent. Trotzdem hat die Diskussion über diese Veränderung von Rahmenbedingungen den Entscheidungsträgern potenzielle veränderte Voraussetzungen für zukünftige Entwicklungen aufgezeigt. So wird die Steigerung der Energiekosten als Herausforderung

wahrgenommen. Aufgrund dieser Veränderungen sehen die Unternehmensvertreter massiv den Bedarf zur Steigerung von Energieeffizienz. Aber auch die Bereitschaft für eine Investition in regenerativer Energieerzeugung ist wahrnehmbar erhöht. Damit legt diese rechtliche Rahmensetzung eine Grundlage für die Intensivierung von regenerativer Energienutzung in den Unternehmen, dies befördert gleichermaßen das Interesse zur nachhaltigen Transformation.

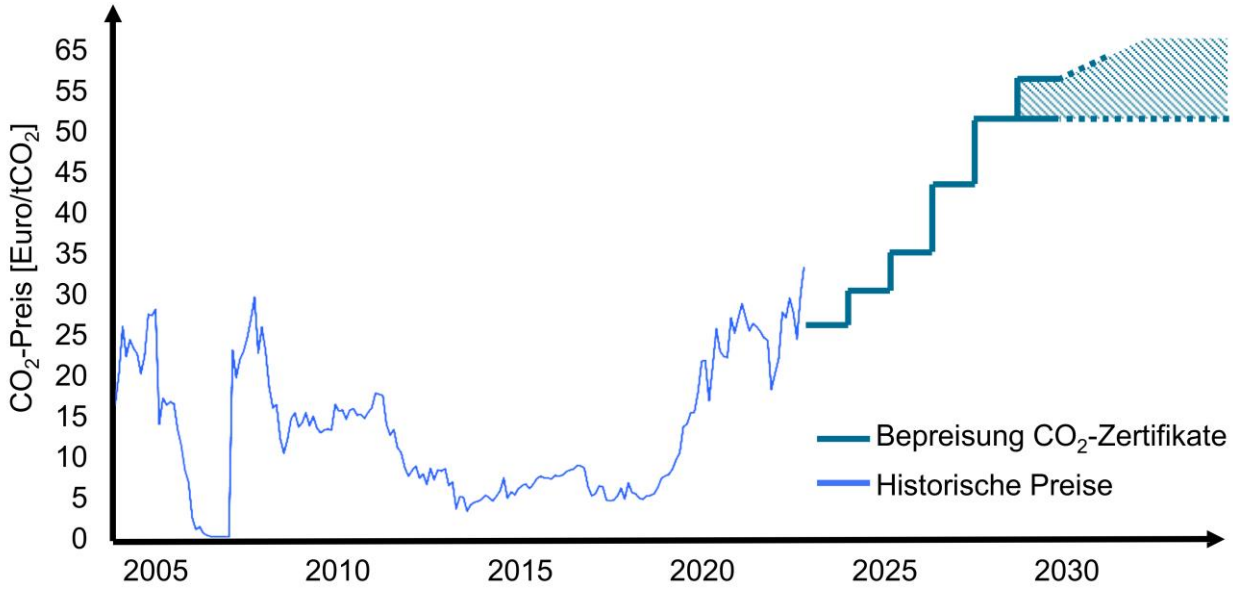


Abbildung 28: CO_2-Bepreisung (unter Verwendung von Trading economics, 2022 – historische Daten, Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, 2020- Zertifikate-Preisvorgaben ab 2021)

2. Zunehmender öffentlicher Fokus auf Nachhaltigkeit und Klimawandel

Der öffentliche Diskurs über die Verantwortung von Unternehmen hinsichtlich ihres klimawirksamen Beitrages wird zunehmend größer. Mit der Rede vor der UN-Vollversammlung erzeugt Greta Thunberg, Gründerin der Initiative „Fridays for Future“, mediale Öffentlichkeit (Deutsche Presseagentur, 2019). Die politischen Vertreter werden mit dem Versagen, die geeigneten politischen Rahmenbedingungen geschaffen zu haben, konfrontiert. Hierauf folgen zunehmend auch Konfrontationen mit Unternehmen und Diskussionen mit Unternehmensvertretern über deren Verantwortung (Schirmer, 2019, Schöneberg, 2020). Damit rücken auch Unternehmenspraktiken und deren Unterlassen in Fokus. Das motiviert auch einige Unternehmen an der Seite der Aktivisten die Transformation der Wirtschaft voranzubringen. Um nicht von Veränderungen gesetzlicher Rahmenbedingungen überfordert zu werden, haben viele Unternehmen von Eigentümern und Steuergremien Auflagen zur Umgestaltung des Unternehmens gemäß Nachhaltigkeitsanforderungen voranzutreiben. Die Diskussion über weitere Vorteile als der Vorbeugung von Strafen und

öffentlicher Kritik öffnet neue Handlungsräume. Damit unterstützt die entwickelte Methode diese Diskussionen.

3. Verschärfung von externen Kriseneinflüsse

Die Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen sind auf unterschiedlichen Ebenen erkennbar. Auf lokaler und regionaler Ebene lassen sich Veränderungen in durchschnittlichen Regenmengen sowie in den Perioden zwischen Niederschlägen feststellen (Bronstert et al., 1998, Weiß, 2020, Fry, 2022). So haben insbesondere Betriebe im primären Sektor die Veränderungen bereits verspürt (Heinrichs, Winterhoff und Schmidt, 2012). Jedoch hat vielfach der politische Wille, signifikante Veränderungen aktiv zu gestalten und damit ggf. auch gesellschaftliche Verwerfungen zu provozieren, gefehlt. Doch insbesondere aktuelle Wetterereignisse haben den Handlungsbedarf deutlich sichtbarer gemacht (Kreienkamp et al., 2021, van Oldenborgh et al., 2021, Deutscher Wetterdienst, 2021, Pomrehn, 2021). Aber auch auf urbane Regionen wird die veränderte klimatische Lage Auswirkungen haben. So werden im Sommer mit zunehmender Wahrscheinlichkeit Hitzewellen mit Auswirkung auf Gesundheit und Arbeitsfähigkeit haben. Ebenso ist mit einer Zunahme von Starkregenereignissen zu rechnen (Zacharias, Koppe und Mücke, 2015, Richter, 2016, Grossman-Clarke, Schubert und Fenner, 2017). Die Effekte lassen sich auch als Kostenfaktoren formulieren, wobei deren Quantifizierung aktuell noch nicht hinreichend validiert ist (Hübler, Klepper und Peterson, 2008). Damit werden die Unternehmen zunehmend mit den Auswirkungen konfrontiert. Die Europäische Union versucht die formulierten Nachhaltigkeitsziele auch deswegen zu adressieren, um einer weiteren Verschärfung entgegenzuwirken. Als Handlungsrahmen erfolgte die Verabschiedung des Gesetzespaket ‚Fit for 55', in dem viele Forderungen in verschieden Sektoren konkret benannt werden (Deutscher Naturschutzring, 2022, Mathieu und Gläser, 2021).

4. Nachhaltigkeits-Investments durch institutionelle Anleger

Bis zur Finanzkrise 2008 waren die Finanzmärkte ausschließlich auf Profitoptimierung ausgelegt (Kamp, 11. Dezember 2009). Doch die Erschütterung, welche durch Bankenkrise und verstärkter Regulierung des Marktes entstand, stellte auch einige Handlungsprämissen auf den Prüfstand (Paulus und Schwintowski, 2010). Einige institutionelle Anleger waren und sind daran interessiert, ihr Investment nachhaltig zu gestalten. Davon ausgehend entwickelten verschiedene Stellen Metriken zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Investitionen (Popescu, Hitaj und Benetto, 2021, Nicholls, 2021). Diese entwickelten Standards (z.B. Ecological and Social Governance – ESG und Sustainable Rating Index – SRI) werden von Beratungsunternehmen zertifiziert und auch von Finanzdienstleistern bei der Auswahl von Investition berücksichtigt (Remer, 2020). Mediale Wirkung erzielte das Schreiben des Investitionsdienstleisters BlackRock, in dem konkret auf den

Bedarf nachhaltigen Wirtschaftens hingewiesen wird: „*Wir setzen uns ... seit geraumer Zeit für Offenlegung ein. Angesichts der wachsenden ... Anlagerisiken sind wir zunehmend geneigt, Vorständen und Aufsichtsräten unsere Zustimmung zu verweigern, wenn ihre Unternehmen bei der Offenlegung von Nachhaltigkeitsinformationen ... keine ausreichenden Fortschritte machen.*“ (Fink, 2020) Damit sind Unternehmen zunehmend gefordert ihre Entscheidungen und Strategien an Nachhaltigkeitsgrundsätzen auszurichten und trotzdem wettbewerbsfähig zu agieren (Frankfurter Allgemeine Zeitung, 2020, manager magazin, 2020). Die Diskussion mit den Entscheidungsträgern zeigte, dass hierbei die Methode einen Beitrag leisten kann (Hertwig, 2022, Hertwig, 2021b).

Diese zusätzlichen Aspekte wirken bestärkend. Denn sie erhöhen den Handlungsdruck bei den Unternehmen. Da in Unternehmen die wirtschaftliche Perspektive vorherrschend ist, wie auch die Auswertung der Evaluation zeigt, fehlen Unternehmen geeignete Handlungsprämissen. Selbstverständlich bieten existierende Messsysteme Vorgaben zur Erhebung von Indikatoren, damit können Unternehmen nur mit entsprechender Expertise und zeitlichem Aufwand geeignete Maßnahmen ableiten oder deren Wirksamkeit bewerten. Die entwickelte Methode erzeugt einen Rahmen, um Maßnahmen der Weiterentwicklung mit dem Ziel des nachhaltigen Produzierens und gleichzeitigem positivem Beitrag zum Umfeld einzuschätzen und deren langfristige Wirkung zu bewerten.

5.4 Vorgehen bei der Spezifizierung

In den vorangestellten Erläuterungen ist die Entwicklung eines generischen systemdynamischen Modells für die Bewertung eines Unternehmens dargestellt. Um aus dem allgemeinen Modell eine Repräsentation der zu untersuchenden Organisation abzuleiten, ist eine Spezifizierung nötig. Im generischen systemdynamischen Modell sind Befehle integriert, die eine Schnittstelle zu einem Tabellenkalkulationsdokument ansprechen, um relevante unternehmensspezifische Information aus Microsoft Excel einzulesen (Abbildung 29). Durch diese Kennzahlen wird das Modell auf das Unternehmen adaptiert.

Für die Ableitung einer zukünftigen potenziellen Entwicklung von Nachhaltigkeitskennzahlen wird das systemdynamische Modell von zwei Quellen gespeist – unternehmensspezifischen Kennwerten und Betrachtungsszenarien. Mit einem Szenario wird eine „beschreibende Darstellung plausibler alternativer Projektionen für einen bestimmten Teil der Zukunft“ (Fahey und Randall, 1998, S. 6) verstanden (Brose et al., 2013). Es beinhaltet einen Entwicklungspfad, welcher zu angestrebten Zukunftsvorstellung führt (Hannah und Gaßner, 2007). Im vorliegenden Fall wird das Szenario gemäß Steinmüller (2002) zur Modulation des quantitativen Modells genutzt. Die Szenarien werden mittels der Weiterentwicklungsmaßnahmen abgesteckt (Hannah und Gaßner,

2007). Somit ist der Vorteil der strukturierten Erzeugung von unterschiedlichen Zukunftsbildern vorhanden, da die Verantwortlichen beliebige Kombinationen evaluieren können (Michaeli, 10. Januar 2000).

Die Zusammenführung der Unternehmenskennwerte und der Informationen des Betrachtungsszenarios mit dem generischen Modell resultiert im unternehmensspezifischen Simulationsmodell, welches für den definierten Betrachtungszeitraum eine prognostizierte Entwicklung der entsprechenden Ergebniskenngrößen berechnen kann. Durch den Vergleich der quantifizierten Effekte kann eine zusätzliche Wissensbasis für Entscheidungen geschaffen werden. Werden prognostische Ansätze verwendet, muss die zunehmende Unschärfe der Aussagefähigkeit in Betracht gezogen werden.

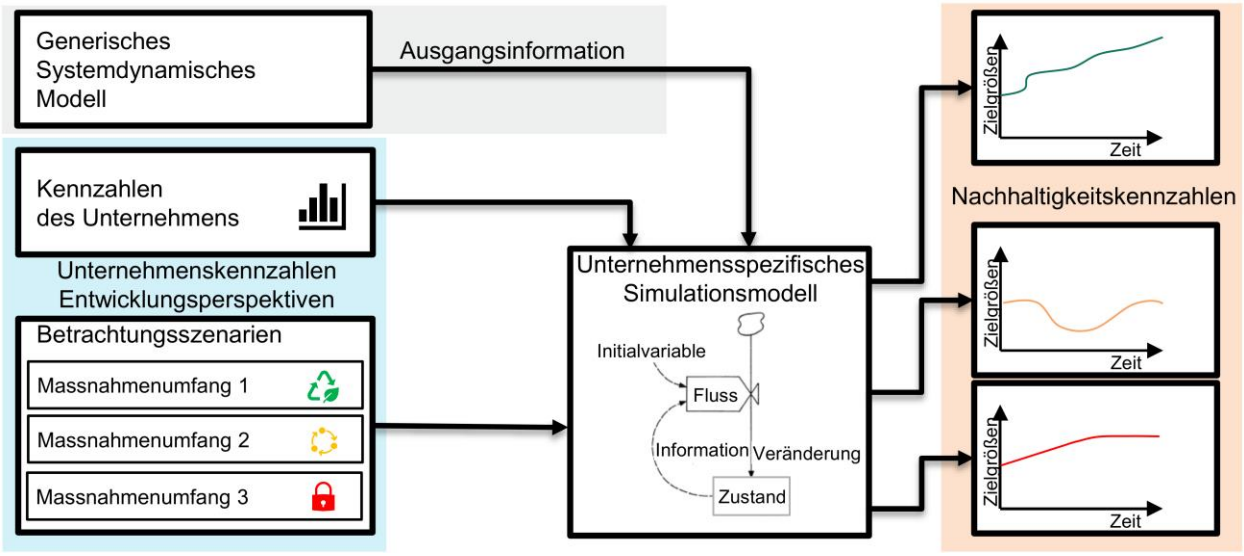


Abbildung 29: Vorgehen für die Modell-Spezifizierung auf den Anwendungspartner

5.4.1 Unternehmenskennzahlen

Das erzeugte generische Modell beschreibt die Wechselwirkung im Kontext eines urbanen Unternehmens in allgemeiner Art. Damit hat das Modell keine spezifische Aussagekraft für das betrachtete Unternehmen. Dazu muss eine Anpassung des Modells auf den Betrachtungsgegenstand Unternehmen erfolgen. Diese Anpassung wird in diesem Ansatz durch Kennzahlen des Unternehmens vorgenommen. Dabei ist davon auszugehen, dass ein Unternehmen mittels Kennzahlen beschrieben werden kann.

Um die Adaption auf das Betrachtungsunternehmen vornehmen zu können, besitzt das Modell viele Eingangsvariablen. Diese Eingangsvariablen werden zum Start der Simulation von dem Modell eingelesen und dimensionieren so Modellbestandteile.

Die Unternehmenskenngrößen, welche für die Modelladaption genutzt werden, lassen sich in Clustern zusammenfassen (siehe Abbildung 30, Seite 77). Für die Auswahl wurde Datensparsamkeit als Kriterium angelegt, um die Anzahl der notwendigen Variablen zu minimieren. Generell sollten die Kenngrößen aus verfügbaren Dokumenten, öffentlich erreichbare Informationen oder durch Interviews erhoben werden können. Bei der Auswahl der Kenngrößen sollten alle inhaltlichen Partialmodelle spezifiziert werden. Bei der Reduktion erfolgte eine Bewertung hinsichtlich des Bedarfs zur geeigneten Wirkungsbeschreibung der Maßnahmen, um Wirkungen in ökologischer, ökonomischer oder sozialer Hinsicht relevant zu ermitteln.

Die Kenngrößen mit Bezug zur Geschäftstätigkeit können durch das Unternehmen erhoben bzw. generiert werden. Dabei kann das Unternehmen von den bestehenden Berichts- und Dokumentationspflichten, die mit der Geschäftstätigkeit verknüpft sind, profitieren. Andererseits müssen die Kennwerte von den Organisationen zusammengetragen werden. Dabei können Befragung von Experten und Mitarbeitenden zielführend sein oder es werden Detailanalysen von buchhalterischen Dokumenten benötigt.

Basierend auf dem Standort der Fabrik können Quellen zur Sammlung lokal relevanter Datensätze bemüht werden. Teilweise liegen diese Informationen den Unternehmen implizit vor, da Verantwortliche im Unternehmen nicht nur Funktionsträger, sondern ebenfalls Teilnehmer im Markt-Ökosystem sind.

- Ökologische Kenngrößen stellen umweltbezogene Indikatoren dar, die eine Wechselwirkung zu Klima, Umweltqualität und natürlichen Ökosystemen. Sie indizieren, wie die Umweltwirkungen und Ressourcennutzung durch die untersuchte Organisation gestaltet ist. Zielsetzung der Erhebung ist den Umwelt- und Ressourcenschutz auf lokaler und globaler Ebene zu stärken.
- Ökonomische Kenngrößen erlauben Rückschlüsse auf die wirtschaftliche Tätigkeit des Unternehmens. Dabei ist ein wichtiger Aspekt der Betrachtung der geschaffene wirtschaftliche Erfolg aus den eingesetzten Ressourcen. Im Sinn der Nachhaltigkeit bedeutet dies die Stärkung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit und Beständigkeit des Unternehmens und seiner Interessensgruppen.

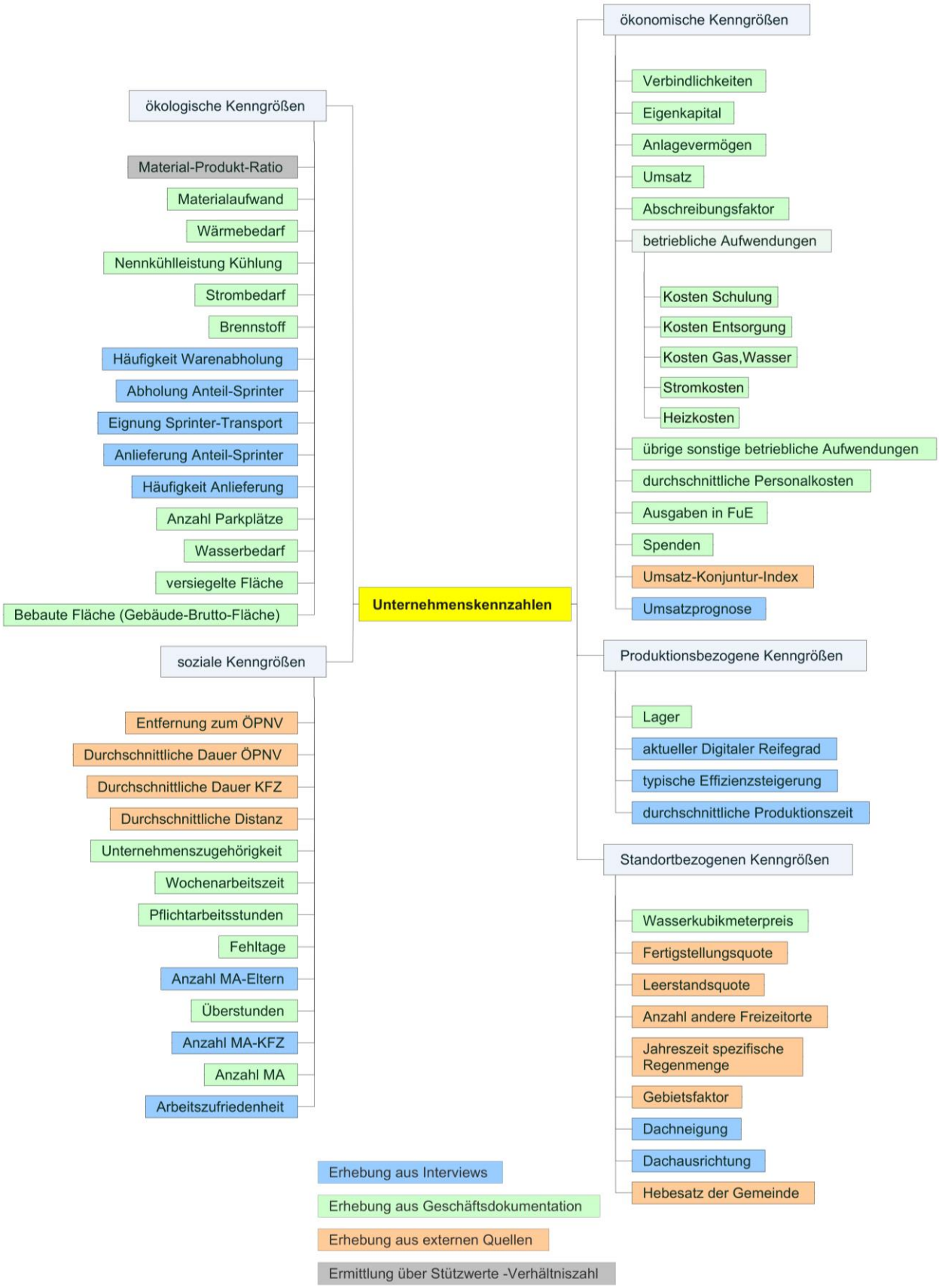


Abbildung 30: Ausgewählte Unternehmenskennzahlen, die für die Spezifizierung des generischen Wechselwirkungsmodell genutzt werden

- Soziale Kenngrößen stellen den Bezug zum Betrachtungsaspekt „Mensch“ im Betrachtungskontext her. Mit ihnen wird der Einfluss auf Mitarbeitende und das gesellschaftliche Umfeld messbar beschrieben. Zielsetzung ist die Realisierung von sozialem Wohlbefinden und Gerechtigkeit für alle Beteiligten zu steigern oder zumindest nicht zu verschlechtern.
- Mit den produktionsbezogenen Kenngrößen erfolgt ein Bezug zu Produktrealisierung. Eine Zuordnung dieser Kennwerte zu den drei Kategorien der Nachhaltigkeit ist möglich. Im Sinne des Ansatzes die Produktion als Kennbetrachtungselement zu definieren, ist die spezifische Betrachtung auch im Kontext der Wechselwirkungsanalyse zielführend.
- Standortbezogene Kenngrößen setzen den Betrachtungsgegenstand in den regionalen Kontext und erlauben eine Beschreibung von standortspezifischen Eigenheiten. Mit diesen Kenngrößen wird versucht die Einbettung der zu untersuchende Organisation ins urbane Umfeld zu konkretisieren.

5.4.2 Entwicklungsszenarien basierend auf der Maßnahmenauswahl

Mit dem Modell ist angestrebt, verschiedene zukünftige Entwicklungspfade zu ermitteln und mittels Simulation mögliche Auswirkungen zu skizzieren. Basierend auf den Simulationsergebnissen sollen Unternehmen befähigt werden, Entscheidungen auf einer neuen Bewertungsgrundlage zu treffen. Um einen Entscheidungsraum zu eröffnen, muss die Simulation unterschiedliche Entwicklungen prognostizieren können. Aufbauend auf einem Szenario-basierten Ansatz sollen verschiedene zukünftige Entwicklungsperspektiven aufgezeigt werden. Durch die Unternehmenskennzahlen wird zum Simulationsstartzeitpunkt (Unternehmen zum Zeitpunkt der Datenerhebung) das Unternehmen repräsentiert.

Im generischen Modell liegen Unsicherheitsbezogene Variablen vor, welche kurzzyklische Schwankungen bzw. zu erwartende Unsicherheiten ins Modell induziert. Durch die Auswahl relevanter Maßnahmen lassen sich Maßnahmen-Cluster bilden. Diese bilden den Ausgangspunkt für die Modellierung der zu betrachtenden Szenarien. Eine Konkretisierung dieser Szenarien erfolgt mittels Festlegung des jeweiligen Wirkzeitpunktes der ausgewählten Maßnahmen. Durch die Aktivierung der Maßnahmen zum jeweils definierten Wirkzeitpunktes werden Partialmodelle mit ihren Wirkungen auf das Gesamtmodell wirksam. Somit nimmt das Partialmodell ab dem Zeitpunkt der Aktivierung Einfluss auf das Verhalten des Modells, indem zusätzliche Stellgrößen berücksichtigt werden. Durch die Berechnung all dieser Wirkungen soll der Einfluss auf die Ergebniskenngrößen hinsichtlich der potenziellen Zukunft ermittelt werden.

Die Ergebniskenngrößen repräsentieren die Entwicklung des Unternehmens über die Zeit. Die Auswahl der Maßnahmen spannt den Betrachtungsraum auf. Anhand der Simulation lassen sich

Ergebnisräume ermitteln. Daraus resultieren Entwicklungspfade, die in konkreten Zusammenhang mit den möglichen Weiterentwicklungen stehen.

5.4.3 Ergebniskenngrößen

Gemäß des Input-Verarbeitungs-Output Modells, der gewählte Ansatz folgt, werden Zielkenngrößen bei der Simulationsberechnung erzeugt. Die Wahl einer Vielzahl von Kenngrößen als Ergebnis erlaubt eine unterschiedlich gewichtete Diskussion der Ergebnisse, abhängig von den aktuellen Themen und Herausforderungen des Unternehmens. Gleichsam werden Unternehmen immer stärker gefordert, Auskunft über die Ausrichtung der Nachhaltigkeit ihrer Aktivitäten zu geben (Bae und Smardon, 2011, S. 181–182). Im Rahmen von Nachhaltigkeitsbewertung werden verschiedenste Methoden angewendet, um die Bemühungen messbar zu machen (Andes, 2019). Diese Erhebung stellt üblicherweise den aktuellen Zustand dar. Auf dieser Basis dieser Nachhaltigkeitsbewertung können Ziele für die Steigerung der Nachhaltigkeit und eine Strategie entwickelt werden. Zumeist beruhen die entwickelten Strategien auf Kennzahlensystemen, um die Ziele gemäß dem SMART-Ansatz (spezifisch, messbar, attraktiv, realistisch, terminiert) beschreiben zu können (Doran, 1981, Ogbeiwi, 2017). Der vorgestellte Ansatz kann das Unternehmen bei seinen Bemühungen unterstützen, indem die Einflüsse von Maßnahmen auf die vom Unternehmen betrachteten Kenngrößen aufgezeigt wird. Deshalb sollen Kenngrößen mit Bezug zur Nachhaltigkeit eine wesentliche Rolle spielen.

Durch verschiedene Initiativen und Untersuchung ist eine Vielzahl an Kenngrößen zur Betrachtung der Nachhaltigkeit entstanden. Dabei existiert eine große Varianz in Anzahl relevant betrachteter Nachhaltigkeitskenngrößen. Bei genauer Betrachtung ist festzustellen, dass Aussagekraft, Aufwand der Erhebung sowie Nutzbarkeit zur Unternehmenssteuerung ähnlich variiert. Allgemein ist festzuhalten, dass Nachhaltigkeitskenngrößen den Nachhaltigkeitsdimensionen zugeordnet werden können, damit ist eine Klassifizierung in ökonomische Kenngrößen, ökologische Kennzahlen und soziale Kennzahlen möglich. Diese den Nachhaltigkeitsdimensionen direkt zuordenbaren Kenngrößen sind als absolut zu beschreiben, damit lassen sie sich direkt erheben oder messen. Es existieren gleichsam auch Kennwerte, die sich mehreren Nachhaltigkeitsdimensionen (zwei – sozio-ökologisch, sozio-ökonomisch und öko-effizient oder allen drei – integrativ) zuordnen lassen. Da sie meist relative Kennwerte sind, werden sie durch eine Berechnungsvorschrift erzeugt, die sich auf mindestens zwei direkte Kennwerte stützt (Bae und Smardon, 2011, S. 186). Gleichzeitig ist die Anwendbarkeit der Nachhaltigkeitskenngrößen auf die jeweilige Detailierungsebene begrenzt (Bell und Morse, 2008). Verschiedene Initiativen haben abhängig von der angestrebten Anwendung entsprechende Betrachtungssysteme (siehe Abbildung 31 sowie Anhang

14, Seite 178) entwickelt, in dem die relevanten sinnvollen Kenngrößen zusammengefasst werden (Bordt, 2009).

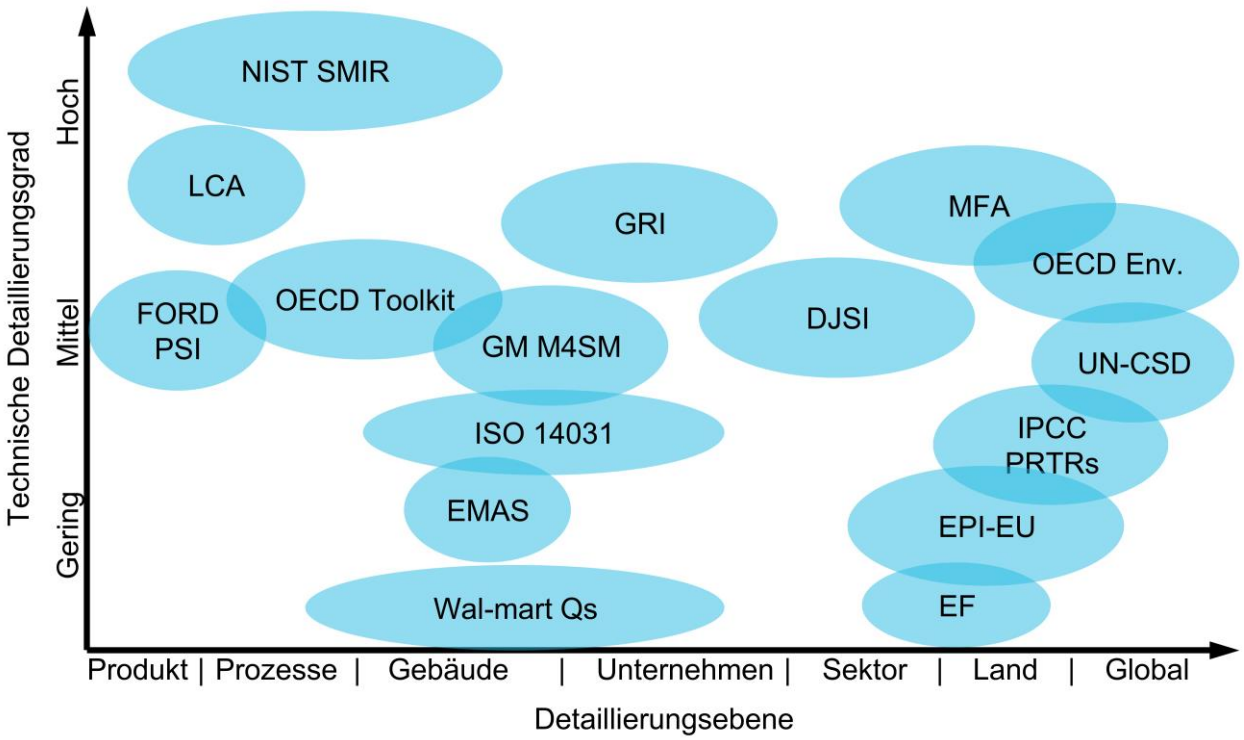


Abbildung 31: Einordnung der Nachhaltigkeits-Betrachtungssysteme nach Detaillierungsebene und technischem Detaillierungsgrad (in Anlehnung an (Bordt, 2009, S. 8, Feng, Joung und Li, 2010, S. 392))

Dieser Einteilung und Zuordnung der Kenngrößen ist zu entnehmen, dass nicht alle Kenngrößen eine hinreichend gute Anwendbarkeit für die Beschreibung auf der ‚Fabrik-Umfeld' Detaillierungsebene haben (Bosello, Best und Ciampalini, 2009). Für das Betrachtungsobjekt ‚urbanes Produktionsunternehmen' sind mehrere Detaillierungsebenen relevant, weshalb keines der bereits existierenden Nachhaltigkeits-Betrachtungssysteme direkt anwendbar ist. Bei der Verknüpfung von nachhaltiger Produktion und nachhaltigem urbanen Umfeld lassen sich zwei Perspektiven einnehmen – Outside-In Perspektive und Inside-Out Perspektive (siehe Abbildung 32):

- Aus der Wirtschaftswissenschaft entlehnt, stellt die Inside-Out Perspektive (vgl. Abbildung 32, links) einen intern orientierten strategischen Weiterentwicklungsansatz. Ausgehen von aktuellen Erfolgen und existierenden Ressourcen werden inkrementelle Weiterentwicklungen geplant (Saeed et al., 2015, Laczniak und Murphy, 2012). Übertragen auf den Betrachtungsraum Produktion stehen die Fertigungs- und Unterstützungsprozesse im Vordergrund. Demnach erfolgt die Analyse, Betrachtung und Auswertung auf Fabrikebene. Zielsetzung ist dabei die Optimierung der Prozesse und Produktionstechnologien, um mit reduziertem

Energie- und Ressourcenbedarf zu fertigen und dabei ein attraktives und nicht gesundheitsschädliches Arbeitsumfeld zu schaffen. Das entwickelte Betrachtungssystem gruppiert die Nachhaltigkeitskenngrößen in 5 Cluster – Ökologie, Ökonomie, Sozial, Technologische Entwicklung und Leistungssteuerung. Die Fabrik oder Produktionsstätte wird als White-Box Modell mit allen internen Details untersucht.

- Dem entgegengesetzt ist die Outside-In Perspektive (vgl. Abbildung 32, rechts). Hierbei erfolgt die Analyse des Betrachtungsobjekts aus der Sicht des Umgebungskontextes (Day und Moorman, 2010). Abhängig vom Analyseziel kann dabei die Marktverteilung, das Wertschöpfungsökosystem oder das direkte Umfeld detailliert betrachtet werden. Fokussiert wird auf die Interaktion des Betrachtungsobjektes mit den beteiligten Entitäten (Day, 2014, Saeed et al., 2015). Aus diesem lassen sich zielführende Strategien mit Bezug zum Betrachtungskontext entwickeln und dafür relevante Anforderungen und Bedarf aus Sicht der Organisation ableiten (Hult und Ketchen, 2001, Yrjölä, 2021). Übersetzt auf die Weiterentwicklung der Nachhaltigkeit eines produzierenden Unternehmens sind Emissionen und Auswirkungen auf die Umgebung sowie der Bedarf an Energie und Ressourcen zu optimieren. Für diese übergeordnete Betrachtung eignet sich die Verwendung des Black-Box Modellansatzes, um Wechselwirkungen zwischen den Entitäten zu erheben und ggf. zu quantifizieren.

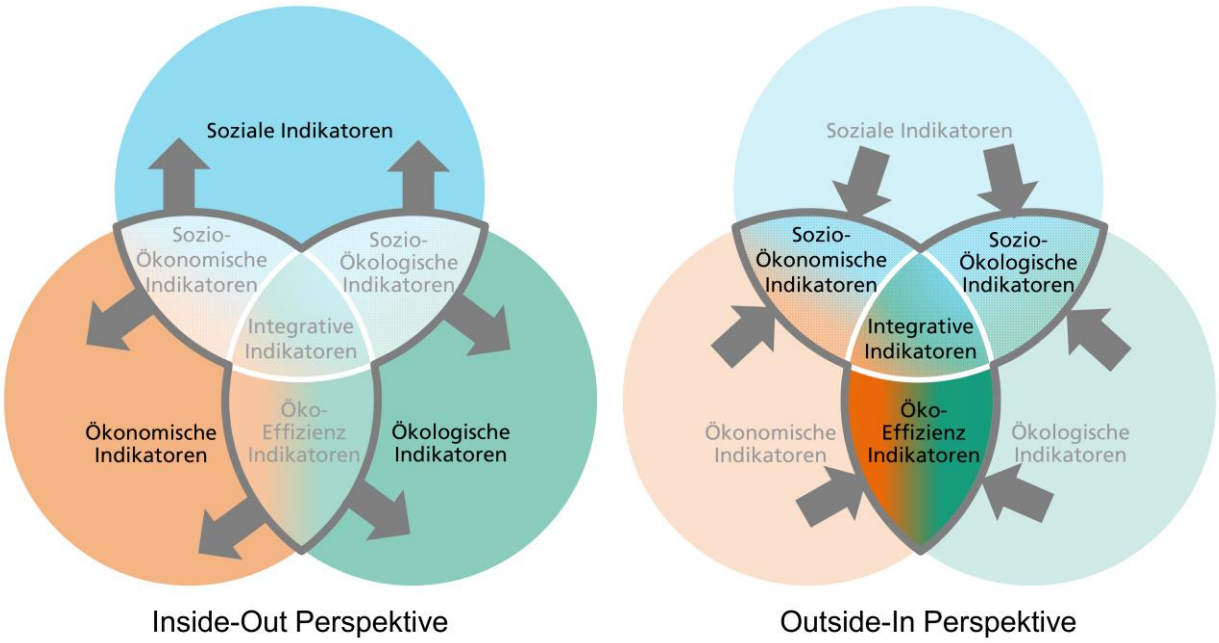


Abbildung 32: Gedankenmodell zu den Nachhaltigkeitskenngrößen zur Ableitung der Ergebniskenngrößen für die Untersuchung von urbanen Produktionsunternehmen

Für die Weiterentwicklung von Produktionsunternehmen im urbanen Raum ist die Überlagerung beider Perspektiven zielführend (Yrjölä et al., 2018). Diese Kombination von den beiden Perspektiven erlaubt eine Weiterentwicklung, bei der das Umfeld berücksichtigt wird. Die Nachhaltigkeitskenngrößen der beiden Perspektiven können zusammengeführt und übergreifend strukturiert werden (siehe Anhang 15, Seite 186). Unter Berücksichtigung von Vorarbeiten von Singh, Olugu und Musa (2016) kann die Auswahl an Kenngrößen verfeinert und auf kleine und mittlere Unternehmen zugeschnitten werden. Es ergeben sich 16 Kenngrößen für die drei Nachhaltigkeitsdimensionen. Die Auswahl zielt darauf ab, eine verständliche und übersichtliche Anzahl an Nachhaltigkeitskenngrößen mit Relevanz für produzierende Unternehmen im urbanen Raum abzuleiten, wobei alle Nachhaltigkeitsdimensionen geeignet repräsentiert sind. Die Betrachtung der Umfeldwirkung wird durch weitere Kenngrößen vervollständigt, die einen Bezug zu sozialen und ökologischen Wirkungen haben. Deshalb können die Ergebniskenngrößen in vier Cluster für die urbane Produktionsunternehmen strukturiert werden (siehe Abbildung 33) – Umwelt-Einfluss, Betriebswirtschaftlicher Einfluss, Sozio-technischer Einfluss und Umfeld-bezogener Einfluss.

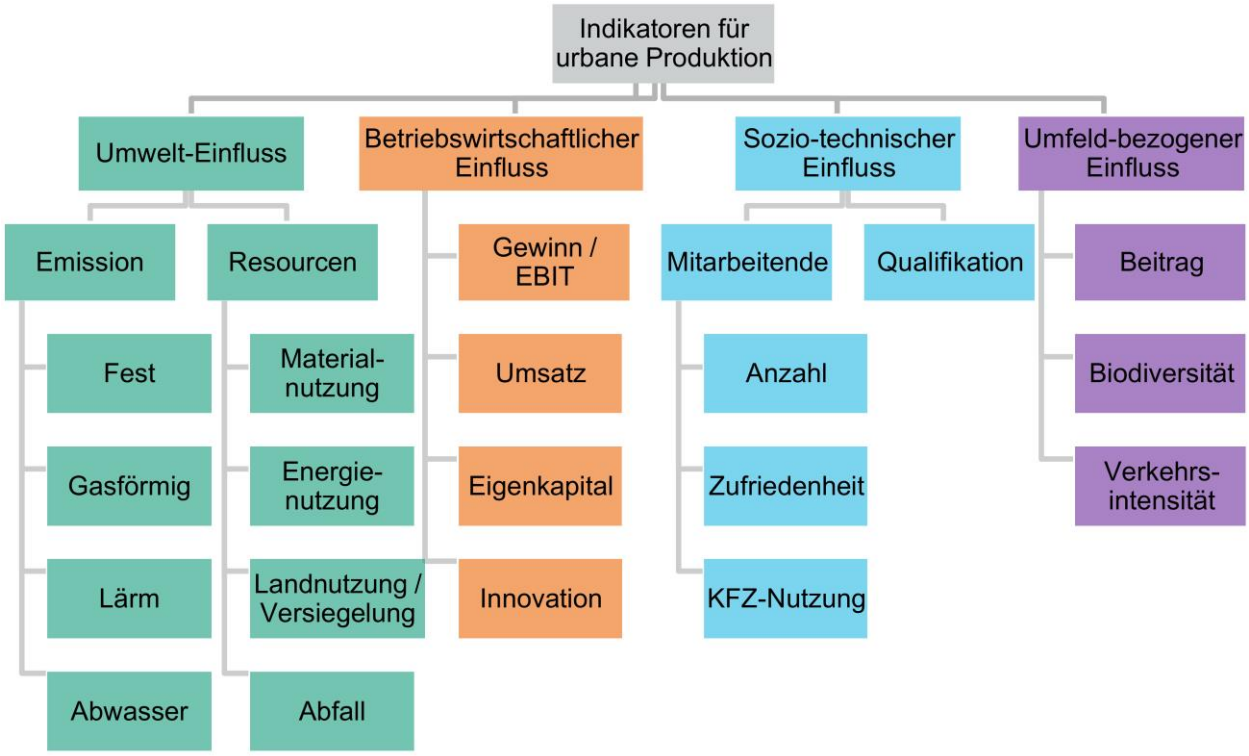


Abbildung 33: Ergebniskenngrößen – Auswahl relevanter Nachhaltigkeitsindikatoren

5.5 Modellbeschreibung

Ausgehend von den vier Betrachtungsperspektiven erfolgt die Entwicklung der Kernbestandteile. Diese konkretisieren die Wechselwirkungen der jeweiligen Perspektive. Bei Identifikation relevanter Wechselwirkungsbeziehungen dienen bereits existierende systemdynamische Modelle als Untersuchungsgegenstand. Da die Überdeckungen bekannter Untersuchungsfragestellungen gering sind, können ausschließlich Bestandteile genutzt werden. Das Ergebnis der Modellentwicklung sind zwei Repräsentationsformen des betrachteten Systems – ein Wirkbeziehungsmodell und ein Berechnungsmodell. Um die Wechselwirkungen aller relevanten Einflüsse zu beschreiben, wird ein qualitatives Modell entwickelt. Ausgehend von diesem lassen sich die Beziehungen in Berechnungsmuster überführen, um ein qualitatives Modell abzuleiten.

5.5.1 Erstellung des beschreibenden qualitativen Modells

Zur Erstellung eines erklärenden Modells der Wechselwirkungen wird der systemische Denkansatz genutzt. Die reale Umwelt wird als System beschrieben und charakterisiert (Kapmeier, 1999, Bossel, 2004, Homer und Oliva, 2001). Als Darstellung für die Beziehungen im systemischen Kontext eignen sich Kausaldiagramme (Causal-Loop Diagramme)[1] (Coyle, 1996). Denn daraus lassen sich Ursachen und Wirkungen sowie deren zeitliche Beziehung ablesen.

Für die Erstellung des qualitativen Modells erfolgte eine Analyse der Wechselwirkungen in den vier festgelegten Betrachtungsperspektiven. Aus den ermittelten Wirkbeziehungen für eine Fabrik im urbanen Raum lässt sich so ein Kausaldiagramm (siehe Abbildung 34) ableiten. Bei der Analyse der Wirkbeziehungen wurden bereits existierende Modelle in die Betrachtung mit einbezogen, wodurch validierte Vorarbeiten integriert werden. Es erfolgen Anpassungen, wo die vorliegenden Arbeiten aufgrund abweichender Ausrichtung der jeweiligen Fragestellung noch keine geeignete Spezifizierung anbieten. Die definierten Systemgrenzen sind unterstützend, um das resultierende Wechselwirkungsmodell nicht unendlich anwachsen zu lassen und somit die Komplexität zu begrenzen. Denn wenn Beziehungen außerhalb der Systemgrenzen sind, werden sie aggregiert und durch eine Sammelvariable ins Modell integriert.

[1] Kausaldiagramm und Causal-Loop-Diagramm können synonym verwendet werden, da sie im Kontext der englisch- und deutschsprachigen System Dynamic Literatur direkt so genutzt werden, selbst in der eingedeutschten Form. (Kapmeier, 1999).

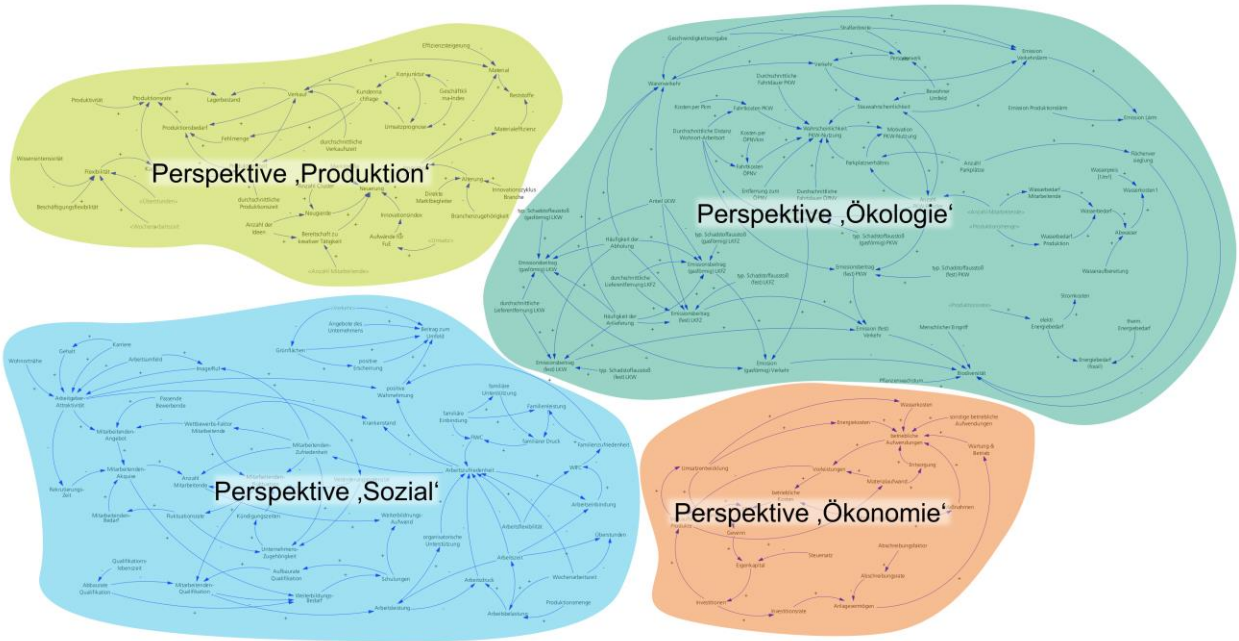


Abbildung 34: Übersicht über Qualitatives Modell – Wechselwirkungsmodell (Causal-Loop Diagramm)

Im Causal-Loop-Diagramm werden die Variablen mittels Wirkungspfeilen verbunden. Somit sind die Ursache-Wirkungs-Beziehungen des Kausaldiagramms direkt zu entnehmen. Durch eine Bewertung der Wirkbeziehungen, kann auch der Effekt der Wirkung visualisiert werden. Wirkt sich die Vergrößerung der Ausgangsvariable in einer Vergrößerung der Wirkgröße aus, so ist es eine verstärkende oder positive Wirkbeziehung. Dämpfende oder negative Wirkbeziehungen sind vorhanden, wenn eine Vergrößerung der Ausgangsvariabel in einer Verkleinerung der Wirkgröße resultiert.

Anders als die farbliche Darstellung in Abbildung 34 suggeriert, sind die Perspektiven integriert. Die Einordnung der Kausalbeziehungen in die Perspektiven unterstützt die Detailanalyse aller Wirkbeziehungen im Kontext des jeweiligen Fokus. Dementsprechend ist es möglich. Ausschnitte des qualitativen Modells separat zu betrachten (Abbildung 35, Anhang 16, Anhang 17 und Anhang 18), wobei auch immer Variablen aus anderen Perspektiven enthalten sind. Diese sind als <Schattenvariablen> erkennbar.

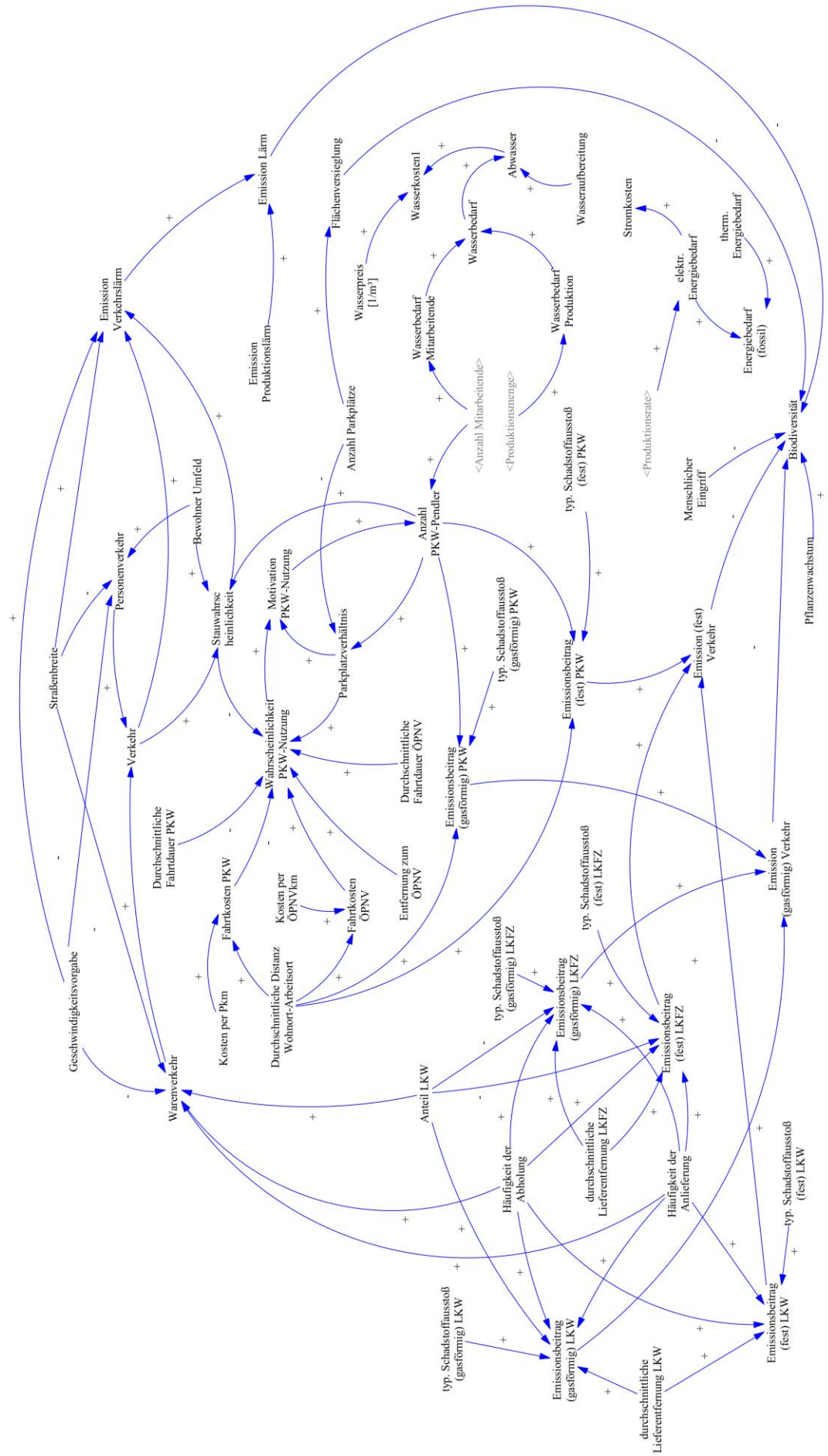


Abbildung 35: Qualitatives Teilmodell für die ökologische Perspektive

5.5.2 Überführung in ein quantitatives Modell

Die Basis für die Erstellung des quantitativen Modells bietet das qualitative Modell. Da das quantitative Modell zur Berechnung von Effekten genutzt wird, muss eine Übersetzung der Variablen erfolgen. Die Kausaldiagramme müssen in Flussdiagramme übersetzt werden. Damit gilt es die Kausalvariablen hinsichtlich ihrer Eigenschaft zu klassifizieren, um die geeigneten Variablentypen für die Erstellung des Flussdiagramms zuzuordnen. Es sind drei Variablentypen im Flussdiagramm vorzufinden – Zustandsvariablen, Flussvariablen und Hilfsvariablen.

Zustandsvariable (Stock / level variable)	Eine Zustandsvariable ist eine Betrachtungsgröße mit einem definierten Startwert, welcher über den Betrachtungszeitraum durch Zuflüsse zunimmt oder Abflüsse abnimmt. Sie wird als Zustandsvariable bezeichnet, da sie den Zustand einer Systemkomponente über den zeitlichen Verlauf beschreibt.
Flussvariable (Flow /rate variable)	Eine Flussvariable beeinflusst die Zustandsvariable, indem sie einen Zufluss oder Abfluss beschreibt. Sie kann konstant sein oder durch Einflussvariablen verändert werden.
Hilfsvariablen (Auxiliary variable)	Die Hilfsvariablen können vorangegangenen Variablen nicht zugeordnet werden. Jedoch werden sie benötigt, um die Modellierung der Einflüsse auf die Flussvariablen zu erzeugen. Mit ihnen lassen sich dynamisches Verhalten oder bedingungsbezogene Effekte in die Berechnung der Flussvariablen mit einbeziehen. Sie lassen sich hinsichtlich ihrer Eigenschaft gemäß ihrer Nutzung nochmals unterteilen in Initialisierungs- und Berechnungsvariablen.
- Initialisierungsvariablen (Initial variable)	Mit den Initialisierungsvariablen werden äußere Größen in das Modell eingelesen. Damit kann auf Datenbanken zugegriffen werden oder es werden kontextspezifische Werte eingelesen. Diese Variablen werden im Modell genutzt, um unternehmensspezifische Daten zu integrieren.
- Berechnungsvariablen (Constants, Lookups)	Diese Variablen können als Konstanten (unveränderbar über den Betrachtungszeitraum) im Modell etabliert sein. Dies kann einerseits sinnvoll sein, wenn Wechselwirkungen über die definierte Systemgrenze hinausgehen. Alternative erhöht die Nutzung eines konstanten Faktors die Transparenz im Modell, insbesondere wenn es definierte Stellgrößen sind. Veränderliche Einflussvariablen können in unterschiedlicher Form eingesetzt werden. Entweder werden sie mathematisch durch andere Variablen

	verändert bzw. beeinflusst. Alternativ können sie als Abfragevariable genutzt werden. In diesem Fall ist eine systematische Beziehung hinterlegt, die aktuelle Größe wird basierend vom Zustand der Bedingungen ausgelesen oder erzeugt. Darüber hinaus wird dieser Variablentyp im vorliegenden Ansatz genutzt, um die Ergebniskennwerte auszuleiten bzw. gemäß der Berechnungsvorschrift zu berechnen.

Das Flussdiagramm ist die grafische Repräsentation der Beziehungen, deren Details mathematische Gleichungen sind. Die verwendeten Variablen lassen sich grafisch im Modell unterscheiden, da eine durchgehende Symbolik existiert (siehe Abbildung 36). Abhängig von der Kombination der Variablen ergeben sich mathematische Beziehungen. Deren Ausprägung erfolgte basierend auf bereits validierten mathematischen Beschreibungen. Damit wird die zeitdiskrete Quantifizierung unterstützt.

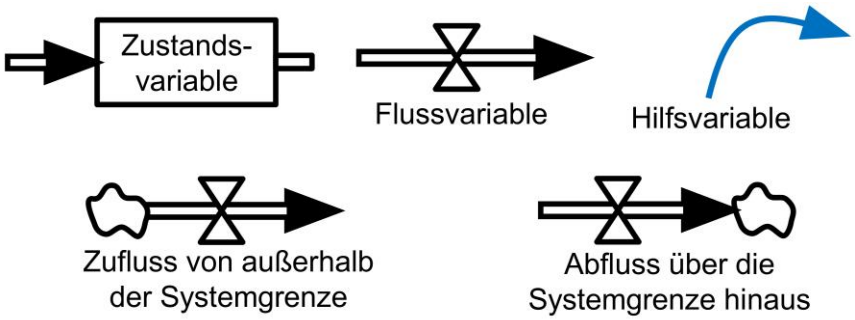


Abbildung 36: Symbolik der Variablen-Typen der quantitativen Modellierung in Vensim[2]

Für jede Perspektive wird ein individuelles Modell erstellt. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den Perspektiven erfolgt die Nutzung von Variablen anderer Perspektiven in den Teilmodellen, wo Beziehungen im quantitativen Modell identifiziert wurden. Jede Perspektive setzt sich aus Teilmodellen zusammen, die spezifische Schwerpunkte besitzen (Abbildung 37). Damit kann jede Perspektive mathematisch individuell beschrieben werden, ohne die Bezüge zwischen den Perspektiven zu ignorieren.

[2] In der vorliegenden Arbeit wird Systemdynamik-Modellierungssoftware von Ventana Systems verwendet (Vensim ©)

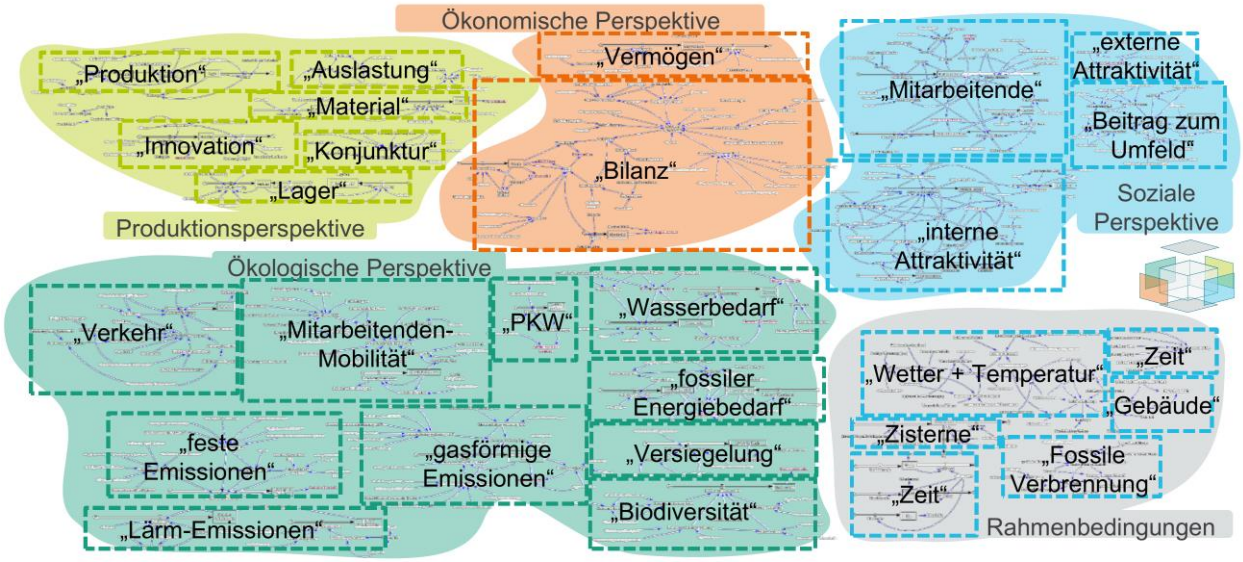


Abbildung 37: Quantitatives Modell mit allen Teilmodellen innerhalb der Perspektiven

Ökonomische Perspektive

Bei der ökonomischen Perspektive werden Bestandteile der Bilanzrechnung vereinfacht dargestellt. Damit soll die finanzielle Unternehmensentwicklung repräsentiert werden. Basierend auf einer Prognose der Geschäftsentwicklung, die entweder auf einer Ableitung des ifo-Geschäftsklimaindex oder einer gemeinsam mit den Unternehmen erarbeiteten Zukunftsentwicklung beruht, werden in dieser Perspektive die finanziellen Auswirkungen von Maßnahmen dargestellt (Wollmershäuser et al., 2019, Wohlrabe, 2021, Institut für Wirtschaftsforschung, 2021). Die Ermittlung der Kenngrößen basiert auf den klassischen buchhalterischen Erträgen und Kosten, um eine Ableitung über die potenzielle Entwicklung betriebswirtschaftlicher Kennzahlen zu unterstützen (siehe Abbildung 38 und Abbildung 39). Diese Ausprägung der fiskalischen Sicht auf das Unternehmen dient bei der Diskussion über strategische Weiterentwicklung als Unterstützung.

In der ökonomischen Perspektive werden mittels Simulation vier Ausgabekennwerte (Gleichung 1-4) berechnet. Diese Kennwerte bieten der Unternehmensführung eine Basis für die Bewertung der wirtschaftlichen Situation im jeweiligen Szenario und geben damit auch eine Indikation hinsichtlich anderer betriebsbezogener Investitionen. Die Ausgabekennwerte sind Normierungen der ermittelten Werte.

$$Umsatz_{normiert} = Umsatz/Umsatz_{initial} \quad [dmnl] \quad (1)$$

$$Eigenkapital_{normiert} = Eigenkapital/Eigenkapital_{initial} \quad [dmnl] \quad (2)$$

$$EBIT\text{-}Marge = EBIT/Umsatz \quad [dmnl] \quad (3)$$

$$Return\ on\ Item = SMOOTH3(EBIT/Wertschöpfung,12) \quad [dmnl] \quad (4)$$

Um die normierten Werte zu ermitteln, werden die Argumente für die Berechnung gemäß dem folgenden Vorgehen (Gleichung 5 bis Gleichung 7) ermittelt. Die weiteren Beschreibungen für die Ermittlung sind in Gleichung 45 bis Gleichung 65 aufgelistet. Zusätzlich muss das Teilmodell der ökonomischen Perspektive initialisiert werden, wofür unternehmensspezifische Variablen (Tabelle 6) eingelesen werden bzw. zeitlich invariante Stützwerte im Modell hinterlegt sind (Tabelle 7).

EBIT= (Umsatz+Einnahmen)-(betriebliche Kosten+Investitionen) *[Euro]* (5)

Umsatz= INTEG (Umsatzentwicklung, Umsatz$_{initial}$) *[Euro]* (6)

Eigenkapital= INTEG (Gewinn/48,Eigenkapital$_{initial}$) *[Euro]* (7)

Tabelle 6: Unternehmensspezifische Initialisierung für die ökonomische Perspektive

Umsatz$_{initial}$	*[Euro]*
Eigenkapital$_{initial}$	*[Euro]*
Verbindlichkeiten	*[Euro]*
durchschnittliche Personalkosten	*[Euro]*
Materialaufwand$_{initial}$	*[Euro]*
Stromkosten$_{initial}$	*[Euro]*
Kosten Gas,Wasser,Strom$_{initial}$	*[Euro]*
Kosten Entsorgung$_{initial}$	*[Euro]*
Kosten Schulung$_{initial}$	*[Euro]*
Anlagevermögen$_{initial}$	*[Euro]*
Abschreibungsfaktor	*[dmnl]*

Tabelle 7: Stützvariablen ohne zeitliche Varianz für die ökonomische Perspektive

Steuersatz	= 0.3	*[dmnl]*

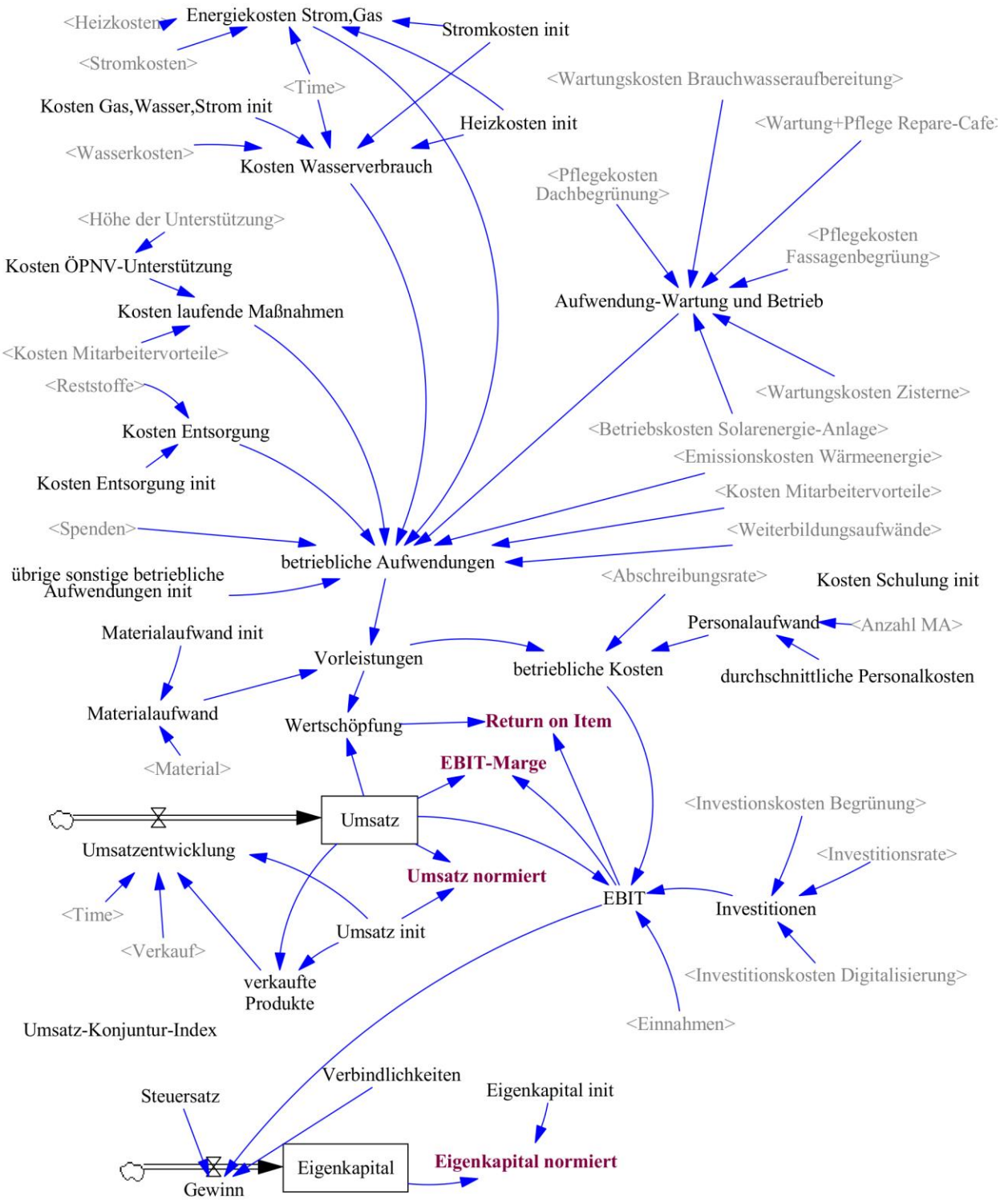


Abbildung 38: Quantitatives Teilmodell „Bilanz“ der ökonomischen Perspektive

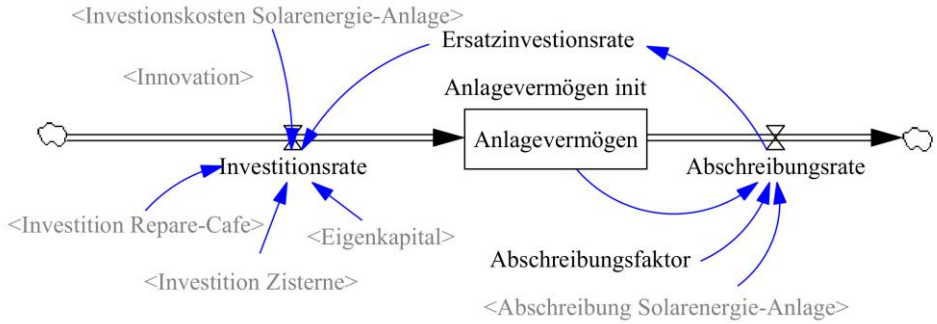


Abbildung 39: Quantitatives Teilmodell „Vermögen“ der ökonomischen Perspektive

Ökologische Perspektive

Die ökologische Perspektive beinhaltet die Einflüsse auf die Umwelt. Es werden die Aspekte der Emissionen, u.a. Lärm, Abgase und Abwasser durch das System Produktionsunternehmen im urbanen Raum betrachtet. Weiterhin wird der Einfluss auf Flora und Fauna durch einen Biodiversitäts-Indikator sowie die Flächenversieglung berücksichtigt. Im Modell wird diese Perspektive durch verschiedene Teilmodelle (Abbildung 40 sowie Anhang 19 bis Anhang 27) repräsentiert, was auf den vielfältigen Wechselwirkungsbeziehungen beruht.

In der ökologischen Perspektive lassen sich die Ergebniskennwerte hinsichtlich eines Umwelteinflusses (vgl. Abbildung 33, Seite 82) ermitteln, wie (Gleichung 8 bis 17) nachfolgend dokumentiert.

Energiebedarf (fossil)= (IF THEN ELSE(Stromenergiebedarf> Solarleistung,Stromenergiebedarf-Solarleistung,0)+(\IF THEN ELSE(Wärmeenergiebedarf>Solarthermieleistung,Wärmeenergiebedarf- Solarthermieleistung\,0)))/Energiebedarf$_{initial}$ [dmnl] (8)

Anzahl MA-KFZ$_{normiert}$= Anzahl MA-KFZ$_{integer}$/Anzahl MA-KFZ$_{initial}$ [dmnl] (9)

Abwasser-Wasser-Ratio= Abwasser/Wasserbedarf Netzbereitstellung [dmnl] (10)

Emission gasförmig= (Emissionen-gasfoermig Verkehr+CO2-Emission)/Emission gasförmig$_{initial}$ [dmnl] (11)

*Biodiversitätsindex= Biodiversität = INTEG (DELAY3(Einfluss auf Biodiversität, 12*4*2),1)* [dmnl] (12)

Verkehrsintensität= Verkehr = INTEG (Verkehrsveränderung,1) [dmnl] (13)

Emission Feststoffe= Emission-fest Verkehr= INTEG ("Zunahme Emissionen-fest-Verkehr",1) [kg] (14)

Emission Lärm= Emission Produktionslärm+Emission Verkehrslärm [dmnl] (15)

*Abwasser Kenngröße= Abwasser/(Wasserbedarf$_{initial}$/(12*4))* *[dmnl]* (16)

Flächenversiegelung= versiegelte Fläche/versiegelte Fläche$_{initial}$ *[dmnl]* (17)

Die genutzten Bestandsgrößen in der ökologischen Perspektive dienen als Hilfsgrößen für die Ermittlung der Ergebniskenngrößen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Ergebniskennwerte normiert werden. Im Gegensatz dazu gibt es Ergebniskenngrößen, die das passende Format bereits besitzen, wie Biodiversitätsindex (Gleichung 12), Verkehr (Gleichung 13) und Emission Feststoffe (Gleichung 14). Für die Bestimmung weiterer Berechnungsgrößen dienen die nachfolgenden Berechnungsvorschriften (Gleichung 18 bis Gleichung 27) sowie im Anhang (Gleichung 66 bis Gleichung 136). Ebenso wird das Teilmodell der ökologischen Perspektive beim Start der Berechnung initialisiert (Tabelle 8 und Tabelle 9).

*Abwasser= INTEG (Veränderung Abwassermenge, Wasserbedarf$_{initial}$/(12*4))* *[m³]* (18)

*Wasserbedarf= INTEG (Veränderung Wasserbedarf, Wasserbedarf$_{initial}$/(12*4))* *[m³]* (19)

Wärmeenergiebedarf= INTEG (Änderung Wärmebedarf,Wärmebedarf$_{initial}$) *[kWh]* (20)

Stromenergiebedarf= INTEG (Änderung Strombedarf, Strombedarf$_{initial}$) *[kWh]* (21)

versiegelte Fläche= INTEG (Veränderung Flächenversiegelung, versiegelte Fläche$_{initial}$) *[m²]* (22)

Emissionen-gasfoermig Verkehr= INTEG (Zunahme Emissionen-gasfoermig-Verkehr,1) *[kg]* (23)

Anzahl Parkflächen= INTEG (Veränderung Parkflächen, Anzahl Parkplätze$_{initial}$) *[dmnl]* (24)

Anzahl MA-KFZ= INTEG (Fahrende MA, Anzahl MA-KFZ$_{initial}$) *[dmnl]* (25)

Emission Produktionslärm= INTEG (Veränderung Produktionslärm, 1) *[dmnl]* (26)

Emission Verkehrslärm= INTEG (Veränderung Verkehrslärm/Emission Verkehrslärm,1) *[dmnl]* (27)

Tabelle 8: Unternehmensspezifische Initialisierung für die ökologische Perspektive

Anzahl Parkplätze$_{initial}$	*[dmnl]*
Stromkosten$_{initial}$	*[Euro/kWh]*
Wasserkubikmeterpreis	*[Euro/m³]*
Anlieferung Anteil-Sprinter$_{initial}$	*[dmnl]*

Häufigkeit Anlieferung$_{initial}$	*[dmnl]*
Wärmebedarf$_{initial}$	*[kWh]*
Häufigkeit Warenabholung$_{initial}$	*[dmnl]*
Abholung Anteil-Sprinter$_{initial}$	*[dmnl]*
Eignung Sprinter-Transport	*[dmnl]*
Durchschnittliche Distanz	*[km]*
Durchschnittliche Dauer KFZ	*[min]*
Durchschnittliche Dauer ÖPNV	*[min]*
Entfernung zum ÖPNV	*[min]*
Anzahl MA-KFZ$_{initial}$	*[dmnl]*
Wasserbedarf$_{initial}$	*[m³]*
versiegelte Fläche$_{initial}$	*[m²]*
Strombedarf$_{initial}$	*[kWh]*
Gebietsfaktor	*[dmnl]*
Straßenfaktor	*[dmnl]*

Tabelle 9: Stützvariablen ohne zeitliche Varianz für die ökologische Perspektive

Varianz der Treibstoffkosten	= 1	*[dmnl]*
Varianz Stromkosten	= 1	*[dmnl]*
Preissteigerung Wasserkosten	= 0.032	*[dmnl]*
Kosten_Pro_km ÖPNV	= 0.15	*[Euro/km]*
Lieferzeit-Optimierung	= 0.12	*[dmnl]*
Laufleistung p.a.	= 15000	*[km]*
Treibstoffkosten	= 1.34	*[Euro/m³]*
Anschaffungskosten	= 25000	*[Euro]*
Schadstoffausstoß-fest KFZ	= 0.007/1500 ≈ 4.667 e-6	*[kg/km]*
Schadstoffausstoß-fest LKW	= 6 e-9	*[kg/km]*
Schadstoffausstoß-fest Sprinter	= 3 e-9 + (7/3) e-6 ≈ 2.3363 e-6	*[kg/km]*
spezifischer Wasserbedarf-Toilette	= 0.03	*[m³]*
spezifischer Wasserbedarf-Hygiene	= 0.004	*[m³]*
Durchschnittliche Lieferentfernung-LKW	= 50	*[km]*
Durchschnittliche Lieferentfernung-Sprinter	= 25	*[km]*
Aufwendungen	= 850	*[Euro]*
Menschlicher Eingriff	= 0.5	*[dmnl]*
Reduktion Weg-ÖPNV	= -0.3	*[dmnl]*
Preissteigerung Stromkosten	= 0.0057	*[dmnl]*
Schadstoffausstoß-gasfoermig LKW	=112.405e-6	*[kg/km]*
Schadstoffausstoß-gasfoermig Sprinter	= 112.405 e-6 + (594.28/3) e-3 ≈ 0.19821	*[kg/km]*

Schadstoffausstoß-gasfoerming KFZ	= 148,57/1500 ≈ 0.09904	*[kg/km]*

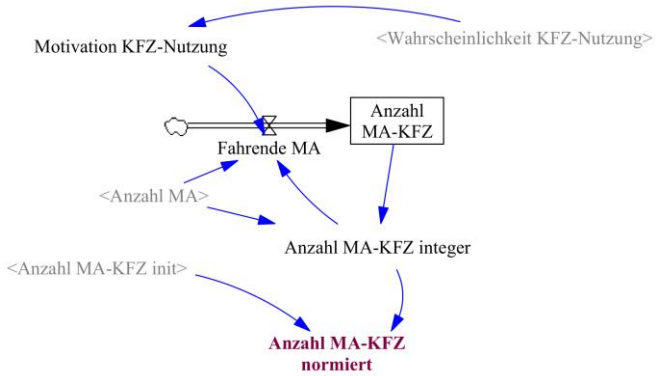


Abbildung 40: Quantitatives Teilmodell „PKW“ der ökologischen Perspektive

Soziale Perspektive

In der sozialen Perspektive liegt der Fokus auf den Menschen im System. Unternehmen sehen den Menschen als Mitarbeitenden oder als Kunden (Binner, 1994). Bezüglich der hier in den Fokus gestellten Betrachtung der Rolle „Mensch“, ist die Personen als Mitarbeitende Bestandteil des Unternehmens. Vielfach nehmen die Unternehmen die Mitarbeitenden als Ressource wahr (Langer, 2017, Rundnagel, 2004). Die Bedeutsamkeit der Ressource Mensch ist zunehmend gewachsen, da er im Gegensatz zu vielen Maschinen dynamisch und flexibel agieren kann (Binner, 1994, Nonaka und Takeuchi, 2012, Boppert, 2013). Je nach Bedarf ist der Mensch fähig in sehr unterschiedlichen Rollen aktiv zu sein und somit verschiedene Funktionen innerhalb der Fertigungsorganisation wahrzunehmen (Spath et al., 2012, Ganschar et al., 2013). Um die gestellten Aufgaben effizient und effektiv zu lösen, bedarf es einer angemessenen Anzahl von Mitarbeitenden mit einer passenden Qualifikation und Motivation (Schmid und Messmer, 2003). Für das Unternehmen ist es demnach erfolgsrelevant die Aspekte positiv zu gestalten, um in der zunehmenden Konkurrenzsituation Fachkräfte zu akquirieren, zu binden und mit den passenden Fähigkeiten auszustatten (Hammer et al., 1993, Binner, 2014).

Für die soziale Perspektive sind deshalb die Kenngrößen Anzahl Mitarbeitende, deren Qualifikation, Krankenstand und Arbeitgeberattraktivität als Ergebniskenngrößen definiert. Diese werden mit den Teilmodellen (Abbildung 41 sowie Anhang 28 bis Anhang 30) ermittelt. Die absoluten Ausgabekenngrößen werden durch Bezug auf die Ausgangswerte (Bestand zum Startpunkt der Szenario-Berechnung) normiert (Gleichung 28 bis Gleichung 32).

$$Anzahl\ MA_{normiert} = INTEGER(ABS(Mitarbeitendenbestand)) / Anzahl\ MA_{initial} \quad [dmnl] \qquad (28)$$

*durchschnittliche Mitarbeiterqualifikation= INTEG ((DELAY1((Aufbaurate Qualifikation),10)-DELAY1((Abbaurate Qualifikation*10),36))/100,1* Anzahl MA$_{initial}$) /Mitarbeitendenbestand* [dmnl] (29)

Index-Krankenstand= Krankenstand= INTEG (Änderung Krankenstand, (Fehltage$_{initial}$/Anzahl MA)/(48)) [dmnl] (30)

*Arbeitgeberattraktivität= (Attraktor Gehalt*0.8+Attraktor Arbeitsumfeld*3+Attraktor Wohnortnähe*3.5+Attraktor Karriere*1+Attraktor Ruf*0.7+Einfluss auf Arbeitgeberattraktivität*1)/10* [dmnl] (31)

Beitrag zum Umfeld= INTEG (Veränderung Umfeldbeitrag,1) [dmnl] (32)

In der sozialen Perspektive des Modells werden zeitlich veränderliche Entwicklungen durch die nachfolgenden Zustandsvariablen (Gleichung 33 bis Gleichung 37) beschrieben. Sie bilden damit Kernargumente in der sozialen Perspektive. Die weiteren Berechnungsvorschriften sind in Gleichung 137 bis Gleichung 168 zu finden.

Schulungen= INTEG (Weiterbildungsbedarf, Anzahl MA$_{initial}$) [dmnl] (33)

Mitarbeitendenbestand= INTEG (DELAY1(Mitarbeiterakquise, Rekrutierungszeit)-DELAY1(Mitarbeiterfluktuation,Kündigungszeiten), Anzahl MA$_{initial}$) [dmnl] (34)

Arbeitszufriedenheit= INTEG (DELAY1(Zunahme Arbeitszufriedenheit/100,36), Arbeitszufriedenheit$_{initial}$) [dmnl] (35)

Familienzufriedenheit= INTEG (Zunahme Familienzufriedenheit, 1.5) [dmnl] (36)

Überstunden= INTEG (Veränderung Stundenkonto, Überstunden$_{initial}$) [h] (37)

Für die Berechnung aller Hilfsvariablen und Ergebniskenngrößen werden unternehmensspezifische Werte (Tabelle 10) benötigt, um einerseits die Normierung auf den Ausgangsbestand herzustellen. Andererseits tragen die Initialisierungsvariablen dazu bei, das Modell auf den Betrachtungsgegenstand zu adaptieren, ebenso wie die Stützvariablen (Tabelle 11).

Tabelle 10: Unternehmensspezifische Initialisierung für die soziale Perspektive

Anzahl MA$_{initial}$	*[dmnl]*
Überstunden$_{initial}$	*[h]*
Pflichtarbeitsstunden	*[h]*
Fehltage$_{initial}$	*[dmnl]*
Wochenarbeitszeit	*[h]*
Unternehmenszugehörigkeit	*[Jahre]*

$Arbeitszufriedenheit_{initial}$	*[dmnl]*
$Anzahl\ MA\text{-}Eltern_{initial}$	*[dmnl]*

Tabelle 11: Stützvariablen ohne zeitliche Varianz für die soziale Perspektive

Attraktor Ruf	= 1	*[dmnl]*
Attraktor Arbeitsumfeld	= 1	*[dmnl]*
Attraktor Gehalt	= 1	*[dmnl]*
Flexibilisierung Beschäftigung	= 0.7	*[dmnl]*
Wettbewerbsfaktor MA	= 0.2	*[dmnl]*
PI-Konstante	≈ 3,232315809	*[dmnl]*

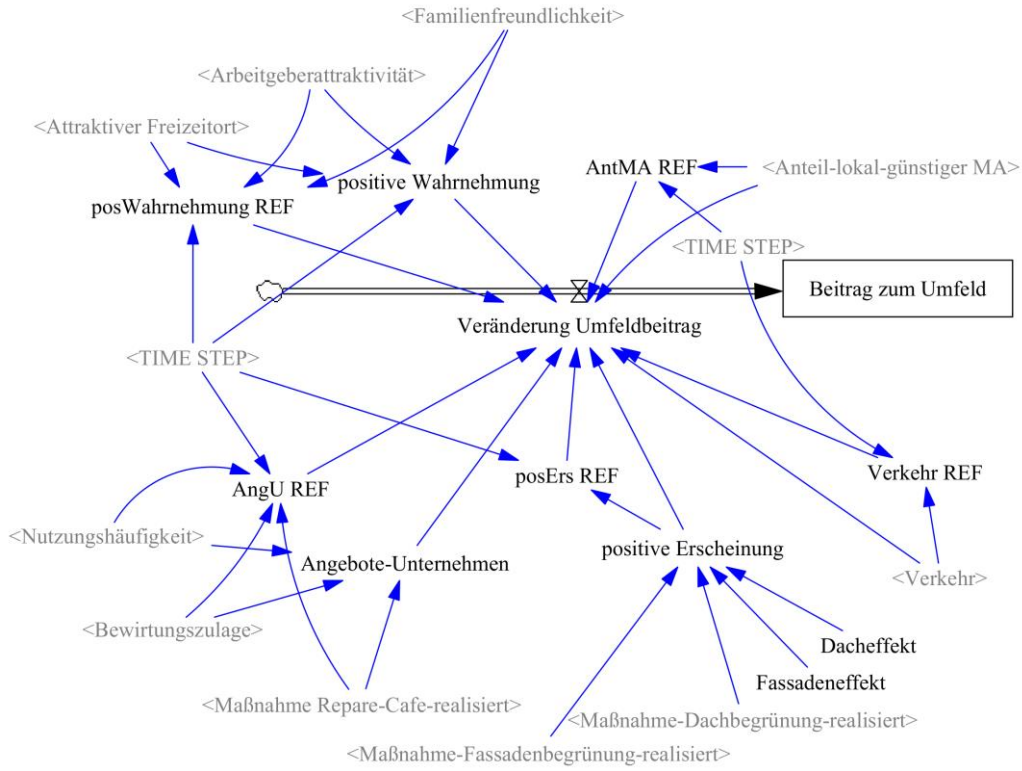


Abbildung 41: Quantitatives Teilmodell „Beitrag zum Umfeld“ der sozialen Perspektive

Produktionsperspektive

Die Produktion stellt gemäß ihrer Definition nach Gutenberg (1971) einen Transformationsprozess aus Eingangsfaktoren zu einem Ergebnis dar. In dieser Perspektive wird der Materialbedarf mit dem hergestellten Produkt verknüpft. Durch die Integration von Innovationen wird die Optimierung des Verhältnisses und der potenzielle Effekt auf die mit der Herstellung verbundenen Kosten unterstützt. Damit wird in dieser Beziehung einer Produktivitätssteigerung durch technologische Innovationen und effizientere Prozesse Rechnung getragen (Vosskamp und Schmidt-Ehmcke, 2006).

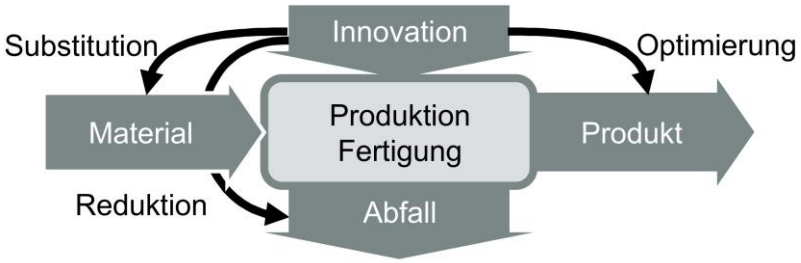


Abbildung 42: Zusammenhang der Ergebnisgrößen in der Produktionsperspektive

Im Rahmen der Produktionsperspektive werden drei wesentliche Ergebniskenngrößen ermittelt, die in direktem Zusammenhang der Produktion stehen: Material, Abfall und Innovation (Gleichung 38 bis Gleichung 40). Vereinfacht kann der Zusammenhang der drei Ergebnisgrößen gemäß Abbildung 42 dargestellt werden. Für die Ausgabe wird die Ergebnisgröße von einer Zustandsvariable in eine Hilfsvariable übergeben, welche eine Visualisierung vereinfacht.

Innovativeness= Innovation=
INTEG (Zunahme Innovation-Abnahme Innovation,1) *[dmnl]* (38)

Abfall= Reststoffe= INTEG (Zunahme Reststoffe, 1) *[dmnl]* (39)

Materialeinsatz= Material= INTEG (Zunahme Materialbedarf,1) *[dmnl]* (40)

Um die Ergebnisvariablen für die Betrachtungsdimension Produktion zu ermitteln, sind die nachfolgenden vier Berechnungsvariablen (Gleichung 41 bis Gleichung 44) zugrunde gelegt. Die weiteren Berechnungsbeziehungen der Teilmodelle in der Produktionsperspektive (Abbildung 45 sowie Anhang 31 bis Anhang 35) sind im Anhang ausführlich dokumentiert (Gleichung 168 bis Gleichung 215).

*Zunahme Reststoffe= (Material-1)*Materialausnutzungskoeffizient/ Reststoffe* *[dmnl]* (41)

Abnahme Innovation= Innovation/(Innovationsindex+(Innovationszyklus_Branche(Brachenzugehörigkeit)/FINAL TIME)+Innovation/(Direkte Marktbegleiter/100)) *[dmnl]* (42)

*Zunahme Innovation= ((Innovationsindex+(Neugierde neues Probieren+Bereitschaft kreative Tätigkeit))*Marktgröße*0.2)/(10*Innovation)* *[dmnl]* (43)

Zunahme Materialbedarf=DELAY3((Zunahme Verkaufserfolg"Material-Produkt-Ratio")*(Innovation*Effizienzssteigerung\(Kalenderjahr)), 1)* *[dmnl]* (44)

Neben den berechneten Variablen befinden sich auch in der Produktionsperspektive Initialisierungsvariablen. Dabei ist zwischen den unternehmensspezifischen (siehe Tabelle 12) und den generischen Werten zu unterscheiden. Die generischen Variablenwerten lassen sich nochmals

unterscheiden in zeitinvariante Stützwerte (Tabelle 13) sowie über den Betrachtungszeitraum variable Stützwerte. So existiert ein branchenspezifischer Zyklus bei den Basistechnologien (siehe Abbildung 43). Darüber hinaus ist die wirtschaftliche Entwicklung eines Unternehmens von der konjunkturellen Lage der Wirtschaft betroffen (siehe Abbildung 67). Diese Korrelation ist abhängig von Branche und Kundengruppe teils unterschiedlich und ist zumeist einer unterjährigen Schwankung unterworfen (siehe Abbildung 68), wodurch die Anforderungen an die Produktion nicht konstant sind.

Tabelle 12: Unternehmensspezifische Initialisierung für die Produktionsperspektive

durchschnittliche Produktionszeit	*[dmnl]*
Materialausnutzungskoeffizient	*[dmnl]*
Umsatzprognose	*[Euro]*
Wissensintensivitäts-Index	*[dmnl]*
Ausgaben in FuE	*[Euro]*
Material-Produkt-Ratio	*[dmnl]*
$Lager_{initial}$	*[dmnl]*
Materialausnutzungskoeffizient	*[dmnl]*

Tabelle 13: Stützvariablen ohne zeitliche Varianz für die Produktionsperspektive

durchschnittliche Verkaufszeit	= 1	*[dmnl]*
Gewichtungsfaktor Konjunktur	= 9	*[dmnl]*
Varianzwert Konjunktur	= 1	*[dmnl]*
Direkte Marktbegleiter	= 2	*[dmnl]*
Marktgröße	= 0.5	*[dmnl]*
Branchenzugehörigkeit	= 3	*[dmnl]*
Anzahl Cluster	= 3	*[dmnl]*
Anzahl Ideen	= 5	*[dmnl]*

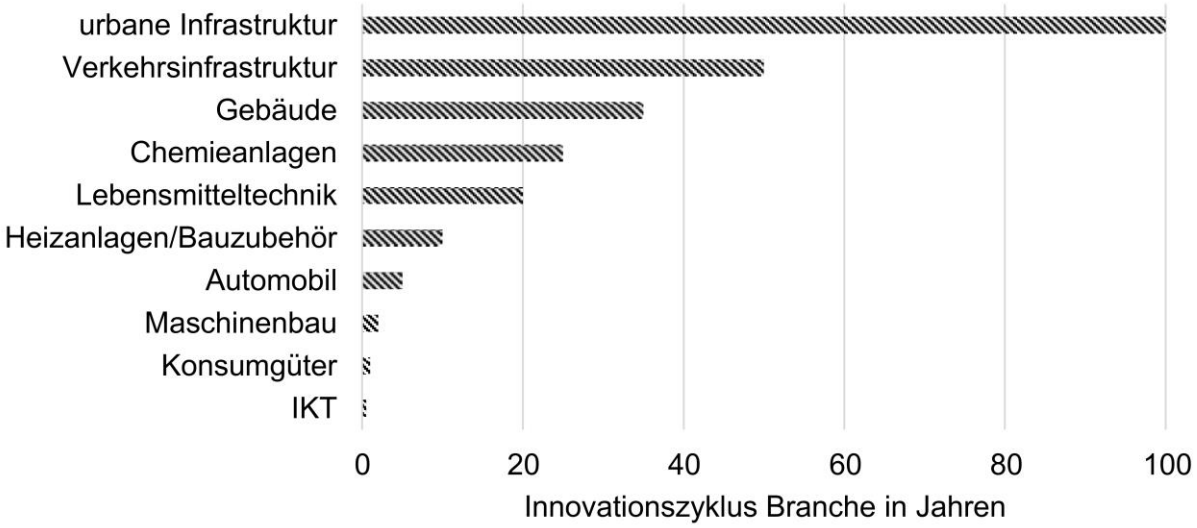


Abbildung 43: Generischer branchentypischer Innovationszyklus in Jahren (Klose, 2016, Spath, 2008, Schlund, 2014)

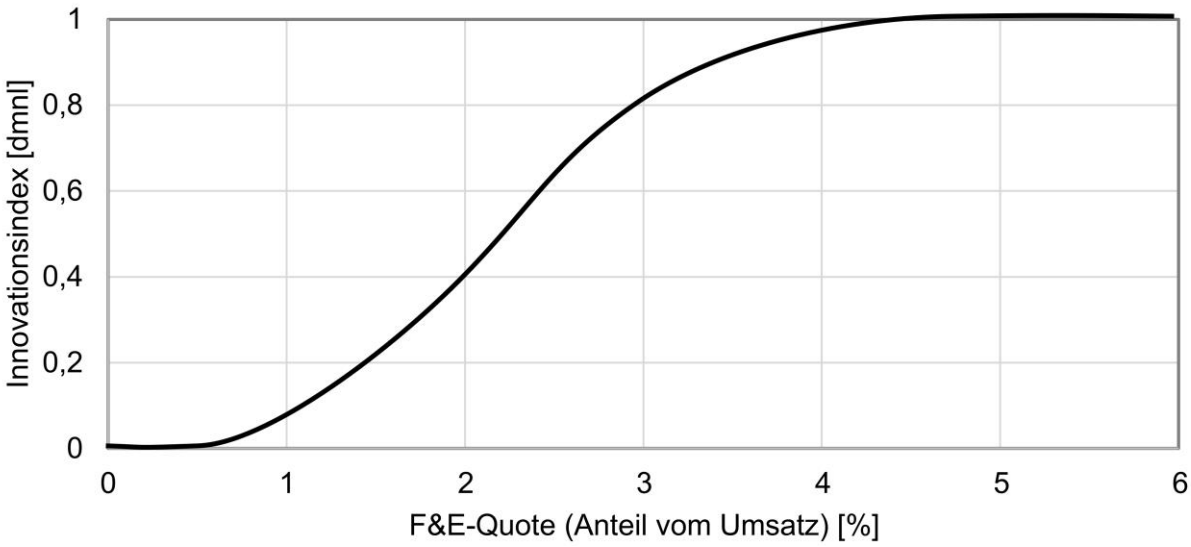


Abbildung 44: Zusammenhang der Innovationsfähigkeit von Unternehmen mit Bezug zu den Aufgaben für Forschung und Entwicklung (F&E) (in Anlehnung an (Klose, 2017)

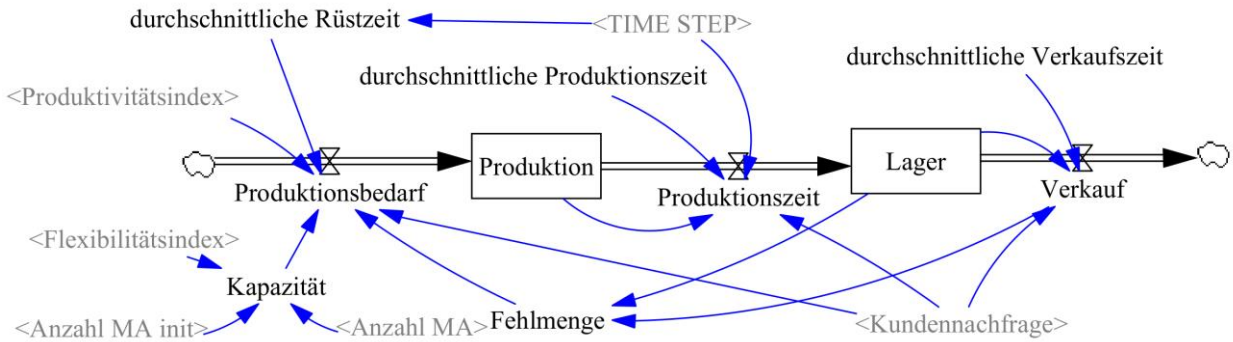


Abbildung 45: Quantitatives Teilmodell „Produktion“ der Produktionsperspektive

Rahmenbedingungen

Das Modell besitzt eine weitere Ebene, welche allgemeine Rahmenbedingungen und benötigte Hilfsgrößen berechnet. Die relevanten Teilmodelle (Anhang 36 bis Anhang 40) dienen zur Berechnung von Jahresverlauf und etwaiger Abhängigkeiten des Wetters, was Einfluss auf Niederschlag, Sonneneinstrahlung und Außentemperatur hat.

5.6 Beschreibung der Maßnahmenwirkung für die Szenario-Ausprägung

Um Nachhaltigkeit langfristig in Unternehmen und Prozessen zu verankern, müssen konsequent Maßnahmen und Optimierungen vorgenommen werden. Denn eine einmalige Umstellung auf nachhaltige Prozesse, Verhaltensweisen und Denkmuster erscheint aufgrund bestehender Rahmenbedingungen nicht realistisch. Die Veränderung des menschlichen Verhaltens ist ein langfristiger Prozess. Auch sind die wenigsten Unternehmen mit einmaligem Mittelaufwand auf Nachhaltigkeit umstellbar, da die benötigten Mittel weder frei verfügbar sind, noch diese als wirtschaftlich sinnvoll erachtet werden. Basierend hierauf spielt die Bewertung des aktuellen Zustands und der dringenden Maßnahmen eine wichtige Rolle (Deif, 2011). Deshalb müssen mögliche Maßnahmen beschrieben und bewertet werden, um deren Einfluss auf die Zielerreichung einzubeziehen.

Dazu wird das generische Modell um die zusätzliche Perspektive ‚Weiterentwicklungsmaßnahmen' erweitert. In dieser Perspektive erfolgt die modellbezogene Beschreibung der Maßnahmen für die urbane Produktion. Diese Maßnahmen nutzen im generischen Modell existierende Variablen für die Berechnung der Maßnahmenwirkung, ergänzt um Maßnahmen-spezifische Variablen und Berechnungsvorschriften.

Besonderheit in dieser Perspektive ist der Import von Zeitinformationen. Für jede Maßnahme wird ein Wirkungsstart definiert, der ausgehend vom Startpunkt der Simulation definiert wird. Jedwede Interaktion mit dem systemdynamischen Modell und der enthaltenen Variablen beginnt erst nachdem die Simulationszeit größer als der Wirkungsstartzeitpunkt ist. Dies ist möglich, da bei der systemdynamischen Simulation für jeden Zeitschritt alle Zustandsvariablen, Flussvariablen und Hilfsvariablen berechnet werden, danach wiederholt sich dieser Vorgang für den nachfolgenden Zeitschritt.

Da nur Maßnahmen mit einem Wirkungsstart innerhalb des Simulationszeitraums berücksichtigt werden, liegt hier der Hebel für die Ausprägung möglicher Szenarien. Somit ist es den Unternehmen ebenfalls möglich, unterschiedliche Investitionszeitpunkte zu untersuchen bzw. die Investitionen auch gemäß existierenden Rahmenbedingungen zeitlich abzustimmen. Maßnahmen, ist deren Wirkungsstart später als der letzte Simulationszeitschritt festgelegt, bleiben unberücksichtigt. Die

allgemeine Umsetzung im Modell ist in Abbildung 46 dargestellt und erfolgt mittels einer TRUE/FALSE Abfrage, die sich durch den Abgleich von aktuellem Simulationszeitschritt und Wirkstartzeitpunkt ergibt.

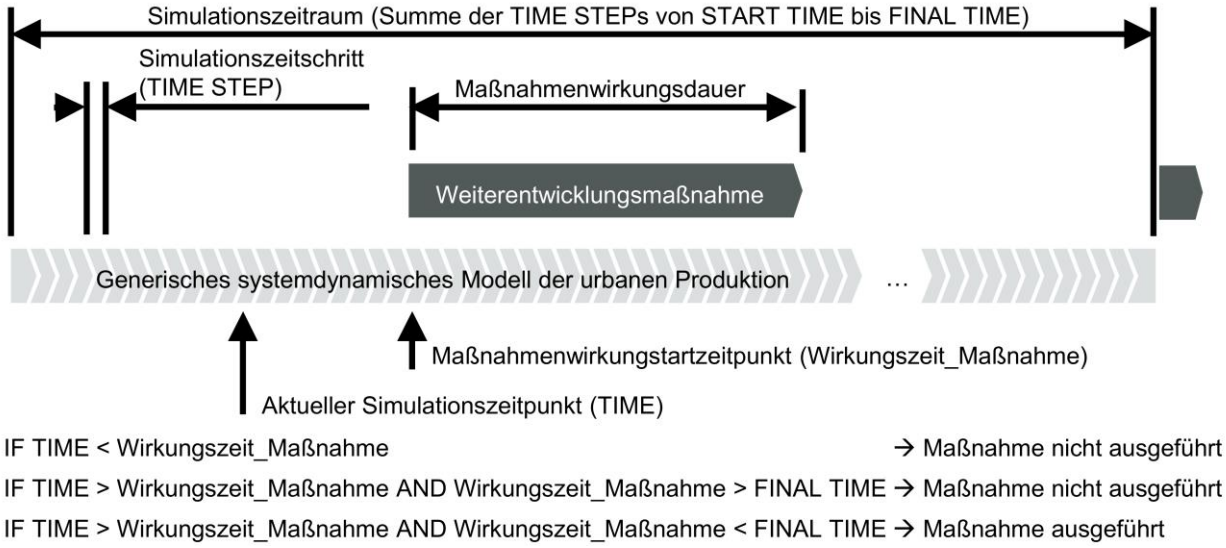


Abbildung 46: Ansatz zur zeitsensitiven Einbindung von Weiterentwicklungsmaßnahmen

5.7 Auswahl von Maßnahmen für die Betrachtung

Die nachfolgend betrachteten Maßnahmen sind exemplarisch für potenzielle Maßnahmen im Kontext der urbanen Produktion. Gemäß den Betrachtungen in Kapitel 4.3 ist sichergestellt, dass die ausgewählten Maßnahmen mindestens jede Nachhaltigkeitsdimension und jeden Aspekt aus arbeitswissenschaftlicher Sicht abdecken. Somit soll jede Perspektive für die Szenario-Erzeugung exemplarisch berücksichtigt werden können.

Jedes produzierende Unternehmen passt sich immer wieder an die veränderten Rahmenbedingungen an. So werden Produktionstechnologien erneuert. Ebenso werden Arbeitsmethoden und Werkzeuge dem Stand der Zeit angepasst. Ein Unternehmen befindet sich demnach im ständigen Wandel und unterliegt kontinuierlicher Weiterentwicklung (Bauer und Lentes, 2014, S. 7).

Systematisch gelingt durch den Abgleich der Wirksamkeit in den Nachhaltigkeitsdimensionen mit der arbeitswissenschaftlichen Perspektive, die Konkretisierung von Maßnahmen zur Weiterentwicklung gemäß dem Rahmen urbaner Produktion. Die Zielsetzung der urbanen Produktion sind nachhaltige Prozesse und Handlungsweisen. Daraus resultiert, dass die Maßnahmen auf alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen einzahlen. Selbstverständlich kann einer Dimension ein verstärkter Beitrag zukommen. Diese Dimension lässt sich als Hauptzielrichtungsdimension beschreiben, daraus sollte jedoch keine Vernachlässigung der verbliebenen Dimensionen resultieren. Für eine

ganzheitliche Berücksichtigung der arbeitswissenschaftlichen Perspektiven besitzt die Maßnahme mindestens zwei arbeitswissenschaftliche Ausprägungen, wobei deren Priorität unterschiedlich sein kann.

Um den Ansatz zur Ableitung der Passfähigkeit der Weiterentwicklungsmaßnahme greifbar zu gestalten, wird diese nachfolgend beispielhaft durchgeführt. Bei der beispielhaft betrachteten Maßnahme handelt es sich um die Reduktion des Lieferverkehrs. Die Maßnahme zielt auf einen positiven Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit ab. Dies wird durch die Anpassung der organisatorischen Maßnahmen erreicht. Neben den organisatorischen Anpassungen muss technologische Weiterentwicklung erfolgen, um aktuell erzielte Ergebnisse auch nach Realisierung der Maßnahme erzielen zu können. Neben dem Hauptbeitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit erfolgt ebenso ein Beitrag zur sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit. Die detaillierte Betrachtung ist Abbildung 47 zu entnehmen.

Abbildung 47: Ableitung von Maßnahmen aufbauend auf dem Gestaltungsrahmen der urbanen Produktion

Weiterentwicklungen im Sinne der urbanen Produktion adressieren direkt und mittelbar das Spannungsfeld, welches von Bauer (2015b, S. 12) beschrieben wird. Demnach tragen diese Maßnahmen dazu bei, eine Verbesserung in den Handlungsfeldern der urbanen Produktion zu erzielen.

5.7.1 Ansatz zur Implementierung von Maßnahmen in das Systemdynamische Modell

Um die Maßnahmen in ihrer Wirkung auf das Unternehmen im Modell berücksichtigen zu können, müssen sie kompatibel modelliert sein. Dabei kann die Identifikation von potenziellen Wirkmechanismen unterstützend sein. Sind diese identifiziert, können sie in Wirkbeziehungen übersetzt werden. Als Grundlage dient die Ausprägung eines Kausalmodells spezifisch für jede Maßnahme. Auf dieser Grundlage lassen sich relevante Variablen extrahieren und deren Beziehungen untereinander darstellen. Im Rahmen dieser Aufbereitung ist zu klären, ob die benötigte Information standortspezifisch, universell oder unternehmensspezifisch ist. Damit wird die Grundlage für die Erhebung der Variablen gelegt, da die Informationsquelle definiert wird.

Da das Wechselwirkungsmodell mit der Ergänzung der Maßnahmen in der Größe zunimmt, ist eine Konzentration des Beziehungsgeflechts auf die grundlegenden Wirkungen sinnvoll. Denn mit der steigenden Komplexität erhöht sich auch die Fehleranfälligkeit der Modellierung. Die Reduzierung der Komplexität wird durch die Vereinfachung von Wirkbeziehungen, insbesondere Beziehungen außerhalb der Systemgrenze, erreicht. Mit dem reduzierten systemdynamischen Modell der Maßnahme können Auswirkungen auf das generische Modell untersucht werden. Dazu wird das Wechselwirkungsmodell der Maßnahme als eigenes System im Gesamtsystem betrachtet und Schnittstellen zwischen den Systemkomponenten analysiert. So lassen sich Auswirkungen auf das generische Unternehmensmodell ableiten bzw. auch nicht relevante Bezüge identifizieren.

Durch Übersetzung der Variablen des Kausaldiagramms in Variablen des Zustandsflussdiagramm wird die Wirkung in das generische Modell implementiert. Somit wird die Maßnahme Bestandteil des systemdynamischen Modells, welches für die Betrachtung genutzt wird. Für die Realisierung des Szenario-Ansatzes muss die Wirkung der Maßnahme zeitlich steuerbar sein. Es ist nötig, einen Beginn der Wirksamkeit zu definierten, um die zeitliche Komponente der Maßnahme entsprechend im Modell auszuprägen. Das Teilmodell wird um einen Wirkungszeitpunkt ergänzt, der in Relation zum Simulationsstartpunkt gesetzt wird. Mit diesem Ansatz kann sichergestellt werden, dass sich die in der Maßnahme modellierten Wirkung erst nach dem Wirkungszeitpunkt auf das Unternehmensmodell auswirkt. Vor diesem Zeitpunkt bleibt die Maßnahme bzw. die Auswirkungen, die durch das Teilmodell erzeugt werden, unberücksichtigt.

Diese Schritte müssen für jede Maßnahme individuell erfolgen. Im Zuge dieser Betrachtung ist die Erstellung der Teilmodelle ausschließlich für ausgewählten, nachfolgend beschriebenen Maßnahmen erfolgt.

5.7.2 Nachhaltige Wassernutzung durch Wasseraufbereitung

Fabriken erfordern eine große Flächenversiegelung. Dazu zählen neben den Dachflächen auch Wege- und Lagerflächen. Das Wasser, welches über diese Flächen gesammelt wird, fließt einerseits in die Kanalisation oder andererseits über nicht versiegelte Flächen in den Grund (Sartorius, 2007, S. 4–5). Gemäß den Nachhaltigkeitszielen der Europäischen Union (Sustainable Development Goals) stellt die Optimierung des Ressourcenverbrauchs eine relevante Optimierungsrichtung dar. Dabei spielt die Ausnutzung der verfügbaren Wasserressourcen ebenso eine wichtige Rolle wie die Verschmutzung weiter zu reduzieren.

Hierbei kann die Wasseraufbereitung an verschiedenen Stellen im Unternehmen einen Beitrag zur optimierten Nutzung der verfügbaren Wassermengen leisten (Abbildung 48). Ebenso kann die Aufbereitung von verschmutztem Wasser eine Zweitnutzung ermöglichen. Oder es lässt sich zumindest teilweise auch Trinkwasserqualität herstellen, wodurch die Nutzung nicht eingeschränkt wird. Somit lässt sich zumindest ein Anteil des Wassers direkt weiternutzen und Abwassermenge reduzieren. Bei entsprechender Aufbereitung könnte eine Rückführung in den natürlichen Kreislauf erfolgen können.

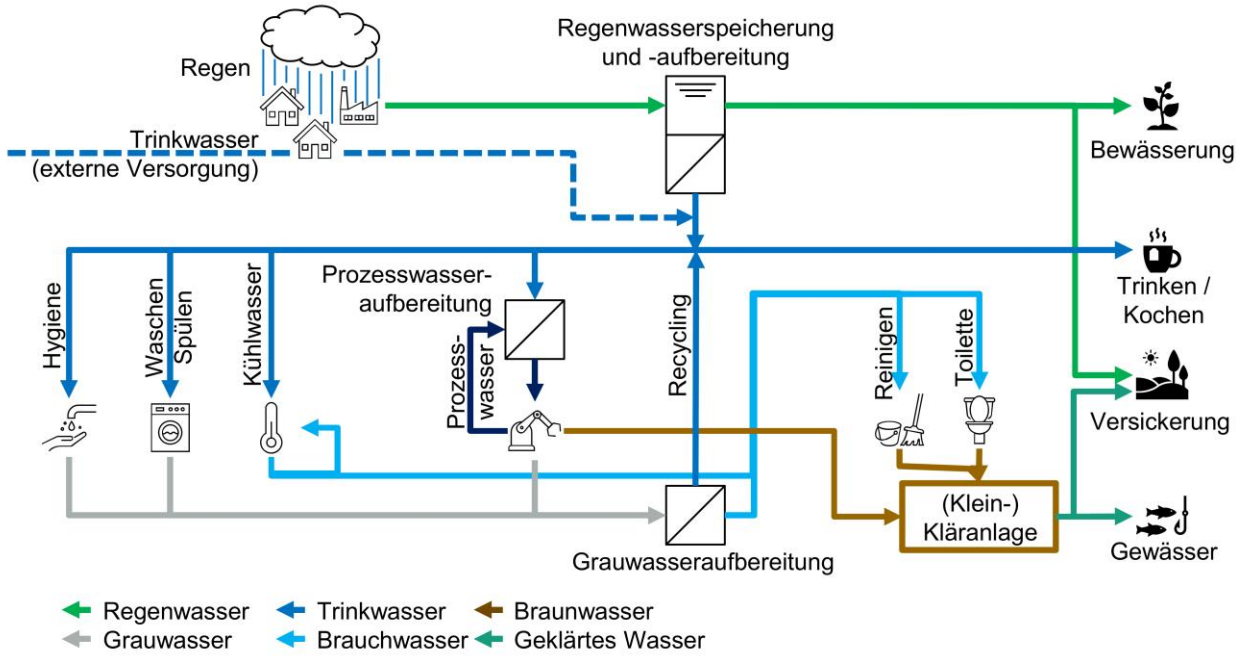


Abbildung 48: Schematische Darstellung der Wirkzusammenhänge der Wassernutzung unter Einsatz von Wasseraufbereitung (in Anlehnung an Sartorius, 2007, S. 5 und Ergänzung durch Aspekte aus Ante et al., 2018, S. 22–23)

Für kleine und mittlere Unternehmen kann die Regenwasseraufbereitung und Weiternutzung ein probater Ansatz sein, denn mit überschaubaren Investitionen lassen sich bereits belastbare Beiträge realisieren (Sartorius, 2007, S. 6–7). Dabei kann die Aufbereitung des Regenwassers mit dem Ziel Trinkwasser-Qualität zu schaffen erfolgen. Deutlich weniger Aufwand stellt die Aufbereitung für den Einsatz als Brauchwasser dar. Die Brauchwasser-Aufbereitung kann auch genutzt werden, um Grauwasser durch Behandlung in Brauchwasser-Qualität umzuwandeln. Mit diesem Ansatz kann bereits ein großer Teil des durch Mitarbeitende induzierten Wasserbedarfes abgedeckt werden, in dem wertvolles Trinkwasser reduziert wird (Feulner et al., 2005, S. 22–24).

5.7.3 Reduktion der Versiegelung von industriell genutzten Flächen

Durch den Ausbau von Verkehrs- und Infrastrukturflächen werden zunehmend ökologisch wichtige Flächen versiegelt. Damit werden diese Flächen undurchlässig für Wasser und Licht (Gebhard und Bertelmann, 2020). Nach aktuellen Erhebung sind 46 % der Siedlungsfläche in Deutschland, Tendenz weiter steigend, versiegelt (BUND, 2020). Nach Empfehlungen der Kommission Bodenschutz des Umweltamtes muss die Versieglung gestoppt aber zumindest stark reduziert werden (Wiggering et al., 2009). Durch konkretes Einwirken der deutschen Regierung konnten Maßnahmen beschlossen werden, um den Anstieg der Flächenversieglung in Deutschland zu reduzieren. So konnte die Zunahme der Versieglung von 104 h/Tag auf 45 h/Tag in den letzten 10 Jahren gesenkt werden (Wilke, 2021). Doch nach Berechnungen von Schröter, wird es bei anhaltender Zunahme der Versiegelung in 1820 Jahren nur Flächen für Siedlungsnutzung und Verkehr geben , neben den Wasserflächen (Schröter, 2020).

Auch Unternehmen tragen durch Ihre Verkehrs-, Wege- und Lagerflächen sowie Verdichtung von Grünflächen zur Versieglung bei. Unternehmen können durch Rückbau der Versiegelung und Renaturierung einen Beitrag leisten, insbesondere wenn dabei durchwurzelbare Flächen erzeugt werden (Ekardt, 2001).

Mit der Reduktion von versiegelten Flächen können verschiedene Ziele verfolgt werden (Abbildung 49). Durch die Schaffung von Versickerungsflächen können Auswirkungen durch Starkregenereignisse besser kompensiert werden (Gebhard und Bertelmann, 2020). Denn die gebauten Kanalisationssysteme sind selten für die Wassermengen bei Starkregen dimensioniert. Deshalb entstehen zeitweise stehende Gewässer in Siedlungsflächen, bis das Wasser abgeleitet werden kann. Das versickernde Wasser füllt Grundwasservorräte auf und bietet Bewässerung für die existierende Fauna (BUND, 2020). Auch trägt die Vergrößerung der natürlichen Fläche durch die wachsende Fauna zur Steigerung von Biodiversität bei. Für unterschiedlichste Arten bietet eine begrünte Fassade oder pflanzenbewachsenes Dach einen zusätzlichen Raum zur Entfaltung.

Ebenso tragen die Pflanzen zur Verbesserung der Luft bei. Einerseits reinigen Pflanzen die Luft, anderseits beeinflussen sie das Umgebungsklima positiv (Hagen, Stiles und Trimmer, 2010, S. 14 – 16).

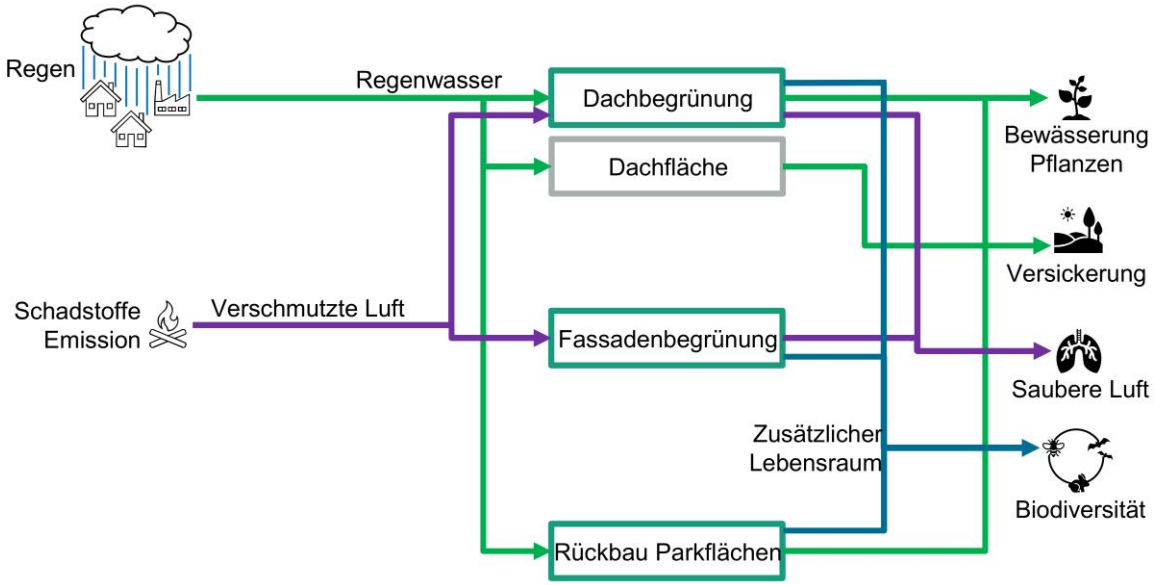


Abbildung 49: Schematische Zusammenhänge für die Reduktion von versiegelten Flächen

Maßnahmen zur Erreichung einer Reduktion von Versieglungsflächen sind bei Unternehmen auf und am Gebäude oder bei Wegeflächen zu finden. So können bestehende Dachflächen nachträglich begrünt werden. Die renaturierte Fläche dient als Wasserspeicher und puffert Niederschläge. Durch die Verdunstung erfolgt an heißen Tagen zusätzlich eine Kühlung. Ebenso tragen die Pflanzen zur Klärung der Luft bei (Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf, 2012, S. 2). Außerdem bieten diese Flächen Lebensraum und Nahrungspotenzial für Insekten und Vögel und tragen so zur Artenvielfalt bei (Mann, 2020, S. 6). Eine ebenso positive Wirkung auf die Biodiversität haben begrünte Fassaden. Sie haben zusätzliche positive Effekte, so beeinflussen sie das Mikroklima sowohl zum Gebäude hin als auch dem unmittelbaren Umfeld der Begrünung (Mann und Mollenhauer, 2019, S. 14–16). Gleichsam bietet die Struktur der Bepflanzung das Potenzial die Geräusch- und Lärmmindernd zu wirken (Mann, 2019). Der Rückbau von Wegeflächen ist für Unternehmen am schwierigsten zu bewerkstelligen. Der Grund sind die Wechselwirkungen mit anderen Zielgrößen (Oehler et al., 2019, Wölfel et al., 2014). Gleichsam bietet diese Maßnahme positive Effekte für Wasserversickerung und Kreation von Lebensraum.

5.7.4 Steigerung der Nutzung von regenerativen Energien

Unternehmen benötigen für Ihre Prozesse sowohl elektrische und teilweise thermische Energie. Aktuell wird ca. 52 % der Energie in Deutschland mit fossilen Energieträgern erzeugt (Strom-Report, 2021). Durch die Verbrennung fossiler Energieträger werden CO_2 sowie andere Schadstoffe emittiert. Die verarbeitende Industrie ist gemäß emittierten Schadstoffen und Treibhausgase nach der Energiewirtschaft zweitgrößter Emittent jener Stoffe. Sie ist mit 7,9 % direkter Emissionen aus der Produktion und 16,2 % der energetisch induzierten Emissionen verantwortlich (Umweltbundesamt, 2021). Um die europäischen Klimaziele zu erreichen, spielt der Beitrag der Unternehmen eine wichtige Rolle. Demnach müssen die Treibhausgasemissionen um 20 % gegenüber dem „business as usual"-Szenario gesenkt werden und gleichzeitig ist eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf 20 % nötig (Umweltbundesamt, 2019). Durch die von der Bundesregierung initiierte Energiewende wird der Anteil erneuerbarer Energieerzeugung in der Energiewirtschaft erhöht (Strom-Report, 2021). Besonders energieintensive Industrien müssen zur Reduktion von Emissionen beitragen. Durch entsprechende Förderprogramme wie u.a. dem zweiten Energieforschungsprogramm werden technologische Innovationen zur Emissionsreduktion in Entwicklung und Implementierung unterstützt (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2021, Kompetenzzentrum Klimaschutz in Energieintensiven Industrien, 2021, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017). Diese Maßnahmen werden durch CO_2-Bepreisung flankiert. Mit dem „Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen" wird die Erzeugung von CO_2-Emissionen mit zusätzlichen Abgaben beaufschlagt (Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, 2020). Dadurch sind die Erzeugung und der Verbrauch von Energie aus fossilen Energieträgern für Unternehmen und Endverbraucher mit erhöhten Kosten verbunden. Es sind nach Jahren gestaffelt Abgabenhöhe je Tonne Emission in CO_2-Äquivalent geregelt (Frondel, 2019).

Ein passender Ansatz für Unternehmen kann die Kombination aus Eigenerzeugung und Fremdbezug sein. Bei der Eigenerzeugen kann das Unternehmen auf erneuerbare Energieerzeugung setzen. So können existierende Dachflächen mit Photovoltaik oder Solarthermie überbaut werden, um Sonnenenergie zu nutzen. In einigen Bundesländern, wie z.B. Baden-Württemberg durch Anpassung im Klimaschutzgesetze des Landes, ist ab 2022 bei industriellen Neubauten eine Photovoltaik-Anlage für die Dachfläche verpflichtend für die Baugenehmigung vorgeschrieben (Landtag von Baden-Württemberg, 2020).

Durch die Ergänzung des Energiebezuges durch Photovoltaik oder Installation einer Kraft-Wärme-Kopplung kann ein erhöhter Anteil der elektrischen Energie für Beleuchtung, Büroausstattung und die Produktion aus regenerativ erzeugt werden (Abbildung 50). Damit werden CO_2-Emissionen reduziert und die Autarkie des Unternehmens gegenüber Schwankungen erhöht werden (Köse und

Sauer, 2021). Für die Warmwassererzeugung für Hygiene und Heizung kann Solarthermie einen Beitrag leisten. Optimiert wird die Nutzung von regenerativer Energie, wenn Pufferspeicher integriert werden (Bachmann et al., 2021). Bei Bestandsanlagen kann durch Kraft-Wärmekopplung der Ausnutzungsgrad der fossilen Brennstoffe ebenfalls erhöht werden, mit einer positiven Wirkung für Klima und Umwelt (Köse, Willer und Sauer, 2021). Bei Ersatzinvestitionen sollte in diesem Kontext auf energieeffizienten Maschinen fokussiert werden. Auch kann die Sammlung von Energiedaten in der Produktion dabei unterstützen, Optimierungspotenziale sichtbar zu machen (Davé et al., 2016, Köse und Sauer, 2019). Aktuell wird an optimierten Betriebszyklen geforscht, wodurch Bedarfsspitzen reduziert und damit der Energieverbrauch zusätzlich optimiert werden kann (Köse, 2017).

Für Unternehmen kann die Nutzung von freien Flächen auf dem Betriebsgelände einer doppelten Nutzung zugeführt werden. Mit der Schaffung von „produktiven“ Flächen, durch Installation von Photovoltaik- oder Solarthermie-Modulen wird eine zusätzliche Versieglung vermieden und durch den Beitrag zu der Gewinnung regenerativer Energie ein Beitrag zur Nachhaltigkeit geschaffen. Ein Ansatz ist aktuell ungenutzte Dachflächen mit Solarenergieanlagen bestücken, wobei die Statik der Gebäude zu berücksichtigen ist. Gleichsam können Parkflächen verschattet werden, wofür Photovoltaikanlagen genutzt werden können. Weitere Lösungen sind die Integration von Solarelementen in die Gebäudefassade und Parkflächen (Starlinger, 2018, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021).

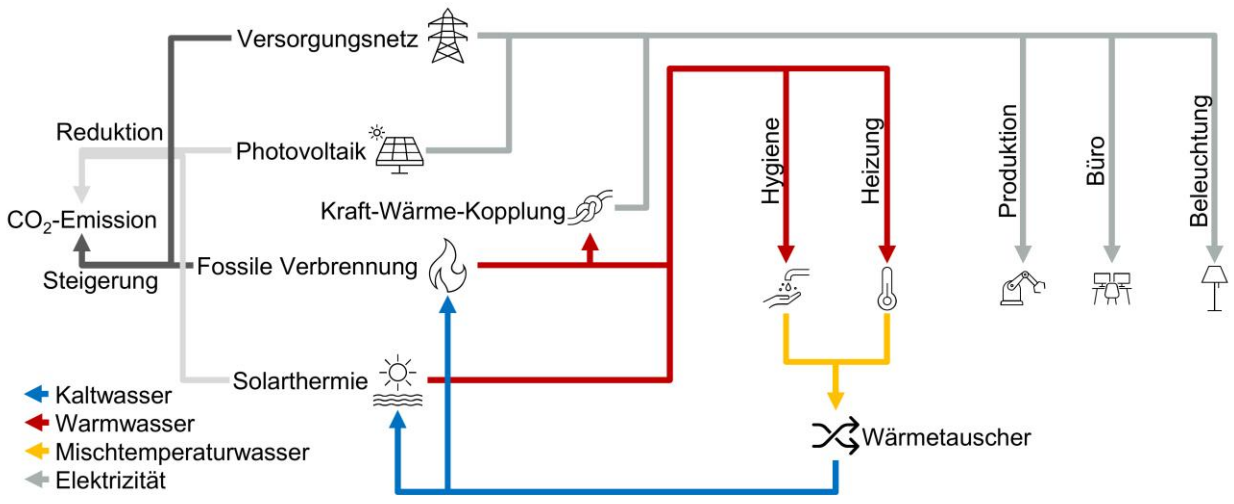


Abbildung 50: Schematische Darstellung der Wirkzusammenhänge des Einsatzes von regenerativer Energiegewinnung

5.7.5 Steigerung des Einsatzes von Digitalisierungsmethoden der Produktion

Mit der Entwicklung von Rechentechnik wurde deren Nutzung zur Produktivitätssteigerung in der Produkterstellung analysiert (Shaw, 1987). Durch die zunehmende Erzeugung, Verwaltung, Verarbeitung und Bereitstellung von Daten und Informationen in digitaler Form bietet sich das Potenzial zu Schaffung von Transparenz. Bereits in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde die Nutzung von digitalen Informationen mittels Computer Integrated Manufacturing (CIM) beschrieben (Laengle et al., 2018). Auch wenn die Vernetzung von Maschinen und die Verteilung der Daten bereits ab 1986 als Basis für die Fabrik der Zukunft prognostiziert wurde (Maira, 1986), war die Technik noch nicht leistungsstark genug, um eine großflächige Umsetzung zu unterstützen. Erst die fortschreitende Miniaturisierung von Rechentechnik erlaubte eine verstärkte Verbreitung. Die verstärkte Durchdringung der Produktion mit neuen Technologien wurde als Potenzial für die Fertigungsindustrie betrachtet, um im globalisierten Wettbewerb bestehen zu können (Abele und Reinhart, 2011, S. 10–14). Der Einsatz von Digitalisierungstechnologie wurde ab 2012 unter dem Begriff „Industrie 4.0“ maßgeblich gefördert (Wahlster, 2014). Als Potenzial der zunehmenden Verfügbarkeit von Informationen und Daten aus der Produktion wurde die steigende Transparenz über die beteiligten Prozesse betrachtet (Kagermann et al., 2016). Mit dieser Transparenz und dem vertieften Verständnis über die Fertigungsprozesse auf Datenbasis sollte die Individualisierung und Kundenorientierung der Produkte auch bei kleinen Stückzahlen wirtschaftlich ermöglicht werden (Arnoscht et al., 2011).

Die Digitalisierung erlaubt das Aufbrechen des Paradigmas der ‚Efficiency of scale‘. Die Vernetzung von Fertigungsmaschinen, Handhabungselementen und Werkzeugen erlaubt die Schaffung eines Produktionssystems aus Cyber-Physischen Systemen (CPS). Damit werden die Erfolgsfaktoren Qualität, Zeit und Kosten durch die automatisierte Unterstützung von wissensintensiven Aufgaben optimierbar (Spath, Lentes und Haselberger, 2009, Spath et al., 2013). Denn die Vernetzung ermöglicht eine echtzeitfähige Verteilung von relevanten Informationen. Durch das erhöhte Wissen über die Prozesse wird die Fertigung wandelfähig und kann zügig an veränderte Rahmenbedingungen angepasst werden. Somit werden kundenspezifische Produkte mit einem vergleichbaren Aufwand wie in der Massenproduktion realisierbar. Die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen ermöglicht die Schaffung von Netzwerken und die Erweiterung der Zusammenarbeit im Verbund von Unternehmen oder Standorten (Geisberger und Broy, 2012, S. 54). Damit wird die Einführung von Digitalisierung in einem Produktionsunternehmen als Befähigung für kleinteilige, effiziente Produktion bewertet (Lentes, 2015).

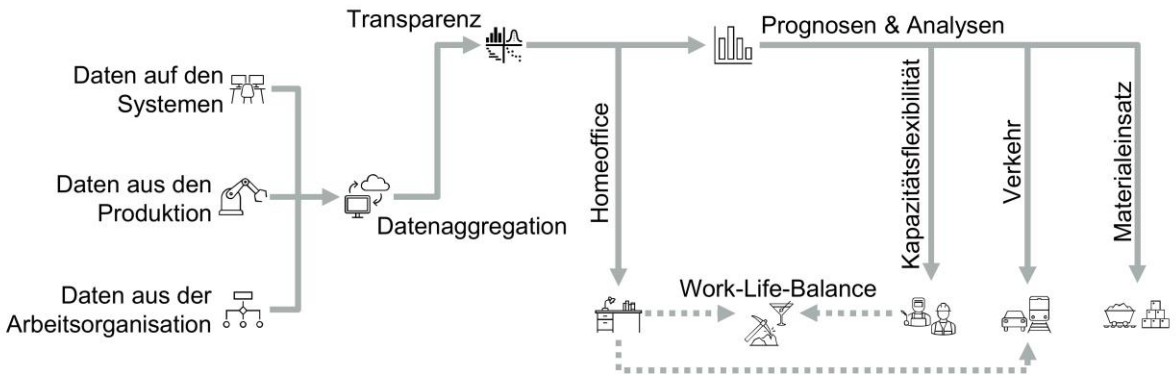


Abbildung 51: Schematische Darstellung der Wirkzusammenhänge bei der Steigerung der Digitalisierung in der Produktion

Die Datenaggregation verfolgt im Kern eine Schaffung von Transparenz. Durch die vorliegenden Informationen aus jedem Unternehmensprozess sind diese beschreibbar. Sind alle Beziehungen digital beschrieben bzw. modelliert, lassen sie sich ausgehend von den existierenden Daten für Prognosen und Analysen auswerten. So gelingt es, Abweichungen vom angestrebten Zustand frühzeitig zu identifizieren und diese in geeigneter Weise zu reduzieren. Ausgehend von dieser Informationslage können Planungen benötigter Ressourcen (z.B. Mitarbeitende, Materialien, Energie und Verbrauchsmaterial) optimiert werden. Insbesondere bei der Planung von Personalressourcen kann auch für Mitarbeitende in der Fertigung eine Steigerung der Work-Life-Balance realisiert werden (Abbildung 51). Gleichsam unterstützt die Verfügbarkeit aller Informationen in digitaler Form die ortsflexible Arbeit, z.B. im Homeoffice. Damit lassen sich zusätzliche Effekte, wie Reduktion von Verkehr und Emissionen zumindest teilweise realisieren.

5.7.6 Steigerung der Kapazitätsflexibilität

Ein wichtiger Kostenfaktor in einem Hochlohnland, wie Deutschland sind die Personalkosten. Besonders bei hoch volatilen Änderungen der Auftragslage spielt die Flexibilisierung der Personalkapazität eine Rolle. Selbst mit den typischen Ansätzen von Gleitzeit und Arbeitszeitkonten kann nur bedingt den Anforderungen von Arbeitgeber und Arbeitnehmer entsprochen werden (Hämmerle et al., 2016, Gerlach, Hämmerle und Schuler, 2019, S. 950–951). Deshalb sind Unternehmen zusammen mit Forschungsinstituten an der Entwicklung von Ansätzen, die Flexibilität unter Einhaltung geltender Richtlinien und Akzeptanz der Arbeitnehmervertretung zu steigern, tätig. Aktuell werden Prognosen hinsichtlich Fertigungsstückzahlen und Fertigungsumfängen erzeugt, auf denen die Planung der Personalkapazität erfolgt (Abbildung 52, links). Da die reelle Situation nicht immer mit den Prognosedaten übereinstimmt, kommt es zu Über- oder Unterdeckung der verfügbaren Arbeitskraft. Dies führt zu Engpässen oder Verschwendung. Gelingt es

durch eine Flexibilisierung der Kapazität den Bedarf besser zu adressieren, lässt sich der Output optimieren (Strölin, 2012).

Durch die zunehmende Digitalisierung liegen vermehrt alle relevanten Informationen in IT-basierten Systemen vor. So lassen sich die Kompetenzen, Präferenz sowie Verfügbarkeiten der Mitarbeitenden mit der Auftragsbearbeitungsseite abgleichen (Hämmerle, 2015). Es erfolgt eine Optimierung der Planung basierend auf den Planungsinformationen, Bedarfen aus Prozessen und an Kapazität zur Erfüllung der Aufträge, welche mit der Kapazitätsangebotsseite abgeglichen wird (Hämmerle et al., 2016). So können Personaleinsatz, Auftragszusagen sowie Maschinenauslastung gesteuert und optimiert werden (Gerlach, Hämmerle und Schuler, 2019, S. 952–953). Zur Beschleunigung der Anpassung der Planung werden zunehmend software-basierte Ansätze genutzt (Abbildung 52, rechts), mit welchen verschiedene Szenarien simuliert werden können, um abgestimmte Anpassungen vorzuschlagen bzw. zu entwickeln (Hämmerle et al., 2016, S. 538–540). Die Gestaltung von Interfaces für Planung, Mitarbeitende und weitere Beteiligte lässt auch kurzzyklische Abstimmung und Justierungen der Planung zu (Himstedt, 2013).

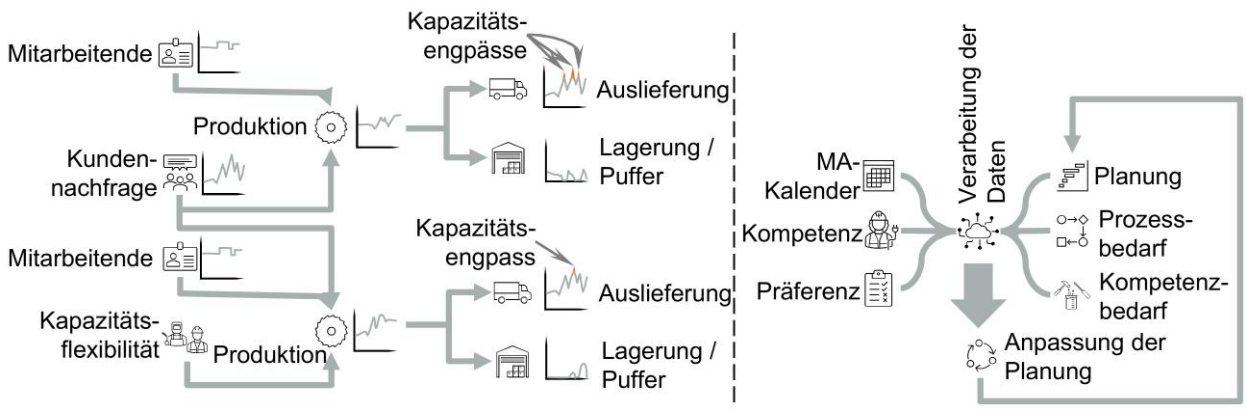


Abbildung 52: Darstellung der Wirkzusammenhänge für die Erhöhung von Kapazitätsflexibilität

Die Nutzung von IT-gestützten Lösungen kann insbesondere bei hoch volatiler Auftragsveränderung einen echten Mehrwert darstellen, da auch bei einer größeren Belegschaft die Mitbestimmung der Mitarbeitenden in der Findung optimaler Kapazitäten gesichert ist. Bei kleineren Teams kann die Abstimmung auch durch eine geeignete Organisation gelöst werden. Durch die Schaffung von Transparenz auf beiden Seiten (Arbeitgebende und Arbeitnehmende) kann im Diskurs eine optimale Kapazitätsverteilung gemeinsam entwickelt werden. Die organisationsgestützte Kapazitätsflexibilisierung erfordert Verlässlichkeit und Offenheit. Damit wird die Führungsaufgabe deutlicher sichtbar und muss ausgefüllt werden, da auch Individualbedürfnisse von Einzelnen der Belegschaft berücksichtigt werden müssen, ohne möglicherweise Ungleichgewichte zu schaffen.

Sowohl der IT-gestützte als auch der organisationsgestützte Ansatz werden gleichermaßen als wirksam im Modell angenommen, wenn auch die Ausgestaltung unterschiedlich erfolgreich sein kann.

5.7.7 Einführung des non-territorialen Arbeitens und Homeoffice für die flexible Arbeitsgestaltung

In den letzten Dekaden erfolgte ein gravierender Wechsel im Arbeitsverständnis. Es fand die Transformation zur Wissensgesellschaft statt, in der viele Arbeitsaufgaben einen größeren Anteil an wissensintensiven Tätigkeiten beinhalten (Egloff, 2000). Dies wird durch die zunehmende Technologisierung und die steigende Komplexität von Produkten nochmals verstärkt. Damit wandeln sich die Arbeitswelt und der Bedarf an Berufsgruppen signifikant (Eichhorst und Buhlmann, 2015). Die Einführung digitaler Technologien unterstützte die Forderung berufsbezogene Tätigkeiten ortsflexibel zu verrichten (Useem und Harrington, 2000). Dabei stellten Arrangements für flexible berufsbezogene Tätigkeiten eine Ausnahme für Sonderfälle dar, in welchen verbreitete Ansätze der Mitarbeitenden-Unterstützung sich nicht als wirksam erwiesen (Meiksins und Whalley, 2002). Durch die Generation X wurden Ansätze wie Homeoffice und Work-Life-Balance zu erstrebenswerten Idealen (Schnetzer, 2021). Doch die weitgehende Durchdringung von Technologie in privatem und beruflichem Leben setzt in der aktuellen Millennials-Generation neue Maßstäbe. So haben sich neue Formen von beruflicher Tätigkeit ergeben, die teils non-territorial oder gar dezentral verrichtet werden können (Hill, Ferris und Märtinson, 2003, Gusain, 2020). Was durch die technische Ausstattung nicht limitiert wird, ist durch organisatorische Rahmenbedingungen vorgegeben. Für eine Veränderung bedarf es kultureller und führungstechnischer Anpassungen. Vorteilhaft für das Unternehmen können die schwindende Unterteilung von privaten und berufsbezogenen Interaktionen sein, wodurch innerhalb der Freizeit auch arbeitsbezogene Inhalte verrichtet werden, ohne sie der Arbeitszeit zuzuordnen (Kurland und Bailey, 1999). Daraus entsteht eine nicht trennscharfe Abgrenzung der Aktivitäten, die als Work-Life-Integration bezeichnet wird (Johnson, 2015). Die daraus resultierende Flexibilisierung unterstützt auch die Adressierung von volatilen Verfügbarkeitsbedarfen von Arbeitskräften. Denn das non-territoriale Arbeiten erlaubt auch eine räumliche wie zeitliche Kapazitätsflexibilität (Bonin et al., 2020). Durch digitale Werkzeuge geschaffene Möglichkeiten der beruflichen Aufgabenerfüllung entfallen Reise- und Transportzeiten, was die kurzzeitige Verfügbarkeit steigern kann. Die reduzierten Pendelbewegungen der Mitarbeitenden haben abhängig von der Geschäftstätigkeit einen signifikanten Einfluss auf den CO_2-Fußabdruck des Unternehmens (Loia und Adinolfi, 2021, O'Brien und Yazdani Aliabadi, 2020, El Geneidy et al., 2021).

Feste Arbeitszeiten geben ein Gerüst für die Tagesgestaltung der Mitarbeitenden vor. Damit wird die flexible Einteilung der Zeit unterbunden. Für Tätigkeiten ohne beruflichen Bezug (z.B. Altenpflege, Care-Arbeit, Arztbesuche) müssen Urlaubstage eingesetzt bzw. Negativstunden auf dem Stundenkonto erzeugt werden. Die Auflösung des definierten Arbeitsortes und der begrenzten Arbeitszeiten bietet den Mitarbeitenden das Potenzial die benannten Aktivitäten auch in der üblichen Arbeitszeit zu planen (Crosbie und Moore, 2004). Die berufsbezogenen Tätigkeiten werden in diesem Fall zu anderen Tageszeiten durch den Mitarbeitenden erbracht. Die zusätzliche Flexibilität kann so zu einer erhöhten Zufriedenheit durch die selbstbestimmte Einteilung von Arbeit führen, was auch einen positiven Effekt für Arbeitgeberattraktivität haben kann. Zusätzlich kann durch vorausschauende Kommunikation zwischen Mitarbeitenden und Führung eine gleichmäßige Auslastung der Arbeitsflächen realisiert werden, wodurch sich Betriebskosten optimieren lassen.

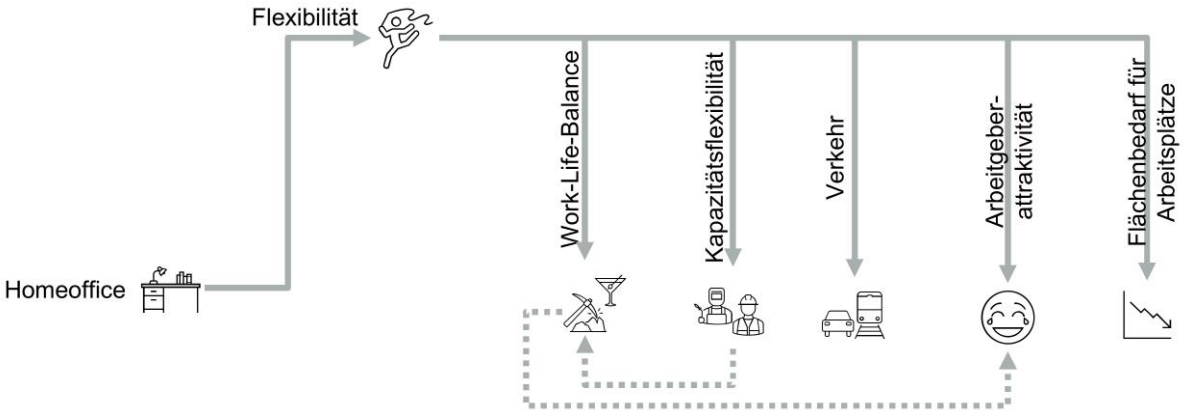


Abbildung 53: Wirkungsmechanismen, die durch non-territoriales Arbeiten, insbesondere im Homeoffice entstehen

5.7.8 Weiterentwicklung des Lieferverkehr

Zur Sicherstellung von Produktionsaktivitäten bedarf es der Bereitstellung von benötigten Rohstoffen, Hilfsstoffen und Zwischenprodukten. Ebenso müssen Fertigprodukte abgeholt und zum Kunden transportiert werden. Die Optimierung der Anliefer- und Distributionslogistik erfolgte kostenoptimiert (Besenfelder et al., 2017). Diese teils signifikant arbeitsteiligen Logistikketten resultieren nicht selten in einer Vielzahl von Anlieferungen und Abholungen am Tag. In diesen Fällen erfolgt die Anlieferung oder Abholung (Gutbeförderung) kombiniert mit einer Leerfahrt bzw. wird der freiwerdende Frachtraum nicht genutzt (siehe Abbildung 54) (Vastag et al., 2017). Durch die Großzahl der Transportträger wird die Infrastruktur zusätzlich belegt, womit das Verkehrsaufkommen steigt. Außerdem fällt bei jedem Anliefer- oder Abholvorgang eine Anfahrt,

Rangiertätigkeit und Be- und Entladevorgänge an. Bei all diesen Schritten entstehen Emissionen, welche teilweise lokal aber auch auf das Umfeld wirken (Hofmann, 2018, Krail et al., 2019).

Mit der Transformation der Logistik im urbanen Umfeld beschäftigt sich die Branche aufgrund der zunehmenden Herausforderungen mit der Post- und Paketbelieferungen (Bundesvereinigung Logistik, 2018). Verschiedentliche Ansätze, meist unter urbaner Logistik zusammengefasst, streben die Reduktion von negativen Einflüssen durch die Güteranlieferung und -abholung in Quartieren mit hohem Wohnungsanteil an (Lehmann, 2020). Bei diesen Konzepten wird über Optimierung der Fahrten von Kurier- Express- und Paketdienste (KEP) diskutiert, Ansätze für ‚Letzte Meile' Anlieferungen entwickelt und Eliminierung von Lokalemissionen durch Einsatz von elektrifizierten Transportträgern konkretisiert (Eberle, 2020). Auch der Einsatz von Lastenfahrrädern wird berücksichtigt, was größeren Nutzen im E-Commerce-Bereich und dem Food-Lieferungsbereich im kommerziellen Endkundensektor (Business-to-Consumer = B-2-C) verspricht (Bundesvereinigung Logistik, 2018, Aifandopoulou und Xenou, 2021). Weitere innovative Konzepte für die ‚Letzte Meile' Belieferung beziehen eine Mitnutzung von bereits existierenden Verkehrsträger mit ein, wie beispielsweise die Nutzung von Straßenbahnen für den innerstädtischen Gütertransport (Schocke et al., 2020). Die benötigte Infrastruktur muss entsprechend auf die damit verbundenen Bedarfe hinsichtlich Lokalisierung und Umschlagsvolumen angepasst sein. Dabei sind organisationsoffene Mikro-Depots innerhalb von Quartieren ein Bestandteil der Realisierung, denn somit lassen sich sowohl Ausliefer- als auch Abholfahrten reduzieren (logistik aktuell, 2021).

Für den industriellen Gütertransport können Kommissionier-Lager am Übergang in den urbanen Raum das Potenzial zur Reduktion von innerurbanem Verkehr legen (Lehmann, 2020). Diese Logistikknoten in der Gütertransportkette können die Dekonsolidierung im Rahmen von Cross-Docking als organisationsübergreifenden Ansatz funktionieren. Damit lassen sich Lieferfahrten zusammenfassen (Dörr, Marsch und Toifl, 2017a). Durch Konzepte wie Pendelverkehr oder ‚Milk-Run' können die Verkehrsströme entlastet werden, ohne die Performance maßgeblich negativ zu beeinflussen (Dörr, Marsch und Toifl, 2017b). Dies erfordert aber eine übergeordnete Koordination und Zusammenarbeit aller Güterverkehrsbeteiligten bei der Informationsnutzung und Weitergabe, z.B. über harmonierte Transportbeschriftung und Transportbehältnisse (Poenicke, Richter und Schenk, 2013, Eberle, 2020).

Neben der Schaffung von gemeinsam genutzter Infrastruktur, zum Optimieren von Anliefermengen, kann auch die Digitalisierung durch Steuerung von Verkehrsflüssen einen positiven Beitrag leisten (Eicher, 2020). Beispielsweise wird zunehmend Zeitfenstermanagement eingesetzt, um Güterströme auf die lokale Verkehrssituation anzupassen. Damit werden Verkehrs- und Parkflächen im urbanen Raum entlastet, da der Verkehr ins Umfeld auf großformatige Infrastruktur verlagert. Dafür werden die Anlieferungen auf Anlieferungszeitfenster geplant (Friedrich, 2018).

Durch die Zusammenführung der Daten zum aktuellen Standort des Verkehrsträgers sowie der Auslastung der Verkehrsinfrastruktur werden Vorgaben hinsichtlich Fahrtgeschwindigkeit und Pausenzeiten getroffen. Somit werden Wartezeiten und Verkehrsspitzen am Entladestandort reduziert (Hagenlocher und Wittenbrink, 2014).

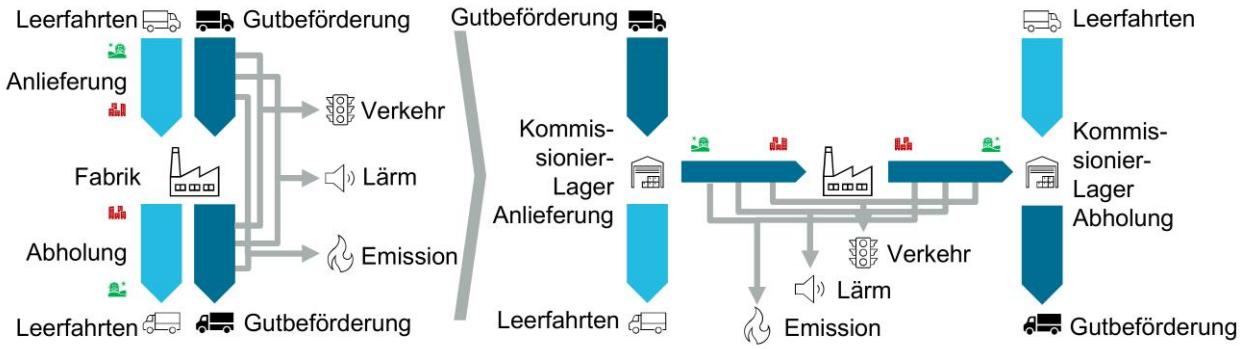


Abbildung 54: Schematische Darstellung der Veränderung von Lieferkonzepten, z.B. Kommissionierung und „Letzte Meile-Anlieferung“ nach dem „Just-in-time“-Ansatz

Im Rahmen der Betrachtung werden keine Einzelmaßnahmen individualisiert betrachtet. Vielmehr steht eine allgemeine Umstellung des Lieferkonzeptes im Fokus. Die Ausprägung einzelner Maßnahmen erhöht aufgrund der Spezifika von Anbindung an übergeordnete Infrastruktur, Güterklassen und -mengen den Modellierungsaufwand signifikant, ohne sicher eine bessere Aussage zu liefern. Auf eine Detaillierung auf Einzelaspekte konkreter Maßnahmen ist deshalb verzichtet worden. Um dieser Komplexität gerecht zu werden, wird eine Kombination verschiedener Effekte abgebildet. Denn es steht die Erhaltung der Effizienz bei gleichzeitiger Steigerung der Verträglichkeit für das Umfeld im Fokus. Die Verträglichkeit kann durch eine Reduktion von Liefervorgängen sowie einer Größenordnungsreduktion der eingesetzten Verkehrsträger (proportional zu den erzeugten Emissionen) realisiert werden. Basierend auf dem Materialbedarf und dem Produktionsoutput kann ein Umschlagsvolumen abgeschätzt werden. Durch die Prüfung der Passfähigkeit von kleineren Transporteinheiten (Kleintransporter statt 40t-LKW) wird der Aspekt von Größe, Lärm- und Emissionsbelastung berücksichtigt. Da Kenntnisse über benachbarten Produktionsunternehmen aktuell nicht berücksichtigt werden, erfolgt die Optimierung der Auslastung genutzter Transportkapazitäten für den Warenverkehr hinsichtlich des Betrachtungsunternehmens, um so den negativen Eindruck auf den urbanen Raum zu minimieren.

5.7.9 Optimierung des Personenindividualverkehrs

Aufgrund der Funktionstrennung zwischen Wohnen und Arbeiten bedarf es der Nutzung eines Mobilitätsmittels für die Beschäftigten, um am Arbeitsort der Arbeit nachzugehen. In der Verteilung der Mobilitätsmittel nimmt das Kraftfahrzeug (KFZ) im Bundesdurchschnitt etwa 68 % der zurückgelegten Wege zum und vom Erwerbort ein (Statistisches Bundesamt, 2022). Im urbanen Raum ist die Quote zwischen 5 und 10 Prozentpunkten niedriger (Blome, 2018). Jedoch zeigen Auswertungen von Nobis und Kuhnimhof dass ca. ¼ der Bevölkerung niemals auf öffentliche Verkehrsmittel zurückgreift (2018). Unter dem Begriff der „Verkehrswende“ haben sich Kommunen und Regionen Ziele gesetzt, wie der Umbau der Mobilitätsmuster aussehen soll. So soll der KFZ-Verkehr um ein Drittel reduziert werden. Parallel soll der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) verdoppelt werden (Forum Wohnen und Stadtentwicklung, 2021, S. 129). Jedes Verkehrsmittel bringt unterschiedliche objektive und subjektive Vor- und Nachteile, abhängig von der Perspektive (Hoppe, Hörler und Härri, 2018). So sind KFZ die größte Quelle für gasförmige Emissionen (z.B. Abgase) pro Reisenden. Zusätzlich ist der KFZ-Verkehr auch für einen signifikanten Anteil der Lärmemission verantwortlich, auch wenn der ÖPNV nicht vollständig emissionsfrei ist. Durch die schlechte Flächeneffizienz haben KFZ, insbesondere bei geringer Auslastung des KFZs, auch eine bedeutende Auswirkung auf die Belegung des Verkehrsraums, was sich in Stoßzeiten in Form von Verkehrsstaus auswirkt. Aber besonders die Betrachtung von Kosten und zeitliche Aufwendungen geschieht subjektiv positiver als objektiv betrachtet (Wölfel et al., 2014).

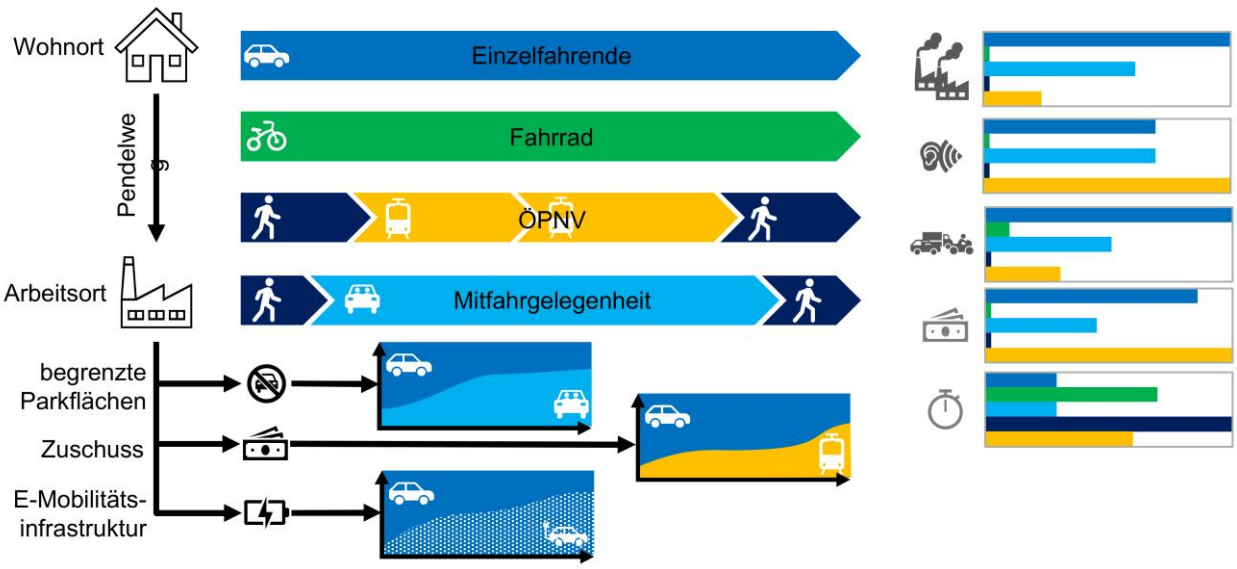


Abbildung 55: Beeinflussungsmöglichkeiten für die Optimierung der Individualmobilität der Mitarbeitenden

Unternehmen können nicht direkt Einfluss auf das Verhalten der Mitarbeitenden bezüglich des Wegs zwischen Wohnort und Arbeitsort nehmen. Jedoch besteht indirekt die Möglichkeit eine Veränderung im Verhalten eben jener zu motivieren (Abbildung 55). Eine Maßnahme, die generell als Ärgernis betrachtet wird, ist die unzureichende Vorhaltung von Parkflächen (Kuss und Nicholas, 2022). Dies führt vielfach zu Ausweichverhalten, wodurch die Beschäftigten im Umfeld freiwerdende Parkflächen belegen. Das kann zu Unzufriedenheit des Umfeldes führen und sich negativ auf das Außenbild des Unternehmens auswirken. Aber ein probates Mittel ist die Schaffung eines finanziellen Anreizes, um den bestehenden ÖPNV zu nutzen, indem Zuschüsse zum Ticket bezahlt oder mit dem ÖPNV-Anbieter ein ‚Pendler-Ticket' ausgehandelt wird (Forum Wohnen und Stadtentwicklung, 2021, S. 135–137). Noch einen Schritt weiter gehen einzelne Unternehmen, in dem sie Shuttle-Dienste einrichten, um Beschäftigte die Pendelfahrt angenehm zu gestalten, gleichzeitig einen positiven Beitrag zu leisten (Hundsdörfer, 2015). Ebenso kann das Unternehmen einen Anreiz für die Kreation von Mitfahrgelegenheiten bzw. eine Tandemnutzung von KFZs schaffen (Hoppe, Hörler und Härri, 2018). So werden die gefühlten Vorzüge der KFZ-Nutzung mit geringeren Emissionen und Stellflächenbedarfen am Unternehmensstandort kombiniert. Auch der Ausbau der Elektromobilitätsinfrastruktur kann einen Beitrag zur Reduktion lokaler Emissionen beitragen. Denn damit wird ein Anreiz gesetzt von einem konventionellen Verbrennungsfahrzeug auf ein Elektroautomobil umzusteigen. Dieser Austausch wirkt sich jedoch nicht auf den Platzbedarf und die verkehrsseitige Situation positiv aus (Forum Wohnen und Stadtentwicklung, 2021, S. 155–158).

5.7.10 Unterstützung der Mitarbeitenden durch Angebote der Kinderbetreuung

Durch den gesellschaftlichen Wandel und Einflüsse wie Emanzipation, Feminismus ist die Bedeutung des patriarchischen Familienmodells zurückgegangen. Vorherrschend sind vielfach Familien mit zwei Erwerbstätigen (Scheffold, 2007). Die Gründe sind einerseits das gleichberechtigte Interesse an Karriere und beruflichem Erfolg oder anderseits der wirtschaftliche Bedarf von zwei Erwerbseinkommen. Da die Vereinbarkeit von beruflichem Erfolg und Kinderbetreuung noch nicht gleichermaßen möglich ist, hat das Interesse beider Partner an beruflicher Karriere das durchschnittliche Erstgeburtenalter über die Zeit angehoben (Kreyenfeld, 2008). Oder teilweise gibt es Entscheidungen kinderlos zu bleiben (Gaschke, 2005). Bereits Kreyenfeld stellt fest, dass die Verfügbarkeit eines Betreuungssystem die Erwerbstätigkeit beider Partner, aber insbesondere von Frauen, massiv beeinflusst und befördert (2004). Insbesondere in der letzten Jahren haben Väter einen größeren Anteil der Betreuungsarbeit übernommen (Borngässer, 2019). Immer wieder entsteht aber das Konfliktfeld Familie-Arbeit-Kinderbetreuung wobei sich gegenläufige Interessen gegenüberstehen und austariert werden müssen (Seehausen, 1995, Gramespacher, Funk und

Rothäusler, 2010). Dabei erhält nicht selten die Erwerbarbeit nicht die höchste Priorität. Auch wenn eine physische Anwesenheit stattfindet, benötigt die Lösung des Konfliktes geistige Kapazität. Detailliert zeigen Rainer et al. auf, dass durch stabile Betreuungssituation auch eine stabile Erwerbssituation hergestellt werden kann (2013). Dies bestätigt die Auswertung von Nieder, der einen konkreten Zusammenhang zwischen Kinderbetreuung und Fehlzeiten herstellen kann, was ein Argument für die Steigerung der Work-Life-Balance als Wettbewerbsfaktor für Unternehmen spricht (2005).

Die möglichen Ausbau-Stufen eines Engagements für Unternehmen können unterschiedlich gestaffelt sein. So beteiligen sich Unternehmen am Neubau von Kindertagesstätten und Kindergärten. Mit der Beteiligung sichern sich die Unternehmen für ihre Beschäftigten mögliche Belegungszahlen bei den neugeschaffenen Kapazitäten. Teilweise vereinbaren die Unternehmen auch auf den Arbeitsablauf abgestimmte Betreuungsangebote und Öffnungszeiten (Burchardt, 2013). Erfolgt keine Investition in Infrastruktur so kann ein Beitrag zu den Betreuungsaufwendung positiv auswirken. Einige Unternehmen gehen soweit und übernehmen die Betreuungskosten vollständig, um eine Bindung der Beschäftigten an das Unternehmen zu erhöhen (Höhne, 2006). Weiterhin können Unternehmen unabhängig von dem Bedarf der Beschäftigten Einrichtungen mit dem Fokus der Betreuung unterstützen, um somit einen Beitrag zur Attraktivierung für Betreuungsangebote zu schaffen (Weilandt, 2007).

Abbildung 56: Wirkung einer Unterstützung für die Kinderbetreuung

Durch die Unterstützung der Betreuungssituation können Unternehmen viele Vorteile schaffen. Mit einer Sicherstellung einer guten Betreuung können sich Beschäftigte besser auf die Arbeitsaufgabe konzentrieren. Auch reduziert die Stabilität den unerwarteten Ausfall einzelner Arbeitskräfte durch den Wegfall der Betreuung. Das Angebot kann sich positiv auf die Außenwahrnehmung auswirken und damit die Arbeitgeberattraktivität positiv beeinflussen. Im Zweifel können die Beschäftigten auch flexibler im Job eingesetzt werden, da die Kinderbetreuung auf äußere

Bedürfnisse abgestimmt werden kann, damit steigt für das Unternehmen der Wert des Beschäftigten und deren Output in der aktiven Arbeitsfähigkeit.

Diese Betrachtung ist im Rahmen des demographischen Wandels auch auf die Betreuung von älteren Angehörigen ausdehnbar, dies soll hier aber nicht im Fokus stehen.

5.7.11 Unterstützung bei der Gestaltung der Wohnsituation

In vielen Regionen ist ein großer Anstieg der Wohnungskosten zu verzeichnen. Dabei sind insbesondere städtische Räume und Metropolregionen von signifikanten Anstiegen betroffen. Vielfach hat dieser Anstieg der Wohnungskosten den Anstieg von Lohnniveau und Wohlstandszunahme deutlich überschritten (Hulchanski, 2010). Damit wird die Wohnungssuche in attraktiven Wohnlagen deutlich erschwert. Denn der Anteil des aufzubringenden Einkommens für Wohnkosten steigt damit (Wenzel, 2010). Dieser Anstieg der Wohnungskosten ist auch abhängig von der Verknappung des Wohnungsangebots. Damit wird es herausfordernder passende Wohnflächen zu finden und anzumieten. Diese Rahmenbedingungen erschweren ggf. die Anwerbung neuer Fachkräfte ohne bisherigen Wohnort im direkten Umfeld. In diesem Kontext Fachexperten und ausgebildete Fachkräfte anzuwerben und dauerhaft zu binden, kann die Unterstützung bei der Wohnungssuche ein interessanter Ansatz sein (Kersting, 2019, Nehls, 2020, Gerth, 2021).

Unternehmen haben vielfältige Möglichkeiten ihre Mitarbeitenden zu unterstützen und ihnen so Vorteile bei der Wohnungssuche zu verschaffen (Abbildung 57). Einfach ist die Bereitstellung einer finanziellen Unterstützung für die Begleichung der Wohnkosten (Wieland, Strobel und Bodelschwingh, 2017, S. 10). Damit kann sich für den Wohnungssuchenden der Suchraum für potenzielle Wohnungen erweitern bzw. macht die Belastung durch Wohnkosten erträglicher (Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau, 2016). Neben der finanziellen Unterstützung kann eine positive Unterstützungserklärung durch das Unternehmen dem Wohnraumsuchenden einen Vorteil verschaffen. Denn gegenüber Mitwettbewerbern kann dieser Leumund, den Mitarbeitenden als besseren Kandidaten gegenüber anderen Interessenten erscheinen lassen. Diese Unterstützung des Arbeitgebers kann zu einer positiven Wahrnehmung führen, was sich potenziell auf die Stimmung und Motivation auswirkt. Außerdem erhöht insbesondere die finanzielle Unterstützung die Bindung an den Arbeitgeber, da diese bei Wechsel oder Kündigung wegfällt.

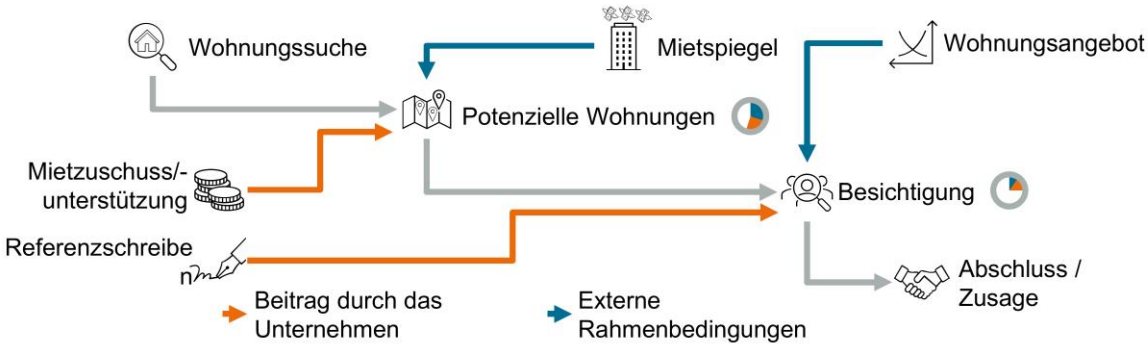


Abbildung 57: Unterstützungspotenziale bei der Wohnungssuche durch Unternehmen

Diese einfachen, niederschwelligen Angebote können durch das Unternehmen ausgeweitet werden. So hat das Unternehmen eine größere Einflussmöglichkeit, wenn es den Wohnraum direkt an Mitarbeitende übergeben kann, wie es beispielsweise bei Werkswohnungen oder Dienstwohnungen ist (Kitzmann, Lange und Michelczak, 2021). Viele Unternehmen nutzen den Stellhebel bereits seit Jahrzehnten, um bezahlbaren, attraktiven Wohnraum für Beschäftigte zu schaffen bzw. bereitzustellen (Wieland, Strobel und Bodelschwingh, 2017). Im Zuge der sich zuspitzenden Fachkräftemangels in vielen Berufsfeldern wird der Ansatz Werkwohnung wiederbelebt, wobei nicht nur DAX-Unternehmen sondern auch Handwerksbetriebe aktiv werden. Bei der Werkswohnung 2.0 erfolgt eine enge Kooperation zwischen Wohnbaugesellschaften und dem Unternehmen (Kitzmann, Lange und Michelczak, 2021). Für Steigerung der Attraktivität von Experten mit größerem Mobilitätsanteil können Kurzzeitwohnung, als sogenannte „On-Boarding Houses“ unterstützend wirken. Wobei hier der Fokus eher auf einer befristeten Wohnmöglichkeit, mit der Möglichkeit vor Ort passenden längerfristigen Wohnraum zu akquirieren, liegt (Bogdanov et al., 2020).

Als Maßnahme eignen sich diese für kleinere Unternehmen, da sie den Mitarbeitenden entlastet. Diese Unterstützungsaktivitäten binden weniger Kapital und der Aufwand für die Unternehmensleitung ist geringer. So kann ein Unternehmen die Belastung durch hohe Mieten abfangen. Durch die regelmäßige Übernahme von Mietanteilen können sich Beschäftigte größeren und attraktiveren Wohnraum leisten. Damit kann die Suche nach passendem Wohnraum schneller erfolgreich sein. Das größere Budget für Mietzahlungen vergrößert das Potenzial bei der Suche.

Eine zusätzliche Unterstützung kann in Form einer Bürgschaft durch das Unternehmen erfolgen. Durch die zunehmende Konkurrenzsituation der Bewerber können diese Angebote an den Mitarbeitenden eine positive Wirkung haben und so Wettbewerbsvorteil in der Akquise und Bindung der Mitarbeitenden haben. Die Ausprägung der Bürgschaft obliegt dem Unternehmen, wobei bereits ein Referenzschreiben des Arbeitgebers einen gewissen Wert darstellt.

5.7.12 Bewirtungsunterstützung

Größere Unternehmen unterhalten gastronomische Einrichtungen für die Verpflegung ihrer Beschäftigten. Einige Unternehmen haben den Beitrag zur Zufriedenheit erkannt (Snook und Levitsky, 1980, Beam, 1987, Pirkl, 2018). Aber das Bild als reines Speiseangebot hat sich gewandelt. Das Angebot muss attraktiv sein und zur Corporate Social Responsibility (CSR) Strategie passen und gestaltet damit die Unternehmenskultur mit (Friese, 2014, Friedrich, 2016). Denn die gemeinsame Einnahme der Mahlzeit steigert den kollegialen Zusammenhalt und die Loyalität zum Arbeitgeber. Demnach bieten diese Unternehmen eine Vergünstigung bzw. Beitrag zum Essenspreis an. Der Zuschuss vergünstigt das angebotene Essen und führt teilweise zu einer besseren Auslastung durch Mitarbeitenden (Pirkl, 2018). Bei einigen gastronomischen Einrichtungen können außerhalb der Stoßzeiten (Pausenzeit in der Produktion mit hohem Andrang) auch unternehmensexterne das Angebot in Anspruch nehmen (Blass, 2019). Insbesondere in Industrie- oder Gewerbegebieten mit einem großen Ankerunternehmen wird die Kantine teilweise für Beschäftigte von umliegenden Unternehmen geöffnet. So kann die Auslastung ebenfalls optimiert werden (Burkhardt, 2018). Um die Bindung der Mitarbeitenden weiter auszureizen gehen einige Unternehmen noch weiter und stellen gar kostenfrei Mahlzeiten zur Verfügung (Parkinson und Jones, 2014).

Bei mittleren und kleineren Unternehmen ist Zahl der Mitarbeitenden vielfach nicht ausreichend, um ein Betriebsrestaurant wirtschaftlich zu betreiben. So sind etwa 200 Nutzer täglich nötig für den Betrieb einer Kantine, für eine Cafeteria sind es immer noch 50 Nutzer (Otterbein, 2018). Aber insbesondere im urbanen Umfeld bieten sich verschiedene Ansätze an, um die Verköstigung der Beschäftigten zu unterstützen. So kann das Unternehmen mit benachbarten Unternehmen ein gemeinsames Angebot schaffen. So es besteht, die Möglichkeit eine Kooperation mit Betreibern von Imbisswägen oder Food-Trucks zu etablieren. Damit besteht am Unternehmensort ein kulinarisches Angebot (Otterbein, 2018). Ein weniger neuer Ansatz sind mobile Kantinen, bei der die Mahlzeit zentral gekocht und angerichtet werden, und ausgeliefert werden. Neu ist die frische Zubereitung und Auslieferung, was attraktiver gegenüber vorgekochten Mahlzeiten zum Erwärmen am Speiseort ist (Food Service, 2020). Weiterhin können Kooperationen mit lokalen Restaurants etabliert werden, die daraufhin für die Beschäftigten ein vergünstigtes Menü anbieten bzw. Rabatte auf den Mittagstisch gewähren. Für die lokalen Restaurants kann diese Kooperation in einer besseren Planbarkeit des Bedarfs bzw. der Auslastung resultieren. Abhängig von der Intension der kooperierenden Unternehmen kann das Angebot erweitert und ggf. auch den Anforderungen nach abwechslungsreicher und gesunder Ernährung gerecht werden. Mit Schaffung eines so gearteten Angebots kann die Attraktivität des Unternehmens und die Zufriedenheit bei den Mitarbeitenden erhöht werden. Außerdem entsteht ein positiver Beitrag zum urbanen Umfeld (siehe Abbildung

58). Durch eine Beeinflussung des Angebots nimmt das Unternehmen ein geringem Maße Einfluss auf die Gesundheit der Beschäftigten, was sich teilweise in gesteigerter Produktivität auswirken kann (Monk, 2020).

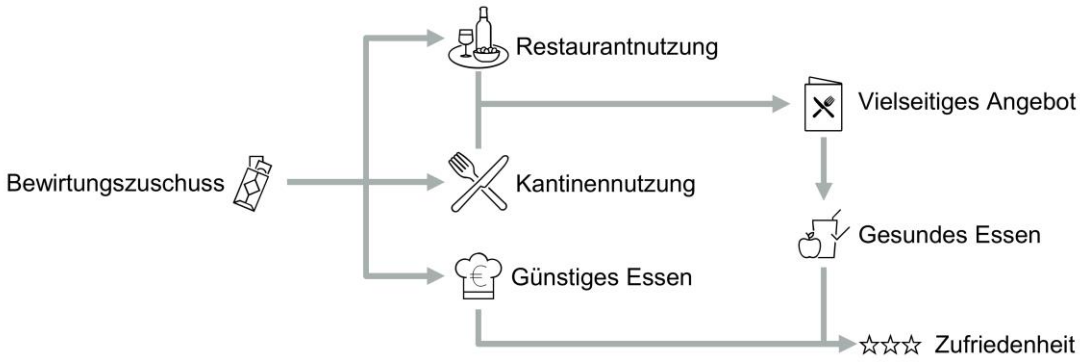


Abbildung 58: Grundlegender Wirkmechanismus der Schaffung einer unternehmensbezogenen Bewirtung

5.7.13 Bereitstellung weiterer Angebote und Vergünstigungen für Mitarbeitende

Im sich verstärkenden Fachkräftemangel wird die Suche und Bindung von Fachkräften an das Unternehmen mit zunehmendem Aufwand verbunden sein (van Geert, 2019). Demnach steigt die Motivation von Organisationen die Mitarbeitendenzufriedenheit zu steigern. Dienten Mitarbeitendenangebote anfangs eher der Kostenoptimierung ohne reduzierte Mitarbeitendenzufriedenheit zu gefährden, so waren die Angebote eher erfolgsbezogene Zulage sowie Unterstützung von Gesundheitsleistungen (Masterson, 1990). Durch den Wandel im Fokus sollte das Wohlbefinden bei der Arbeit sichergestellt werden. Dabei verfolgten Organisationen unterschiedliche Ansätze für Bürotätigkeiten und Tätigkeiten im Produktionsbereich (Siyal und Garavan, 2020, Morena, 2021). Die Verbreitung dieser Ansätze erfordern eine differenzierte Betrachtung der bereits implementierten Maßnahmen (Dulebohn et al., 2009). Für die Bindung der Mitarbeitenden können verschiedene Angebote die Attraktivität erhöhen (Wessels und Robinson, 2018). Neben typischen Ansätzen wie Gehaltsentwicklung und steigender Urlaubstage können sich rabattierte Unternehmensleistungen als zielführend erweisen (Querbach, Waldkirch und Kammerlander, 2020, Tomčíkov, 2016). Die Angebotspalette kann durch Kooperation mit Dienstleistungsanbietern erweitert werden. Einkaufsrabatte, Leasing-Angebote für Fahrzeuge können das Dienstleistungsangebot ergänzen. Unternehmen können direkte Kooperationen mit Dienstleistern eingehen. Andererseits gibt es auch Service-Anbieter, die ein Angebotsspektrum für Mitarbeitende anbieten, was den Aufwand auf Seiten des Produktionsunternehmens reduziert.

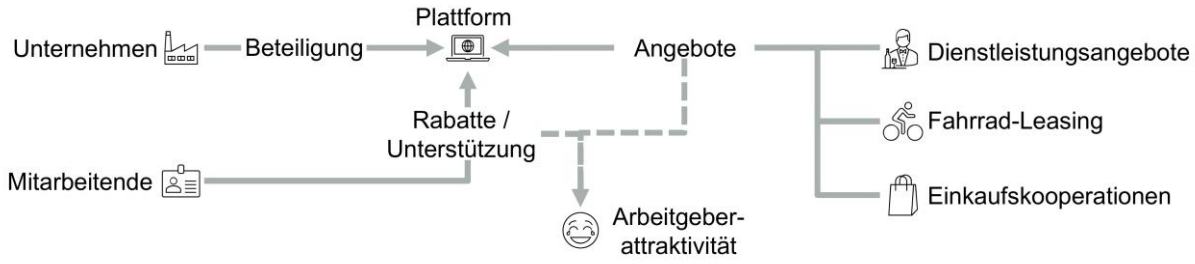


Abbildung 59: Wirkungsmuster für die Bereitstellung zusätzlicher Vergünstigungen für Mitarbeitende

Die Maßnahme beschreibt die Beteiligung an einer Mitarbeitendenangebote-Plattform, welche vielfältige Angebote aggregiert (Abbildung 59). Die Vielzahl der Angebote eröffnet das Potenzial für jeden Mitarbeitenden einen individuell passenden Mehrwert bereitzustellen. Wenn die Mitarbeitenden über die Plattform angebotene Dienstleistungen nutzen, trägt dies zur Steigerung der Arbeitgeberattraktivität und Mitarbeitendenbindung bei.

5.7.14 Aufbau und Betrieb einer ‚Offenen Werkstatt'

Mit der Gründung der Zeitschrift ‚Make' durch Dale Dougherty wurde ein neuer Gedanke initiiert. Das Ziel der Zeitschrift war die Do-it-Yourself Community stärker zu befähigen, sich auszutauschen und voneinander zu profitieren (Gershenfeld, 2005, Becker et al., 2017, Buchner und Ojo, 2022). Ausgehend davon vergrößerte sich die Community. Daraus ergaben sich ersten Bemühungen in Singapur diesen Trend zu nutzen, um die Umwälzungen in der Industrielandschaft zu gestalten. Durch die Schaffung von Rahmenbedingungen, dem Zugang zu technischer Infrastruktur und zu Wissen, sollte die Bevölkerung auf den Wandel vorbereitet werden (Pheng, 2012). Aus diesen Gedanken entstanden offene Werkstätten, die sich unterschiedlichen Synonymen subsummieren lassen – z.B. Co-working Spaces, Startup Factories, Fablabs, Hacker Spaces, Makerspaces oder Repair-Cafés (Schmidt et al., 2016). Auch haben sich über die Zeit verschiedene Träger für diese Einrichtungen gefunden oder gebildet.

Die offenen Werkstätten geben unterschiedlichen Personengruppen Zugang zu technischer Ausstattung, welche für Privathaushalte zu kostenintensiv und zu groß sind, zusätzlich in der Bedienung Erfahrung und Spezialwissen benötigen. Diese technische Ausstattung umfassen Maschinen, Equipment, Materialien, Software und Werkzeuge. Durch entsprechende Experten vor Ort werden auch Laien befähigt, diese einzusetzen und zu nutzen, um damit Projekte unterschiedlicher Größe zu bearbeiten. Aufgrund der systematischen Untersuchung durch Simons, Petschow und Peuckert (2016, S. 37) zeigt sich die jeweilige Ausrichtung der Einrichtung in den Dimensionen Innovation

(technische Innovation gegenüber sozialer Innovation) und Orientierung (Marktorientierung oder Gemeinschaftsorientierung).

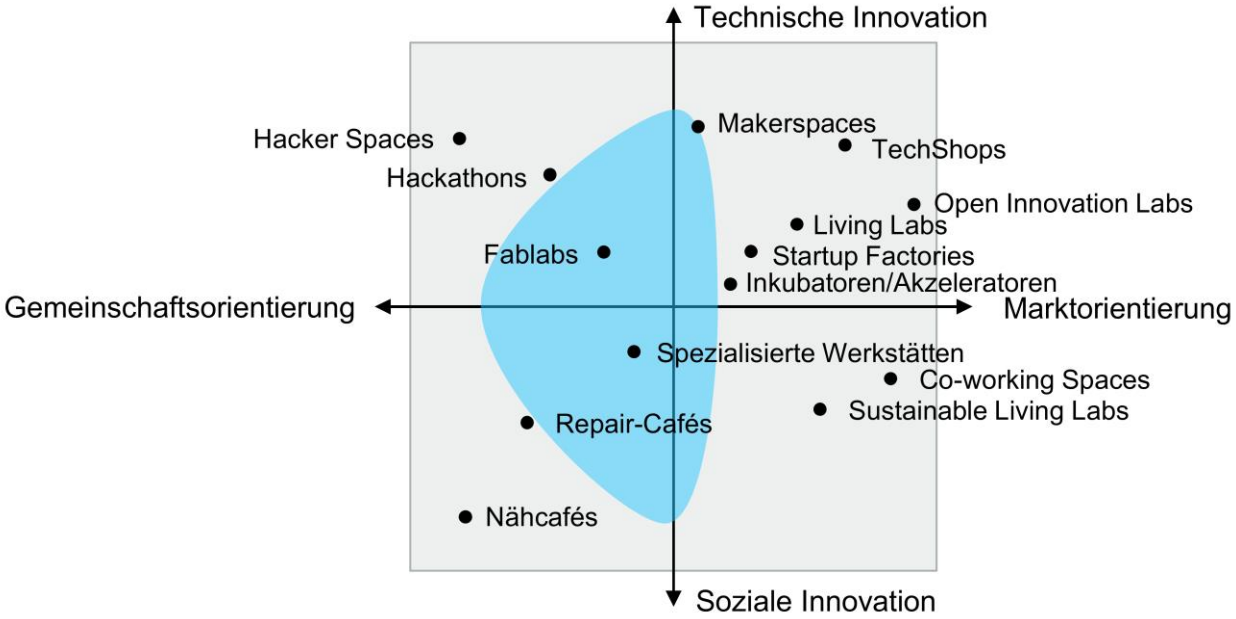


Abbildung 60: Typischer Aktionsraum für durch Unternehmen betriebene offene Werkstätten (Erweiterung von Simons, Petschow und Peuckert, 2016, S. 37)

Da das unternehmensseitige Angebot der offenen Werkstatt darauf abzielt, Verträglichkeit und ein Miteinander von Umfeld und Unternehmen zu schaffen, steht die Gemeinschaftsorientierung im Vordergrund (siehe Abbildung 60, blauer Bereich). Abhängig von dem Maschinenpark, dem Nutzerkreis und den unterstützenden Infrastrukturen bieten unternehmensgetragene offene Werkstätten Potenzial für soziale Innovationen durch Fokus auf Reparaturen und semi-professionelle Instandsetzungen (Frank Hartmann, Mietzner und Dorina Zerbe, 2016). Zusätzlich können auch Grundlagen für technische Innovationen gelegt werden, da durch die technischen Möglichkeiten und zugehörigen technischen Wissen auch neue kreative Ideen umsetzbar werden. Ein weiteres Resultat kann eine gesteigerte Kundenintegration sein, was die Attraktivität im Umfeld positiv unterstützen kann. Nach Butzin und Meyer (2019) sind insbesondere offene Werkstätten und Kleinunternehmen ein Attraktor für das Umfeld.

Für Unternehmen kann die temporäre Öffnung der Produktionsflächen oder von Teilen davon in mehrfacher Hinsicht dienlich werden (Schrape, 2020, S. 22–23). Dabei profitiert das Unternehmen aufgrund zunehmender Bekanntheit und Attraktivität im Umfeld (Erdmann und Dönitz, 2016, S. 21–22). Es erfolgt ein beidseitiger Wissensaustausch zwischen Externen und Beschäftigen, was eine zusätzliche Innovationsfähigkeit und Ideengenerierung zur Folge haben kann (Nägele, Ohlhausen und Braun, 2018, S. 28–29). Einzelne Unternehmen öffnen ihre Infrastruktur eher

kurzzeitig, ähnlich wie Pop-up Stores (Beckamp und Schlieter, 2020), um konkrete Themenfelder zu adressieren, wie Nachwuchssuche, Berufsinformation oder Kundenbindung (Tolidou, 2014). Unabhängig von der Art der Öffnung muss das Unternehmen Aufwand betreiben, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb ohne Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Kernaufgaben des Unternehmens zu gewährleisten. Die Maschinen dürfen ausschließlich von befähigten Personen (durch Einweisung oder Nachweis von einschlägiger Erfahrung) bedient werden. Für neue Aktive muss eine Einweisungsmöglichkeit oder ein Wissenstransfer geschaffen sein, worauf auch die nutzbaren Maschinen und Werkzeuge ausgerichtet sein müssen (Peuckert, 2016, S. 29)

Wie zuvor beschrieben muss durch das Unternehmen ein Zugang geschaffen werden. Dieser muss sicherstellen, dass nur zulässige Personen Zutritt erhalten. Im besten Fall ist die Nutzbarkeit von Maschinen auf das jeweilige Erfahrungsniveau des Nutzenden abgestimmt. Somit werden Fehlbedienung und Verletzungen minimiert. Im besten Fall erfolgt eine Überwachung der Nutzung der Maschinen und Werkzeuge, um kritischen Situationen und Missbrauch wirksam zu unterbinden. Erfolgt dies durch einen ehrenamtlich Aktiven kann durch ihn auch ein Wissenstransfer stattfinden, indem Einweisungen, Nutzungshinweise und Erfahrungen geteilt werden. Durch die zusätzliche Nutzung außerhalb des Produktivbetriebs kann das Unternehmen Nebeneinkünfte schaffen, wodurch die Maschinen kosteneffektiver genutzt werden. Ebenso erhält das Unternehmen zusätzliche Sichtbarkeit und wird als Arbeitgeber attraktiver (Hulla et al., 2021). Es existieren auch bereits Anbieter, die Unternehmen dabei unterstützen, Offene Werkstätten auch domänenspezifisch einzurichten, um so unternehmensinterne Innovationsformate zu verankern (Bartsch und Suhr, 2020).

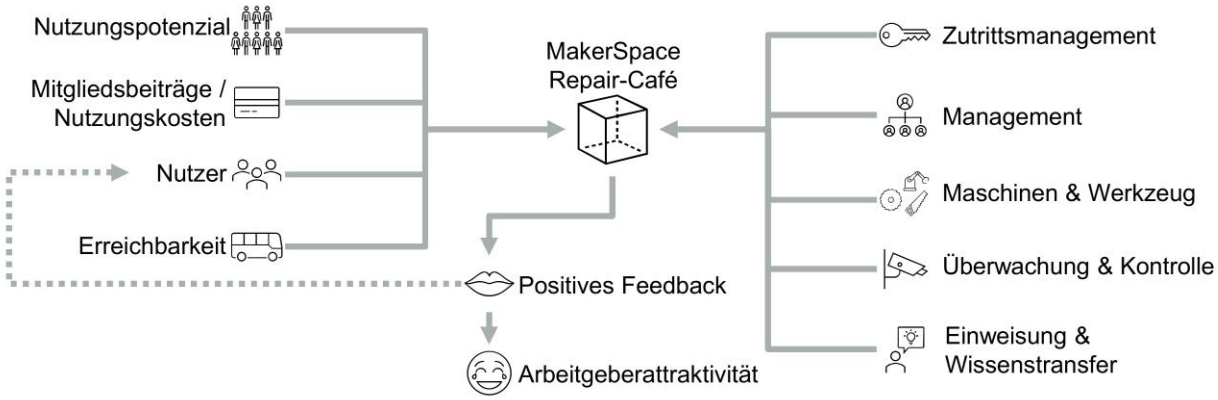


Abbildung 61: Wirkungsbeziehung für eine offene Werkstatt

Für die Bewertung im systemdynamischen Modell muss die bestehende Infrastruktur mit geeignetem Aufwand adaptierbar sein, um eine Nutzung als Offene Werkstatt zu ermöglichen (Abbildung 61). Präzisionsmaschinen für Spezialanwendungen bedürfen einer spezifischen Kompetenz, welche vielfach nicht kurzfristig zu erwerben ist. Auch stellt die Nutzbarkeit verfügbarer Technik für die Bedarfe der potenziellen Nutzer eine wesentliche Rolle hinsichtlich Akzeptanz und Attraktivität dar (Schön, Ebner und Grandl, 2019). Als geeignet lassen sich Fertigungsmaschinen mit manuellem Anteil und begrenzter Komplexität einordnen, die für Einzelanfertigung und Kleinstserien geeignet sind. Wird diese Technik um eine Werkstattumgebung mit professionellem Equipment ergänzt, kann von einer hohen Passfähigkeit ausgegangen werden (Beckamp und Schlieter, 2020). Denn diese Werkzeuge und Technologien sind generell bekannt. Es muss demnach hauptsächlich ein Wissenstransfer hinsichtlich der Bedienung erfolgen. Um den Aufwand für das Management und die Überwachung zu minimieren kann Überwachungstechnik und automatisierte Zutrittskontrollen eingesetzt werden, die mit geringem Aufwand realisierbar sind. Um einen großen Mehrwert für das Umfeld zu erzeugen, sind Erreichbarkeit sowie die Menge potenzieller Nutzer relevant. Das sich daraus ergebende Nutzungspotenzial erlaubt dem Unternehmen dieses Angebot ans Umfeld auch hinsichtlich wirtschaftlicher Kriterien zu bewerten. Denn die Beiträge der Nutzer und die Auslastung indizieren das wirtschaftliche Potenzial, da damit etwaige Investitionen und Betriebskosten amortisiert werden müssen.

6 Modellverprobung und Evaluierung an praxisnahem Beispiel

Urbane Produktion spielt besonders für kleine und mittlere Unternehmen eine bedeutsame Rolle. Denn vielfach ist die Weiterentwicklung von Standorten von urbanen Fabriken oder High Tech Manufakturen eine Revitalisierung des lokalen Raumes (Brandt und Gärtner, 2016, S. 3–4).

Demnach werden für die Erprobung des Modells sowie die Überprüfung der Anwendbarkeit des Ansatzes diese Art von Unternehmen ausgewählt. Denn sie repräsentieren einerseits ein Unternehmen mit allen Funktionen und verfügen andererseits nur über ein begrenztes Finanzierungsvolumen für die Transformation. Gemäß der Klassifizierung durch die Europäische Union sind „kleine und mittlere Unternehmen (KMU), welche weniger als 250 Personen beschäftigen (Kommission der europäischen Gemeinschaften, 2003, S. 39).“ Als „kleines Unternehmen ist ein Unternehmen definiert, das weniger als 50 Personen beschäftigt (Kommission der europäischen Gemeinschaften, 2003, S. 39).“

6.1 Vorgehen zur Validierung des entwickelten Ansatzes

Für die Validierung des entwickelten Ansatzes ist eine Anwendung bei geeigneten Unternehmen zielführend. Durch die Verwendung von unternehmensspezifischen Daten lassen sich die theoretisch ausgearbeiteten Beziehungen hinsichtlich ihrer Eignung überprüfen. Bezogen auf den Untersuchungsgegenstand werden zwei Betrachtungen möglich. Die historischen Daten erlauben die Beziehungen im Modell zu prüfen (erklärende Komponente des Modells). Prognostizierte Zukunftsentwicklungen werden mit aktuellen unternehmensinternen Diskussionen abgeglichen und werden aus dem Blickwinkel der Anwendbarkeit bewertet (Prognose-Komponente des Modells).

Um die Anwendbarkeit der Methode im Kontext der Unternehmensentwicklung zu betrachten, wird das systemdynamische Modell in ein beratungsorientiertes Vorgehen integriert. Den Rahmen bietet der Wissenstransfer in Form eines Innovationsprojekts (Lux und Schuldt-Baumgart, 2022, Grames, 2020). In diesen werden die Evaluierungsvorgehen nach Andersen und Richardson (Andersen und Richardson, 1997) und Moellers et al. (Moellers et al., 2017, Moellers et al., 2019) zielführend kombiniert. Damit wird neben der Erstellung der simulationsbasierten Prognoseergebnisse der Mehrwert vervielfacht, da die Wirkmechanismen sowie Anknüpfungspunkte in der praktischen Anwendung bei den relevanten Maßnahmen detailliert diskutiert und Ableitung für die strategische Ausrichtung getroffen werden können (siehe Abbildung 62).

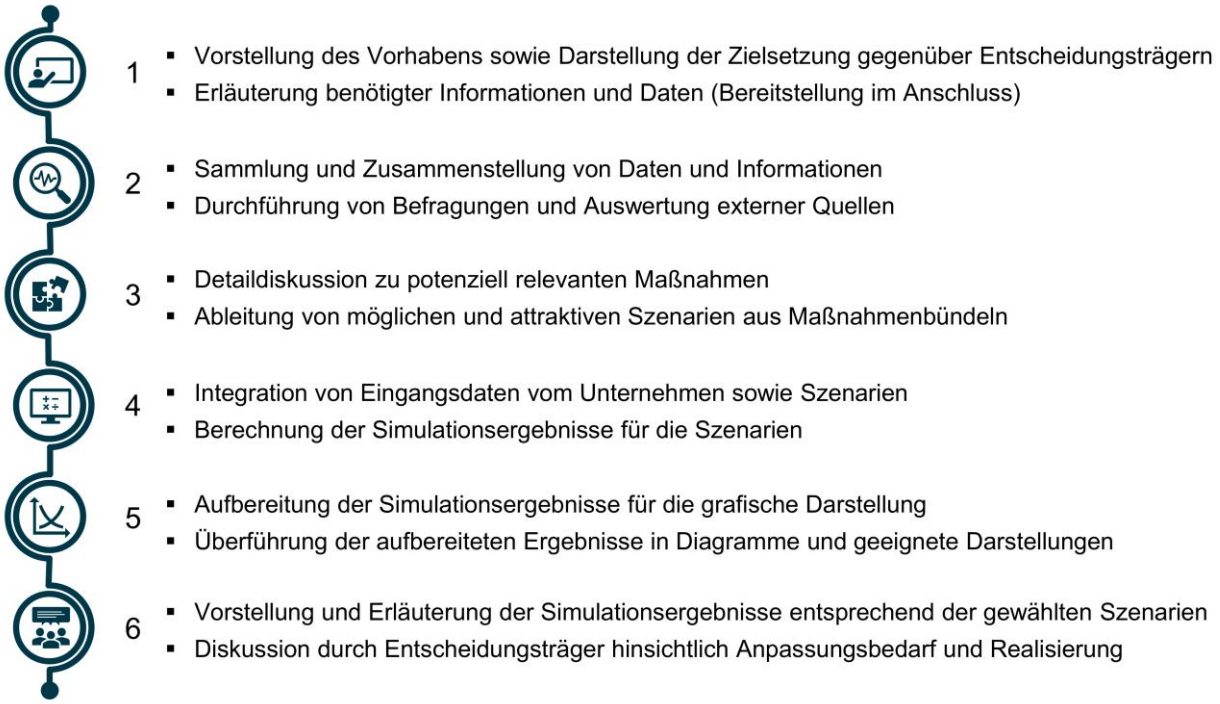


Abbildung 62: Sechsstufiger Evaluierungsansatz mit beratungsorientierten Elementen für den Wissenstransfer ins Unternehmen (unter Verwendung von (Lux und Schuldt-Baumgart, 2022, Grames, 2020, Andersen und Richardson, 1997, Moellers et al., 2017, Moellers et al., 2019))

Mit dieser Abfolge von Schritten und den Austausch mit den Unternehmen wird eine Systematisierung der Evaluierung des Ansatzes angestrebt. Die Dokumentation des Austausches mit den Unternehmen wird zur Systematisierung durch konkrete Fragen (vgl. Dokumentationsbogen, siehe Anhang 51, Seite 227) ergänzt.

Nachdem die Unternehmen angesprochen sind, gilt es diese über das Vorhaben (1) aufzuklären. Dabei wird die Zielstellung der Unterstützung einer langfristigen Strategie-Entwicklung mit den Fokus Steigerung von nachhaltiger Produktion mit Verträglichkeit für das Umfeld erläutert. Dies wird gleichzeitig genutzt, um mit den Entscheidungsträgern über das vorliegende Wissen zur Nachhaltigkeit einen Austausch zu starten. Denn die Vorstellung und der Wissenstransfer hinsichtlich Nachhaltigkeit ist ein wichtiger Bestandteil der Erläuterung der entwickelten Methodik. Denn es soll für die Unternehmen konkret aufgezeigt werden, wie nachhaltiges Handeln einen positiven Beitrag für das Unternehmen erzeugt, indem es attraktiver, resilienter und ggf. erfolgreicher wird. Dem Unternehmen gegenüber wird der Bedarf an Informationen konkretisiert. Die Informationen zur Erhebung der Informationen wird auch im Nachgang aufbereitet bereitgestellt.

Für die Evaluierung müssen die Unternehmen die benötigten Informationen und Daten (2) zusammenstellen. Um auch eine Bewertbarkeit der Modell-Sensitivität zu ermöglichen, werden die Daten für drei aufeinander folgende Geschäftsjahre erhoben und bereitgestellt. Dabei greifen die

Unternehmen auf Dokumente aus ihrer Geschäftstätigkeit zurück, wie Jahresabschluss und damit verbundene Abrechnungsdokumente. Für die Erhebung von Daten, die eine Befragung von Experten bedürfen, wird Unterstützung bereitgestellt, um die Informationen in passendem Detailgrad mit minimalem Aufwand zu erheben. Die Abfrage von Informationen aus externen Quellen wird dem Unternehmen abgenommen und diese Informationen bekommt das Unternehmen nach Abschluss der Evaluierung bereitgestellt.

Im Kern soll das systemdynamische Modell genutzt werden und die potenzielle Auswirkung auf die Nachhaltigkeit der Unternehmung von verschiedenen Maßnahmen im Betrachtungszeitraums (3) abgeleitet werden. Für die Bewertung der Maßnahmenwirkungen, dienen Szenarien, mit denen mögliche Auswirkungen auf ausgewählte Kennwerte prognostiziert werden. Aufgrund der Modellierung einer begrenzten Anzahl an Maßnahmen müssen die Unternehmen sich auf diese Auswahl stützen. Um die Priorisierung der für das Unternehmen passenden Maßnahmen zu unterstützen, erfolgte eine Detailvorstellung der möglichen Weiterentwicklungsmaßnahmen. Die Priorisierung erfolgt in einem moderierten Workshop, bei dem relevante Führungskräfte eingebunden sind. Die Bewertung der Maßnahmen erfolgt im Diskurs in zwei Dimensionen. In der ersten Dimension erfolgt eine Abschätzung des Verhältnisses von Aufwand zu Nutzen für jede Maßnahme. Dabei werden Aufwände zur Schaffung der Grundlage sowie eine erste Einschätzung der Investitionsbedarfe hinsichtlich des Aufwandes gemeinsam bestimmt. Bei der Abschätzung des Nutzens werden Aspekte, wie betroffene Beschäftigte und erwartete Skaleneffekte qualitativ verknüpft. In der zweiten Dimension erfolgt eine Abschätzung, wie groß der Beitrag der Maßnahme zu langfristigen Zielen des Unternehmens ist. Diese Bewertung kann relativ bei den Maßnahmen untereinander oder qualitativ eingeordnet werden. Die Visualisierung in einer Portfolio-Darstellung zeigt priorisierte Maßnahmen (oberer, rechter Bereich im Portfolio) aus Unternehmensperspektive auf (siehe Abbildung 64, Seite 137 und Abbildung 76, Seite 148). Daraus werden im Diskurs mit den Führungskräften unternehmensspezifische Szenarien abgeleitet. Dabei ist ein wichtiges Kriterium, dass die ausgewählten Szenarien aus Unternehmenssicht realisierbar sind. Somit erhalten die priorisierten Maßnahmen eine zeitliche Dimension.

Die zusammengestellten Daten und Informationen dienen zur Anpassung des generischen Modells an das Betrachtungsobjekt, das spezifische Unternehmen. Neben den Eingangsdaten wurden die Wirkungszeitpunkte der Weiterentwicklungsmaßnahmen als Eingangsgrößen genutzt. Bei der Simulation (4) erfolgten für jedes Unternehmen verschiedene Prozessschritte. Als erstes erfolgte eine Simulation auf Basis der ältesten vorliegenden Daten. Damit erfolgte die Bewertung der Sensibilität des Modells, um auch Abweichungseffekte nachträglich beschreiben und erklärbar gestalten zu können. Nach dieser Sensibilitätsprüfung erfolgte eine Simulation des auf das Betrachtungsobjekt spezifizierten Modells ohne zusätzliche Wirkungen durch Weiterentwicklungsmaßnahmen.

Diese zeitlich aufgelösten Ergebnisse stellen die Vergleichsbasis (Basis-Szenario) dar. Um einen Direktvergleich der Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen auf die Ergebniskennwerte zu ermöglichen, erfolgt eine Berechnung der Weiterentwicklungsmaßnahmen zum identischen Zeitpunkt. Relevanter für die folgenden Betrachtungen ist die Berechnung der Szenarien. Dafür werden die Wirkzeitpunkte der Maßnahmen für den Berechnungslauf eingelesen. Da die Berechnung der Szenarien für die Zukunftsbewertung gewissen Unsicherheiten unterworfen ist, erfolgt der Einsatz eines Monte-Carlo-Ansatz. Denn der Monta-Carlo Ansatz eignet sich zur Risiko-Aggregation, da auch Streueffekte mittels stochastischer Methoden berücksichtigt werden (Gleißner und Berger, 2004). Im entwickelten systemdynamischen Modell konnten die externen Einflussfaktoren, mit Unsicherheiten für die zukünftige Entwicklung, auf fünf Elemente aggregiert werden. Diese fünf Elemente finden sich in den Bereichen:

- Wetter- und Klimawirkung,
- Kosten für Energie,
- Kosten für Treibstoffe im Verkehr,
- Nachfrage bzw. wirtschaftliche Entwicklung und
- Mitarbeitenden-bezogenen Aspekte.

Um die durch die Unsicherheiten induzierten Varianzen in den Ergebnissen ausreichend gut abzubilden, wurde eine Anzahl von 150 Simulationsläufen festgelegt. Denn bei fünf Varianzeinflussgrößen ist eine Mindestanzahl von 30 unabhängigen Simulationsdurchläufen vorzunehmen, um das mögliche Ergebnisspektrum hinreichend zu überdecken (Beucher, 2005). Eine Steigerung der Anzahl verbessert die Überdeckung mit dem potenziellen Ergebnisraums. Mit dem gewählten Monte-Carlo-Ansatz lassen sich eine Vielzahl von Ergebnisgraphen (im Fall der Evaluation 150) erzeugen, welche die Unsicherheit hinsichtlich zukunftsbezogener Betrachtungen im Modell zum Ausdruck bringen.

Für die Diskussion mit den Evaluationspartnern müssen die Ergebnisse in geeigneter Form (5) aufbereitet werden. Für die Unternehmen wurden die Maßnahmen in vergleichbarer Form inhaltlich dargestellt. Dabei wurden die Wirkzusammenhänge vereinfacht visualisiert. Ebenfalls wurden Details zu den Maßnahmen, beispielsweise realisierte Referenzen oder Erfahrungen aus der Praxis passend aufbereitet. Diese Informationen dienten als Hintergrundinformation. Zusätzlich erfolgt eine Aufbereitung der Berechnungsergebnisse. Dazu wird der Direktvergleich der Maßnahmen zusammengestellt. Für alle im Modell bereits integrierten Maßnahmen wird die zeitliche Auflösung der Ergebniskenngröße, die Ergebniskurve, überlagert. Diese Darstellung zeigt den direkten Vergleich alle Ergebniskurven, welche spezifisch für die unterschiedlichen Maßnahmen sind. Die

mit den Unternehmen definierten Szenarien lassen, aufgrund der eingesetzten Monte-Carlo-Berechnung, zwei Arten der Darstellung zu (siehe Abbildung 63).

Die Verwendung der Einzellauf-Darstellung beinhaltet die Visualisierung eines Berechnungslaufs. Damit wird der erste berechnete Ergebnisgraf in Form eines Liniendiagramms dargestellt. Diese Darstellung ist geeignet, um die Unterschiede zwischen den Szenarien herauszuarbeiten. Für den Vergleich der Szenarien (Basis-Szenario ohne Einwirkung der Maßnahmen, sowie Diskussions-Szenarien mit zeitlich wirksamen Weiterentwicklungsmaßnahmen) erfolgt eine visuelle Überlagerung der vier resultierenden Liniendiagramme (durchgezogene farblich unterschiedliche Linie siehe Abbildung 63, links). Um auch die Veränderungen im Diagramm mit den Wirkzeitpunkten der Maßnahmen zu korrelieren, sind diese ebenfalls im erzeugten Diagramm dargestellt (gepunktete Linien farblich an den Ergebnisgraf angepasst siehe Abbildung 63, links). Somit wird die Diskussion der Maßnahmenwirkung im Unternehmen vereinfacht.

Mit der Mehrfachlauf-Darstellung lassen sich alle erzeugten Ergebnisgrafen eines Szenarios in einer Darstellung vereinen (siehe Abbildung 63, rechts). Dabei werden die Datenpunkte zum identischen Zeitpunkt (Abstand abhängig von der zeitlichen Auflösung der Berechnung) in eine Dichtefunktion zusammengefasst. Basierend auf dieser Auswertung können Konfidenzintervalle, für die sich ergebenden Trajektorien der Ausgabe-Variablen dargestellt werden. Alle Datenpunkte werden in einem farblich identischen Bereich visualisiert, weshalb sich farblich abgesetzte Bereiche ergeben, die für die wahrscheinlichkeitsbezogene Information gemäß der Dichtefunktion ergeben. Durch die Definition des Anteils der Ergebnisdatenpunkte lassen sich im Diagramm diese direkt herauslesen (gelb = 50 % der Ergebnisse, grün = 75 % der Ergebnisse, blau = 95 % der Ergebnisse und grau = 100 % der Ergebnisse). Dieser Prognose-Korridor kann auch zur Sensitivitätsanalyse der Einflussgrößen genutzt werden. Für die Diskussion mit den Unternehmen ist aber interessanter, wie sich Veränderungen durch die Einführung von Weiterentwicklungsmaßnahmen auswirken. Durch die Prognose-Korridore wird die Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Situation berücksichtigt. Die Gegenüberstellung des Basis-Szenario mit den Diskussions-Szenarien ermöglicht den Direktvergleich auf die Organisation unter Berücksichtigung einer mit Unsicherheiten belasteten zukünftigen Situation.

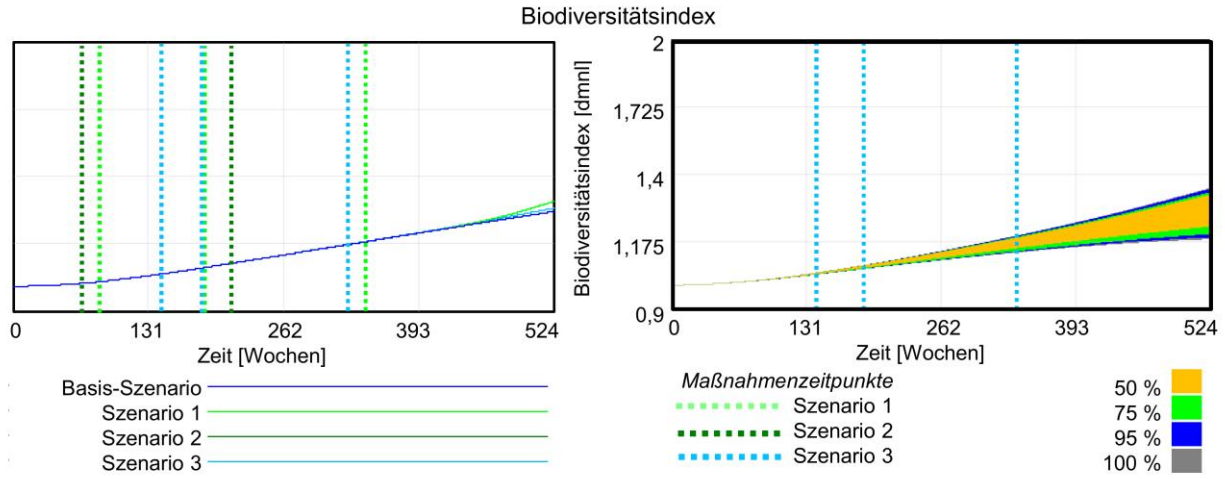


Abbildung 63: Beispielhafte Darstellung der Ergebnis-Aufbereitung am Beispiel des Kennwerts Biodiversitätsindex (links: Einzellauf-Darstellung alle berechneten Szenarien, recht: Mehrfachlauf-Darstellung am Ergebnis eines Szenarios)

Die Ergebnisse werden den Entscheidungsträgern zur Verfügung gestellt. In einem gemeinsamen Diskurs (6) werden die Ergebnisse nochmals vorgestellt. Mit den Entscheidungsträgern werden relevante Inhalte aus den Ergebnissen vertieft. Auf Basis der Diskussion und entstandenen Anknüpfungspunkten werden die interessanten Maßnahmen im Workshop konkretisiert. Dazu werden Umsetzungsbeispiele vorgestellt oder Datenbanken für die Vertiefung eingebunden. Zielstellung ist die Organisation zu befähigen die Maßnahmen als wertigen Bestandteil in der Weiterentwicklungsstrategie des Unternehmens zu verankern.

In der Folge wurde der Beitrag eines regelmäßigen Simulationslaufs für die Anpassung der strategischen Prämissen evaluiert. Durch Gegenüberstellung von Aufwand für Datensammlung und dem Beitrag zur strategischen Weiterentwicklung erfolgte eine Bewertung des Nutzens aus Organisationssicht. Durch die Diskussion über die Einbettung in den Strategieprozesses soll der Mehrwert für organisatorische Prozesse belegt werden.

Da die Evidenz bei der exemplarischen Anwendung klein ist, erfolgt eine Verbreitung der Evaluierung. Dazu wurde ein Workshopformat mit Nachwuchsfach- und -führungskräften durchgeführt. Um die Anwendbarkeit branchenübergreifend für produzierende Unternehmen zu validieren, waren die anwesenden Teilnehmenden aus unterschiedlichen Branchen mit Produktionsbezug. Durch Vorstellung der entwickelten Methode und die Darstellung der beiden Fallstudien sollten eine unabhängige Bewertung des Ansatzes ermöglicht werden. Kernfragestellung an den beteiligten Kreis ist, ob dieser Ansatz bei Unternehmen einen Einfluss auf die Ausprägung der Weiterentwicklungsstrategie haben kann. Denn durch die Diskussion soll eruiert werden, ob das Aufzeigen von

Abhängigkeiten und Wechselwirkungen einer Erweiterung der möglichen Maßnahmen für den strategischen Prozess unterstützt.

6.2 Fallstudie 1 – kleines Unternehmen

Beim ersten Anwendungsfall erfolgt die Betrachtung und Anwendbarkeit bei einem kleinen Unternehmen. Das ausgewählte Unternehmen produziert kundenindividuelle Verpackungslösungen für den internationalen Transport. Das Unternehmen ist seit der Gründung vor 25 Jahren am Markt aktiv. Die Verpackungslösungen werden auf die Kundenbedürfnisse individuell angepasst (Make-to-Order). Das Resultat ist in den meisten Fällen eine Produkt-Dienstleistungs-Kombination, die sich aus der physischen Verpackungslösung, dem Wissenstransfer für geeignetes Handling und optimierte Verpackungsrealisierung zusammensetzt. Typische Verpackungslösungen bestehen aus Holzkonstruktionen, Schutz vor Korrosion und einer Sicherung des Kundenproduktes (Abbildung 64).

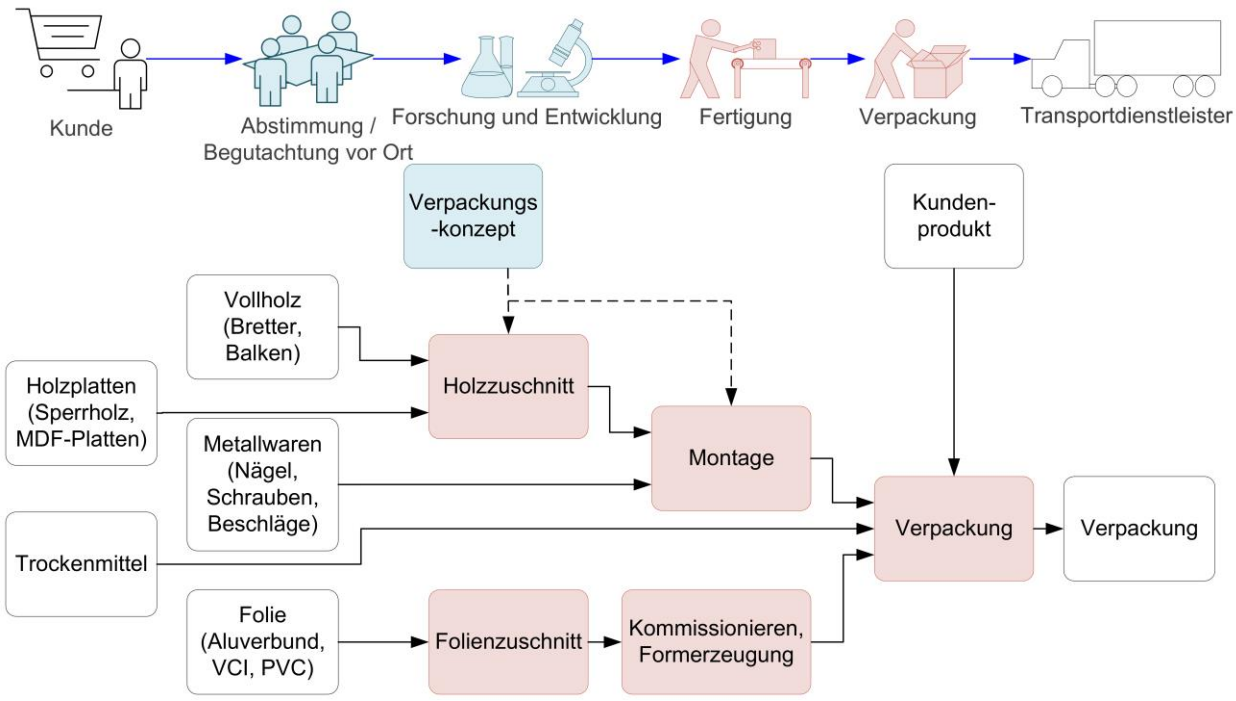


Abbildung 64: Vereinfachter Wertschöpfungsprozess des Evaluierungsbeispiel (kleines Unternehmen)

Das Unternehmen hat sich nach anfänglichem Wachstum als kleines Unternehmen über den Zeitraum der letzten Jahre einen Namen im Wirkungsgebiet erworben. Mit der starken Orientierung auf die Erfüllung der Kundenbedürfnisse muss das Unternehmen immer auf eine volatile Situation der Kundenanforderungen reagieren. Durch die hohe Qualifizierung der Fachkräfte gelingt es dem

Unternehmen durch die Einbindung von Arbeitnehmerüberlassung die nötige Flexibilität sowohl in Kapazität und Kosten erfolgreich darzustellen. Das Unternehmen hat wie in vielen kleinen Unternehmen eine flache Hierarchie. Das Unternehmen hat in der Produktion 80 % spezifisch qualifizierte Produktionsmitarbeitende (siehe Abbildung 65).

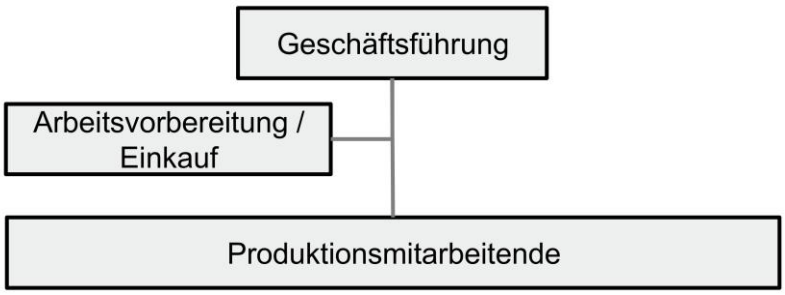


Abbildung 65: Organisationsstruktur des kleinen Unternehmens

Da in allen Branchen der Druck für nachhaltige Prozesse und Wirtschaftens spürbar wird, stellt sich auch dieses Unternehmen zunehmend auf die Rahmenbedingungen ein. Dies spielt auch eine besondere Rolle, da das Unternehmen dem Generationenwechsel gegenübersteht. Die lokale Einbettung und der enge Bezug zu den ersten Mitarbeitenden mit den Gründenden stellte früh auch die Ausgewogenheit zwischen Gewinnorientierung und sozialem Engagement in den Mittelpunkt von Entscheidungen. Demnach war soziales Handeln bereits früh in der Unternehmensgeschichte wichtig für die Geschäftsführung. Davon zeugen einige konkrete Beispiele der letzten Jahre. So wurde die Behindertenwerkstatt mit regelmäßigen Materialspenden unterstützt und es erfolgten zusätzlich Vergaben von Aufträgen für Kundengeschenke. Weiterhin wurden lokale Sportveranstaltungen durch Geld- oder Sachspenden unterstützt.

Durch die Lage in einem kleinen Gewerbegebiet zwischen zwei zusammengewachsenen Stadtteilen befindet sich Wohnbebauung in unmittelbarer Nähe zum Unternehmen. Das Unternehmen grenzt nicht direkt an die Wohnbezirke an, aber die Größe und Lage des Gewerbegebiets führt zu Interaktionen zwischen Arbeitsraum und Wohnraum. Aus diesen Gründen eignet sich das Unternehmen zur Evaluierung der Methode, da Herausforderungen wie aus der urbanen Produktion bekannt ebenfalls sichtbar sind.

6.2.1 Modelladaption

Die Besonderheit des betrachteten Unternehmens ist die kundenauftragsbasierte Produktion. Dafür muss das Modell die Information der Nachfrage in der Produktionsperspektive entsprechend berücksichtigen. Die Basis für die zukünftige Entwicklung des Kundenbedarfs basiert auf der

ökonomischen Entwicklung, welche durch den Geschäftsklima-Index des ifo-Instituts (siehe Abbildung 66) angegeben wird, ermittelt (Abberger, Flaig und Nierhaus, Februar 2016). Die somit abgeleitete Nachfrage nach den Produkten des Unternehmens kann durch geschickte Maßnahmen des Managements übersteuert werden. Da der Erfolg etwaiger Maßnahmen nicht prognostizierbar ist, wird im Modell auf die Entwicklung des Geschäftsklima-Index und dessen zukünftige Prognose zurückgegriffen. Die Nachfragesituation innerhalb eines Jahres ist marktspezifisch zusätzlichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen, welche von verschiedenen wirtschaftswissenschaftlichen Instituten ausgewertet werden (siehe Abbildung 67). Da bei der Szenarien-Erzeugung eine Betrachtung auf Monatsbasis erfolgt, wird die ökonomische Entwicklung, mittels des Geschäftsklima-Index abgebildet, noch von dieser monatlichen Ausprägung überlagert.

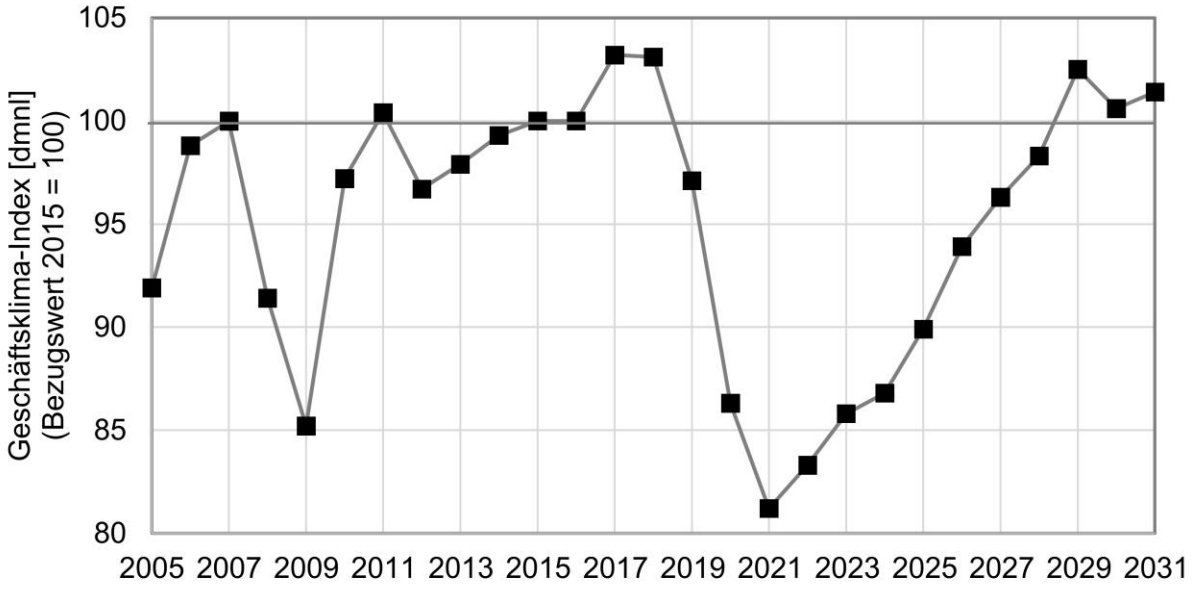


Abbildung 66: Konjunkturelle Entwicklung der Industriegüterindustrie aufbauend auf dem Geschäftsklima-Index des ifo-Instituts mit Bezugsjahr 2015 (Index = 100) (Berlemann et al., 2012, Fled et al., 2021, Institut für Wirtschaftsforschung, 2020a, Institut für Wirtschaftsforschung, 2020b)

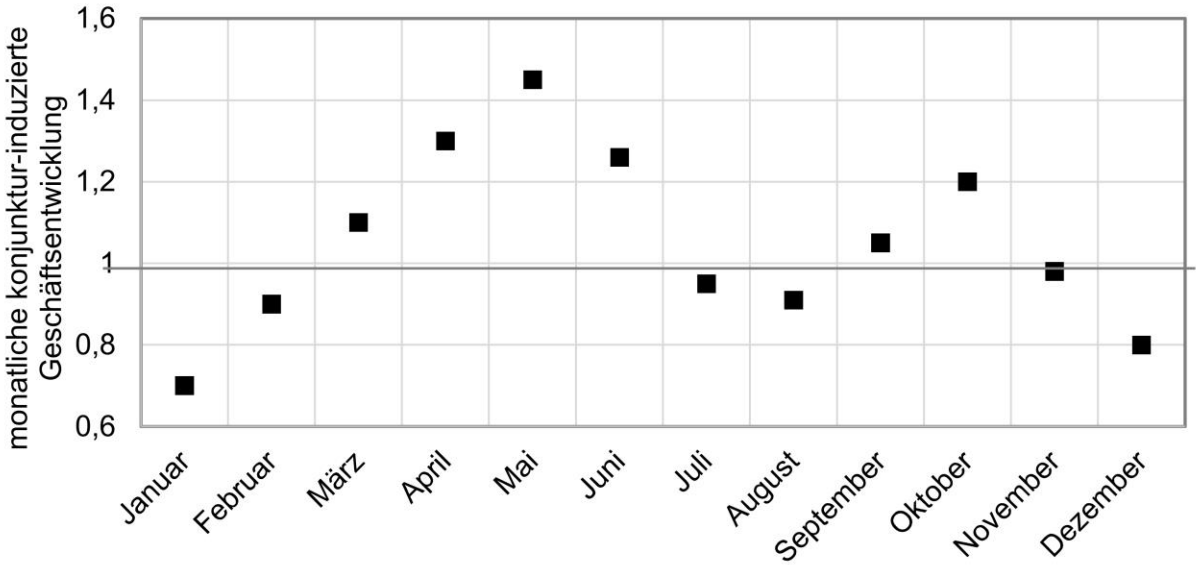


Abbildung 67: Unterjährige Konjunkturentwicklung als Abweichung auf den jährlichen Konjunkturindex des ifo-Instituts (Wollmershäuser et al., 2019, thinkaboutgeny.com, 2017, Fluch, 2020, Donhauer, Ademmer et al., 2020)

Aus den aktuellen Trends lässt sich der Fachkräftemangel ableiten. Die Wirkung auf das Unternehmen kann nur generisch erhoben werden, durch den Wissensintensitäts-Index (siehe Abbildung 68, oben) soll eine Beziehung zum Arbeitskräftepotenzials hergestellt werden. Das Unternehmen beschreibt die Anforderungen an die Mitarbeitenden als handwerklich geprägt. Anders als im Handwerk werden aber nur grundlegende Fähigkeiten vorausgesetzt, da viele Fähigkeiten erworben werden können, wenn eine Fachausbildung vorliegt.

Die Lage des Produktionsstandorts des Unternehmens wird durch den Gebietsfaktor und den Straßenfaktor charakterisiert (siehe Abbildung 68, mittig und unten). Die Lage ist als Randlage im Gewerbegebiet zu kennzeichnen. Besonderheit ist auch die große Nähe zu einer Zubringerstraße für überregionale Straßenverbindungen, die aber an einem Wohngebiet vorbeiführt.

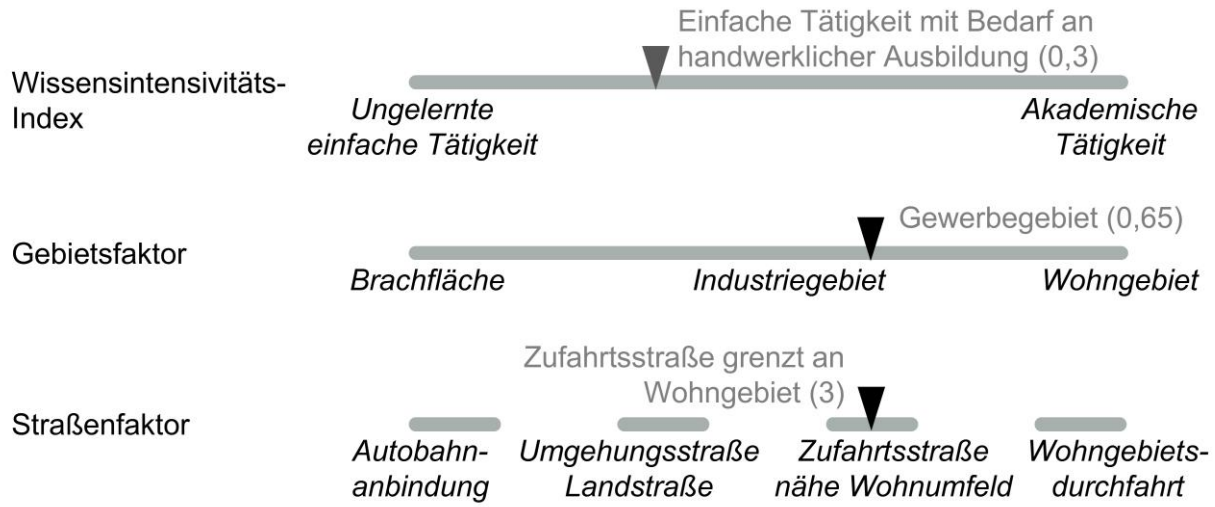


Abbildung 68: Unternehmensspezifische Informationen zu Lage und Anforderungen an Arbeitskräfte für das kleine Unternehmen

6.2.2 Beschreibung der definierten Szenarios

Im Anschluss an die Datenerhebung zur Spezifizierung des generischen Modells, erfolgte die Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich des potenziellen Beitrags zu den langfristigen Zielen. Ebenso wurde der benötigte Aufwand bezüglich des angestrebten Nutzens bewertet. Diese Bewertung, in Abbildung 69 als Portfolio-Darstellung aufgetragen, stellt die Basis für die Entwicklung der zu analysierenden Szenarien dar.

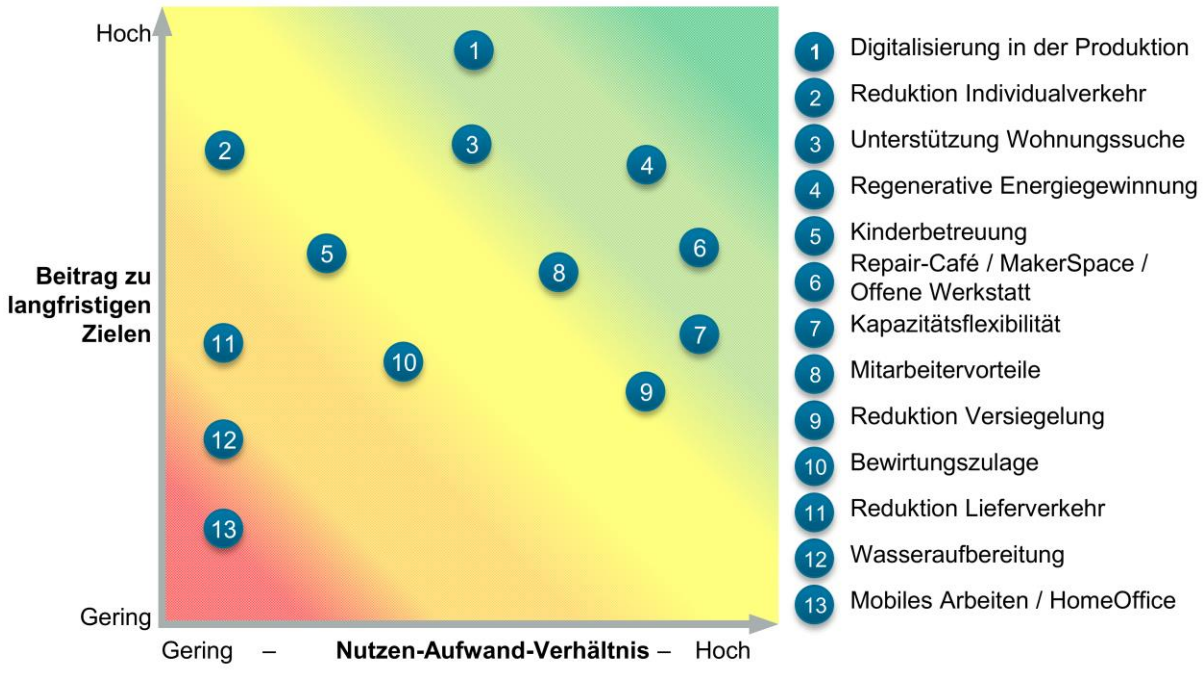


Abbildung 69: Unternehmensseitige Bewertung der modellierten Maßnahmen

Basierend auf der Bewertung von Langfristorientierung und Aufwand-Nutzen-Verhältnis sind sieben der potenziellen Maßnahmen für eine Entwicklung von möglichen Szenarien identifiziert worden. Bei sechs Maßnahmen ist der Mehrwert nicht ausreichend groß, um in die engere Betrachtung gezogen zu werden. Ausgehend von der Priorisierung der Maßnahmen erfolgte die Ableitung der potenziell realistischen Szenarien (vgl. Abbildung 70). Für die zeitliche Einordnung erfolgte im Austausch mit der Unternehmensführung eine Konkretisierung der Maßnahmen, z.B. welche Grundlagen müssen ggf. gelegt werden, bzw. gibt es Abhängigkeiten zu aktuell geplanten Themen (Hertwig, 2021c). Ausgehend vom aktuellen Digitalisierungsreifegrad wird die Erweiterung des Einsatzes digitaler Technologien in der Produktion priorisiert betrachtet. Darüber hinaus hat die Volatilität des Marktes den Bedarf an erhöhter Kapazitätsflexibilität deutlich gemacht.

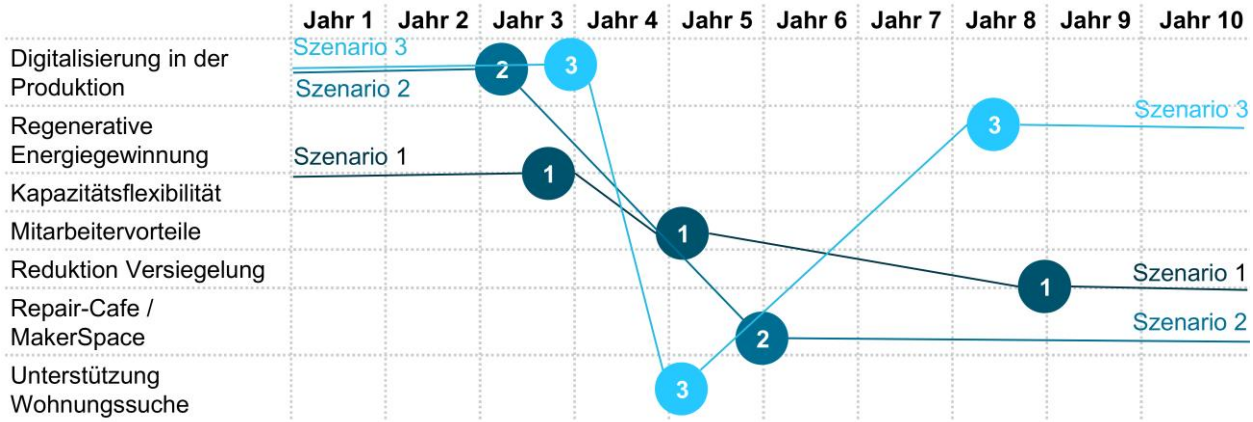


Abbildung 70: Entwickelte Szenarien für das kleine Produktionsunternehmen

6.2.3 Auswertung der Systemdynamik-Simulation

Ausgehend von der Spezifizierung des generischen systemdynamischen Modells durch Import der unternehmensspezifischen Kennwerte lassen sich die Auswertungen für die definierten Szenarien ableiten. Dafür werden Variablen stochastischen Schwankungen unterworfen, deren zeitliche Entwicklung großen Unsicherheiten unterliegt. Für die Auswertung erfolgen Berechnungen für 150 Einzeldurchläufe. Zu den mit Varianz beaufschlagten Variablen zählen Kostenentwicklungen für Mobilität, die Prognose der ökonomischen Situation, die Verfügbarkeit von Arbeitskräften und weiterer Stellwerte mit Einfluss auf das Modell. Nachfolgend sind die Diagramme für die definierten Ergebniskennwerte gemäß Kapitel 6.1 dargestellt.

Zur Unterstützung beim Vergleich der Szenarien sind die Ausgangssituation (erste Spalte) mit den Szenarien (zweite bis vierte Spalte) horizontal nebeneinander aufgeführt. Gleichsam sind die Kennwertdiagramme gemäß der vier Hauptkategorien – Umwelt-Einfluss (Abbildung 71 und

Abbildung 72), betriebswirtschaftlicher Einfluss (Abbildung 73), sozio-technischer Einfluss (Abbildung 74) und Umfeld-bezogener Einfluss (Abbildung 75) – gruppiert.

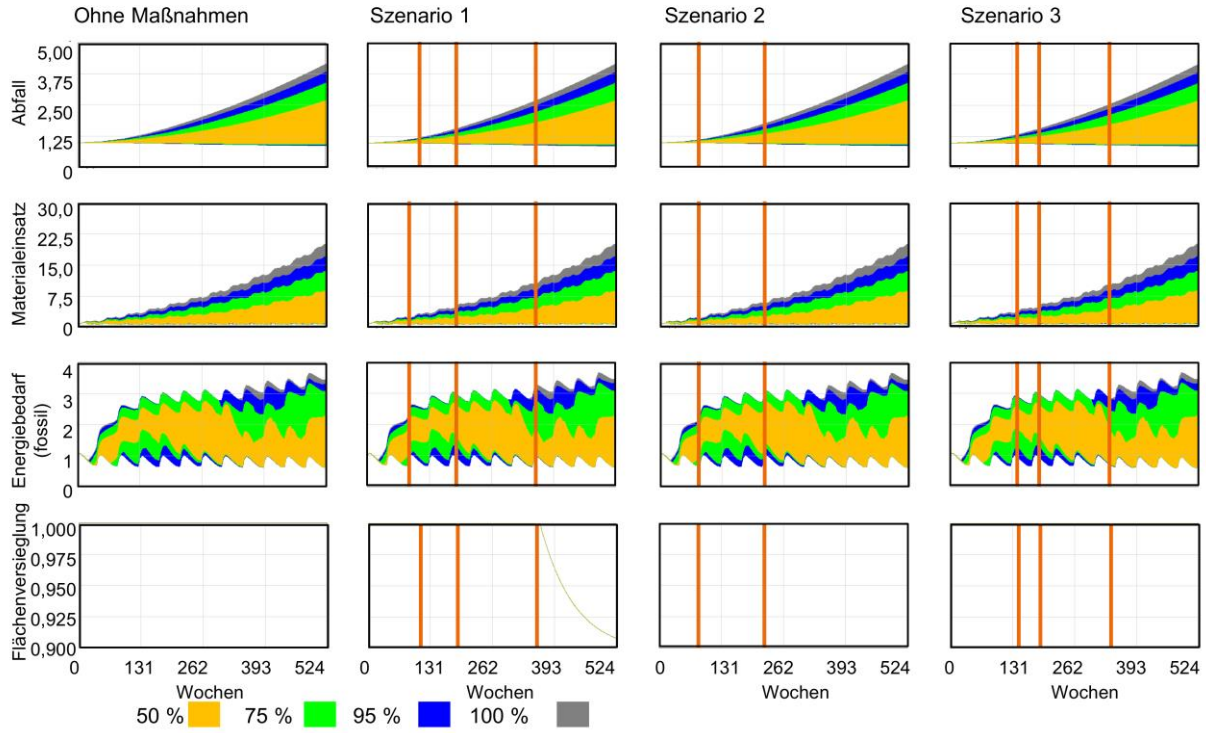


Abbildung 71: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit ökologischem Bezug (1/2)

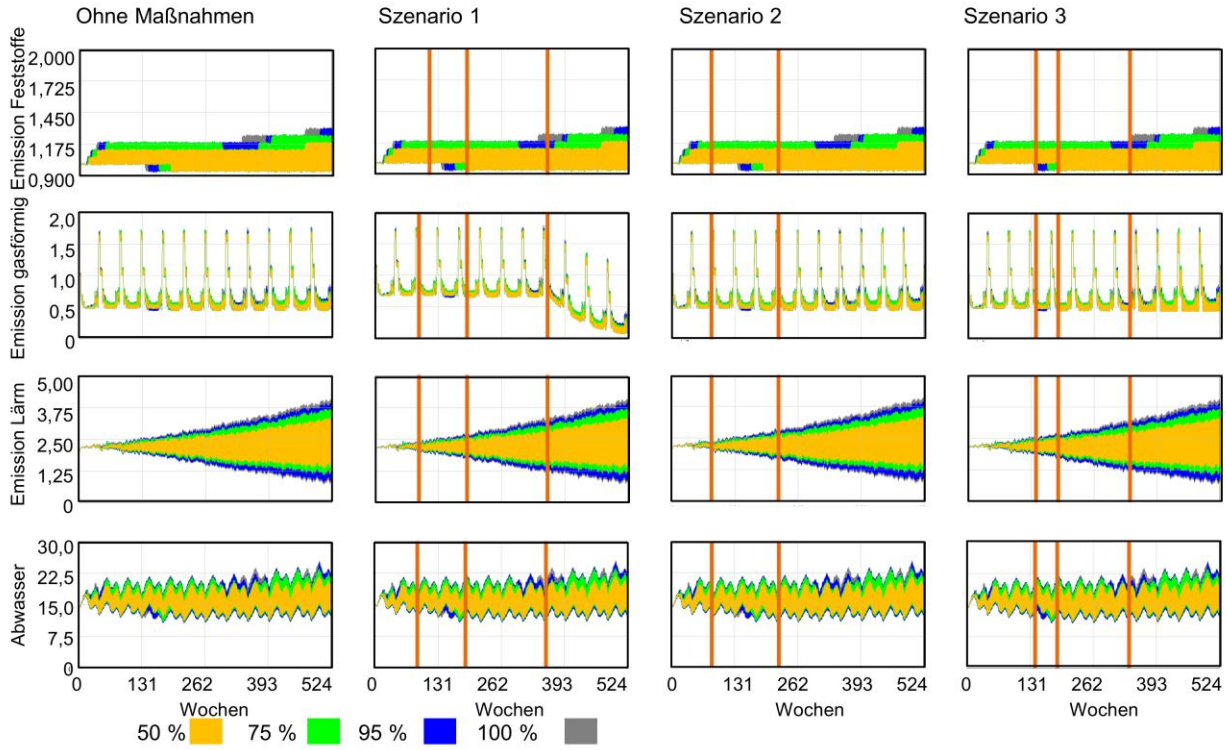


Abbildung 72: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit ökologischem Bezug (2/2)

Bei der detaillierten Betrachtung der ökologischen Ergebniskenngrößen (Abbildung 71 und Abbildung 72) ist insbesondere Szenario 1 (zweite Spalte) auffällig. Es ist aus der Wirkung der dritten Maßnahme eine Reduktion sowohl der Flächenversiegelung (Abbildung 71, zweite Spalte, vierte Zeile) als auch gasförmigen Emissionen (Abbildung 72, zweite Spalte, zweite Zeile) zu entnehmen. Dies zeigt, dass die Maßnahme „Reduktion Versieglung“ durch Parkplatzrückbau und Bauwerksbegrünung einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung des Unternehmens in ökologischer Sicht leistet. Weitere Auswirkungen haben keinen vergleichbar signifikanten Effekt und lassen sich ausschließlich in der Detailbetrachtung ableiten. Ebenso ist aus ökologischer Sicht keine Verschlechterung der Situation durch die eingeführten Maßnahmen feststellbar.

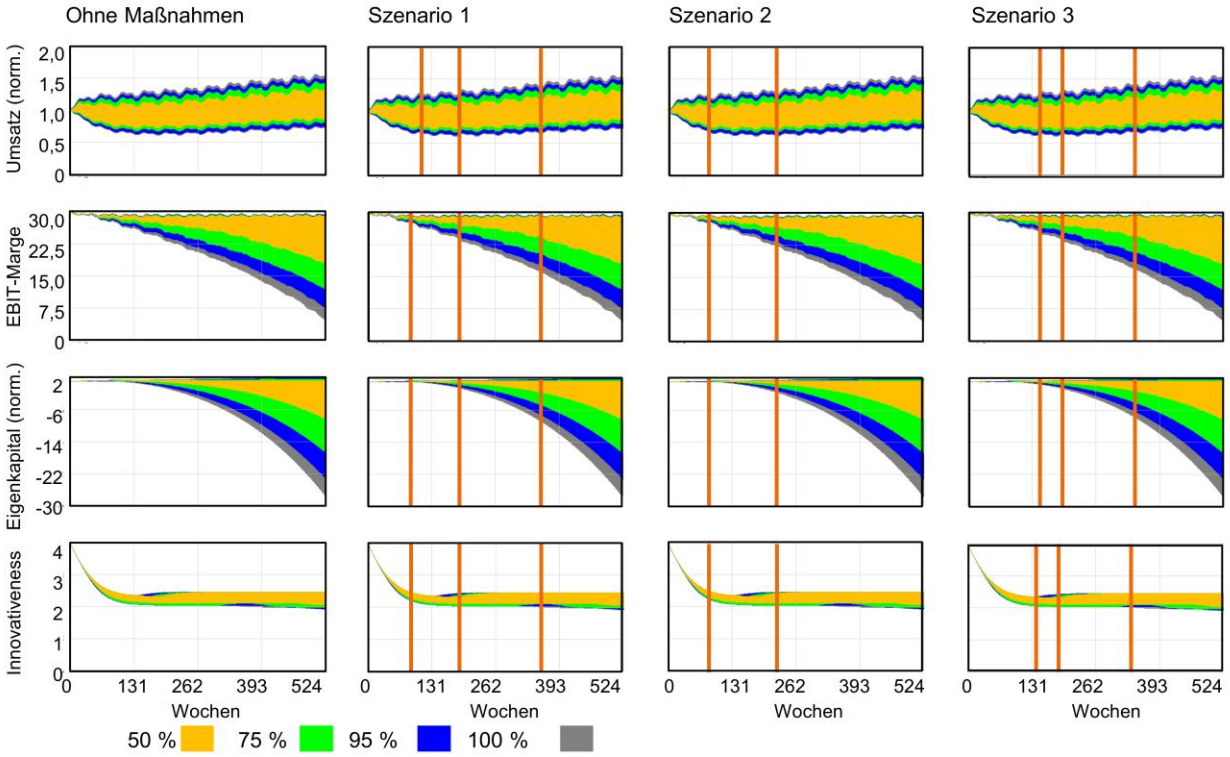


Abbildung 73: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit ökonomischem Bezug

Bei der Betrachtung der ökonomischen Kenngrößen (Abbildung 73) zeigt sich deutlich, dass die betrachteten Maßnahmen das Unternehmen nicht dahin gehend belasten, dass die Wettbewerbsfähigkeit durch die Maßnahmen eingeschränkt wird. Die negativen Effekte auf die Kenngrößen EBIT und Eigenkapital konnten hinsichtlich der Ursache auf etwaigen Fachkräftemangel und potenzielle negative Rahmenbedingungen für Material- und Energiebezug eingegrenzt werden. Die ökonomischen Wirkungen der Maßnahmen sind so klein, dass sie sich nicht direkt in den Ergebniskenngrößen identifizieren lassen.

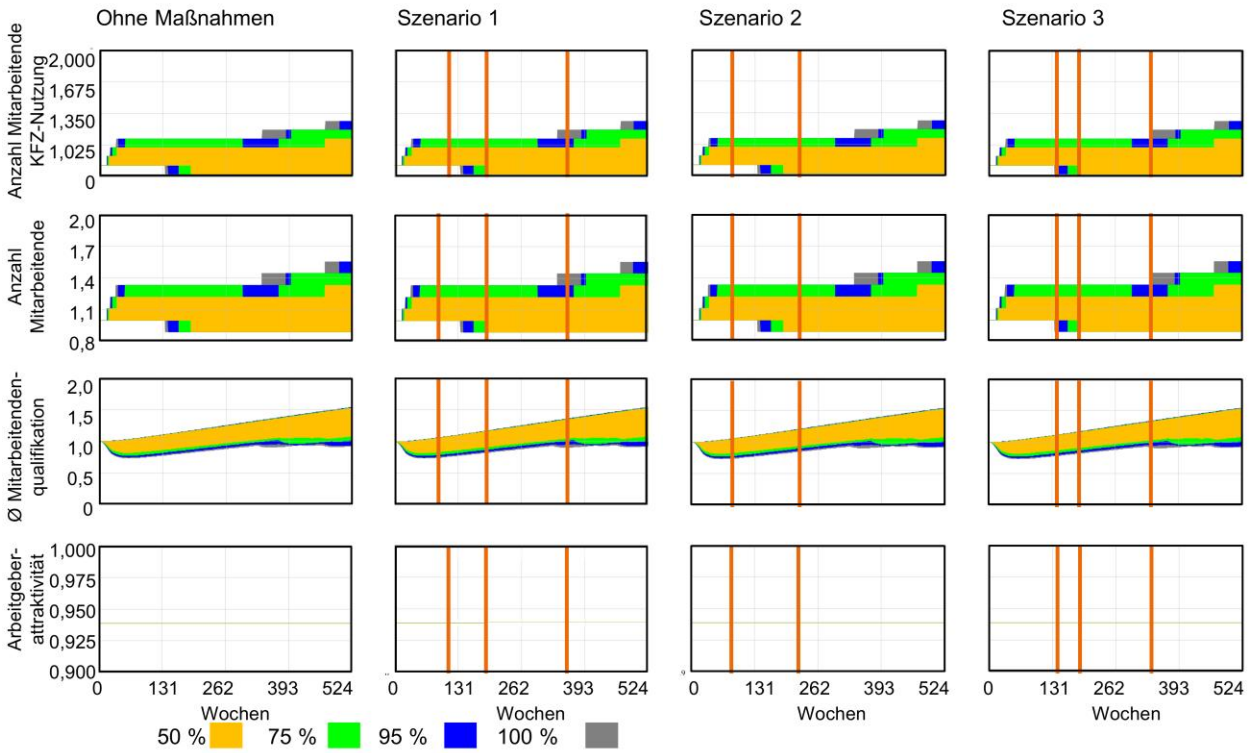


Abbildung 74: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit sozio-technischem Bezug

Bei der Untersuchung der Ergebnisse im sozio-technischen Kontext (Abbildung 74) ist aus den Diagrammen, die sich direkt auf Mitarbeitende beziehen, keine konkrete Ableitung möglich. Auch wenn die Werte normiert sind, so sind die prozentualen Veränderungen groß. Gründe liegen in der geringen Anzahl der Beschäftigten, wodurch kleine Einflüsse mit Veränderungspotenzial direkt signifikant sind. Dies zeigt sich insbesondere in der stufenartigen Ausprägung. Interessant ist jedoch, dass sich bei der Arbeitgeberattraktivität in Szenario 1 (zweite Spalte) eine positive Entwicklung ableiten lässt.

Bei der Betrachtung der umfeldbezogenen Aspekte (Abbildung 75) sind ebenfalls nur geringe Effekte sichtbar. So ist beim Biodiversitätsindex in Szenario 1 (zweite Spalte) ein geringfügig abweichender Verlauf zu erkennen. Die Ausprägung zeigt eine größere positive Entwicklung, als bei den anderen Szenarien. Als Begründung für diese Ausprägung ist die Reduktion der Versiegelung zu nennen, wodurch ein positiver Beitrag zum Lebensraum für Pflanzen und Tiere geleistet wird.

Auch bei der Betrachtung des Beitrages zum Umfeld zeigt sich in Szenario 3 (vierte Spalte) gegenüber den anderen Auswertungen ein signifikanter Unterschied. Dieser lässt sich auf die Öffnung der Produktion als Repare-Café oder MakerSpace zurückführen. Das Unternehmen schafft ein zusätzliches Angebot für das urbane Umfeld.

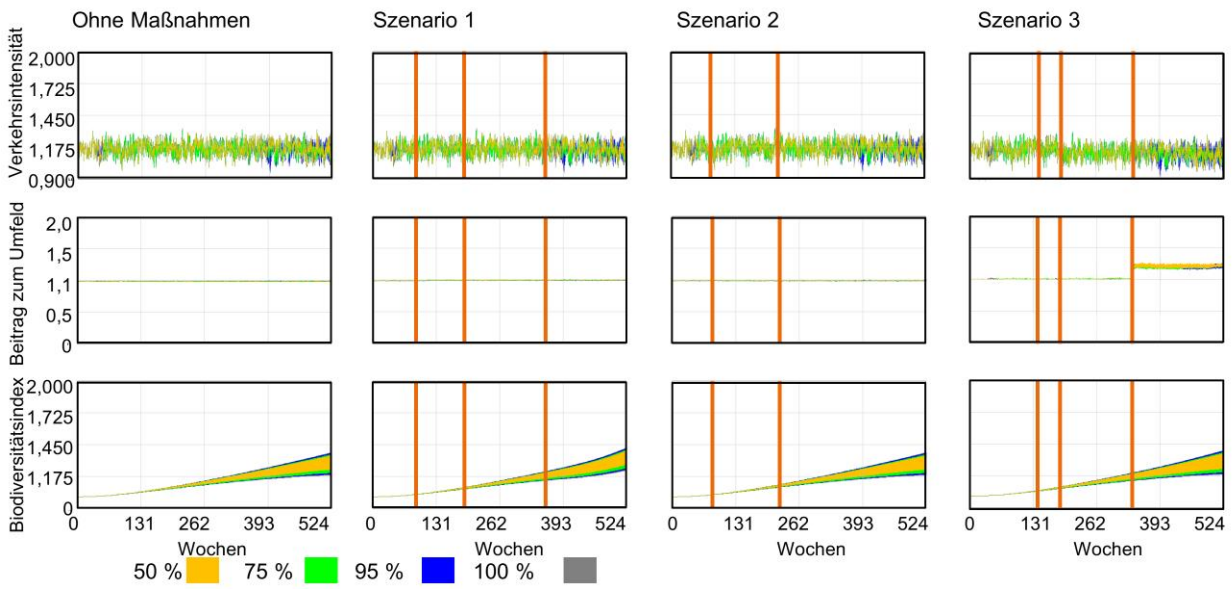


Abbildung 75: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des kleinen Evaluationsunternehmens mit Umfeldbezug

6.2.4 Schlüsse und Folgerungen

Aufgrund der Größe des Unternehmens sind die Bedarfe an Personal und Energie klein. Unter Berücksichtigung der vor Ort angesiedelten Unternehmen ist es zwar repräsentativ, da die Mehrzahl der lokalisierten Unternehmen vergleichbar groß ist. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Industrien im Umfeld, erscheint eine Übertragung nur bedingt möglich. Aus der Diskussion mit dem Unternehmen haben sich Anknüpfungspunkte für unternehmensübergreifende Aktionen ergeben, jedoch sind auch die Grenzen der Anwendbarkeit aufgrund der Unternehmensgröße zu Tage getreten.

Eine begrenzte Anwendbarkeit ergibt sich durch die Größe des Unternehmens. Um die Wirksamkeit von einzelnen Maßnahmen bewerten zu können, muss eine Nutzung statistisch wahrscheinlich sein. Demnach muss eine ausreichend große Menge an potenziellen Nutzern oder Adressaten vorliegen, um statistisch eine Wirksamkeit bei den Ergebniskennwerten zu erhalten. Da das Unternehmen nur eine geringe Beschäftigtenzahl hat, sind Maßnahmen mit Bezug zur Belegschaft nur punktuell wirksam. Insbesondere Maßnahmen für die Unterstützung einzelner Beschäftigungsgruppen sind von geringer Wirksamkeit. Aufgrund der Größe der Bedeutung für die Umgebung lassen sich kaum Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen erzeugen. Weiterhin stellt sich die Frage nach den Eigentumsverhältnissen hinsichtlich Betriebsgelände, Fabrikgebäude und weiterer Infrastruktur. Im Falle eines Dritten als Eigentümer der Flächen und Gebäude müssen die Maßnahmen auch in das Zielsystem des Eigentümers passen. Wenn die Maßnahmenrealisierung zu

erhöhten Betriebskosten aber begrenzten Auswirkungen auf das unternehmensspezifische System führen, verlieren die Maßnahmen an Attraktivität.

Die systematische Untersuchung und Diskussion von strategischen Setzungen unterstützt das Unternehmen jedoch in der Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten. So bietet der vorliegende Ansatz Anknüpfungspunkte an viele unterschiedliche Maßnahmen, welche dem Unternehmen bisher unbekannt oder ohne Bezug zur Weiterentwicklung der Organisation waren. Da die Forderung nach Nachhaltigkeit durch die Kunden zunimmt, bietet der Ansatz der Organisation bisher unberücksichtigte Aspekte zu prüfen. So entwickelte sich aus der Diskussion einzelner Maßnahmen die Idee in Kooperation im lokalen Unternehmensnetzwerk anzugehen, um so eine größere Wirkung bei reduzierter Investition zu erreichen. Auch erzeugten die simulierten Ergebnisse eine Verhandlungsbasis für die Diskussion mit dem Infrastruktureigentümers über die langfristige Standortentwicklung. Die bisherigen strategischen Betrachtungen in der Organisation bezogen sich selten auf einen Zeitraum größer von drei Jahre. Die aus der Simulation resultierende Diskussion zeigte den Bedarf einer längerfristigen Vorausschau auf, wobei eine kurzzyklische Aktualisierung alle ein bis zwei Jahre auch Sicht des Unternehmens als nicht zielführend empfunden wird.

Aus Sicht der Organisation war die Analyse wertvoll. Die Erkenntnisse aus der Vorstellung der Maßnahmen, Simulation möglicher Szenarien und die moderierte Diskussion sind für die Organisation von Nutzen. Auch werden zukünftig weitere Maßnahmen in der Weiterentwicklung berücksichtigt, wenn es durch die wirtschaftliche Situation darstellbar ist. Denn die Darstellung der Wechselwirkungen zeigte Potenziale für künftige Entwicklungen und Ausrichtungen auf. Jedoch wird der Aufwand, dieses Vorgehen als Bestandteil in die Strategieentwicklung zu integrieren, als zu groß und damit nicht zielführend erachtet.

6.3 Fallstudie 2 – Mittleres Unternehmen

Im zweiten Anwendungsfall erfolgt die Anwendung des Ansatzes auf ein mittleres Unternehmen. Das ausgewählte Unternehmen fertigt Produkte für den Freizeitbedarf, welche jahreszeitlichen Schwankungen des Produktportfolios unterliegt. Dabei produziert das Unternehmen eigene Entwicklung als Produktlinien, fertigt aber auch kundenbezogene Produkte. Das Hauptmaterial ist hierbei Kunststoff. Auch wenn die Produkte für Endkunden und Nutzer ausgelegt sind, erfolgt der Vertrieb mehrheitlich über Händler und Handelsketten. Das etablierte Produktionssystem kann als Make-to-Stock charakterisiert werden (Abbildung 76).

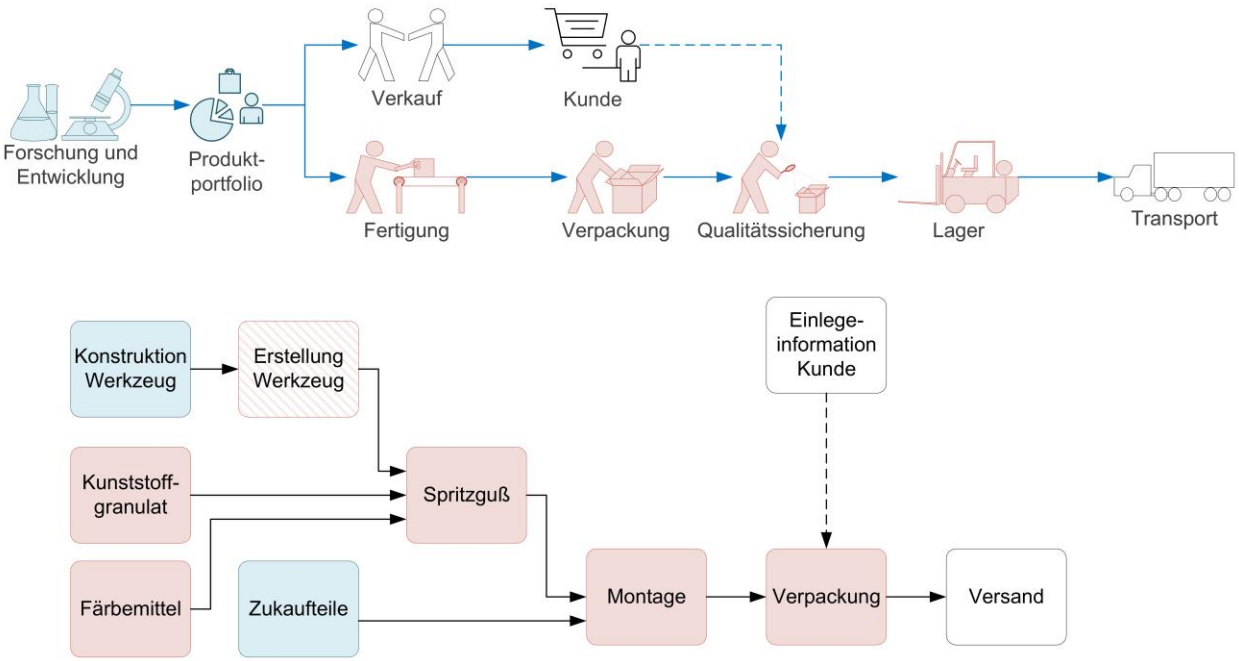


Abbildung 76: Vereinfachter Wertschöpfungsprozess des Evaluierungsbeispiel (mittleres Unternehmen)

Das Unternehmen ist nach dem zweiten Weltkrieg gegründet worden. In einer wechselvollen Geschichte konnte das Unternehmen sich mit der Kompetenz und Innovationskraft am Markt behaupten. Bis zum heutigen Tag ist es gelungen sich zum Marktführer im Kern-Produktsegment zu entwickeln. Um die jahreszeitlichen Schwankungen der Kernprodukte auszugleichen, werden freie Kapazitäten für die Auftragsfertigung von Kunststofferzeugnissen am Markt angeboten. Diese aufgabenteilige effiziente Zusammenarbeit verschiedener Fakultäten ist in eine passende Organisationsstruktur übersetzt (siehe Abbildung 77). Somit ist das Unternehmen fähig sich durch stetige Innovationstätigkeiten auszuzeichnen. So werden die Produkte kontinuierlich weiterentwickelt. Aber auch bei der Materialverarbeitung setzt das Unternehmen auf innovative Ansätze und arbeitet an der Industrialisierung von biobasierten Kunststoffen sowie Einsatz von recycelten Kunststoffgranulaten. Denn die aktuellen Entwicklungen analysiert das Unternehmen stetig in ihrem Führungsteam und passt dahingehend die strategischen Planungen und Innovationsfelder an.

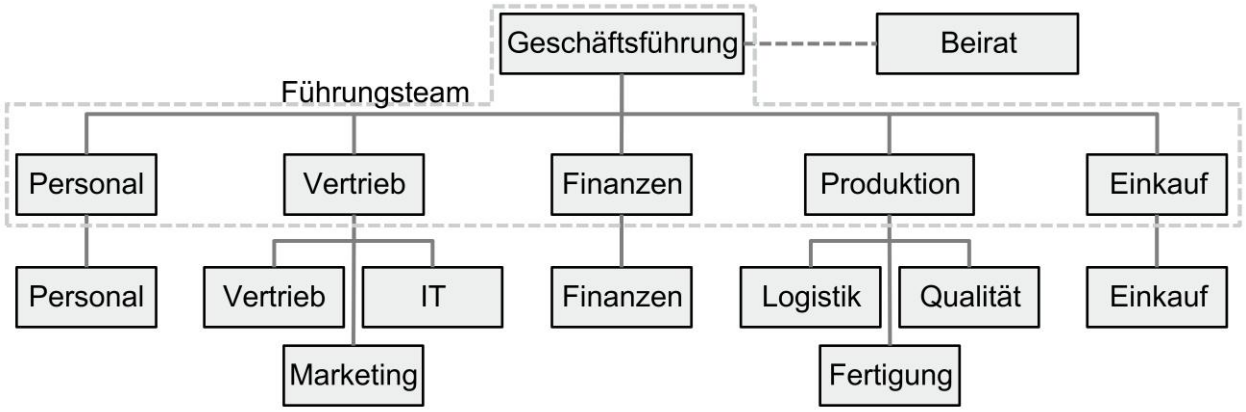


Abbildung 77: Organisatorische Struktur des mittleren Unternehmens

Das Unternehmen ist in einem Gewerbegebiet an der Ortsrandlage angesiedelt. Aufgrund der gewachsenen Strukturen am Standort, ist das Unternehmensgelände an drei Seiten von Wohngebäuden umgeben. Auch zum nächstgelegenen Fernverkehrsanschluss (Bundesautobahn) müssen Wohngebiete durchquert werden. Dies bietet bei anhaltender Entwicklung der wirtschaftlichen Tätigkeiten Potenzial für Reibung und Widerstände der ortsansässigen Bevölkerung.

6.3.1 Modelladaption

Das betrachtete Unternehmen hat ein konkretes Produktportfolio, welches sich in zwei saisonalspezifischen Produktgruppen (Sommer und Winter) unterteilt. Die Produkte werden basierend auf Marktvorhersagen produziert. Auch wenn die Möglichkeit besteht, dass Großkunden die Produkte in ihren Aufträgen individualisieren, sind diese Anpassungen hauptsächlich durch Farbkombinationen und Aufkleber charakterisiert. Ein Großteil des wirtschaftlichen Erfolgs hängt von Einzelhändlern und Webshop-Integrationen ab. Für die Planung der Ressourcen, sowie längerfristiger Erfolgsaussichten entwickelt das Management-Team regelmäßig einen Forecast zum Vertriebserfolg der Produktkategorien und identifiziert Innovations- und Entwicklungsbedarfe. Diese Vorhersage bietet die Basis für die Ableitung der geschäftlichen Entwicklung für das Modell (siehe Abbildung 78). Die Prognosen der potenziellen Geschäftserfolgs können im Modell analog zur Prognose der konjunkturellen Entwicklungen genutzt werden. Dafür sind die Beziehungen in angepasster Form im Simulationsmodell modelliert, um die Verarbeitung der unterschiedlichen Informationen spezifisch vorzunehmen. Aus Sicht der Unternehmensführung hat die saisonale Entwicklung eine signifikante Wirkung (Abbildung 79). Die gesamtwirtschaftliche Entwicklung hat nur eine nachgelagerte Bedeutung. Die Unternehmensführung hat, basierend auf den aktuellen Rahmenbedingungen, eine Prognose des potenzielles Vertriebserfolgs abgeleitet. In Abstimmung werden die Planungsdaten sowie die saisonale Schwankung bei der Betrachtung berücksichtigt.

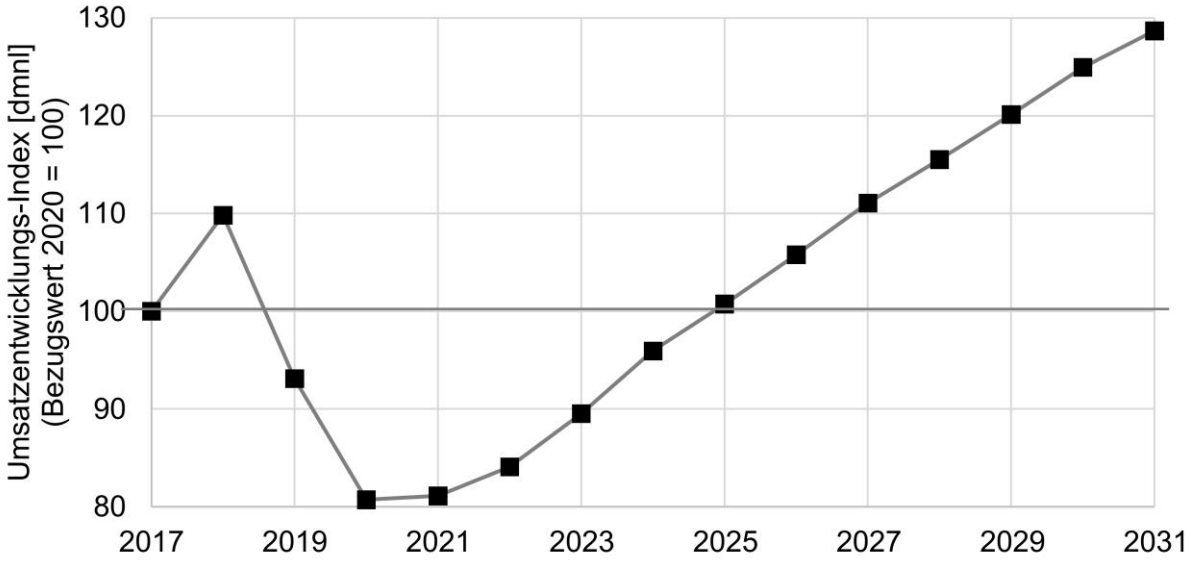


Abbildung 78: Indexierte Prognose des Vertriebserfolgs auf jährlicher Basis, historische Werte und Prognose des Managementteams (Mittleres Evaluationsunternehmen, 2021)

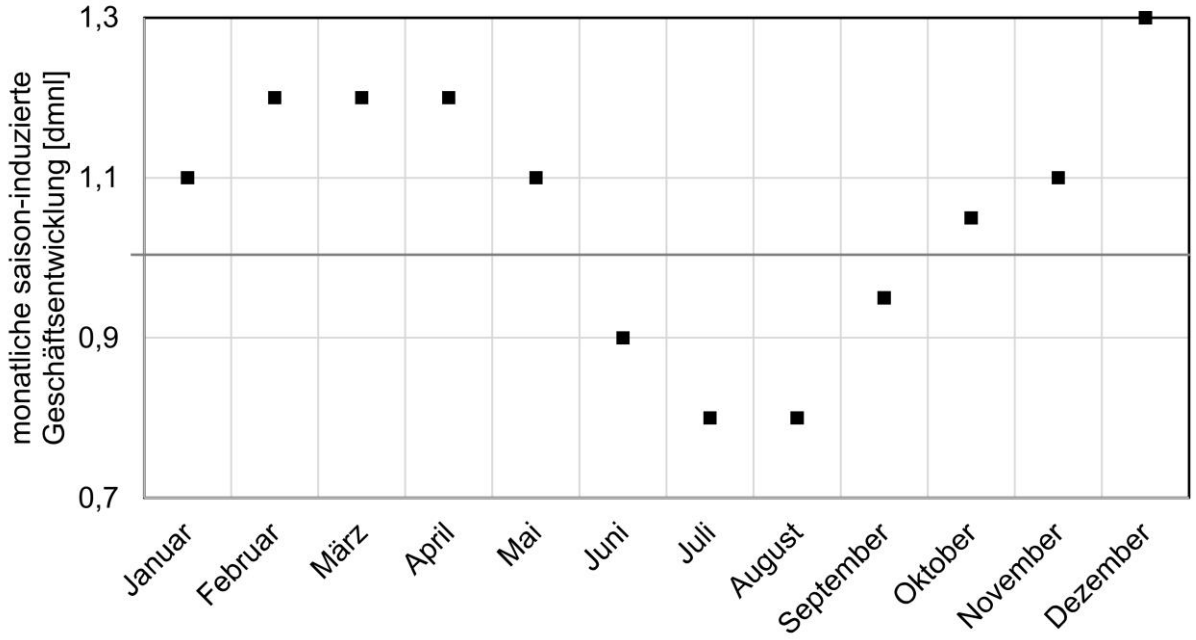


Abbildung 79: Saisonale Schwankungen der geschäftlichen Entwicklung auf monatlicher Basis, basierend auf empirischen Werten des Unternehmens (Mittleres Evaluationsunternehmen, 2021)

Auch beim mittleren Unternehmen wird die Konkurrenz um Fachkräfte sichtbar, wenn auch aufgrund der Unternehmensgröße sehr differenziert. Der Wissensintensitäts-Index gibt deshalb die typische Anforderung für die Mehrheit der Arbeitskräfte wieder (siehe Abbildung 80, oben). Die vergleichbare geringe Produktkomplexität (Herstellung und Montage ausschließlich mechanischer

Komponenten) mit hohen Maschineneinsatz macht nur geringes Spezialisierungskenntnisse notwendig. Um aber das hohe Qualitätsniveau sicherzustellen, bedarf es gelernter Arbeitskräfte, die im Unternehmen auf die Aufgaben spezialisiert geschult werden.

Auch in diesem Fall wird die Lage des Produktionsstandorts durch den Gebietsfaktor und den Straßenfaktor charakterisiert (siehe Abbildung 80, mittig und unten). Die Lage ist als Ortsrandlage mit wenigen gewerblich geprägten Unternehmen zu kennzeichnen. Das Unternehmen liegt demnach in direkter Nachbarschaft zu Arealen mit Wohnbebauung. Die Anlieferung und Abholung können einerseits zu Autobahn mit der Passage an Wohnbebauung vorbei, oder durch dünn besiedeltes Gebiet mit ausgebauten Straßen. Da aber die Mehrzahl der Produkte überregional ausgeliefert wird, ist der Straßenfaktor für die Fahrt durch die Wohnareale zu priorisieren.

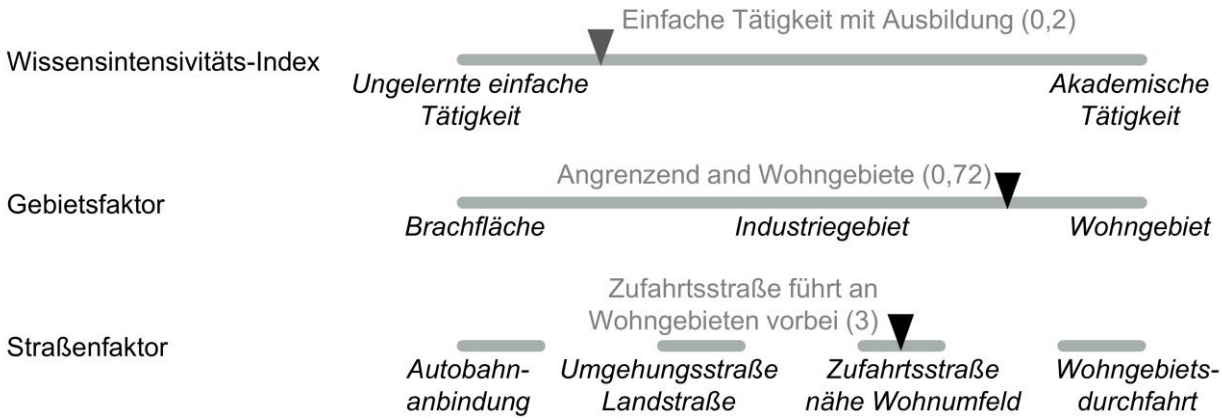


Abbildung 80: Unternehmensspezifische Informationen zu Lage und Anforderungen an Arbeitskräfte für das kleine Unternehmen

6.3.2 Beschreibung der definierten Szenarios

Ausgehend von der Datenerhebung für die Anpassung des generischen Modells spezifisch auf das Unternehmen, erfolgte die Bewertung der vorgeschlagenen Maßnahmen. Im Rahmen eines interaktiven Austausches wurden weitere Maßnahmen gesammelt. Da aber alleinig die modellierten Maßnahmen für die Detailbetrachtung relevant sind, wurde für diese eine Bewertung hinsichtlich der beiden Dimensionen – Beitrag zu langfristigen Zielen und Aufwand-Nutzen-Verhältnis – durchgeführt (siehe Abbildung 81).

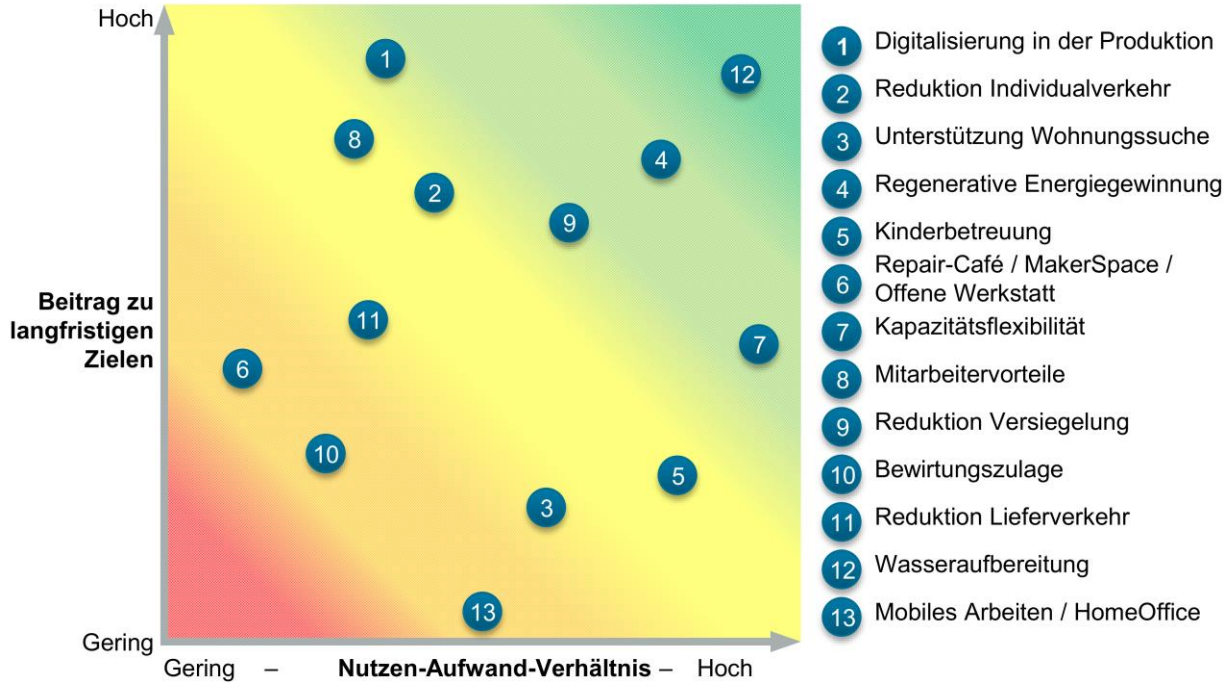


Abbildung 81: Unternehmensseitige Bewertung der Weiterentwicklungsmaßnahmen

Die Maßnahmen mit Lage im rechten obigen Bereich der Portfolio-Darstellung werden als relevant betrachtet, da das Aufwand-Nutzen-Verhältnis positiv ist. Für das Unternehmen spielen einige Trends eine gewichtige Rolle in der Betrachtung der zukünftigen Entwicklung. Der Beitrag zu den langfristigen Zielen war neben dem Aufwand-Nutzen-Verhältnis ausschlaggebend für die Auswahl. Die für das Unternehmen wichtigsten Themen sind umweltbewusstes Wirtschaften, Gewinnung von passenden Fachkräften und steigende Material- und Energiekosten (Hertwig, 2021a). Diese Themenfelder wurden bei der zeitlichen Einordnung der potenziellen Maßnahmen berücksichtigt (vgl. Abbildung 82). Ebenso wurden Abhängigkeiten von bereits in Umsetzung befindlichen Maßnahmen diskutiert (Hertwig, 2021d).

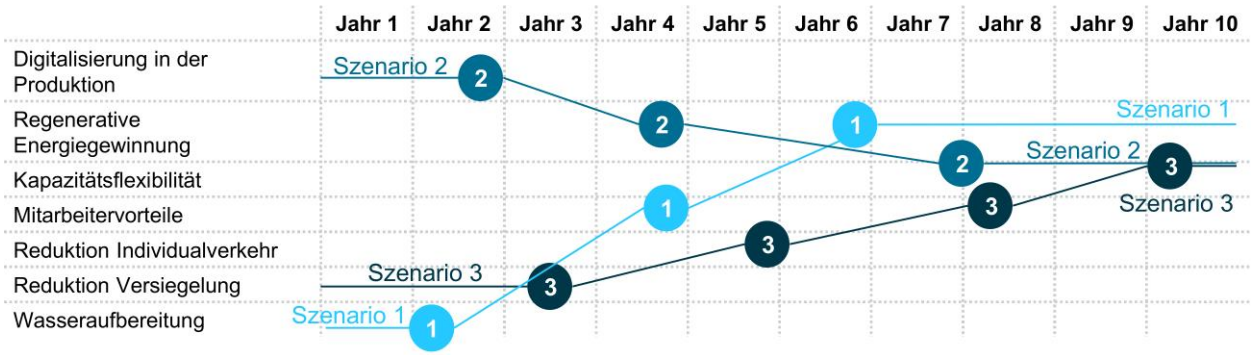


Abbildung 82: Abgeleitete Szenarien für das mittlere Unternehmen

6.3.3 Auswertung der Systemdynamik-Simulation

Analog zu Kapitel 6.2.3 (vgl. Seite 138) erfolgt die Aufbereitung der Simulationsergebnisse im Evaluierungsfall 2, wobei die gleiche Vorgehensweise genutzt wurde.

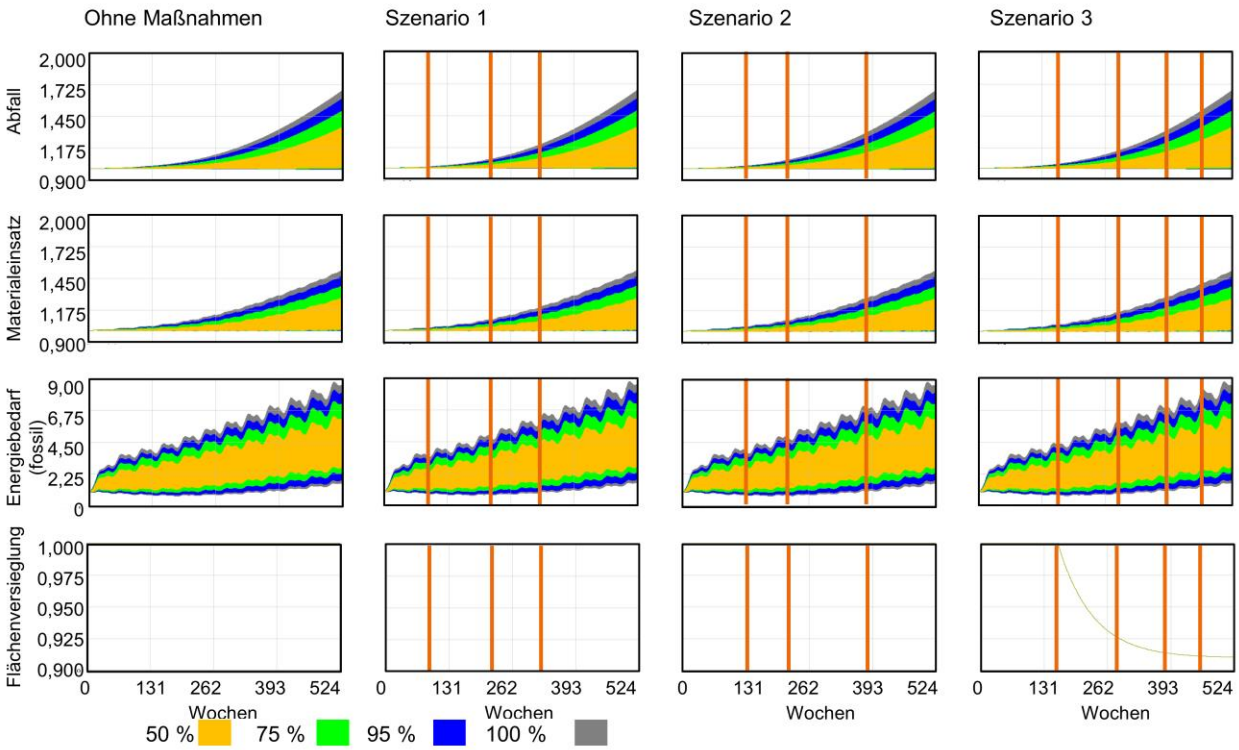


Abbildung 83: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit ökologischem Bezug (1/2)

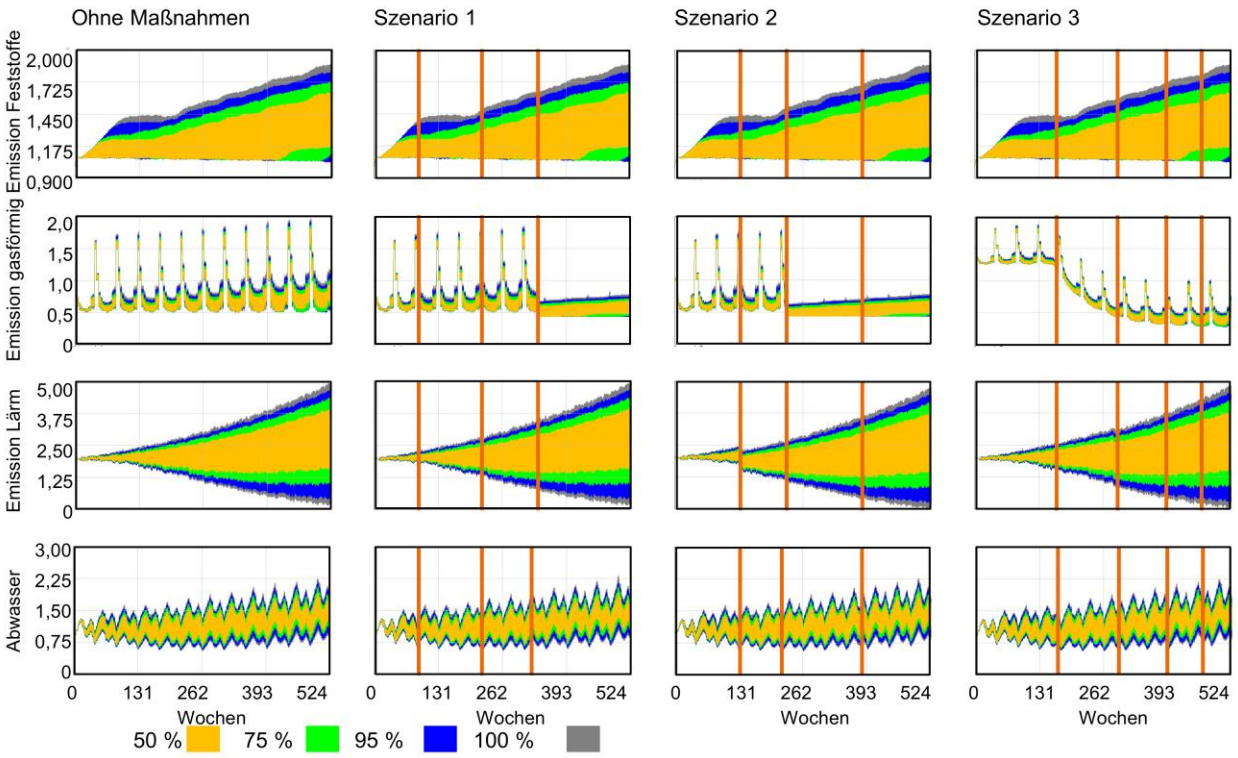


Abbildung 84: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit ökologischem Bezug (2/2)

Die Untersuchung der ökologischen Ergebniskenngrößen (Abbildung 83 und Abbildung 84) zeigt in allen Szenarien signifikante Einflüsse. In den Szenarien 1 (zweite Spalte) und 2 (dritte Spalte) wirkt sich die Einführung von regenerativer Energieerzeugung mit hohem Selbstnutzungsanteil positiv auf die gasförmigen Emissionen aus. Die Spitzen in der kälteren Jahresperiode werden durch die regenerative Energieerzeugung eliminiert. Zusätzlich wirkt sich die Digitalisierung der Produktion positiv aus. In Szenario 3 (vierte Spalte) trägt die Reduktion der Flächenversiegelung zur verbesserten Emissionsbilanz bei. Zusätzlich kann vermerkt werden, dass keine Maßnahmen in einer Verschlechterung der ökologischen Ergebniskennwerte resultiert.

Aus den ökonomischen Kennwerten (Abbildung 85) lässt sich ableiten, dass keine der Maßnahmen die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens übermäßig belastet. Die Belastungen durch die Maßnahmen sind entsprechend klein, um direkt signifikant in den Kenngrößen sichtbar zu sein und existenzielle Auswirkungen ableiten zu können.

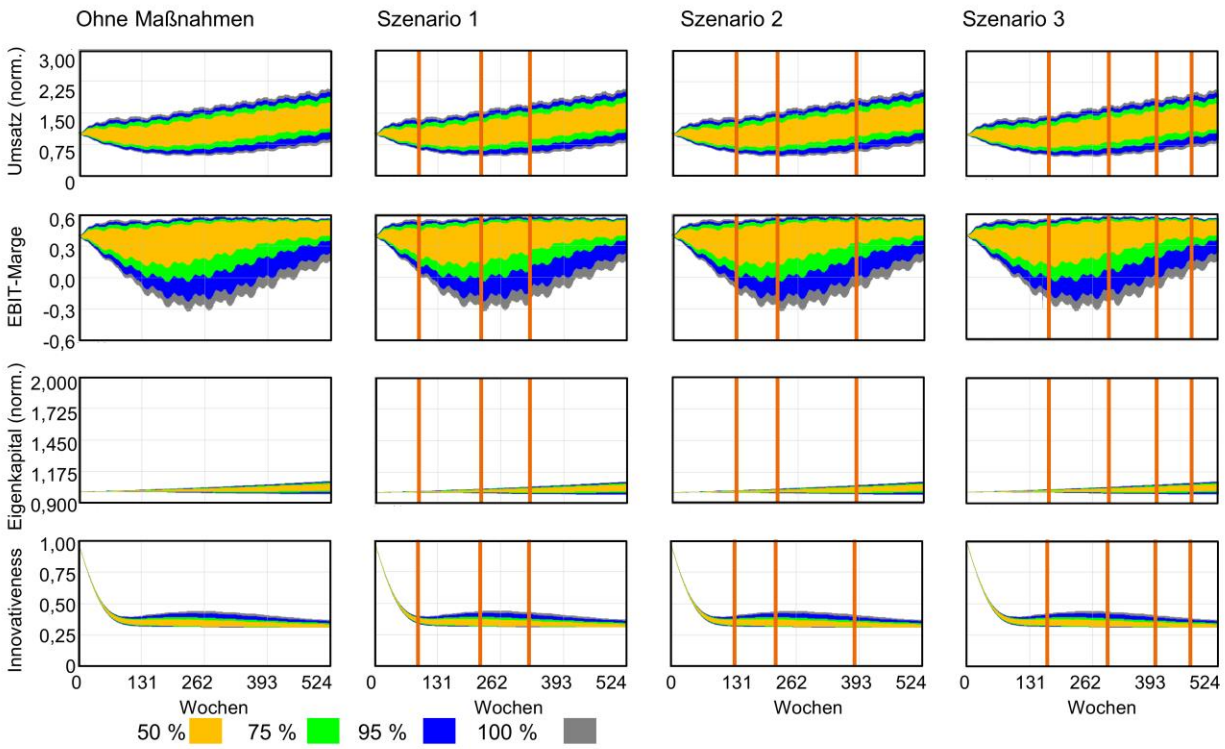


Abbildung 85: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit ökonomischem Bezug

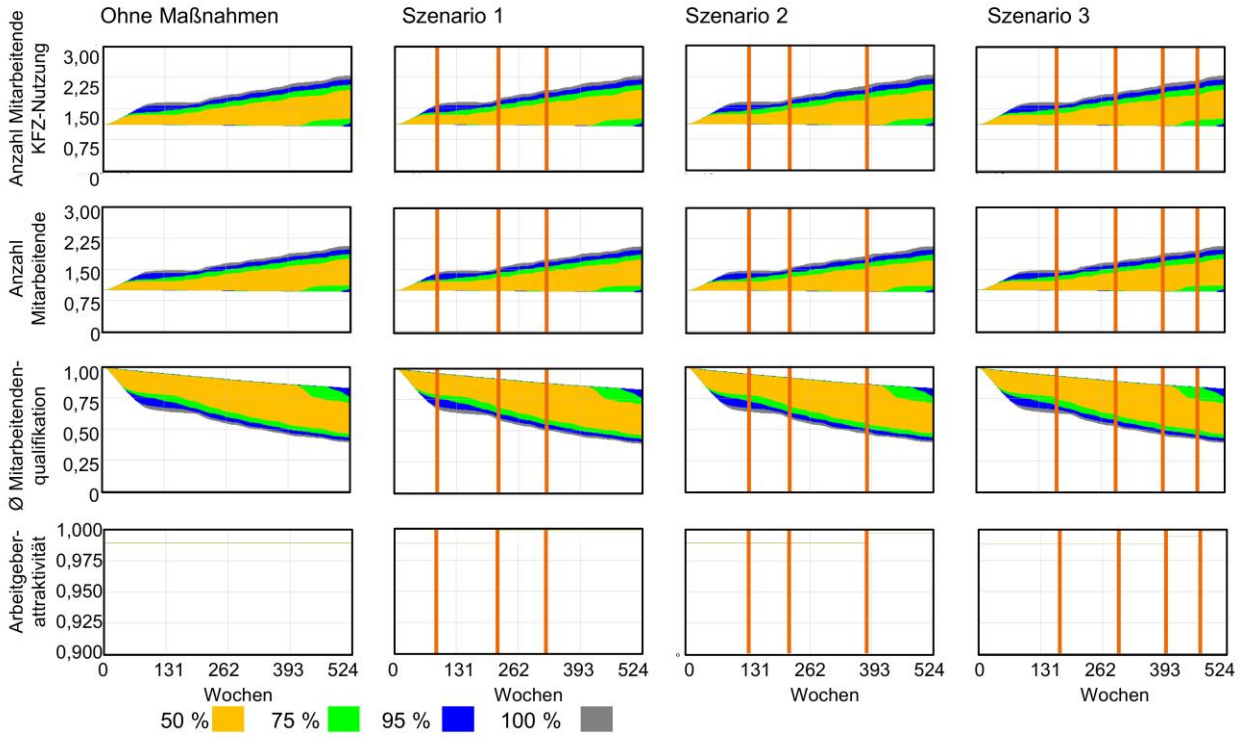


Abbildung 86: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit sozio-technischem Bezug

Ebenso lassen die Auswertungen der Ergebnisse im sozio-technischen Kontext (Abbildung 86) nur geringe Ausleitungen zu. Jedoch sind die Wirkungen der beiden Maßnahmen mit hohem Mitarbeitenden-Bezug (Mitarbeitenden-Vorteile und Kapazitätsflexibilität) in der Arbeitgeberattraktivität direkt ersichtlich. Damit wird dem Unternehmen direkt ein möglicher Stellhebel für eine Positionierung für die Mitarbeitendengewinnung und -bindung präsentiert. Selbstverständlich gibt es weitere Maßnahmen, jedoch könnte die Wirksamkeit durch eine anonyme Befragung unter den Mitarbeitenden zusätzlich eruiert werden.

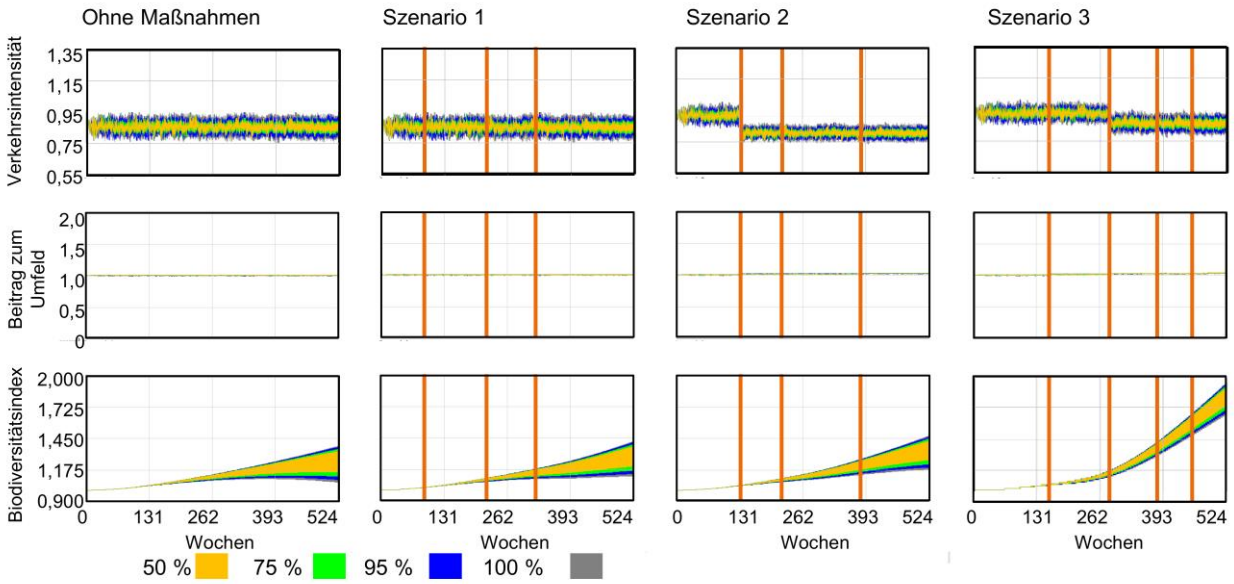


Abbildung 87: Ergebnisdiagramme der Kennwerte des mittleren Evaluationsunternehmens mit Umfeldbezug

Auch die Betrachtung der umfeldbezogenen Aspekte zeigt konkrete Beiträge aus den Szenarien auf (Abbildung 87). Die Effekte sind unterschiedlich ausgeprägt, insbesondere bei Szenario 2 (dritte Spalte) und Szenario 3 (vierte Spalte) sind die positiven Effekte direkt aus der Veränderung der Kennwerte ersichtlich. Deutlich sichtbar sind die Maßnahmen Kapazitätsflexibilisierung und Optimierung der Personalmobilität hinsichtlich der Verkehrsbelastung, welche erkennbar verringert wird. Der Beitrag zum Umfeld ist nicht ausreichend groß, um die Auswirkung direkt sichtbar zu machen. Im Szenario 1 (zweite Spalte) und Szenario 2 (dritte Spalte) resultieren die Maßnahmen langfristig in einer geringfügig positiveren Auswirkung auf die Biodiversität. Wie sich verschiedene Maßnahmen verstärken und damit eine signifikante Verbesserung hervorbringen, zeigt Szenario 3 (vierte Spalte), bei der Optimierung Individualverkehr, Kapazitätsflexibilität und regenerative Energieerzeugung am Standort verstärken, was auch langfristig in der Biodiversität sichtbar wird.

6.3.4 Schlüsse und Folgerungen

Das Unternehmen stellte fest, dass es für viele Aspekte eine passende Größe besitzt. Das Unternehmen schätzt die Potenziale einen positiven Beitrag für die Mitarbeitenden und das Umfeld zu schaffen, attraktiv ein. Aus der Eingangsdiskussion sind einzelne Aspekte intern mehrfach in der Diskussion aufgenommen worden. Das Führungsteam sieht bei einzelnen Ansätzen nur begrenzten Aufwand notwendig. Das Vorgehen zur Weiterverfolgung von Maßnahmen erfolgte direkt nach der Vorstellung der Ergebnisse.

Besonders attraktiv wurde die Erhöhung eines positiven ökologischen Beitrags betrachtet. Die Lage des Unternehmens in direkter Waldnähe führt auf den bestehenden Grünflächen regelmäßig zur Ansiedlung von Baumsprösslingen. Deshalb wird die Gefahr erhöhter Pflegekosten von Dachbegrünung abgeleitet, um die Erhaltung der Funktionsfähigkeit sicher zu stellen. Eine Dachbegrünung wird direkt verworfen.

Um trotzdem die freien Dachflächen wirkungsvoller auszunutzen, wird eine Machbarkeitsstudie für die Überbauung mit Photovoltaik zur Erzeugung erneuerbarer Energie angestoßen. Wenn es gelingt, etwa durchschnittlich 70 % des Energiebedarfs durch erneuerbare Energien zu decken, kann die Investition attraktiv sein. Der Einsatz von Photovoltaik zur Eigenerzeugung erhöht den Autarkiegrad und reduziert entstehende Kosten mit Bezug zur Energie.

Die Digitalisierung der Prozesse wird auch unabhängig von der vorliegenden Untersuchung aktiv vorangetrieben. Für die zukünftige Optimierung soll insbesondere die Weiterentwicklung der Organisation von logistischen Prozessen im Fokus stehen. Denn nicht nur die hohe Anzahl an Anlieferungen und Abholungen fordern das Unternehmen, sondern auch die dazugehörenden Hilfsprozesse (Etikettierung, Zusammenstellung der Transportlose, Organisation der zeitgerechten Güterbereitstellung und Ladungshandling). Hier strebt das Unternehmen mittels digital-unterstützter Optimierung eine Bündelung von An- und Ablieferungsverkehren an, was sich ökologisch und sozial positiv auf das Umfeld auswirken wird. Wichtiger Erfolgsfaktor ist dabei die datengestützte Unterstützung der Prozesse, welche mit dem auf Stand gebrachten Enterprise-Resource-Planning (ERP) System und dem zugehörigen Logistik-Modul ermöglicht werden.

Weitere Maßnahmen mit einem Fokus auf die soziale Perspektive werden als attraktiv betrachtet. Da aber die aktuelle Situation hinsichtlich der Arbeitskräftegewinnung noch nicht als kritisch bewertet wird, sollen diese Maßnahmen nachrangig durch einzelne Führungsmitglieder betrachtet und konkretisiert werden. Hier kann aus Sicht des Unternehmens die Nähe zu Schule, Kindergarten und Kindertagesstätte ein guter Ausgangspunkt sein, um zukünftig insbesondere junge Mitarbeitende zu gewinnen und zu binden.

Das Führungsteam hat die Ergebnisse intern diskutiert. Die Analyse wird als wertvolle Ergänzung der aktuellen Unternehmensstrategie betrachtet, da die ökologische und soziale Perspektive stärker in den Fokus gerückt wurde. Insbesondere die Vorstellung potenziell denkbarer Maßnahmen und deren Wirkzusammenhänge erzeugten im Führungsteam ein tieferes Verständnis hinsichtlich der potenziellen Beeinflussungsmöglichkeit. Das vertiefende Verständnis der einzelnen Maßnahmen, welche durch die moderierte Diskussion und die Entwicklung potenzieller Weiterentwicklungs-Szenarien erzeugt wurden, werden von der Organisation als nutzenstiftend bewertet. Denn die Simulation erlaubt eine Gegenüberstellung von Aufwänden für Maßnahmen mit deren Beitrag in Perspektiven, lässt trotzdem die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Unternehmens nicht außer Acht. Eine Einbindung des Szenario-basierten Vorgehens in den jährlichen Strategieentwicklungsprozess wird vom Unternehmen als zu aufwändig gesehen. Als Hauptargument wird das fehlende Spezialwissen angeführt. Die Simulation an sich könnte aus Sicht der Führung erfolgen auch als Szenarien-basierter Prozess, ggf. mit Fortschreibung der bereits entworfenen Szenarien, jedoch werden die Entwicklung von Schlussfolgerungen sowie die Bereitstellung von Detailinformationen als herausfordernd betrachtet. Ein periodisches Update mit größerem Zeithorizont wird als zielführend betrachtet, da durch das moderierte Vorgehen zusätzliche Impulse in den Strategieprozess eingebracht werden können und die Sicht von außen als wertvoll erachtet wird.

Für mittlere Unternehmen zeigt die Analyse maßgebliche Potenzialergänzungen auf, die ohne den Impuls nicht berücksichtigt worden wären. Denn die perspektiven-übergreifende Herangehensweise stellte eine Sensibilisierung für die zukünftig zunehmende Relevanz hinsichtlich Nachhaltigkeit her. Durch die Diskussion der Kausaldiagramme gelang es dem Führungsteam Wirkzusammenhänge und -mechanismen besser zu verstehen. Diese Erkenntnisse werden nun zunehmend in die strategische Planung integriert, um das Unternehmen zukünftig attraktiver und nachhaltiger aufzustellen.

6.4 Generische Evaluierung

Losgelöst von der unternehmensspezifischen Betrachtung sollte der Ansatz universeller validiert werden. Die meisten Diskussionen finden aktuell in Kommunen und städtischen Planungsrunden statt, um Attraktivität für die Ansiedlung von Unternehmen zu steigern. Aber ohne das Verständnis des Bedarfs in den Unternehmensführungen erfolgt keine Veränderung in der Ausrichtung. Bei Unternehmen, die Ansätze der urbanen Produktion realisiert haben, sind die Veränderungen von der Führung induziert und werden durch sie getragen (Dornbracht, 2013, Hundsdörfer, 2015). Einerseits müssen die Maßnahmen finanzierbar sein. Andererseits erwarten sich die Unternehmen kurz-, mittel- und langfristige Vorteile. Daraus versprechen sich diese Unternehmen insbesondere

längerfristig eine bessere Wettbewerbssituation, z.B. bei Attraktivität für Arbeitskräfte, Optimierung der Ressourcennutzung und Außenwahrnehmung hinsichtlich Nachhaltigkeit.

Abbildung 88: Sammlung von aktuellen Herausforderungen aus Unternehmensperspektive (Hertwig, 2021b)

Als Format, um die Perspektiven der zukünftigen Entscheider zu sammeln, diente ein interaktiver Austausch. In einer ersten Phase der Sensibilisierung, wurde das Themenfeld Produktion im urbanen Raum vorgestellt. Neben einführenden Diskussionen zum Themenfeld Nachhaltigkeit erfolgte eine Abfrage zu relevanten und akuten Herausforderungen aus Unternehmenssicht (siehe Abbildung 88). Durch eine Sammlung und Gruppierung der Inhalte konnte eine Trend-Karte erstellt werden (siehe Abbildung 89).

Es wurde die entwickelte Methode vorgestellt. Die Teilnehmenden sollten ein vertiefendes Verständnis zum Vorgehen, den Zielen und den Ergebnissen erhalten. Durch die anonymisierte Darstellung der Simulationsergebnisse der beiden Evaluierungsunternehmen konnten potenzielle Entwicklungspfade detailliert diskutiert werden. Im Rahmen einer anschließenden offenen Diskussion konnten offene Punkte aus Sicht der Teilnehmenden nochmals zugespitzt werden.

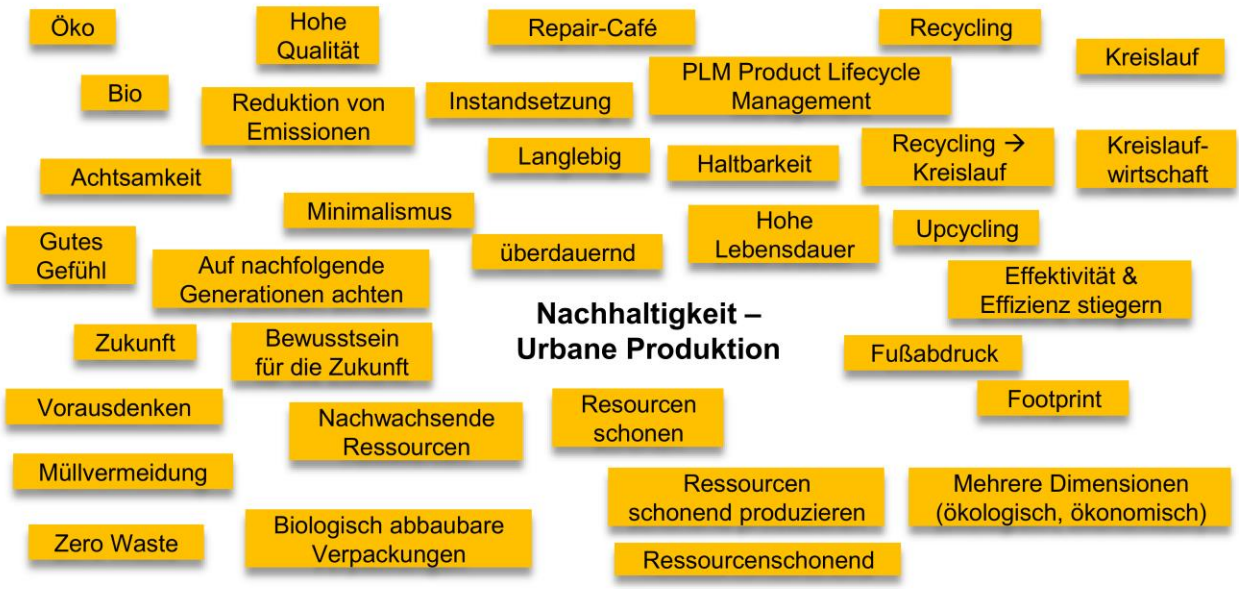


Abbildung 89: Trend-Sammlung hinsichtlich urbaner Produktion (Hertwig, 2021b)

Für die Evaluierung aus Sicht von Nachwuchsführungskräften erfolgte eine Befragung der Teilnehmenden. Gefragt wurde nach der Eignung der Methodik, um Wirkungen mit nicht ausschließlich fiskalischen Effekten herzustellen und das Verständnis der Wirkzusammenhänge zu vertiefen. Weiterhin sollte eingeschätzt werden, wie gut sich dieser Ansatz eignet, um zusätzliche Aspekte oder alternative Herangehensweisen bei der Findung von Investitionsentscheidungen mit einzubeziehen. Abschließend sollten die Teilnehmenden die aufgezeigten Handlungsfelder sowie modellierten Perspektiven hinsichtlich der Relevanz für die Unternehmenstransformation bewerten. Dabei sollten sie aus ihrem Erfahrungshintergrund einen Abgleich des vorgestellten Modells sowie der Schlussfolgerung der Unternehmen vornehmen und eine Bewertung herbeiführen. Alle drei Aspekte wurden mehrheitlich positiv bewertet (siehe Abbildung 90).

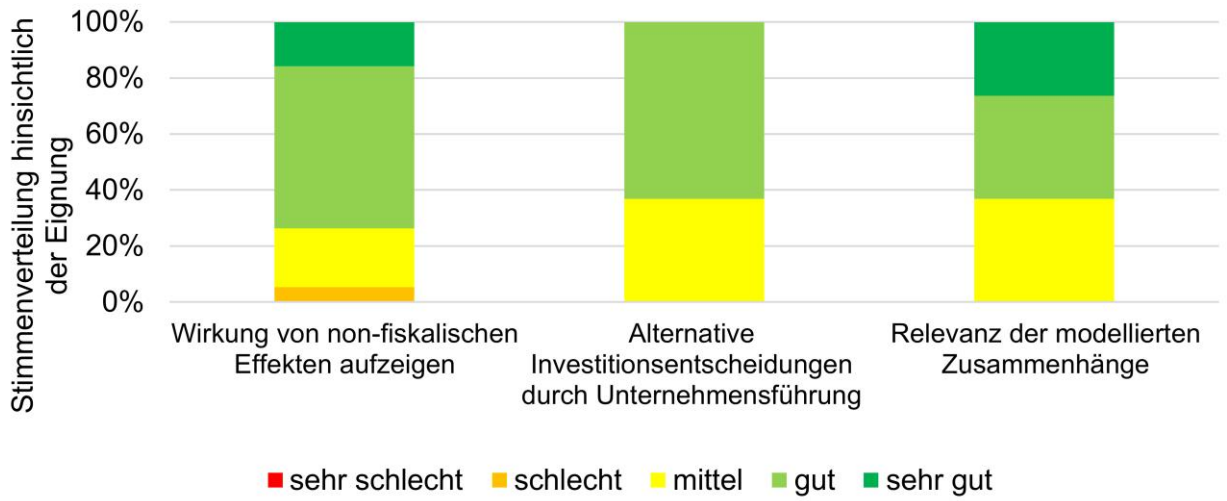


Abbildung 90: Einschätzung der Nachwuchsführungskräfte am Ende des Evaluierungsworkshops (Hertwig, 2021b)

7 Ergebnisevaluierung und kritische Bewertung der Ergebnisse

Durch die Anwendung der Methode im Unternehmenskontext konnte gezeigt werden, wie eine praxisbezogene Anwendung ablaufen kann. Die Evaluierungspartner zogen ihre Schlüsse hinsichtlich der Anwendbarkeit für die Unternehmenspraxis. Wie die Methode die angestrebten Aspekte unterstützt, soll basierend auf den Evaluationsergebnissen strukturiert betrachtet werden.

7.1 Zusammenfassung der angestrebten methodischen Ziele

Nachhaltigkeit und Verträglichkeit von Produktion im urbanen Umfeld werden hinsichtlich externer Rahmenbedingungen bedeutsamer. Diese externen Rahmenbedingungen sind durch die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen übergeordnet zusammengefasst und stellen damit eine Leitlinie für die benötigte Transformation der Gesellschaft dar. Dabei hat die produzierende Industrie einen gewichtigen Anteil, da die industrielle Produktion einen signifikanten Anteil an dem aktuellen Wohlstand der Gesellschaft hat. Es bestehen drei extern-induzierte Mechanismen, die in eine Transformation der industriellen Produktion münden:

1) Gesetzliche Rahmenbedingungen erfordern eine Veränderung der Organisation
   Gesetze und Verordnungen bilden den Rahmen für das gesellschaftliche Zusammenleben. Nicht selten werden diese aufgrund von externen Anlässen angepasst. Diese Anpassungen resultieren auch für Organisationen in Veränderungen der Rahmenbedingungen. Damit müssen diese eine Anpassung von Prozessen, Handlungsweisen oder anderen Aspekten des wirtschaftlichen Betriebs vornehmen, um weiterhin ohne Einschränkungen agieren zu können. Gesetzliche Regelungen mit signifikanter Wirkung sind beispielsweise das Mindestlohn-Gesetz und die Abgasnormen für Verbrennungstechnologien.
2) Engpässe gefährden die wirtschaftliche Entwicklung der Organisation
   Veränderungen auf der Angebotsseite führen häufig auch zu Reduktionen auf der Ergebnisseite. In diesen Fällen muss eine Substituierung erfolgen. Ist eine Substitution nicht wirtschaftlich möglich müssen aufgrund der Verknappung entstandene erhöhte Entgelte entrichtet werden. Gegenmaßnahmen lassen sich nicht immer kurzfristig realisieren, sondern können auch zeitintensiv bis zur Realisierung sein. Beispiele für Engpässe können die Ölkrise, der zunehmende Fachkräfte-Mangel und andere extern induzierte Unverhältnismäßigkeiten von Angebot und Nachfrage sein.
3) Transformation bietet das Potenzial langfristig erfolgreich zu sein
   Organisationen, die eine alternative Herangehensweise wählen und so einen Wettbewerbsvorteil erschließen, können disruptiv wirken aber auf jeden Fall innovativ. Denn sie

schaffen durch die schnelle Adaption an die geänderten Rahmenbedingungen eine bessere Ausgangslage im Wettbewerb. Dies geschieht vielfach nach einer Transformation von Anteilen der Organisation. Denn durch die Veränderungen werden neue Prozesse, Geschäftsmodelle möglich oder am Markt entsteht eine andere Wahrnehmung der Organisation und ihrer Produkte. Beispiele für erfolgreiche Transformationen sind die Verbreitung von PCs, Smartphones oder dem Internet.

Mit der entwickelten Methode sollen insbesondere die Gründe 2 und 3 adressiert und unterstützt werden. Unter dieser Voraussetzung lassen sich Kriterien ableiten, die eine Bewertung des Erfüllungsgrades unterstützen (Tabelle 14).

Tabelle 14: Bewertungskriterien als Basis für den Erfüllungsgrad

Anwendbar für unterschiedliche produzierende Unternehmen	Im urbanen Umfeld befinden sich verstärkt kleine und mittlere Unternehmen. Für diese Unternehmen soll die Methode eine Unterstützung darstellen. Die entwickelte Methode soll Unternehmen dieser Größe bei der strategischen Entwicklung unterstützen, um nachhaltiger zu wirtschaften. Durch die Verbindung von Nachhaltigkeit, unter Berücksichtigung der Wettbewerbsfähigkeit, soll den Unternehmen eine Handreichung für einen optimierten Ressourceneinsatz geboten werden. Urbane Produktion bezieht sich auf die sekundären Wirtschaftsunternehmen mit dem Fokus der Gütererstellung oder -veredelung. Die Anwendbarkeit soll jedoch nicht auf eine Branche begrenzt sein, sondern universell an die produzierenden Unternehmen adaptierbar sein.
Einfache Anwendbarkeit – geringer Aufwand bei Nutzung	Zur Generierung eines Nutzens für die Unternehmen muss das Verhältnis aus Aufwand und Wissenszuwachs attraktiv sein. Damit wird die Wahrscheinlichkeit gesteigert, dass die Methode regelmäßig durchgeführt wird. In diesem Fall kann ein Beitrag zu längerfristigen Veränderungen geleistet werden. Um ein positives Verhältnis zu schaffen, muss die Datenerhebung, um das Modell auf das betrachtete Unternehmen zu adaptieren, gering sein. Gleichermaßen muss die Methode (Simulation inkl. begleitende Informationen) einen deutlichen Mehrwert gegenüber implementieren Ansätzen bieten. Dazu ist neben der Ergebnisfunktion auch

	der Wissenstransfer ein bedeutender Aspekt. Dadurch wird eine aufklärende Wirkung entfaltet, die auch Veränderungen bei den externen Rahmenbedingungen adressiert.
Steigerung der Nachhaltigkeit im Unternehmen und Attraktivität für das Umfeld	Da in vielen Unternehmen der Erfolg primär an fiskalischen Kennwerten gemessen wird, muss die Methode diesen Betrachtungsraum erweitern. Die Betrachtung muss um die weiteren Dimensionen der Nachhaltigkeit erweitert werden. Nur so kann der Fokus auf die ökonomische Entwicklung zugunsten anderer Perspektiven abgeschwächt werden. Die Betrachtung von ökologischen und sozialen Verbesserungen unterstützt Unternehmen langfristig wirkende Maßnahmen zu berücksichtigen, da der Mehrwert nur bei langzyklischer Betrachtung sichtbar wird.

Für die Bewertung des Erfüllungsgrades werden die Kriterien gemäß der formulierten Zielstellung detailliert. Ausgehend von Auskünften und Schlussfolgerung der Evaluierungsunternehmen während der Diskussion sowie den Rückmeldungen der Kontrollgruppe aus jungen Führungskräften erfolgt die Einordnung hinsichtlich des angestrebten Forschungsziels.

7.2 Abgleich der Evaluationsergebnisse mit Zielen

Das entwickelte Vorgehensmodell zur Unterstützung der Weiterentwicklung von produzierenden Unternehmen im urbanen Kontext wird mittels der voran zusammengeführten Anforderungen unter Berücksichtigung der Validierungsergebnisse nachfolgend bewertet. Der Erfüllungsgrad kann gering ◔, mittel ◑, hoch ◕ oder nicht erfüllt ○ sowie vollständig erfüllt ● betragen. Die Grundlage für die Einschätzung wird anschließend detailliert dargestellt (Nummer nimmt Bezug zu Einzelaspekten) und wird als systematische Bewertung in Tabelle 15 hinsichtlich der Erfüllungsgrade aufgeschlüsselt.

Die Anwendbarkeit der Methode auf produzierende Unternehmen wird als erfolgreich bewertet, der Ansatz mit zwei produzierenden Unternehmen vollständig durchgezogen wurde (1). Aufgrund der Anwendung bei Unternehmen unterschiedlicher Größe, einem kleinen und einem mittleren Unternehmen, konnte die Anwendbarkeit unabhängig von der Unternehmensgröße bei mittelständisch geprägten Unternehmen aufgezeigt werden. Beide Unternehmen sind gemäß der Klassifizierung nach WZ 2008 Unternehmen der Kategorie C – verarbeitendes Gewerbe (Statistisches Bundesamt, 2008). Demnach erfolgte die Evaluierung an produzierenden Unternehmen mit

unterschiedlichen Produkten und Geschäftsmodellen (2). Der Aufwand zur Datenerhebung ist bei beiden Unternehmen als überschaubar zu bewerten. Die benötigten Daten lassen sich aus turnusgemäß zu erstellenden Berichten (Berichtsdaten) oder aus dem operativen Geschäft extrahieren. Beim kleinen Unternehmen erfolgte die Extraktion aller Daten aus den Unterlagen, welche für die Erstellung der Steuerberichtserstattung genutzt werden. Beim mittleren Unternehmen mussten einige Werte erst durch manuelle Erhebung erzeugt werden. Da eine Bereitstellung der Daten für die Spezifizierung des Modells innerhalb einer Woche erfolgte, ist der Aufwand als unkritisch zu bewerten (3). Die Simulationsergebnisse sind im Anschluss an die Erzeugung aufbereitet worden. Damit sollte das Verständnis für die Ergebnisse der Simulation vereinfacht werden. Jedoch musste im Rahmen der Diskussion der Ergebnisse die Erzeugung erläutert werden. Insbesondere die Unterschiede zwischen Single-run und Multi-Run erzeugten Fragen, die aber ausgeräumt und der erzeugte Mehrwert der unterschiedlichen Darstellungen dargestellt werden konnte. Demnach ist die Anforderung „leichte Verständlichkeit“ nur mittel erfüllt (4). Mit der Einbettung der Methode in einem beratungsorientierten Vorgehen erfolgte auch ein Impuls zur Nachhaltigkeit und den zugehörigen Perspektiven. Durch die Diskussion von aktuellen Herausforderungen im Unternehmen und Umfeld konnten mögliche Beiträge durch nachhaltige Aspekte diskutiert werden. Diese Diskussion trug maßgeblich zum Verständnis des Mehrwerts von nachhaltiger Produktion und langfristiger, wirtschaftlichen Nachhaltigkeitszielen bei (5). Durch die Auswirkung der Maßnahmen im Rahmen der Simulation erkannten die Unternehmen, dass die Maßnahmen teilweise finanziell keinen Beitrag leisten, aber andere Herausforderungen adressieren. Damit erhalten automatisch die Perspektiven Sozial und Ökologie einen größeren Stellenwert, da die Wirkung der Maßnahmen auf Teilaspekte aufgezeigt wird. Trotzdem sind die Unternehmen im Fokus ihren Shareholdern gegenüber verpflichtet, womit die Perspektive Ökonomie wichtiger bleibt (6). Jedoch lassen sich die Unternehmen auf längere Amortisationszeiten ein, da die Transformation der Organisation nicht in allen Aspekten kurzfristig zu vollziehen ist. Aber das Aufzeigen möglicher Wirkeffekte der ausgewählten Maßnahmen, teilweise mit Wirkung auf Berichtskennzahlen, unterstützt die Diskussion über eine langfristige Investitionsplanung (7). Aufgrund des Analysezeitraums mit einer Dauer von 10 Jahren eignet sich der Ansatz für langfristig ausgelegte Aktivitäten. Dies bestätigen auch die Unternehmensvertreter, die in den Simulationsergebnissen eine sinnvolle Ergänzung für strategische Überlegungen zur Effizienzsteigerung sowie der Produktportfolio-Ausprägung sehen (8). Durch die Vorstellung der potenziell geeigneten Maßnahmen im Kontext der Ausprägung von verträglicher Produktion im urbanen Raum erfolgte ein Wissenstransfer. Die anschließende Diskussion über die Maßnahmen und deren Beitrag zu den Nachhaltigkeitsperspektiven vertiefte das Wissen des Managementteams der Unternehmen. Damit werden auch bisher unbekannte Maßnahmen für die Unternehmensweiterentwicklung interessant. Denn das vertiefende Verständnis

erlaubt eine veränderte Sicht auf die Maßnahmenpotenziale. Dies zeigte die Reaktion der Entscheidungsträger, die einzelne Maßnahmen in veränderterer Form prüften (9). Organisationen überprüfen ihre strategischen Annahmen in regelmäßigen Zyklen. Meist wird zu diesem Zeitpunkt eine Anpassung der strategischen Prämissen vorgenommen, wenn Abweichungen vom angestrebten Zielpfad identifiziert werden (Gleißner, 2020, Arx, 2006). Eine Integration der Simulationsergebnisse als Bestandteil dieser Analyse soll die Grundlage für den verstärkten Fokus auf die nachhaltige Entwicklung legen. Erkenntnis aus der Diskussion mit den Entscheidenden ist, dass der Aufwand zu groß wahrgenommen wird, um die Simulation und aktualisierten Ergebnisse bei jedem Review einfließen zu lassen. Die zusätzliche Betrachtung wird als hilfreich wahrgenommen, wonach sie in größeren Abständen als jedes Jahr zur Ergänzung der strategischen Entwicklung als hilfreiches Element integriert sein soll (10).

Tabelle 15: Erfüllungsgrad der benannten Anforderungen

	Anforderung	**Erfüllungsgrad**
1	Anwendbarkeit bei kleinen und mittelgroßen Unternehmen (KMU)*	●
2	Anwendbarkeit bei produzierenden Unternehmen (Anpassung abhängig vom Geschäftsmodell)	●
3	Datenerhebung für die Spezifizierung des Modells für Unternehmen einfach durchführbar	●
4	Simulations-Ergebnisse sind leicht verständlich für Unternehmen, wenig erklärungsbedürftig	◑
5	Stärkung des Verständnisses zum nachhaltigen Wirtschaften und Produzierens	●
6	Nivellierung der Übergewichtung der ökonomischen Perspektive zugunsten der sozialen und ökologischen Perspektive	◕
7	Berücksichtigung von Maßnahmen mit längerem Amortisationszeitraum – langfristige Entwicklung	●
8	Eignung der Methode zur Entwicklung einer Langfrist-Strategie unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitszielen	●
9	Sensibilisierung der Unternehmen für zusätzliche Maßnahmen** und deren Wirkung	●
10	Nutzbarkeit für regelmäßiges Review im Strategieentwicklungsprozess	◑

*) Nach EU-Definition

**) Maßnahmen mit Bezug zum Umfeld und urbaner Systembestandteile

8 Fazit und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Produzierende Unternehmen agieren nach dem Prinzip der Gewinngenerierung. Dabei erfolgt eine kontinuierliche Optimierung von Wirkbeziehungen zur Verbesserung von Effektivität und Effizienz. Diese Optimierung erlaubt eine Realisierung lokaler Extrema, da nur Ausschnitte des Gesamtsystems betrachtet werden. Dieses Vorgehen hat sich als erfolgreich für die Verbesserung von Prozessen und Arbeitsabläufen im Kontext der Wertschöpfung bewährt. Jedoch berücksichtigt es nur in Ausnahmefällen, Aspekte der Nachhaltigkeit und Verträglichkeit mit Umfeldbedürfnissen.

Mit dem Ziel die Nachhaltigkeit der Unternehmen zu steigern, wird der Betrachtungskontext signifikant erweitert. Damit steigt gleichzeitig die Anzahl an potenziell relevanten Wechselbeziehungen und Wirkverbindungen. Denn das Unternehmen muss aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden. Das erhöht die Komplexität der Optimierungsaufgabe. Da der Unternehmenserfolg maßgeblich von den strategischen und operativen Entscheidungen der Führungskräfte abhängt, erhöht die gesteigerte Komplexität die Erfolgswahrscheinlichkeit. In der Forschung wird eine angepasste Entscheidungsunterstützung als zielführend beschrieben (Krallmann, 1985, Homburg, 2013). Dabei werden Szenario-basierte Ansätze immer wieder positiv bewertet. Damit werden die Entscheidungsträger in die Lage versetzt, sich mit unterschiedlichen potenziellen Zukunftsentwicklungen vertraut zu machen. Basierend auf ihrem Erfahrungswissen und Expertise werden sie befähigt, mit geringerem Risiko, gute und erfolgsversprechende Entscheidungen zu treffen (Mönkemeier, 2014, Cleophas, 2014, Kaiser, 2012). Um Nachhaltigkeit und Verträglichkeit mit dem Umfeld zu verknüpfen, ist eine integrierte Betrachtung der Wirkungen nötig. Aus den Diskussionen mit Vertretern der Praxis zeigt sich, dass Unternehmen im Kontext der Nachhaltigkeit immer noch einen Schwerpunkt auf die ökonomische Perspektive legen. Der Fokus der Betrachtung liegt vielfach auf der Amortisationszeit, welche für Entscheidungsträger eine wichtige Zielgröße darstellt. Denn gegenüber Anteilseignern bzw. Aufsichtsgremien müssen Investitionen vertreten und deren Nutzen in Sinne des Unternehmenserfolgs erläutert werden. Doch nicht alle Maßnahmen führen zu einem finanziellen Rückfluss oder verhindern direkt Ausfälle mit quantifizierbaren Folgen. Das erhöht die Schwierigkeit der Kommunikation sowie Verständnis bei den Aufsichtsgremien und reduziert die Akzeptanz und Umsetzungswahrscheinlichkeit.

Mit dem entwickelten Ansatz ist es gelungen einen ganzheitlichen Betrachtungsansatz für die Unternehmensweiterentwicklung zu schaffen. Durch die Darstellung der Abhängigkeiten innerhalb des Wechselwirkungssystems „Unternehmen-Umfeld“ werden Entscheidungsträger in Unternehmen für einen erweiterten Blick sensibilisiert. Denn einerseits ist das Verständnis von nachhaltiger und Umfeld-verträglicher Produktion nicht hinreichend konkret ausgeprägt. Hierfür bietet der

Ansatz ausreichend Erläuterungspotenzial und Diskussionsansätze. Damit kann das Verständnis der urbanen Produktion für das jeweilige Unternehmen geschärft und auch auf die vorliegenden Rahmenbedingungen (überregional als auch lokal) adaptiert werden. Andererseits ist die hohe Komplexität der Beziehung im Wechselwirkungssystem der Grund, dass die vielfältigen Zusammenhänge für Unternehmensvertreter nicht direkt nachvollziehbar sind. Die Darstellung des Wechselwirkungsdiagramms (Causal-Loop-Diagramm) stellte in der Diskussion mit den Vertretern der Unternehmen einen großen Mehrwert dar. Denn auch Wirkmechanismen höherer Ordnung werden auf diesem Weg nachvollziehbar und verständlich. Auch wenn diese Darstellung keine direkte Quantifizierung der Effekte erlaubt, bietet das gesteigerte Verständnis über mögliche Folgen eine valide Entscheidung. Denn aus den modellierten Wirkmechanismen werden Einflussmöglichkeiten und Steueransätze nachvollziehbar.

Die dargestellten Auswertungen der unternehmensspezifischen Auswirkungen auf Nachhaltigkeitskenngrößen weisen auf potenzielle Handlungsfelder für die Unternehmensentwicklung hin. In der Diskussion zeigten die Unternehmen aufgrund der vorgestellten Veränderungen von den Nachhaltigkeitsindikatoren Interesse an einer detaillierteren Betrachtung. Insbesondere die Betrachtung von Maßnahmen mit Energiebezug als auch im sozialen Kontext wurden interessiert aufgenommen. Die Unternehmen erklärten dies anhand aktueller Druckpunkte – steigende Energiekosten und Verschärfung des Fachkräftewettbewerbs.

8.2 Ausblick

Aufgrund der Forschungsfragestellung und der begrenzten Ressourcen ist das betrachtete Forschungsfeld begrenzt. Damit bietet diese Arbeit eine Detailbetrachtung einer konkreten Fragestellung. Basierend auf dem betrachteten Untersuchungsbereich lassen sich, weiterführende Untersuchungen ableiten, um die bereits dargestellte Anwendbarkeit noch zu verbreitern.

Aspekte der urbanen Produktion, Nachhaltigkeit und umweltverträglichen Wirtschaften sind aktuell aufgrund der gesellschaftlichen Debatten und Wetterereignisse im Fokus. Erfolgt die dezidierte Auseinandersetzung ist festzustellen, dass dahinter jedoch auch ein Umbau des gelebten Wirtschaftssystems steht, welches allein nach ökonomischem Wachstum strebt. Mit dieser Arbeit werden nicht die marktwirtschaftlichen Prinzipien kritisiert, jedoch kann Nachhaltigkeit alleinig durch einen Ausgleich der Perspektiven Ökonomie, Ökologie und Soziales wirksam umgesetzt werden. Dafür bedarf es enormer Anstrengungen, um ein Verständnis beim Unternehmensmanagement zu erwirken. Dies haben die Evaluierungsaktivitäten gezeigt. Denn auch wenn Verantwortliche dem Kern und der Zielrichtung der Debatten folgen können, so sind Handlungsanreize signifikant mit dem ökonomischen Erfolg verknüpft. Und ökonomischer Erfolg wird sichtbar mit

dem kapitalistischen Wachstumsstreben korreliert. Diese Arbeit versucht hierbei einen Weg aufzuzeigen, die Dimensionen Ökologie und Sozial im komplexen Abhängigkeitsgefüge zu stärken. Jedoch zeigten die Reaktionen der Ansprechpartner, dass die Begrifflichkeiten einer Erläuterung und Verständniswillen unterworfen sind.

Um das Verständnis sowie Akzeptanz für ein verträgliches Wirtschaften gesamtgesellschaftlich zu schaffen, bedarf es einer Erweiterung der Perspektiven in dieser Betrachtung. Nur wenn alle Stakeholder im wirtschaftlichen Ökosystems ein vergleichbares Verständnis entwickeln, lassen sich auch Anreize so anpassen, dass sie nicht ausschließlich auf das ausschließliche ökonomische Wachstum abzielen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass regulatorische Elemente und wettbewerbsbeeinflussende Rahmenbedingungen konkret Entscheidungen und Strategien beeinflussen. Die Schaffung von Rahmenbedingungen, um eine nachhaltigere Art der Produktion zu implementieren, ist implizit für Einzelorganisation ableitbar. Dabei bleibt diese Betrachtung nicht generalisierbar und strebt nicht an, politische Handlungsmaxime zu untersuchen. Vielmehr strebt das geschaffene Modell danach, Auswirkungen von unterschiedlicher Handlungsmöglichkeiten bei aktuell gegebenen Rahmenbedingungen bewertbar zu gestalten. Um die Wirksamkeit der Rahmenbedingungen auf die Transformation bewerten zu können, erscheint eine Ergänzung des Modells zur Berücksichtigung gesamtgesellschaftlicher Betrachtung zielführend. Auch sind Betrachtungen zu empfehlen, welche die regulatorische Rahmengestaltung in den Fokus rücken. Somit kann die Transformation, welche aktuell durch organisationsintrinsische Elemente motiviert wird, durch extrinsische Elemente verstärkt werden.

In der Arbeit werden unterschiedliche Maßnahmen zur Befähigung von verträglicher Produktion in direkter Nachbarschaft von Wohnarealen aufgezeigt. In das Modell sind ausschließlich einige ausgewählte Maßnahmen integriert worden. Anschließende Untersuchungen könnten die gelegte Basis aufgreifen und das bestehende Modell um weitere Maßnahmen ergänzen. Dabei ist durch enge Zusammenarbeit mit mittelständischen Unternehmen eine Priorisierung von relevanten Perspektiven als zielführend einzuordnen. Gleichsam lassen sich mit den Unternehmen weitere Maßnahmen entwickeln, um so den nutzbaren Maßnahmenkatalog zu erweitern. Dies können auch die Überlegungen zu den Betrachtungen mehrerer Standorte umfassen, um so eine ganzheitliche Bewertung der Unternehmen mit mehreren Standorten zu unterstützen.

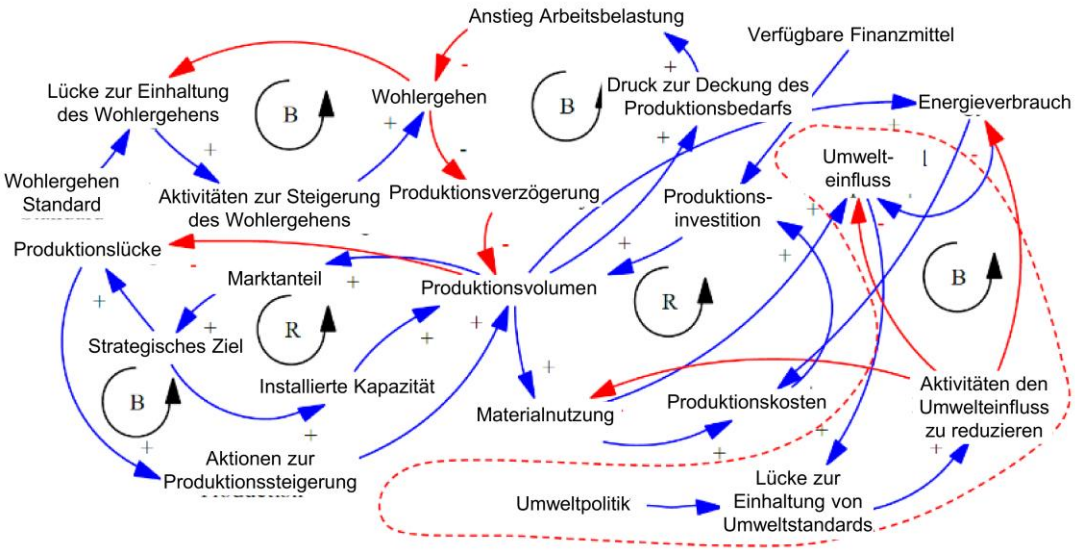
Die Produktion wird im Modell übergeordnet betrachtet, was Besonderheiten der spezifischer Fertigungsorganisationen nicht in aller Komplexität berücksichtigt. Um aber Besonderheiten der Stückgut-Fertigung besser darzustellen, ist eine Ergänzung oder Modularisierung der Produktionsperspektive vielversprechend, um spezifische Eigenschaften besser abzubilden. Ob es gelingt eine

generisches Simulationsmodell mit diesem Detaillierungsgrad für die Produktion abzuleiten, gilt es jedoch zu untersuchen. Denn eine organisationsspezifische Modellerstellung ist zu aufwändig, als dass es insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen einen signifikanten Mehrwert gegenüber dem zu erwartenden Aufwand darstellt. Wenn es aber mit minimalem Aufwand gelingt die zukünftigen Situationen über alle Detailebenen hinweg besser zu repräsentieren, könnte dies die Unternehmensführung zusätzlich bestärken den abgeleiteten Prognosen zu folgen.

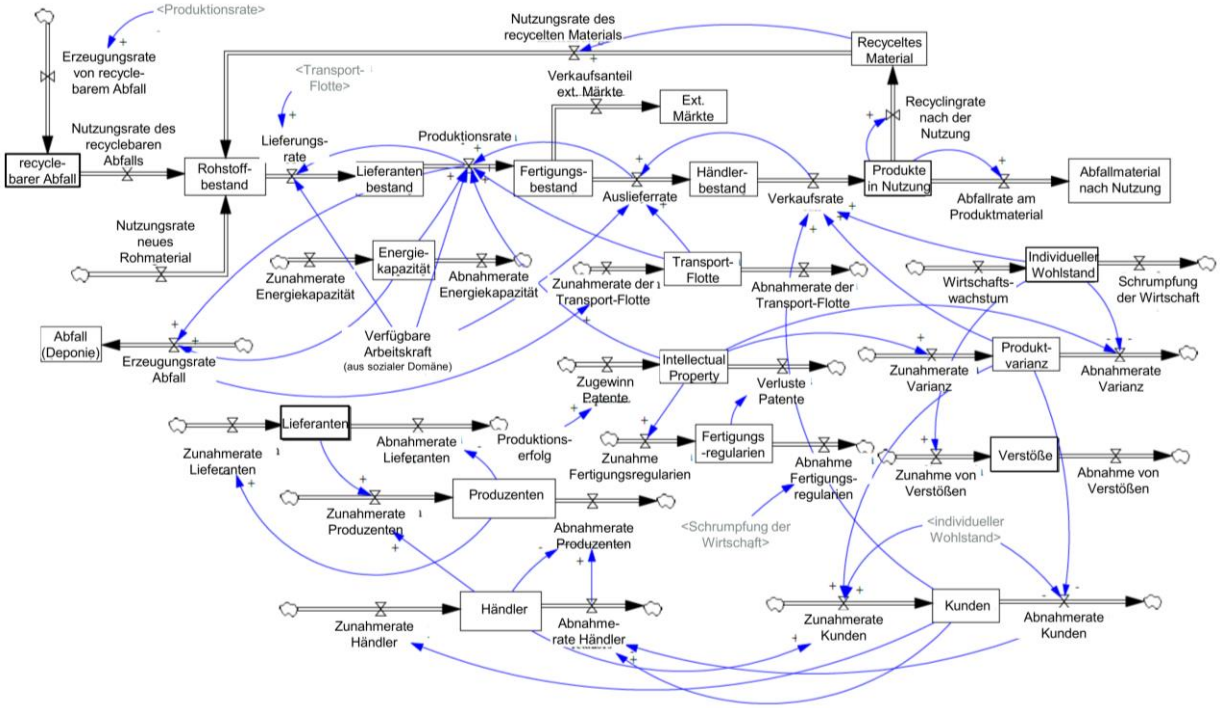
9 Anhang

9.1 Systemdynamische Modelle als Grundlage für die Entwickelte Modellierung

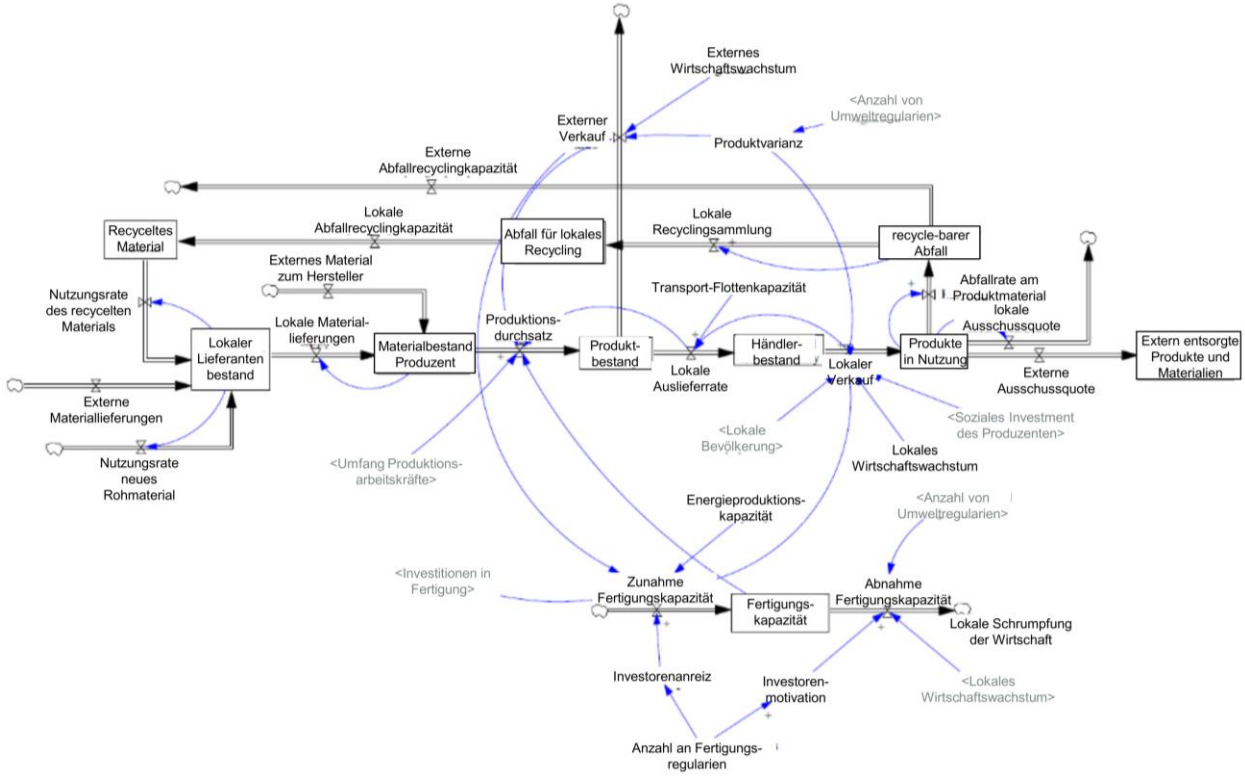
Anhang 1: Systemdynamisches Modell einer nachhaltigen Produktion unter Berücksichtigung von Risiken aus sozialer, ökologischer und ökonomischer Themenfelder (Zhang, 2019)



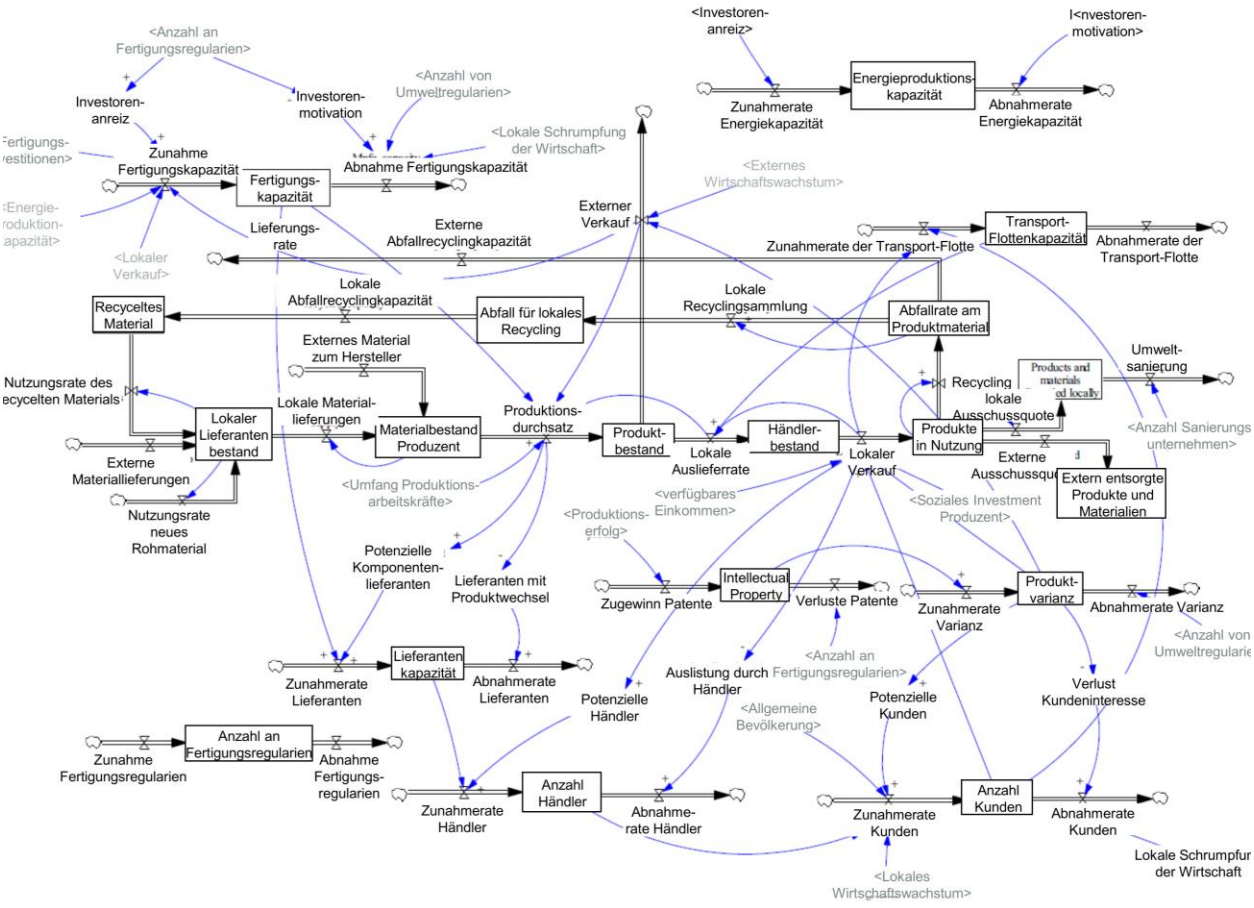
Anhang 2: Systemdynamisches Modell für die fertigungstechnische Perspektive (Kibira, Jain und McLean, 2009)



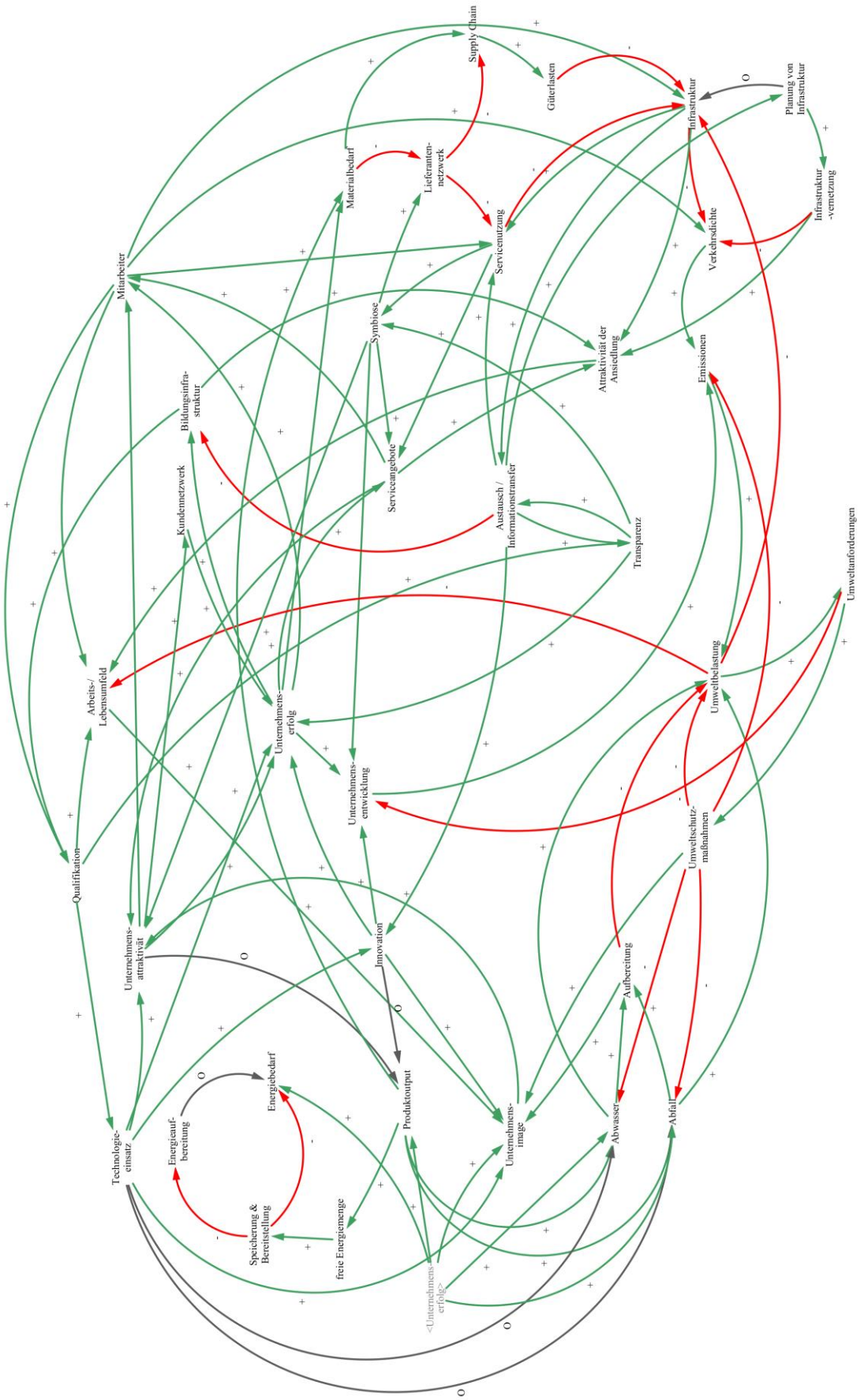
Anhang 3: Systemdynamisches Modell für die fertigungstechnische Perspektive mit mittleren Detailgrad (Jain und Kibira, 2010)



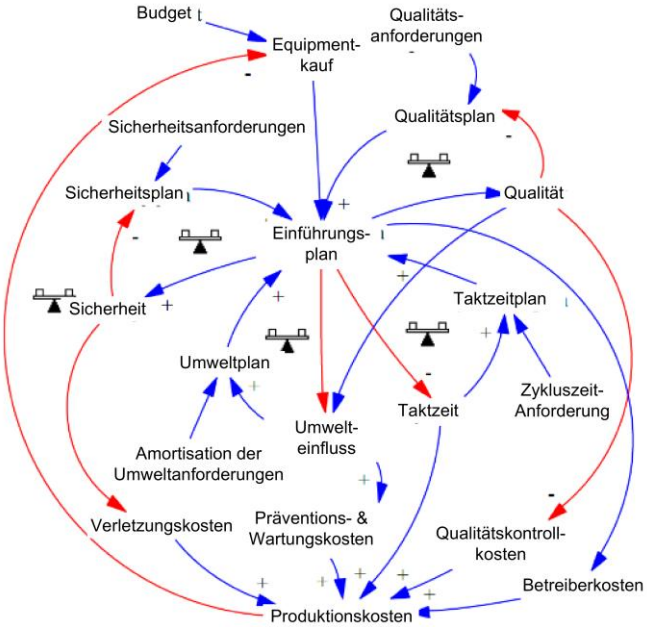
Anhang 4: Systemdynamisches Modell der Fertigungstechnischen Perspektive mit hohem Detailgrad (Jain und Kibira, 2010)



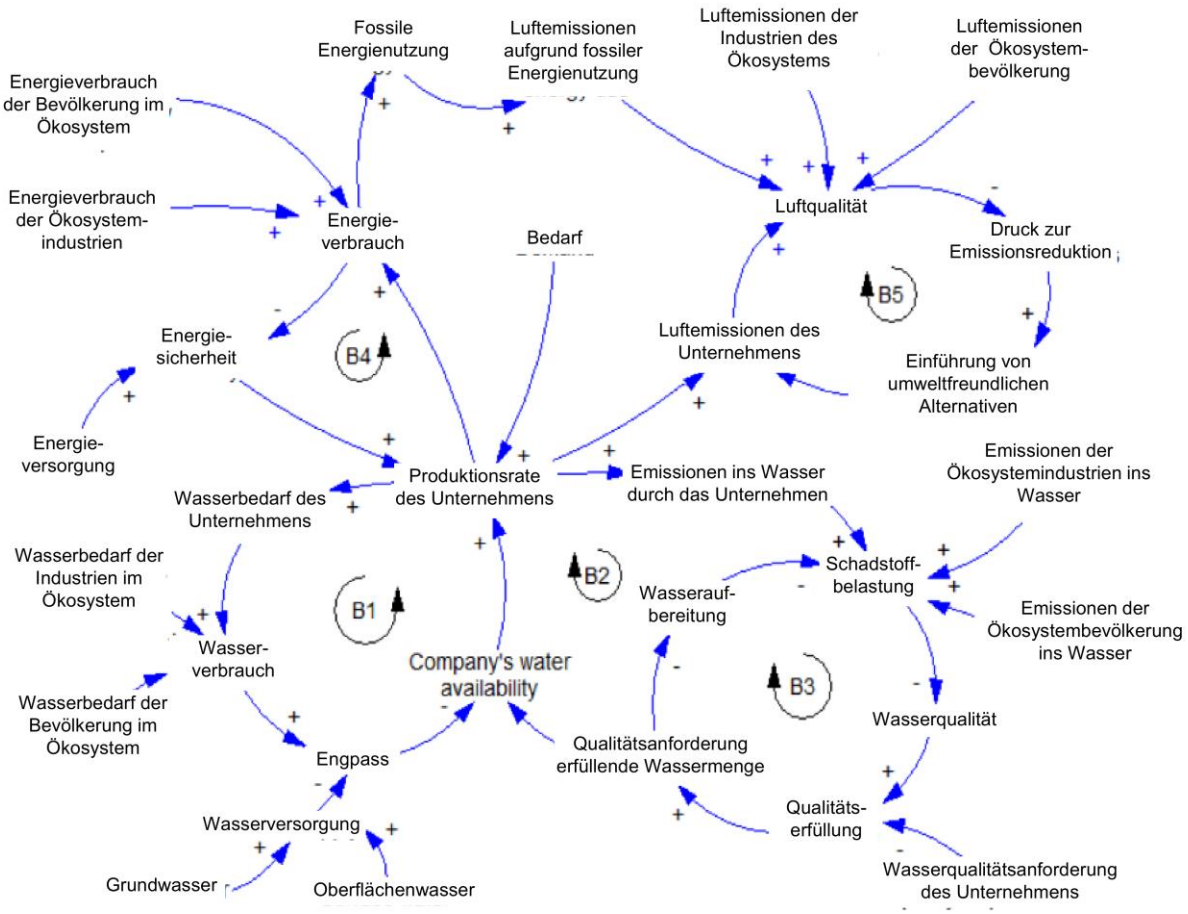
Anhang 5: Causal-Loop Diagramm für die holistische Produktionsort-Entwicklung mit Fokus Industriegebiet (Hertwig, 2017)



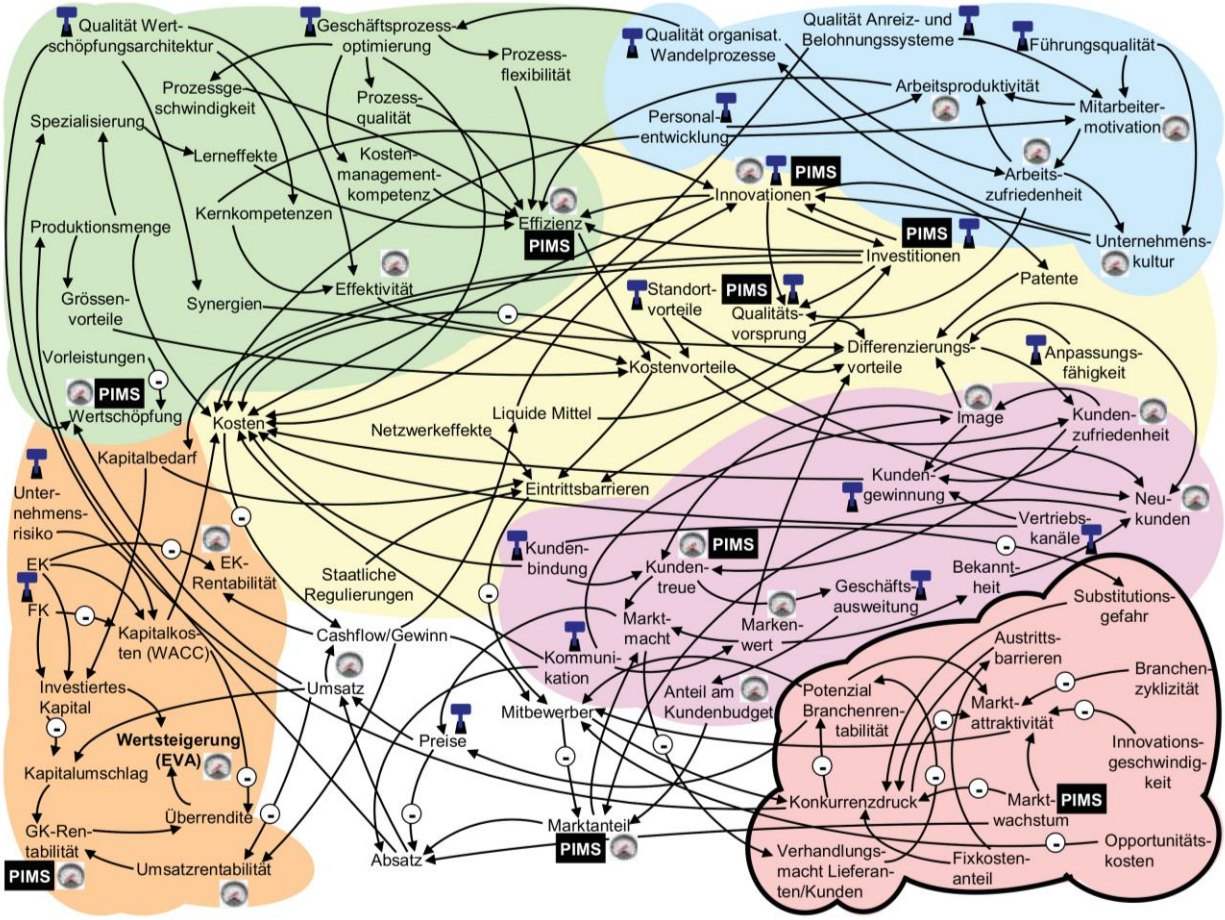
Anhang 6: Implementierungsplan (Zhang, 2019)



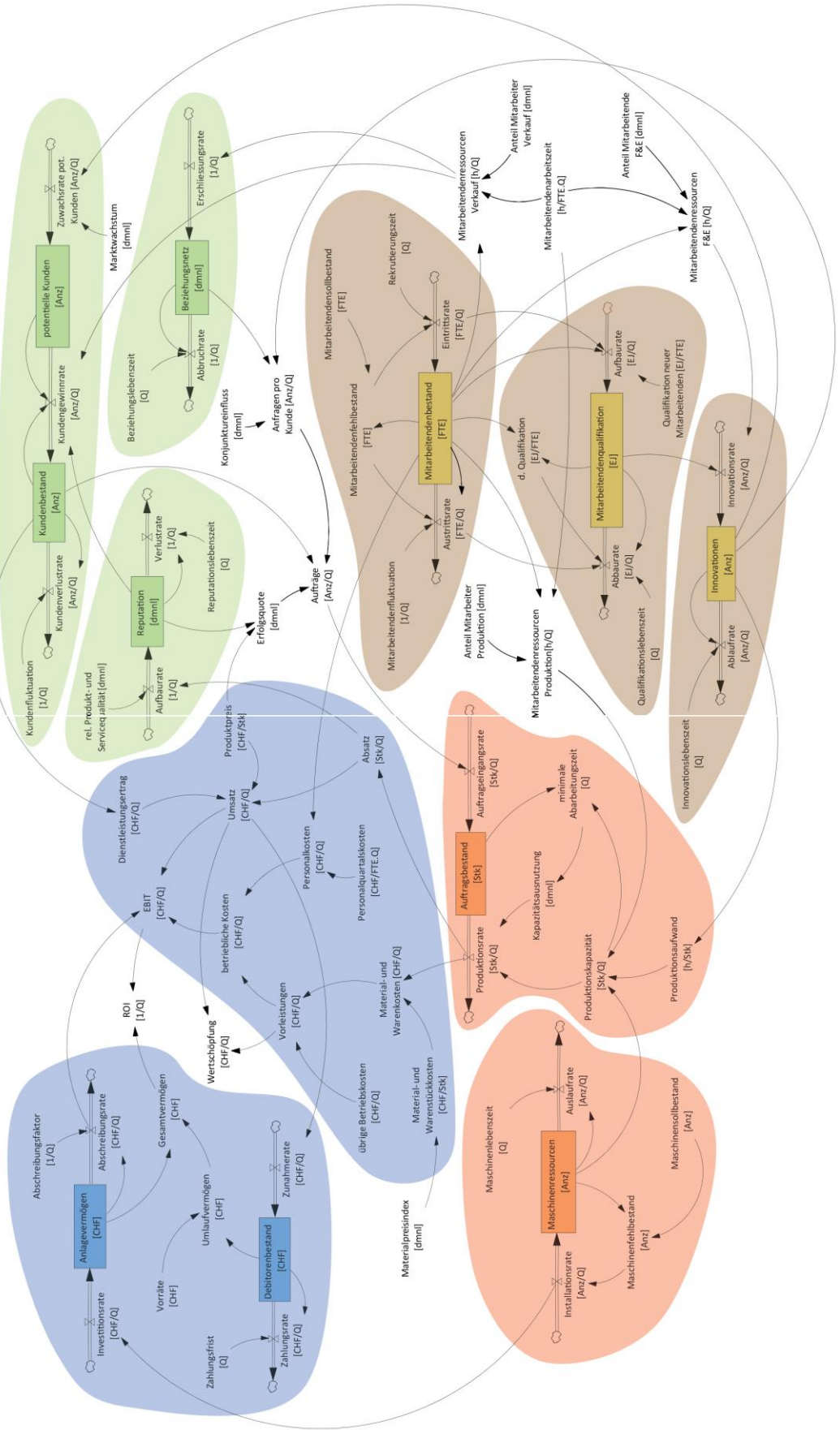
Anhang 7: Causal-Loop-Diagramm für ein Industrie-Ökosystem (Mota-López et al., 2017)



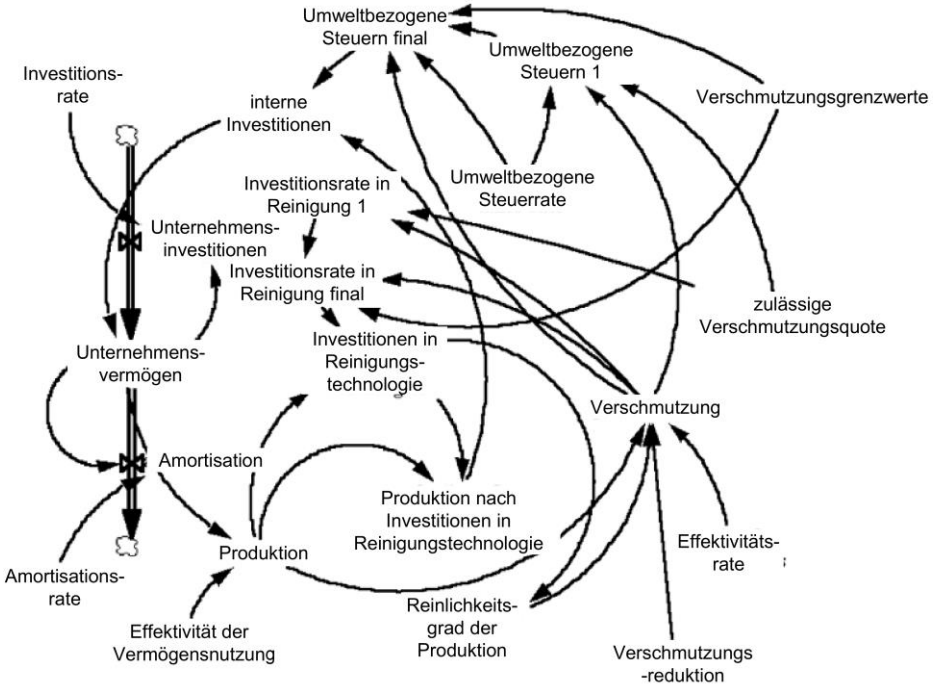
Anhang 8: Unternehmerische Erfolgslogik mit Hebel, Indikatoren, Rahmenbedingungen und PIMS-Faktoren nach (Waibel und Käppeli, 2013)



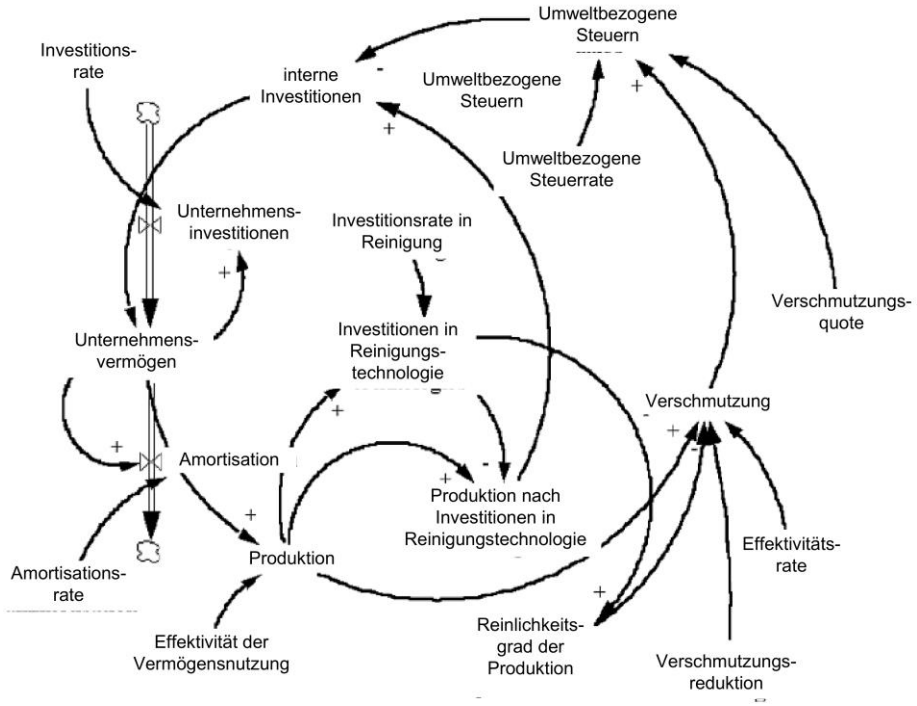
Anhang 9: Generisches Systemdynamisches Modell zur Erfolgsdynamik im Unternehmensmanagement (Schmid, 2012, S. 272–273)



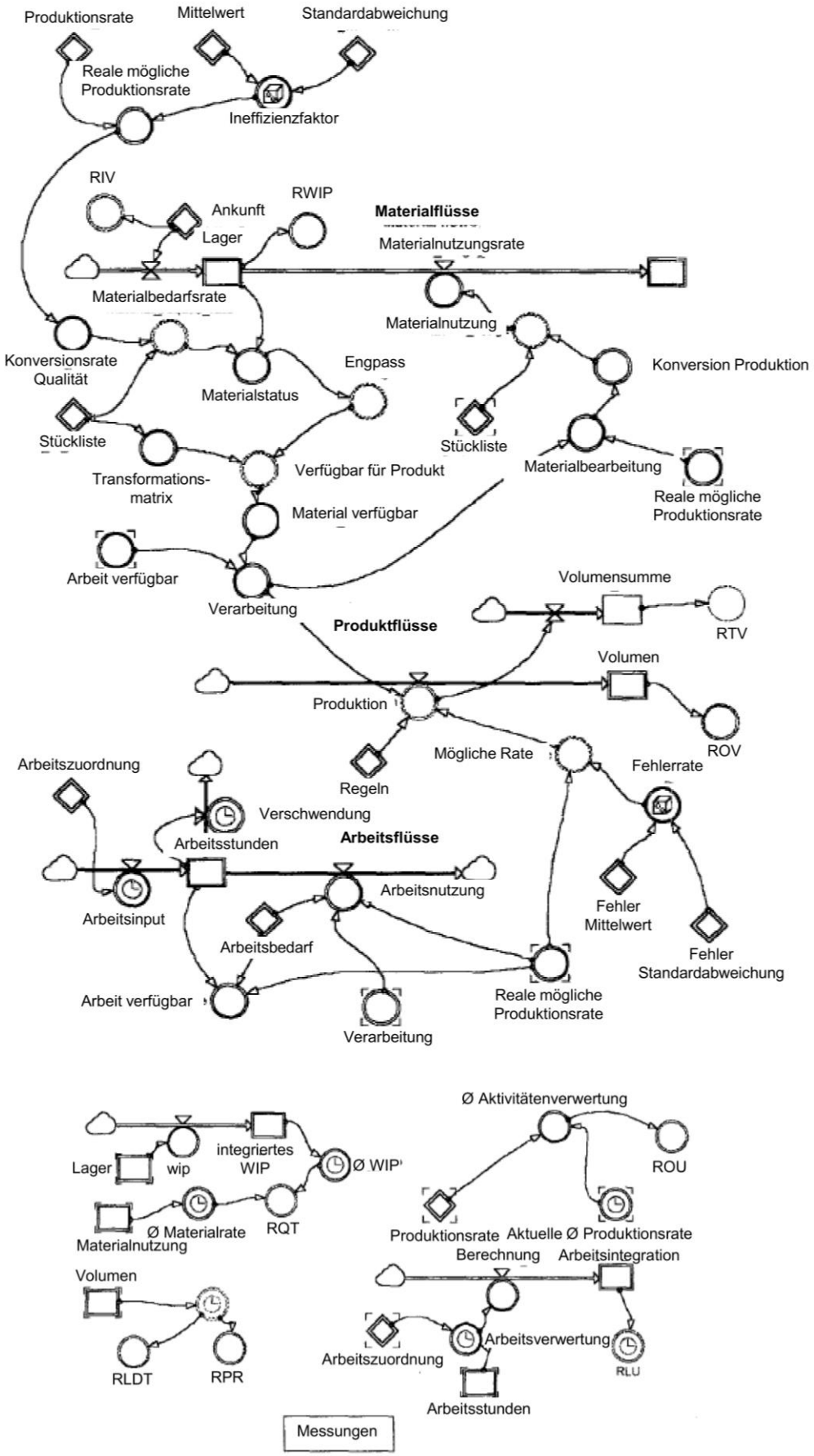
Anhang 10: Systemdynamisches Modell von Industrie-Umwelt-Verknüpfungen (Kantardgi, 2003a)



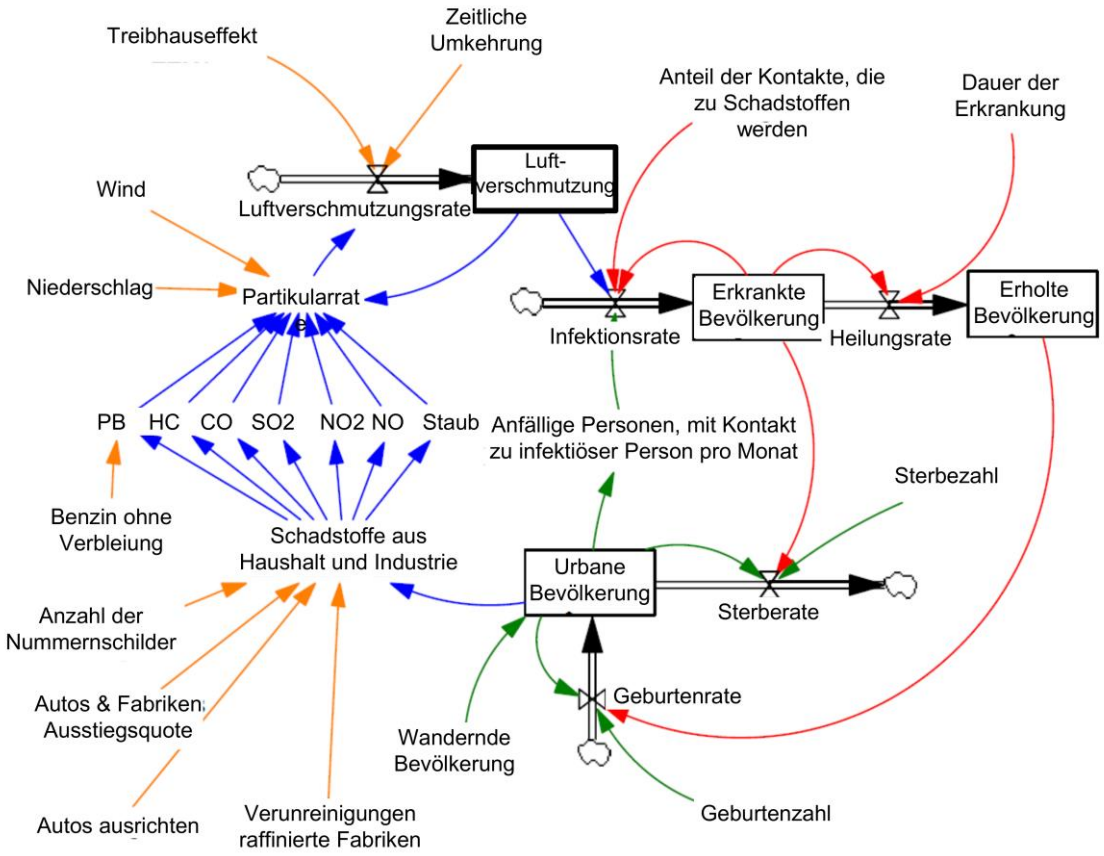
Anhang 11: Erweiterung des systemdynamischen Modells von Industrie-Umwelt-Verknüpfungen mit Limitierung von Verschmutzung (Kantardgi, 2003a)



Anhang 12: Generisches systemdynamisches Simulationsmodell für den Einsatz der Produktionssimulation (Lin et al., 1998)



Anhang 13: Zustandsfluss -Diagramm von Luftverschmutzung und dessen Einfluss auf die Bevölkerung - Datenbasis aus Teheran (Shahgholian und Hajihosseini, 2009, S. 376)



9.1.1 Auflistung und Beschreibung der Systeme zur Erhebung der Nachhaltigkeit im ökonomischen Kontext

Anhang 14: Übersicht und Erläuterung der Frameworks für Nachhaltigkeit

Kürzel	Bezeichnung	Kurzbeschreibung	Quelle
DJSI	*Dow Jones Sustainability Index*	• Bewertung von Finanzleistung und Nachhaltigkeit • Anwendung auf die größten 10% der Unternehmen gelistet Dow Jones Global Total Stock Market Index • Bewertung enthält drei verschiedene Abschnitte mit 12 Kriterien • Berücksichtigung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimension sowie Ergebnisse einer Stakeholder-Analyse • Auswertung eines zusätzlichen Fragebogens	(Bergius, 2009)
OECD Env	*OECD Core Set of Environmental indicators*	• Das OECD Core Set of environmental indicators dient der Überwachung von Umweltindikatoren und -trends • Das Schema beinhaltet 50 Indikatoren • Ziel ist Umweltbelastungen und Reaktionen von Unternehmen, Regierungen und Haushalten zu verfolgen	(Organization for Economic Cooperation and Development, 2000, Organization for Economic Cooperation and Development, 2009, Kuszewski und Crowther, 2011)

OECD Toolkit	*OECD Toolkit*	• Anwendung hauptsächlich auf kleine und mittlere Unternehmen • Ziel ist die Vermittlung von technischem Wissen • Schwerpunkt liegt auf der Berechnung der Indikatoren • 18 Indikatoren hinsichtlich Nachhaltigkeit mit Bezug zu Materialien und Prozessen	(Bordt, 2009, Kuszewski und Crowther, 2011)
FORD's PSI	*Ford Product Sustainability Index*	• Beinhaltet ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Aspekte • Verwendet extern geprüfte Umwelt- und Kostenansätze (Ökobilanz, Lebenszyklusanalyse o.ä.) • Besteht aus 8 Indikatoren	(Ford Company, 2009, Schmidt und Taylor, 2006)
GM M4SM	*General Motors Metrics for Sustainable Manufacturing*	• Überprüfung der damals aktuellen Metriken • Identifikation von Metriken mit Nutzbarkeit für eine nachhaltige Fertigung • 30 Indikatoren für die Unterstützung der Realisierung von nachhaltiger Fertigung • Zusätzlich werden Verbrauch, die persönliche Gesundheit, die Arbeitssicherheit, das Abfallmanagement und die Herstellungskosten berücksichtigt	(Dreher et al., 14. Mai 2009)

EPI-EU	*Environmental Pressure Indicators for the European Union*	• Ergebnis des Projekts "Environmental Pressure Indices" • Umfassende Beschreibung der wichtigsten menschlichen Aktivitäten, die sich negativ auf die Umwelt auswirken • 60 Indikatoren, Auswirkung des Menschen auf die Umwelt • Unterteilt in 10 Politik-Bereiche, z.B. Luftverschmutzung, Klimawandel, biologische Vielfalt, Ausbreitung giftiger Stoffe	(EuroStat, 1999)
UN-CSD	*United Nations Commission Development on Sustainable Indicators*	• Kernsatz von 50 Indikatoren • Indikatoren in 14 Themen unterteile • Validierung durch Experten erfolgt • Basis für die Beratung und Unterstützung bei der Entwicklung nationaler Indikatorensätze	(United Nations Committee on Sustainable Development, 2007)
Walmart Qs	*Walmart Sustainability Product Index Questions*	• Walmart Sustainability Index basiert auf 15 Fragen • Nutzbar von Lieferanten zur Bewertung der Produkt-Nachhaltigkeit • Ziel ist dem Kunden eine Transparenz hinsichtlich Produktauswahl zu bieten • Außerdem erhalten Lieferanten eine Transparenz, wo sie im Vergelcih zum Wettbewerb stehen • Weiterentwicklung in ein Nachhaltigkeitssystem (THESIS – Sustainable Insight System)	(Walmart, 2009)

LCA	*Life Cycle Assessment* *Lebenszyklus Analysis*	• Methode zur Erhebung von ökologischen Einflüssen, die entlang des Lebenszyklus eines kommerziellen Produktes entstehen • Betrachtet Energie und Material die entlang der industriellen Wertschöpfungskette benötigt sind • Leitet die dazugehörenden Emissionen in die Umwelt ab • Zielstellung ist die Dokumentation des umweltbezogenen Profils des Produktes • Zusammengefasst in unterstützenden Standards der ISO 14000-Serie, insbesondere ISO 14040 und ISO 14044	(Wood und Hertwich, 2013)

EF	*Ecological Footprinting*	• Ansatz zur Messung von Nachfrage und Angebot der Natur
		• Wie schnell werden Ressourcen verbraucht und Abfall generiert
		• Nachfrageseite
		  o Addition aller produktiven Flächen, um die konkurriert wird
		  o Ökologischen Ressourcen, die es bedarf oder verbraucht werden
		• Angebotsseite
		  o Biokapazität der Stadt/Land oder Nation
		  o Nicht genutzt Flächen können als Absorption der Abfälle und Abgase dienen
		• Zusätzliches Ergebnis ist die Ermittlung des „Earth Overshoot Days“
			(Lin et al., 2018, Wackernagel et al., 2019, Wackernagel und Beyers, 2019, Wackernagel et al., 2021)

ISO 14031	*Umweltmanagement-system*	• Kernanforderungen für ein funktionierendes und effektives Umweltmanagementsystem • Ziel eines jeden Umweltmanagementsystem gemäß DIN EN ISO 14001:2015 ist die Verbesserung der Umweltleistung • Gemäß Norm bedarf es einer Bewertung der Leistung durch Überwachung, Messung, Analyse und anschließender Bewertung • Norm bietet eine Leitlinie zur Einführung von Schlüsselkennzahlen • Kennzahlen beruhen auf verlässlichen und überprüfbaren Angaben	(14031:2013:2013)
MFA	*Material Flow Analysis*	• Analytischer Ansatz zur Quantifizierung von Flüssen und Zuständen in einem klar definierten System • Basiert auf zwei etablierten wissenschaftlichen Prinzipien • System-Ansatz • Massenbilanzierung	(Allesch und Brunner, 2015, Ayres und Ayres, 2002, Azar, Holmberg und Lindgren, 1996, Barrett et al., 2002, Brunner und Rechberger, 2005)

PRTRs	*Pollutant Registries*	• System zur Erhebung und Verbreitung von Informationen über umweltbezogene Aspekte in der Industrie • Umweltbelastenden Abgaben (Emissionen) • Übertragung oder Weitergabe von gefährlichen Substanzen aus der Industrie an andere Einrichtung • Einrichtung in einige Ländern • Basiert darauf, das Mitarbeitende und die Community das Recht haben über giftige und gefährliche Stoffe zu wissen	(Maitz und Böhmer, 2021, Organization for Economic Cooperation and Development, 2007)
EMAS	*EU's Environmental Management and Audit Scheme (EMAS)*	• Entwickelt von der Europäischen Union • Ist ein Auditierung-Schema für Organisationen • Umweltaudis – Fokus auf ökologische Kennzahlen • Verzahnung mit ISO 14001 • Basis ist eine Umwelterklärung, die Auswirkungen auf Umwelt, Umweltleistung und Umweltziele dokumentiert • Regelmäßige Erfassung, Überprüfung und Veröffentlichung der Umweltauswirkungen • Setzt auf Eigenverantwortung der Organisationen sich nachhaltig zu verbessern	(European Commission, 2021, Lecerf, Kunz und Skinner, 2020, Muller, 2020)

IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change*	• Gründung im Jahr 1988 durch die Vereinten Nationen • Ziel ist die globalen wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammen zutragen mit • Auswirkungen der globalen Erwärmung • Risiken induziert durch die Klimaveränderungen • Potenzielle Minderungs- und Anpassungsstrategien • Erstellt Sachstandsberichte • Durch Aggregation, strengen Peer-Review-Prozesse und aufeinander folgende Begutachtungsrunden gelten die Erkenntnisse als valide und zuverlässig	(Masson-Delmotte et al., 2021)
GRI	*Global Reporting Initiative*	• Richtlinien für die Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten • Kontinuierlicher internationaler Dialog mit Einbeziehung alle wesentlicher Stakeholdergruppen • Ziel ist Vergleichbarkeit, Standardisierung und Transparenz • Gründung erfolgte im Jahr 1997 • Veröffentlichung der Standards und Richtlinien erfolgt such das Global Sustainability Standards Board, in Amsterdam	(Seele und Wagner, 2015, Henseling, Eberle und Grießhammer, 1999)

MIPS	*Materials Input per Unit Service*	• Entwickelt von Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie • Anwendbar für Produkt oder Dienstleistung • Berücksichtigt alle Materialien, die für die Herstellung des Produktes oder Ausbringung der Dienstleistung benötigt werden. • Ermittlung durch Gesamtmaterialinput/Anzahl der Dienstleistungseinheiten • Durch den Bezug auf den Gesamten Lebenszyklus des Produktes/der Dienstleistung wird eine Vergleichbarkeit ermöglicht.	(Liedtke et al., 2014, Cahyandito, 2009, Ritthoff, Rohn und Liedtke, 2002, Saurat und Ritthoff, 2013, Wiesen, Saurat und Lettenmeier, 2014, Szumilas und Vogel, 2006)

9.1.2 Strukturierte Aufbereitung von unterschiedlichsten Nachhaltigkeitskenngrößen

Anhang 15: Strukturierung der Nachhaltigkeitskenngrößen

	Sub-Cluster	Umwelt-Einfluss	Betriebswirtschaftlicher Einfluss	Sozio-technischer Einfluss	Umfeld-bezogener Einfluss
ökologisch	organisatorische Aspekte				Umweltzertifizierte Dienstleistungsunternehmen
					Nachhaltigkeitsinitiativen
		Gesamtzahl und -volumen bedeutender Freisetzungen und Unfälle			Umweltbedingte Unfälle
		Gesamtzahl der Umweltverstöße			
					Strategien, laufende Maßnahmen und künftige Pläne für das Management der Auswirkungen auf die biologische Vielfalt
	Biodiversität				Landnutzung
					Geschützte oder wiederhergestellte Lebensräume
					Konzentration eines bestimmten Schadstoffs im Gewebe einer bestimmten Pflanzenart, die in dem lokalen oder regionalen Gebiet vorkommt
	Energie	Gesamtenergieverbrauch			
		Leerlauf-Energieverlustrate			
		Energieintensität			
		Aus Nebenprodukten gewonnene Energie			
			Energieeffizienz		
		Eingesparte Energie aus durchgeführten Initiativen			
		Gesamtmenge der verwendeten erneuerbaren Energie			
		Anteil erneuerbarer Energie			
		Gesamtmenge der verbrauchten nicht-erneuerbaren Energie (Öl)			
	Material	Kilogramm persistente, bioakkumulierbaren und toxischen (PBT) Chemikalien.			
		Materialverbrauch pro Produktionseinheit			
		Verwendung von Verpackungsmaterial			

	Sub-Cluster	Umwelt-Einfluss	Betriebswirtschaftlicher Einfluss	Sozio-technischer Einfluss	Umfeld-bezogener Einfluss
ökologisch	Material	Prozentsatz der Produkte, die für Demontage, Wiederverwendung oder Recycling ausgelegt sind.			
		Weggeworfene			
		Wiederverwendete Verpackungsmaterialien			
		Prozentsatz biologisch abbaubarer Verpackungen.			
		Eingesparte Materialien aus durchgeführten Initiativen			
		Gesamtmenge der verwendeten erneuerbaren Ressourcen			
		Anteil an wiederverwendetem oder rezykliertem Material			
		Gesamtmenge der für die Produktverpackung verwendeten Materialien			
		Gesamtmenge der verwendeten nicht erneuerbaren Ressourcen			
	Wasser	Anteil des wiederverwendeten			
		Wasserverbrauch			
		Abgeleitetes Abwasser			
		Wasserintensität			
		Gesamtmenge des Abwassers			
	Abfall	Gesamtmenge der erzeugten gefährlichen Abfälle			
		Abfall			
		Gesamtmenge der recycelten oder wiederverwendeten Abfälle			
	Emission	Energieabfall-Emissionen			
		Gesamtmenge der erzeugten Treibhausgase (CO2)			
		Gesamtmenge der Emissionen von ozonabbauenden Stoffen			
		Gesamtmenge der erzeugten Luftemissionen (SOx, NOx)			

	Sub-Cluster	Umwelt-Einfluss	Betriebswirtschaftlicher Einfluss	Sozio-technischer Einfluss	Umfeld-bezogener Einfluss
ökonomisch			Gesamtanlageneffizienz (OEE)		
			Produktivität (Produktionstempo)		
				Innovation und F/E-Investitionen	
				Rate der neuen Produkte	
			Erreichte Ziele		
			Anteil am F&E-Budget		
	Erträge		Aktienkurs/Dividenden		
			Jährliche Gewinne		
			Jährliche Einnahmen		
			Jahresumsatz		
			Verhältniswerte		
			Jährliche Produktivität		
			Wertschöpfung		
			Prozentsatz der fehlerhaften Produkte		
			Nettogewinnspanne		
			Rentabilität der Investition		
	Kosten		Spenden		
			Geldbußen		
			Eingesparte Kosten		
			Materialkosten		
			Energiekosten		
			Arbeitskosten		
			Betriebs- und Kapitalkosten		
			F&E-Investitionen (insgesamt)		
			Jährliche Betriebskosten (basierend auf EHS)		
			Kosteneinsparung (basierend auf EHS)		
			Investitionsausgaben (Umwelt)		
	Kunden				Kundenbeschwerden
					Rate der Kundenbeschwerden und/oder Retouren
					Anzahl der Kunden
					Anzahl der Neukunden pro Jahr

	Sub-Cluster	Umwelt-Einfluss	Betriebswirtschaftlicher Einfluss	Sozio-technischer Einfluss	Umfeld-bezogener Einfluss
ökonomisch	Innovation		Ausschußquote		
			Verwendung von Prozesshilfsmitteln		
			Anteil rezyklierter Prozesshilfsmittel %		
			Prozentsatz der Produkte mit Rücknahme Richtlinien.		
	Lieferanten				Liefergenauigkeit
					Vorlaufzeit der Produktion
					Wartung
					Anzahl der Lieferanten
					Durch Lieferanten verursachte Stopps
sozial	Beschäftigte			Anzahl der Mitarbeiter	
				Fluktuationsrate (oder durchschnittliche Dauer der Betriebszugehörigkeit von Mitarbeiter)	
				Anzahl der neuen Mitarbeiter pro Jahr	
				Zufriedenheitsquote der Mitarbeiter %	
				Relatives durchschnittliches Gehaltsniveau in %	
				Durchschnittliche Lohnkosten pro Stunde	
				Anteil der Mitarbeiter, die an systematischen Verbesserungsmaßnahmen beteiligt sind	
				Prozentsatz der Arbeitnehmer, die die über vollständige Arbeits zufrieden sind.	
				Verhältnis des Grundgehalts von Männern zu Frauen nach Arbeitnehmerkategorie	
				Rechte von Frauen und Behinderten	
				Abschaffung jeglicher Kinderarbeit	
				Die Rekrutierung von Menschen aus ethnischen Minderheiten, älteren Arbeitnehmern, Frauen	

	Sub-Cluster	Umwelt-Einfluss	Betriebswirtschaftlicher Einfluss	Sozio-technischer Einfluss	Umfeld-bezogener Einfluss
sozial	Beschäftigte			Aufschlüsselung der Mitarbeiter nach Geschlecht, Alter und Minderheitengruppe	
				Anteil der Leiharbeiter in %	
				Anteil der Mitarbeiter, die Aktionäre sind	
				Im letzten Jahr beförderter Anteil	
	Qualifikation			Durchschnittliche Stundenzahl der Nachhaltigkeitsschulung	
				Anzahl der funktionsübergreifenden Verbesserungsteams	
				Niveau der Ausbildung	
				Durchschnittliche Anzahl der Stunden für Mitarbeiterschulungen.	
				In Nachhaltigkeit geschulte Mitarbeiter	
				Durchschnittliche Ausbildungsstunden pro Mitarbeiter	
	Gesundheit / Sicherheit			Streckenstillstände aufgrund von Sicherheitsbedenken	
				Förderung der körperlichen Betätigung, Gesundheitsvorsorge und Medizin der Mitarbeiter	
				Gesamtzahl der arbeitsbedingten Todesfälle	
				Persönliche Schutz- und Sicherheitsausrüstung	
				Anzahl der Unfälle oder Zwischenfälle	
				Verlorene Arbeitstage bei Verletzungen und Krankheitsfallrate (LWDII).	
				Arbeitsausfallquote (LTR)	
				Quote der meldepflichtigen Krankheiten (RIR)	

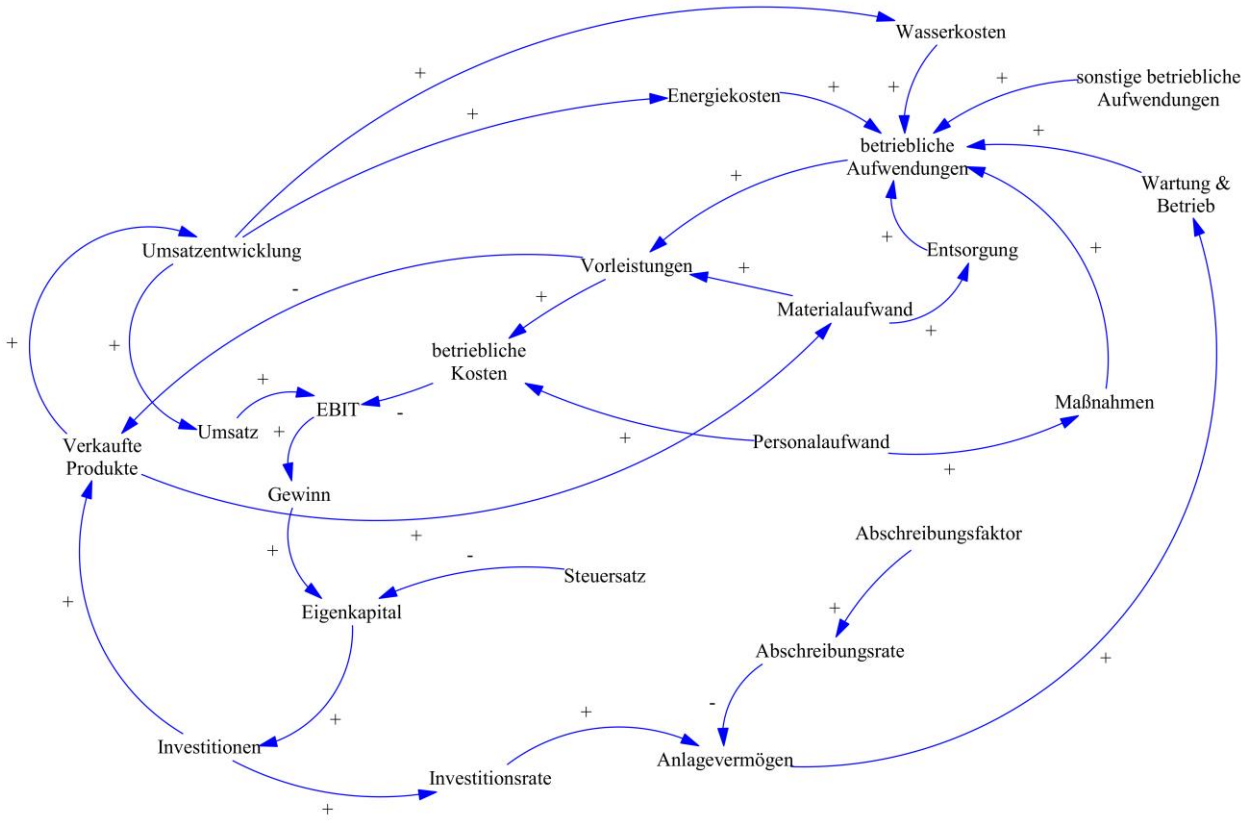
	Sub-Cluster	Umwelt-Einfluss	Betriebswirtschaftlicher Einfluss	Sozio-technischer Einfluss	Umfeld-bezogener Einfluss
öko-effizient	Materialbezug		Gesamtmenge des eingesetzten Materials / Umsatz		
			Gesamtmenge des verwendeten Materials /Gewinne		
			Gesamtmenge der recycelten und wiederverwendeten Materialien/Umsatz		
			Gesamtmenge der erzeugten toxischen Materialien/Gewinne		
	Energiebezug		Gesamtmenge der verwendeten nicht-erneuerbaren Energie / Umsatz		
			Gesamtmenge der verbrauchten Energie/Gewinne		
			Gesamtmenge der verbrauchten Energie / Umsatz		
			Gesamtmenge der verwendeten nicht-erneuerbaren Energie / Einnahmen		
	Emissionsbezug	Gesamtmenge der erzeugten Treibhausgase/Gewinn			
		Gesamtmenge der erzeugten Treibhausgase/Umsatz			
	Abfallbezug	Gesamtmenge der erzeugten giftigen Stoffe / Umsatz			
		Gesamtmenge an festem Abfall /Ertrag			
		Gesamtmenge an festem Abfall/Einnahmen			
		Bußgelder und Strafen im Umweltbereich			

	Sub-Cluster	Umwelt-Einfluss	Betriebswirtschaftlicher Einfluss	Sozio-technischer Einfluss	Umfeld-bezogener Einfluss
sozio-ökologisch		Arbeitsausfallquote/ Gesamtenergieverbrauch			
				Umweltvorschläge der Mitarbeiter	
				Gesamter Feststoffabfall/Beschäftigten	
				Schulungszeit/Gesamtmenge des erzeugten festen Abfalls	
		Gesamtmenge der verbrauchten Energie/Beschäftigten			
				Schulungszeit des Mitarbeiters /Gesamtenergieverbrauch	
				Freiwillige Aktivitäten/Gesamtenergieverbrauch	
				Krankenstand/Gesamtenergieverbrauch	
				F&E-Investitionen (basierend auf EHS)	
sozio-ökonomisch					Offenheit der Organisation für die Einbeziehung der Stakeholder in den Entscheidungsprozess.
					Ausgaben für die Gemeinschaft und wohltätige Spenden als Prozent der Einnahmen.
					Anzahl der kommunalen Partnerschaften.
			Umsatz pro Mitarbeiter		
			Arbeitsproduktivität		
				Leistungsrate für manuelle Arbeit %	
				Auslastung der manuellen Arbeit %	
				Wertschöpfung pro Mitarbeiter	
			Beschäftigungskosten im Verhältnis zum Umsatz		
			Kosten für EHS-Einhaltung		
				Rate der von den Mitarbeitern vorgeschlagenen Verbesserungen der Qualität, sozialen und EHS-Leistungen.	
			Spenden pro Umsatz		
			Spenden pro Gewinn		
				Ausbildungszeit des Mitarbeiters pro Gewinn	
				Arbeitsausfallquote pro Gewinn	

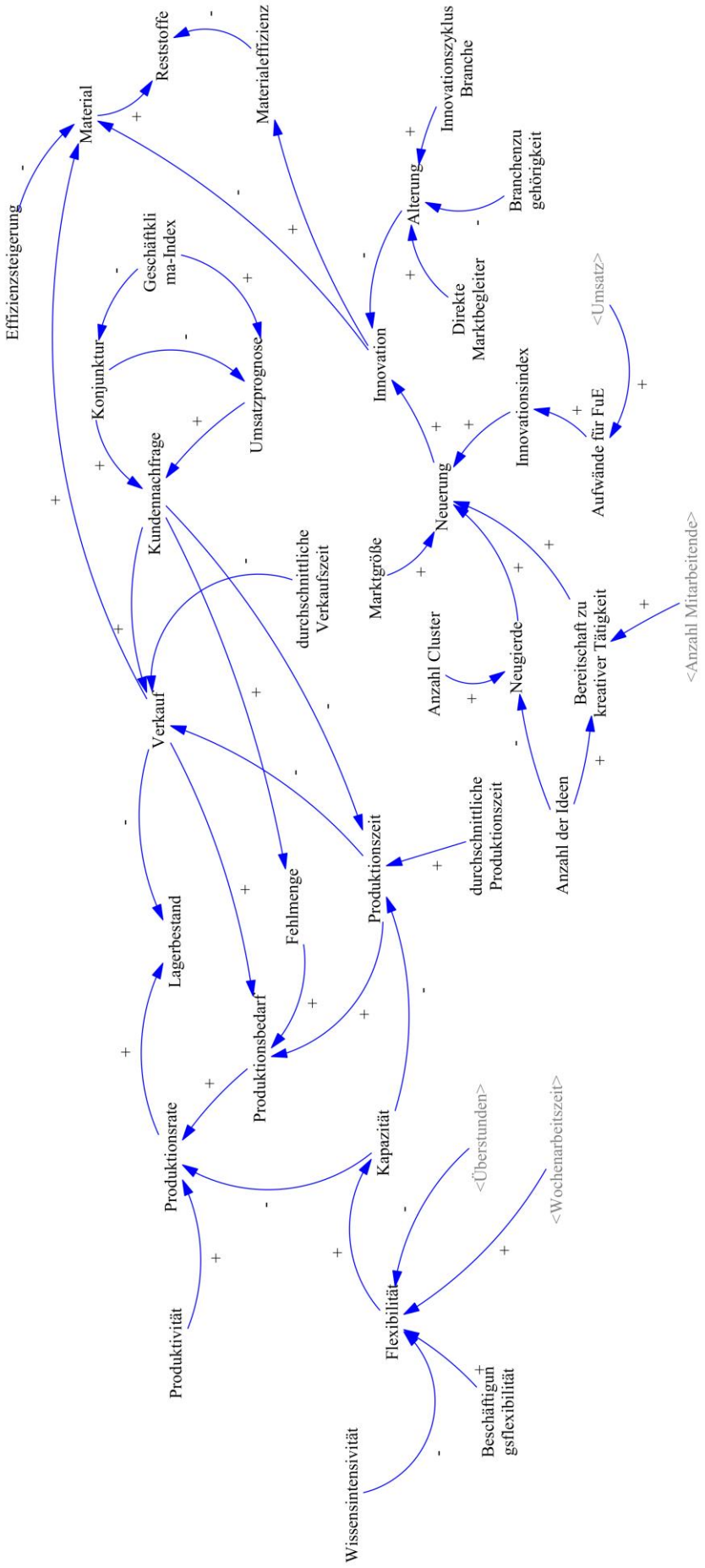
	Sub-Cluster	Umwelt-Einfluss	Betriebswirtschaftlicher Einfluss	Sozio-technischer Einfluss	Umfeld-bezogener Einfluss
integriert					Veröffentlichung von Nachhaltigkeitsberichten
					Auszeichnungen für Nachhaltigkeit
		Ob Firmen freiwilliges Umweltmanagement einführen oder nicht Systeme (ISO 14001, LCA, usw.)			
			Ob Firmen Umweltgesamtrechnungen einführen oder nicht		
					Ob Firmen Entscheidungen treffen, die auf dem Konzept des nachhaltigen Geschäfts und dem langfristigen Ziel basieren oder nicht
					Ob Firmen sich mit den Auswirkungen auf die Dritte Welt befassen oder nicht
			Ob ihre Leistungsberichte von Dritten überprüft werden oder nicht		
			Ob Firmen GRI vergleichen oder nicht		
				Ob Firmen Kultur erwähnen oder nicht	
					Ob Firmen in den Berichten befragt werden oder nicht (Feedback)
			Ob Unternehmen ihre Leistung auf der Grundlage des Standardjahres vergleichen (Gesamtwerte/relative Werte) oder nicht		
					Ob Firmen Gelegenheiten zur internen Kommunikation bieten oder nicht und extern an interessierte Parteien
				Ob Gerechtigkeit erwähnt wurde oder nicht	
					Ob Firmen ein breites Spektrum an freiwilligen Aktivitäten durchführen oder nicht

9.1.3 Teilmodelle des qualitativen Modells der urbanen Produktion

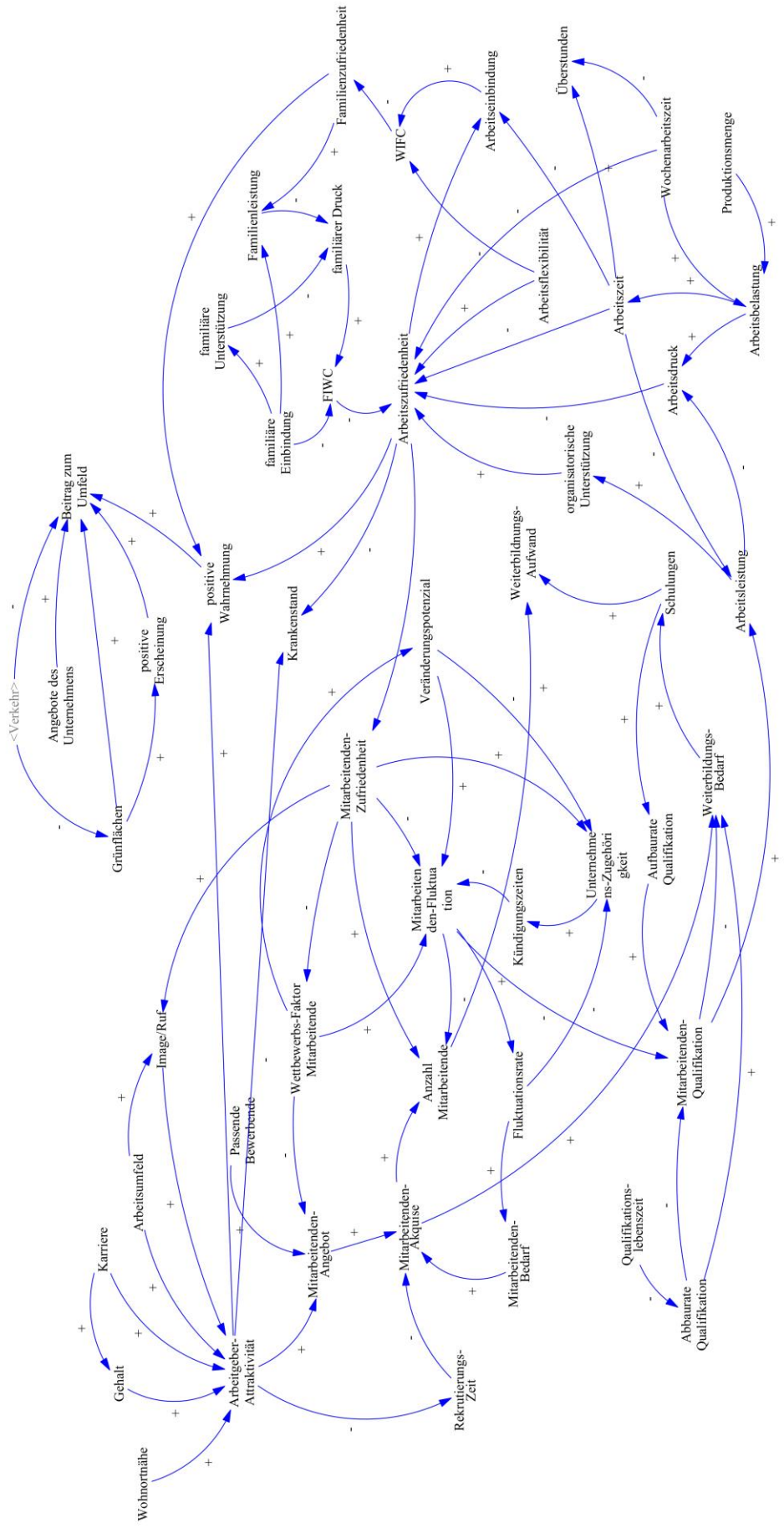
Anhang 16: Qualitatives Teilmodell der ökonomischen Perspektive



Anhang 17: Qualitatives Teilmodell der Produktionsperspektive

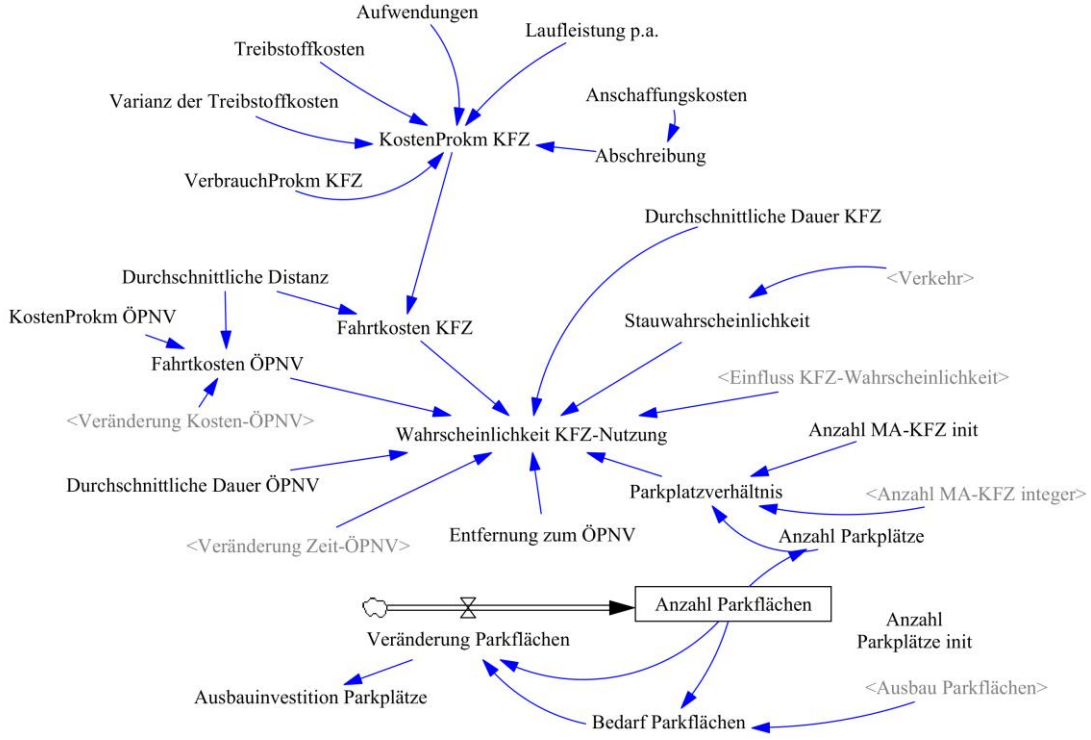


Anhang 18: Qualitatives Teilmodell der sozialen Perspektive

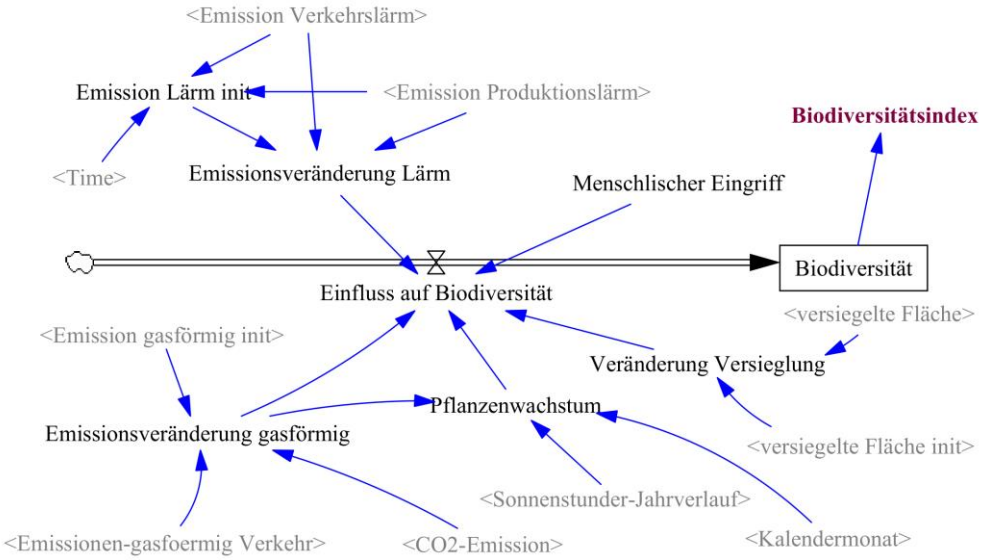


9.1.4 Teilmodelle des quantitativen Zustands-Fluss-Modells der urbanen Produktion

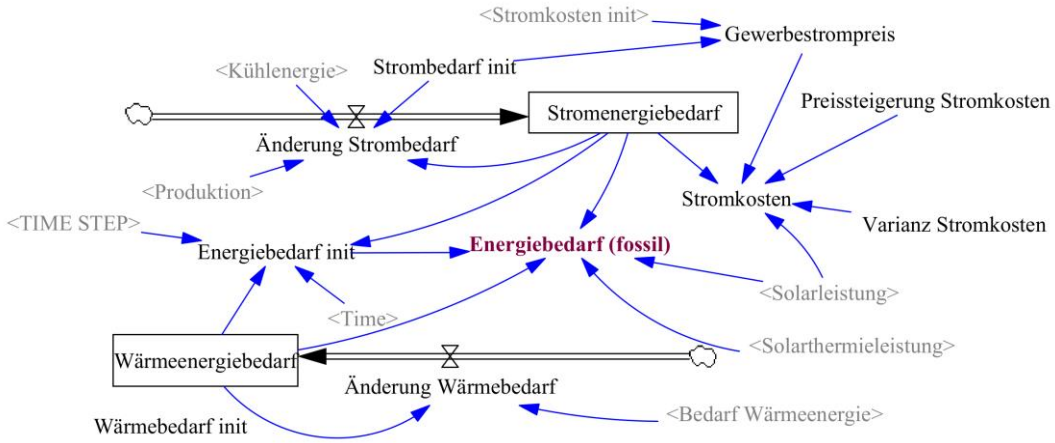
Anhang 19: Quantitatives Teilmodell „Mitarbeitenden-Mobilität“ der ökologischen Perspektive



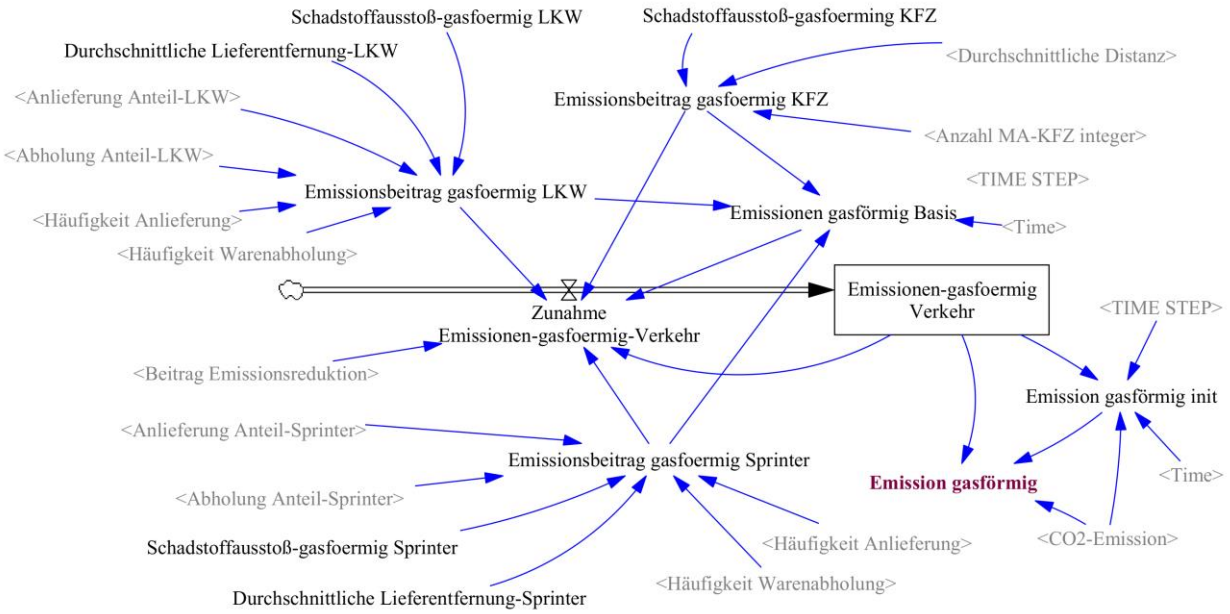
Anhang 20: Quantitatives Teilmodell „Biodiversität“ der ökologischen Perspektive



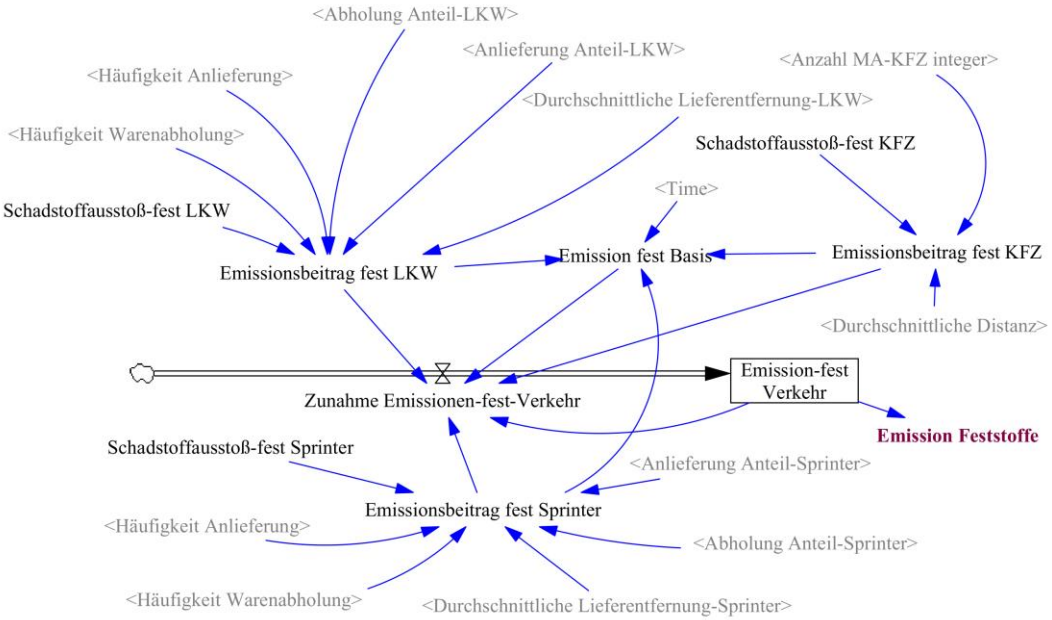
Anhang 21: Quantitatives Teilmodell „fossiler Energiebedarf“ der ökologischen Perspektive



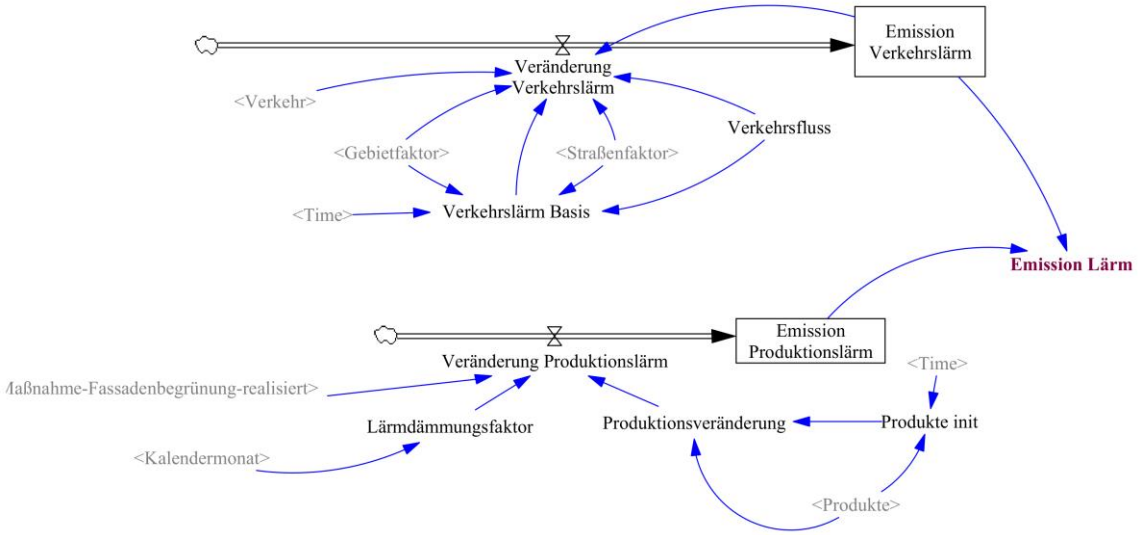
Anhang 22: Quantitatives Teilmodell „gasförmige Emissionen“ der ökologischen Perspektive



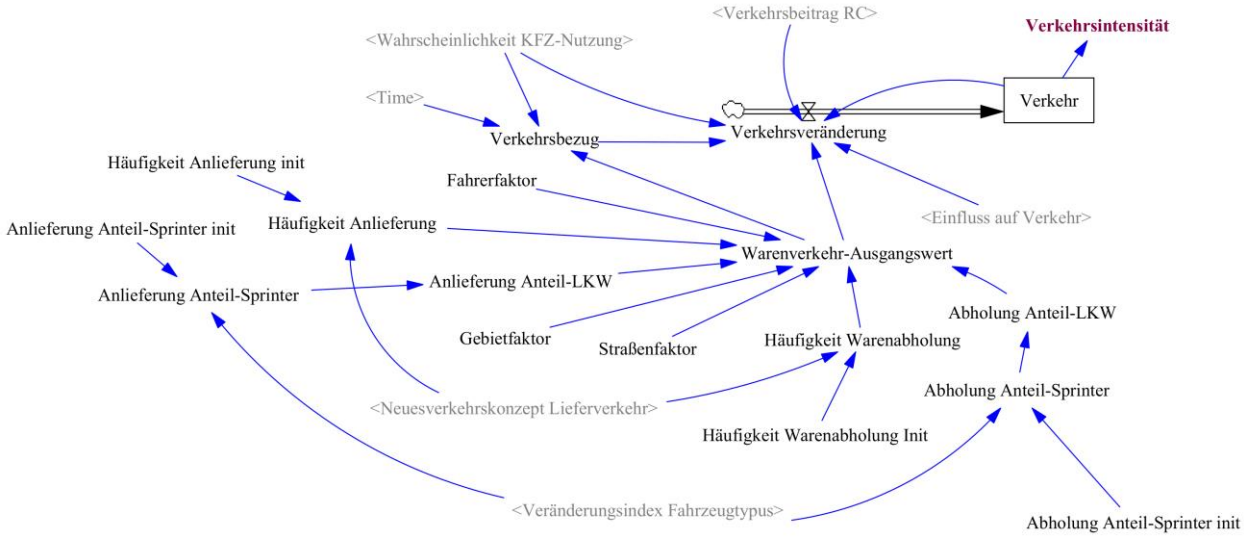
Anhang 23: Quantitatives Teilmodell „feste Emissionen“ der ökologischen Perspektive



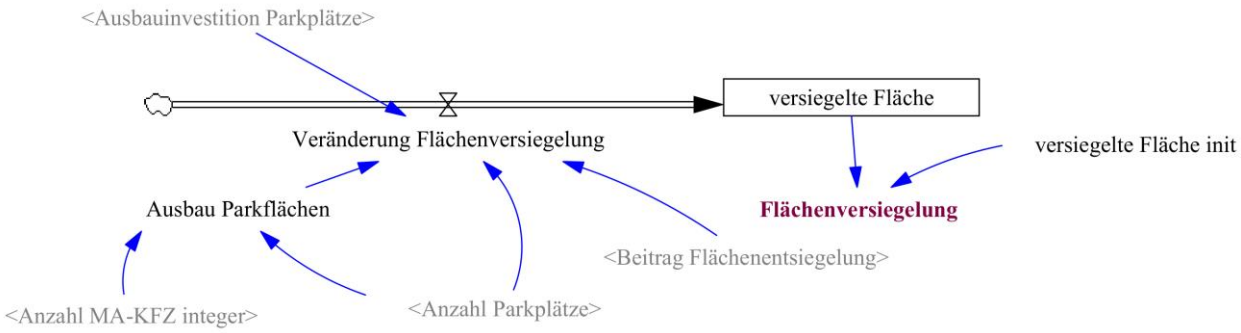
Anhang 24: Quantitatives Teilmodell „Lärm-Emissionen“ der ökologischen Perspektive



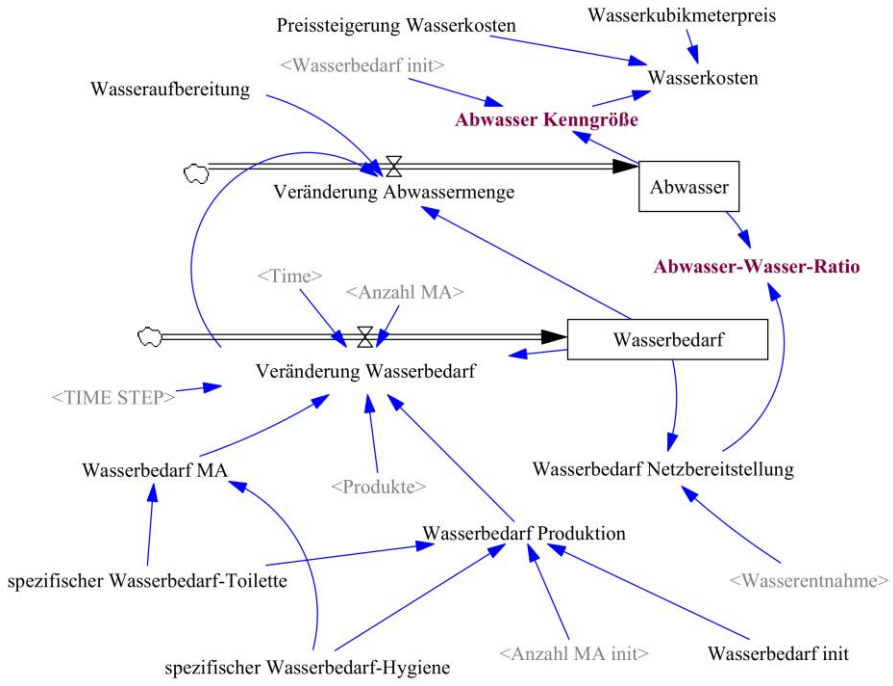
Anhang 25: Quantitatives Teilmodell „Verkehr“ der ökologischen Perspektive



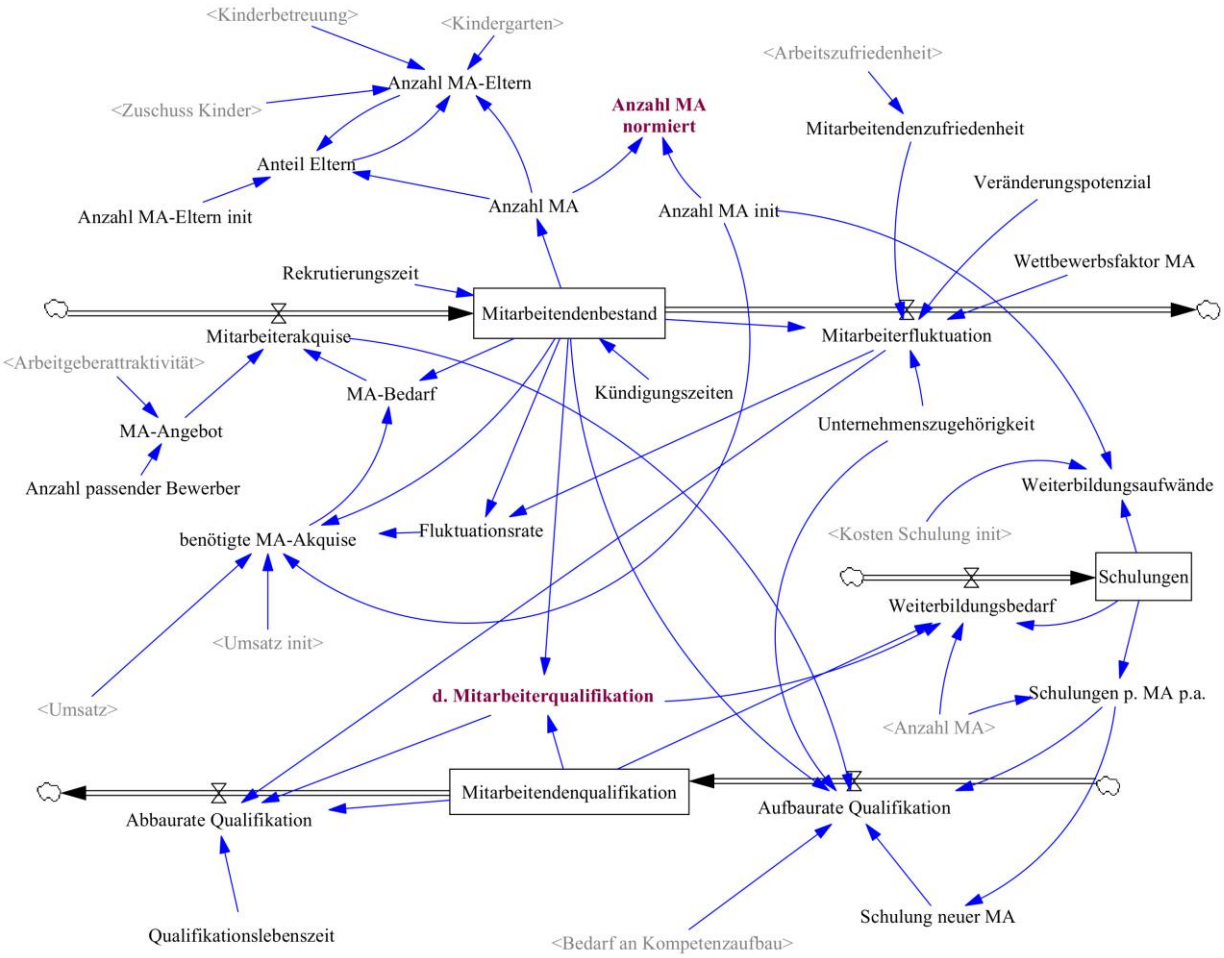
Anhang 26: Quantitatives Teilmodell „Versiegelung“ der ökologischen Perspektive



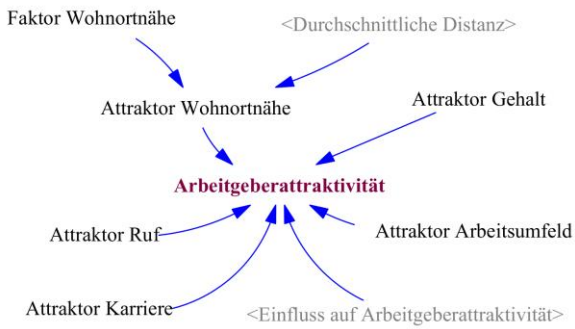
Anhang 27: Quantitatives Teilmodell „Wasserbedarf“ der ökologischen Perspektive



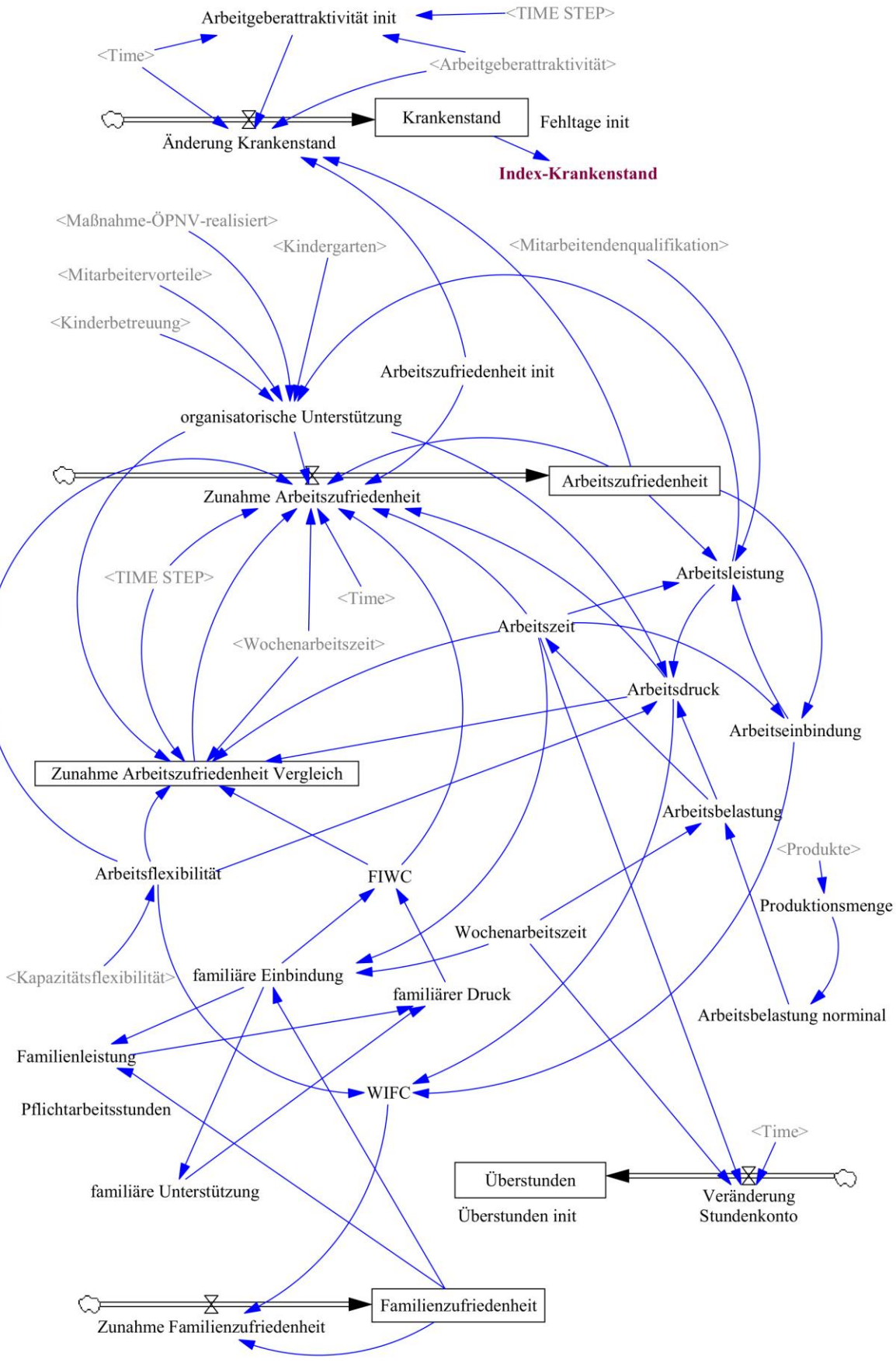
Anhang 28: Quantitatives Teilmodell „Mitarbeitende“ der sozialen Perspektive



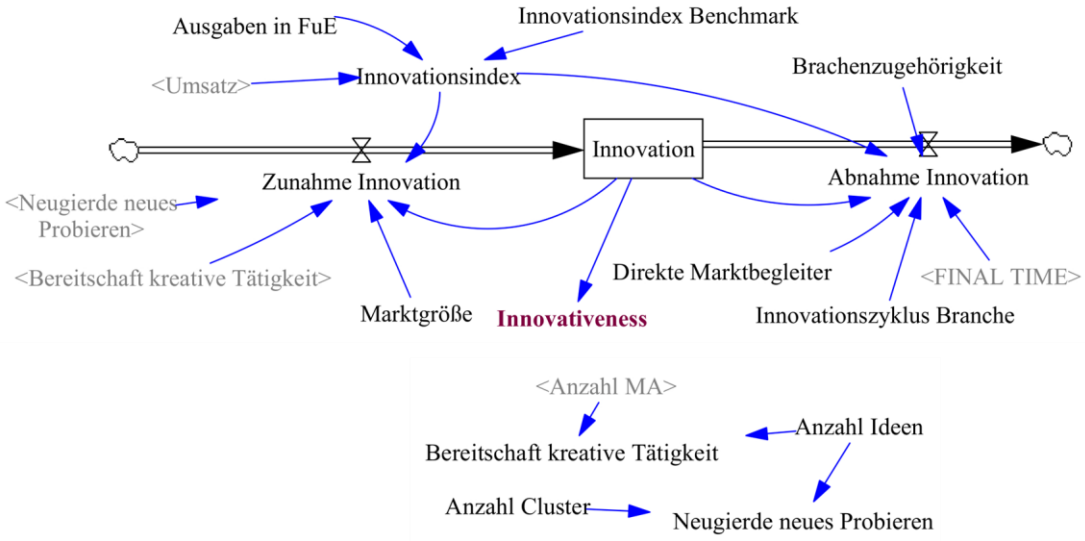
Anhang 29: Quantitatives Teilmodell „externe Attraktivität“ der sozialen Perspektive



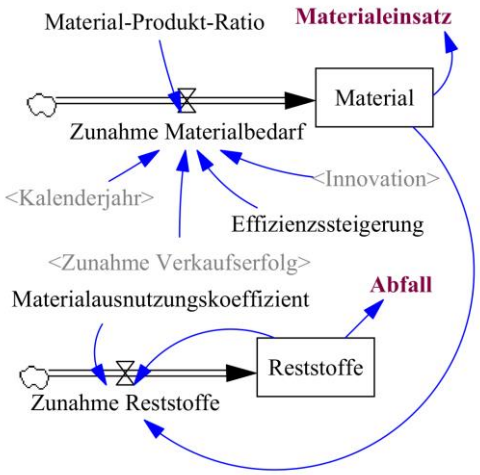
Anhang 30: Quantitatives Teilmodell „interne Attraktivität“ der sozialen Perspektive



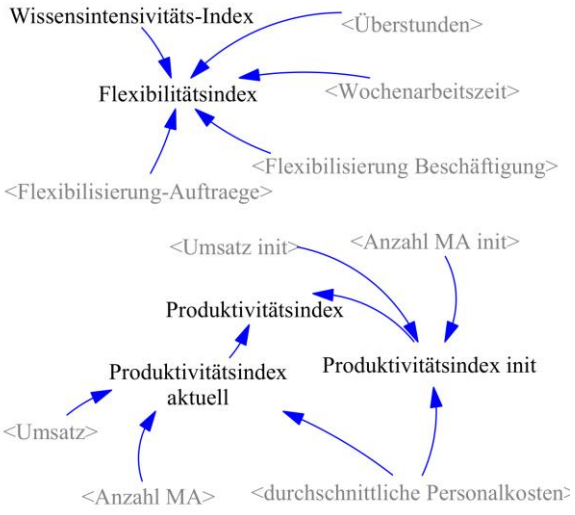
Anhang 31: Quantitatives Teilmodell „Innovation“ der Produktionsperspektive



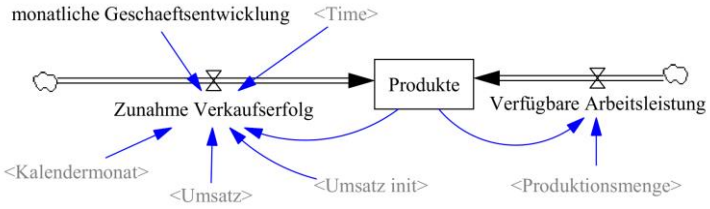
Anhang 32: Quantitatives Teilmodell „Material“ der Produktionsperspektive



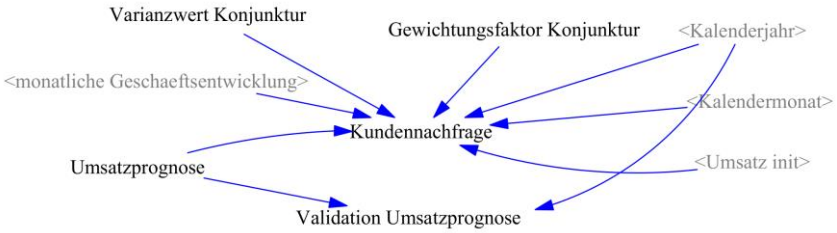
Anhang 33: Quantitatives Teilmodell „Auslastung“ der Produktionsperspektive



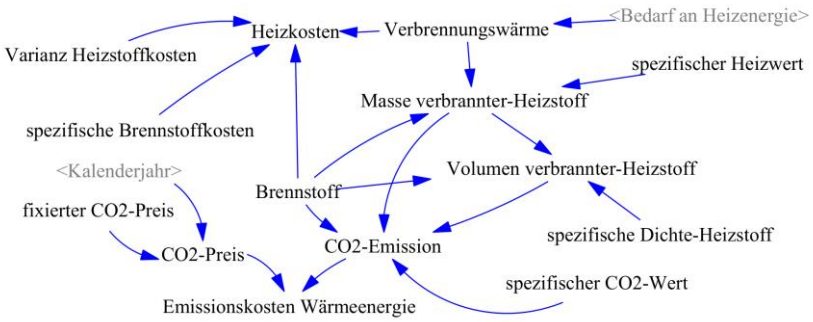
Anhang 34: Quantitatives Teilmodell „Lager“ der Produktionsperspektive



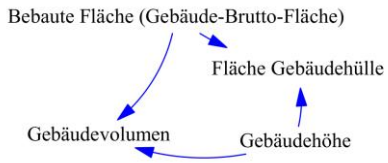
Anhang 35: Quantitatives Teilmodell „Konjunktur“ der Produktionsperspektive



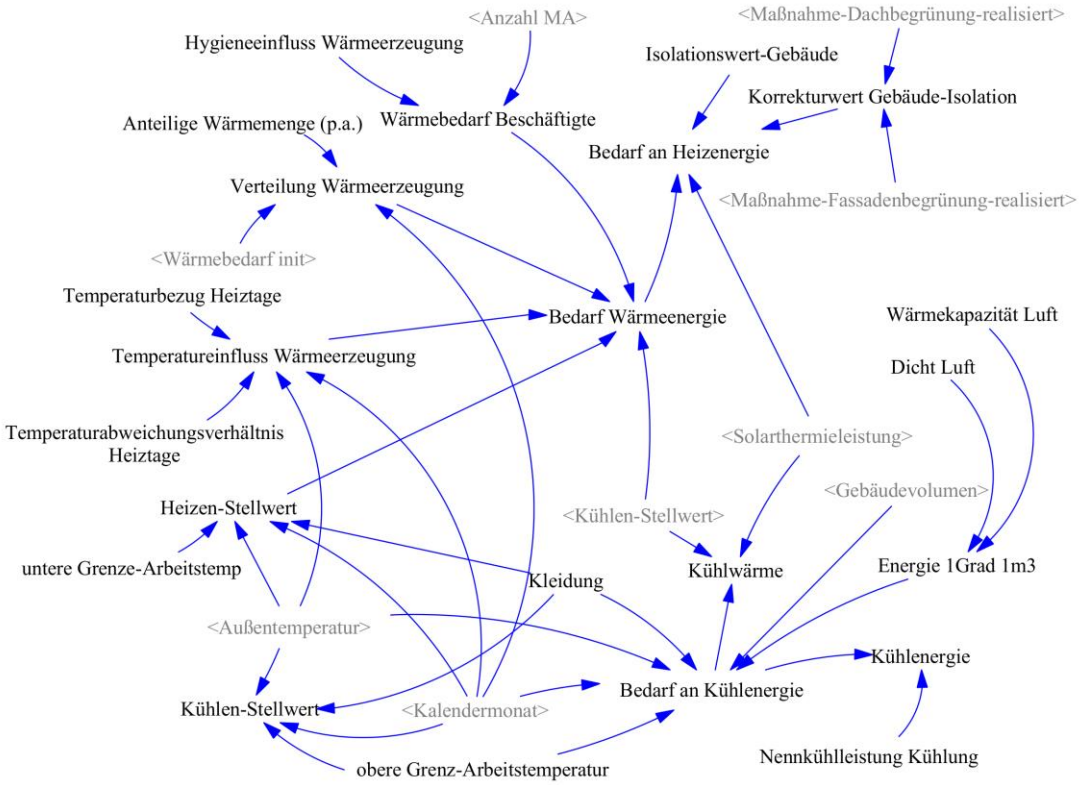
Anhang 36: Quantitatives Teilmodell „Fossile Verbrennung“ in den Rahmenbedingungen



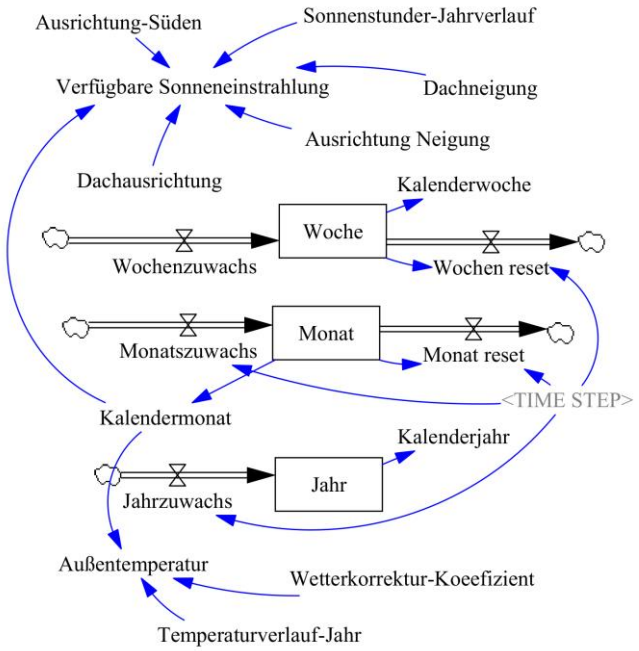
Anhang 37: Quantitatives Teilmodell „Gebäude“ in den Rahmenbedingungen



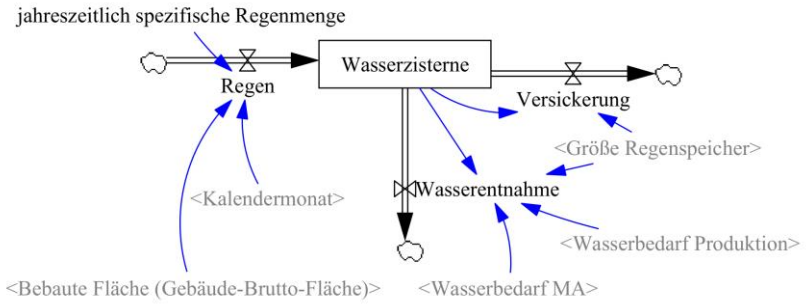
Anhang 38: Quantitatives Teilmodell „Wetter + Temperatur“ in den Rahmenbedingungen



Anhang 39: Quantitatives Teilmodell „Zeit“ in den Rahmenbedingungen



Anhang 40: Quantitatives Teilmodell „Zisterne“ in den Rahmenbedingungen



9.1.5 Vollständige Darstellung der mathematischen Gleichungen im quantitativen systemdynamischen Modell

*Umsatzentwicklung= IF THEN ELSE(Time>=1, (Verkauf-verkaufte Produkte)*Umsatz$_{initial}$/48, Verkauf*Umsatz$_{initial}$/48)*	*[Euro]*	(45)
verkaufte Produkte= (Umsatz/Umsatz$_{initial}$)	*[dmnl]*	(46)
"Umsatz-Konjuntur-Index"= GET XLS CONSTANTS('UnternehmensKPI.xls','Kennzahlen','E80'	*[dmnl]*	(47)
*Gewinn= ((EBIT-Verbindlichkeiten)/(2*48))*(1-Steuersatz))*	*[Euro]*	(48)
Investitionen= Investitionsrate+Investitionskosten Digitalisierung+Investionskosten Begrünung	*[Euro]*	(49)
Steuersatz= 0.3	*[dmnl]*	(50
betriebliche Kosten= Personalaufwand+Vorleistungen+Abschreibungsrate	*[Euro]*	(51)
Vorleistungen= Materialaufwand+betriebliche Aufwendungen	*[Euro]*	(52)
*Materialaufwand= Material*Materialaufwand$_{initial}$*	*[dmnl]*	(53)
betriebliche Aufwendungen= Weiterbildungsaufwände+Kosten Entsorgung+übrige sonstige betriebliche Aufwendungen$_{initial}$+"Aufwendung-Wartung und Betrieb"+Kosten laufende Maßnahmen+"Energiekosten Strom,Gas"+Kosten Wasserverbrauch+(Spenden/48)+Emissionskosten Wärmeenergie+Kosten Mitarbeitervorteile	*[Euro]*	(54)
"Energiekosten Strom,Gas"= IF THEN ELSE(Time>0, Heizkosten+Stromkosten, (Heizkosten$_{initial}$+Stromkosten$_{initial}$)/48)	*[Euro]*	(55)
*Kosten Entsorgung= Kosten Entsorgung$_{initial}$*Reststoffe*	*[Euro]*	(56)
"Aufwendung-Wartung und Betrieb"= "Betriebskosten Solarenergie-Anlage"+Pflegekosten Dachbegrünung+Pflegekosten Fassagenbegrüung+"Wartung+Pflege Repare-Cafe"+Wartungskosten Brauchwasseraufbereitung +Wartungskosten Zisterne	*[Euro]*	(57)
Kosten laufende Maßnahmen= "Kosten ÖPNV-Unterstützung"+Kosten Mitarbeitervorteile	*[Euro]*	(58)

"Kosten ÖPNV-Unterstützung"= Höhe der Unterstützung(750/48)*	*[Euro]*	(59)
übrige sonstige betriebliche Aufwendungen$_{initial}$= GET XLS CONSTANTS('UnternehmensKPI.xls','Kennzahlen','E44')	*[Euro]*	(60)
Anlagevermögen= INTEG (Investitionsrate-Abschreibungsrate,Anlagevermögen$_{initial}$)	*[Euro]*	(61)
*Ersatzinvestionsrate= DELAY3((Abschreibungsrate*1.25),100)*	*[Euro]*	(62)
*Investitionsrate= SMOOTH3(IF THEN ELSE(Ersatzinvestionsrate<Eigenkapital*5,Ersatzinvestionsrate,0),8)+"Investionskosten Solarenergie-Anlage"+"Investition Repare-Cafe"+Investition Zisterne*	*[Euro]*	(63)
*Abschreibungsrate= IF THEN ELSE((Abschreibungsfaktor/(12*4))>"Abschreibung Solarenergie-Anlage", Abschreibungsfaktor*Anlagevermögen, ("Abschreibung Solarenergie-Anlage"+Abschreibungsfaktor)*Anlagevermögen)*	*[Euro]*	(64)
Stromkosten= ((Stromenergiebedarf/48)-Solarleistung)(Gewerbestrompreis*(1+Preissteigerung Stromkosten\/48)*Varianz Stromkosten)*	*[Euro]*	(65)
Änderung Wärmebedarf= Bedarf Wärmeenergie-(Wärmeenergiebedarf/48)	*[kWh]*	(66)
Ausbauinvestition Parkplätze= IF THEN ELSE(Veränderung Parkflächen>0, 1, 0)	*[dmnl]*	(67)
*Veränderung Parkflächen= SAMPLE IF TRUE(INTEGER(Bedarf Parkflächen)>=Anzahl Parkflächen*2.5, Bedarf Parkflächen\, 0)*	*[dmnl]*	(68)
*Veränderung Flächenversiegelung=IF THEN ELSE(Ausbau Parkflächen=1:AND:Ausbauinvestition Parkplätze>0, 14*Anzahl Parkplätze\, IF THEN ELSE(Ausbau Parkflächen=-1, -14*0.6*Anzahl Parkplätze, 0))-Beitrag Flächenentsiegelung*	*[m²]*	(69)
Bedarf Parkflächen= Ausbau Parkflächen(DELAY1(Anzahl Parkflächen*0.1, 25))*	*[dmnl]*	(70)
Wasserentnahme= IF THEN ELSE(Größe Regenspeicher>0,IF THEN ELSE(Wasserzisterne>=(Wasserbedarf MA+Wasserbedarf Produktion), Wasserbedarf MA\+Wasserbedarf Produktion, (Wasserbedarf MA +Wasserbedarf Produktion)-Wasserzisterne),0)	*[m³]*	(71)
Änderung Strombedarf=(((Strombedarf$_{initial}$/48)(Produktion*0.95))-Stromenergiebedarf/48)+Kühlenergie*	*[kWh]*	(72)
*Veränderung Wasserbedarf= IF THEN ELSE(Time<=TIME STEP, Wasserbedarf-Wasserbedarf, ((Wasserbedarf MA*Anzahl MA+Wasserbedarf Produktion*Produkte))-Wasserbedarf)*	*[m³]*	(73)
Wasserbedarf Netzbereitstellung= Wasserbedarf-Wasserentnahme	*[m³]*	(74)
Anzahl Parkplätze= INTEGER(Anzahl Parkflächen)	*[dmnl]*	(75)
Emissionskosten Wärmeenergie= "CO2-Preis""CO2-Emission"*	*[Euro]*	(76)

Emissionsveränderung gasförmig= (("Emissionen-gasfoermig Verkehr"+"CO2-Emission")-Emission gasförmig$_{initial}$)/Emission gasförmig$_{initial}$	*[kg CO_2 e]*	(77)
Wasserbedarf MA=("spezifischer Wasserbedarf-Hygiene"+"spezifischer Wasserbedarf-Toilette")	*[m³]*	(78)
*Wasserbedarf Produktion= Wasserbedarf$_{initial}$/(12*4)-(("spezifischer Wasserbedarf- Hygiene"+"spezifischer Wasserbedarf-Toilette")*Anzahl MA$_{initial}$)*	*[m³]*	(79)
*Verkehr REF= SMOOTH(Verkehr, 2*TIME STEP)*	*[dmnl]*	(80)
Wasserkosten= Abwasser Kenngröße(Wasserkubikmeterpreis*(1+Preissteigerung Wasserkosten/48))*	*[Euro]*	(81)
KostenProkm KFZ= (Abschreibung+Aufwendungen+("Laufleistung p.a."(Treibstoffkosten*Varianz der Treibstoffkosten)*VerbrauchProkm KFZ/100))/"Laufleistung p.a."*	*[Euro/km]*	(82)
Verkehrsveränderung= (("Wahrscheinlichkeit KFZ-Nutzung"+"Warenverkehr-Ausgangswert")(1+Verkehrsbeitrag RC)*(1-Einfluss auf Verkehr))/Verkehrsbezug-Verkehr*	*[dmnl]*	(83)
Materialeinsatz= Material	*[dmnl]*	(84)
Kosten Wasserverbrauch= IF THEN ELSE(Time>0, Wasserkosten, ("Kosten Gas,Wasser,Strom$_{initial}$"-(Stromkosten$_{initial}$+Heizkosten$_{initial}$))/48)	*[Euro]*	(85)
Gewerbestrompreis= Stromkosten$_{initial}$/Strombedarf$_{initial}$	*[Euro]*	(86)
"Wahrscheinlichkeit KFZ-Nutzung"= ((((Durchschnittliche Dauer ÖPNV+Entfernung zum ÖPNV)(1+"Veränderung Zeit-ÖPNV"))/(Durchschnittliche Dauer KFZ+((Durchschnittliche Dauer ÖPNV+Entfernung zum ÖPNV)*(1+"Veränderung Zeit-ÖPNV"))))*0.4+ (Fahrtkosten ÖPNV / (Fahrtkosten KFZ+Fahrtkosten ÖPNV)) *0.15+ Parkplatzverhältnis*0.22+ Stauwahrscheinlichkeit*0.23)*"Einfluss KFZ-Wahrscheinlichkeit"*	*[dmnl]*	(87)
*Veränderung Produktionslärm= IF THEN ELSE("Maßnahme-Fassadenbegrünung-realisiert">0.5, Produktionsveränderung*0.01*Lärmdämmungsfaktor, Produktionsveränderung*0.01)*	*[dmnl]*	(88)
*"Einfluss KFZ-Wahrscheinlichkeit"= IF THEN ELSE(Auswirkung auf Autonutzung>=1, "Attraktivität Tandemnutzung-KFZ"("Anzahl MA-KFZ integer"/Anzahl MA)*Parkplatzverhältnis* (1-"Anteil-lokal-günstiger MA"), 1-"Anteil-lokal-günstiger MA")*	*[dmnl]*	(89)
Kosten laufende Maßnahmen= "Kosten ÖPNV-Unterstützung"+Kosten Mitarbeitervorteile	*[Euro]*	(90)
"Kosten ÖPNV-Unterstützung"= Höhe der Unterstützung(750/48)*	*[Euro]*	(91)
Beitrag Emissionsreduktion= IF THEN ELSE(Dachflächenbegrünung= 1, SMOOTH(STEP(0.05"Verfügbare freie-Dachfläche", Wirkdatum Begrünung), 72), 0)+IF THEN ELSE(Fassadenbegrünung =1, SMOOTH(STEP(0.05*Fläche Gebäudehülle*Anteil Fassadenfläche, Wirkdatum Begrünung), 48), 0)*	*[dmnl]*	(92)

"Veränderung Zeit-ÖPNV"=IF THEN ELSE(Time>=Umzugsdatum, "Reduktion Weg-ÖPNV", 0)	*[min]*	(93)
"Veränderung Kosten-ÖPNV"= IF THEN ELSE(Beitrag Maßnahme=1, IF THEN ELSE(Time>"Wirkungsdatum ÖPNV-Unterstützung", Höhe der Unterstützung, 0), 0)	*[Euro]*	(94)
*Fahrtkosten ÖPNV= Durchschnittliche Distanz*KostenProkm ÖPNV*(1-"Veränderung Kosten-ÖPNV")*	*[Euro]*	(95)
Auswirkung auf Autonutzung= IF THEN ELSE(Bevorzugung Tandemfahrer=1:AND:Time>Wirkungsdatum Tandemfahrer, 1, 0)	*[dmnl]*	(96)
Beitrag Flächenentsiegelung= (IF THEN ELSE(Dachflächenbegrünung= 1, SMOOTH(STEP(0.45"Verfügbare freie-Dachfläche", Wirkdatum Begrünung), 72), 0)+IF THEN ELSE(Fassadenbegrünung=1, SMOOTH(STEP(0.2*Fläche Gebäudehülle, Wirkdatum Begrünung), 48), 0))-(IF THEN ELSE(Dachflächenbegrünung= 1, SMOOTH(STEP(0.45*"Verfügbare freie-Dachfläche", Wirkdatum Begrünung+1), 72), 0)+IF THEN ELSE(Fassadenbegrünung=1, SMOOTH(STEP(0.2*Fläche Gebäudehülle, Wirkdatum Begrünung+1), 48), 0))*	*[dmnl]*	(97)
Pflanzenwachstum= 0.0035"Sonnenstunder-Jahrverlauf"(Kalendermonat)-Emissionsveränderung gasförmig*0.015*	*[dmnl]*	(98)
Veränderung Abwassermenge= (Veränderung Wasserbedarf)-(Wasseraufbereitung/Wasserbedarf)	*[m³]*	(99)
*Einfluss auf Biodiversität= -Veränderung Versieglung*0.001+-Emissionsveränderung Lärm*0.0005+-Emissionsveränderung gasförmig*0.0015+Pflanzenwachstum*Menschlischer Eingriff*0.001*	*[dmnl]*	(100)
Emission Lärm$_{initial}$= SAMPLE IF TRUE(Time=0, Emission Produktionslärm+Emission Verkehrslärm, Emission Produktionslärm+Emission Verkehrslärm)	*[dmnl]*	(101)
Veränderung Versieglung= (versiegelte Fläche-versiegelte Fläche$_{initial}$)/versiegelte Fläche$_{initial}$	*[dmnl]*	(102)
Emissionsveränderung Lärm= ((Emission Verkehrslärm+Emission Produktionslärm)-Emission Lärm$_{initial}$)/Emission Lärm$_{initial}$	*[dmnl]*	(103)
*Stauwahrscheinlichkeit= IF THEN ELSE(Verkehr<1.5, RANDOM UNIFORM(0.25, 0.5, 0)*1.5 , 1.5/Verkehr)*	*[dmnl]*	(104)
Veränderung Verkehrslärm= Verkehr((Gebietfaktor+Verkehrsfluss(Straßenfaktor)*RANDOM UNIFORM(0.8,1.2,0))/Verkehrslärm Basis)-Emission Verkehrslärm*	*[dmnl]*	(105)
Verkehrsbezug= SAMPLE IF TRUE(Time=0, "Wahrscheinlichkeit KFZ-Nutzung"+"Warenverkehr-Ausgangswert", "Wahrscheinlichkeit KFZ-Nutzung"+"Warenverkehr-Ausgangswert")	*[dmnl]*	(106)

*Parkplatzverhältnis= IF THEN ELSE(Time>=TIME STEP, Anzahl Parkplätze*0.9/"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$", Anzahl Parkplätze*0.9/"Anzahl MA-KFZ$_{initial}$")*	*[dmnl]*	(107)
Verkehrslärm Basis=SAMPLE IF TRUE(Time=0.25,(Gebietfaktor+Verkehrsfluss(Straßenfaktor)),(Gebietfaktor+Verkehrsfluss(Straßenfaktor)))	*[dmnl]*	(108)
Fahrende MA= IF THEN ELSE(Anzahl MA<="Anzahl MA-KFZ$_{integer}$", (Anzahl MA-"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$")"Motivation KFZ-Nutzung"*RANDOM UNIFORM(0.8 , 1.2, 0),Anzahl MA-"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$")*	*[dmnl]*	(109)
Fahrende MA= IF THEN ELSE(Anzahl MA<="Anzahl MA-KFZ$_{integer}$", (Anzahl MA-"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$")"Motivation KFZ-Nutzung"*RANDOM UNIFORM(0.8 , 1.2, 0),Anzahl MA-"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$")*	*[dmnl]*	(110)
"Motivation KFZ-Nutzung"= TANH(0.5"Wahrscheinlichkeit KFZ-Nutzung")*	*[dmnl]*	(111)
Ausbau Parkflächen= IF THEN ELSE(Anzahl Parkplätze/"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$"<=0.5, 1 , IF THEN ELSE(Anzahl Parkplätze/"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$">=1.5, -1, 0))	*[dmnl]*	(112)
*Abschreibung=Anschaffungskosten*0.1*	*[Euro]*	(113)
Fahrerfaktor= RANDOM UNIFORM(0.6, 1, 0)	*[dmnl]*	(114)
*Fahrtkosten KFZ= Durchschnittliche Distanz*KostenProkm KFZ*	*[Euro]*	(115)
VerbrauchProkm KFZ= RANDOM UNIFORM(5, 8.5 ,0)	*[m³/km]*	(116)
*"Warenverkehr-Ausgangswert"= (("Abholung Anteil-LKW"*Häufigkeit Warenabholung)+("Anlieferung Anteil-LKW"*Häufigkeit Anlieferung))*Fahrerfaktor*0.8*Gebietfaktor*0.6*Straßenfaktor*0.9*	*[dmnl]*	(117)
Emission fest Basis= SAMPLE IF TRUE(Time=0,(Emissionsbeitrag fest KFZ+Emissionsbeitrag fest LKW+Emissionsbeitrag fest Sprinter),(Emissionsbeitrag fest KFZ+Emissionsbeitrag fest LKW+Emissionsbeitrag fest Sprinter))	*[kg]*	(118)
Emissionsbeitrag fest KFZ= (Durchschnittliche Distanz"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$"*"Schadstoffausstoß-fest KFZ")*	*[kg]*	(119)
*Emissionsbeitrag fest LKW= ((("Anlieferung Anteil-LKW"*Häufigkeit Anlieferung)+("Abholung Anteil-LKW"*Häufigkeit Warenabholung))*"Schadstoffausstoß-fest LKW"*"Durchschnittliche Lieferentfernung-LKW")*	*[kg]*	(120)
*Emissionsbeitrag fest Sprinter= ((("Anlieferung Anteil-Sprinter"*Häufigkeit Anlieferung)+("Abholung Anteil-Sprinter"*Häufigkeit Warenabholung))*"Schadstoffausstoß-fest Sprinter"*"Durchschnittliche Lieferentfernung-Sprinter")*	*[kg]*	(121)
"Zunahme Emissionen-fest-Verkehr"= ((Emissionsbeitrag fest KFZ+Emissionsbeitrag fest LKW+Emissionsbeitrag fest Sprinter)/Emission fest Basis)-"Emission-fest Verkehr"	*[kg]*	(122)

*Häufigkeit Warenabholung= RANDOM UNIFORM(0.9, 1, 0)*Häufigkeit Warenabholung$_{initial}$*Neuesverkehrskonzept Lieferverkehr*	*[dmnl]*	(123)
"Abholung Anteil-Sprinter"= "Abholung Anteil-Sprinter$_{initial}$"(1+Veränderungsindex Fahrzeugtypus)*	*[dmnl]*	(124)
*Häufigkeit Anlieferung= RANDOM UNIFORM(0.9, 1, 0)*Häufigkeit Anlieferung$_{initial}$*Neuesverkehrskonzept Lieferverkehr*	*[dmnl]*	(125)
"Anlieferung Anteil-Sprinter"= "Anlieferung Anteil-Sprinter$_{initial}$"(1+Veränderungsindex Fahrzeugtypus)*	*[dmnl]*	(126)
"Zunahme Emissionen-gasfoermig-Verkehr"= ((Emissionsbeitrag gasfoermig KFZ+Emissionsbeitrag gasfoermig LKW+Emissionsbeitrag gasfoermig Sprinter-Beitrag Emissionsreduktion)/Emissionen gasförmig Basis)-"Emissionen-gasfoermig Verkehr"	*[kg]*	(127)
*Emissionsbeitrag gasfoermig LKW= ((("Anlieferung Anteil-LKW"*Häufigkeit Anlieferung)+("Abholung Anteil-LKW"*Häufigkeit Warenabholung))*"Schadstoffausstoß-gasfoermig LKW"*"Durchschnittliche Lieferentfernung-LKW")*	*[kg]*	(128)
*Emissionsbeitrag gasfoermig Sprinter= ((("Anlieferung Anteil-Sprinter"*Häufigkeit Anlieferung)+("Abholung Anteil-Sprinter"*Häufigkeit Warenabholung))*"Schadstoffausstoß-gasfoermig Sprinter"*"Durchschnittliche Lieferentfernung-Sprinter")*	*[kg]*	(129)
Emissionsbeitrag gasfoermig KFZ= (Durchschnittliche Distanz"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$"*"Schadstoffausstoß-gasfoerming KFZ")*	*[kg]*	(130)
Emissionen gasförmig Basis=SAMPLE IF TRUE(Time=0,(Emissionsbeitrag gasfoermig KFZ+Emissionsbeitrag gasfoermig LKW+Emissionsbeitrag gasfoermig Sprinter),(Emissionsbeitrag gasfoermig KFZ+Emissionsbeitrag gasfoermig LKW+Emissionsbeitrag gasfoermig Sprinter))	*[kg]*	(131)
"Anzahl MA-KFZ$_{integer}$"= IF THEN ELSE("Anzahl MA-KFZ"<=Anzahl MA, ABS(INTEGER("Anzahl MA-KFZ")), Anzahl MA)	*[dmnl]*	(132)
"Abholung Anteil-LKW"= 1-"Abholung Anteil-Sprinter"	*[dmnl]*	(133)
"Anlieferung Anteil-LKW"= 1-"Anlieferung Anteil-Sprinter"	*[dmnl]*	(134)
Emission gasförmig$_{initial}$= SAMPLE IF TRUE(Time<=TIME STEP, "CO2-Emission"+"Emissionen-gasfoermig Verkehr", "CO2-Emission"+"Emissionen-gasfoermig Verkehr")	*[kg]*	(135)
Energiebedarf$_{initial}$= SAMPLE IF TRUE(Time<=TIME STEP, Stromenergiebedarf+Wärmeenergiebedarf, Stromenergiebedarf+Wärmeenergiebedarf)	*[kWh]*	(136)
"Schulungen p. MA p.a."= Schulungen/Anzahl MA	*[dmnl]*	(137)
*Weiterbildungsaufwände= (Kosten Schulung$_{initial}$/Anzahl MA$_{initial}$)*Schulungen*	*[Euro]*	(138)
Weiterbildungsbedarf= IF THEN ELSE(Schulungen/Anzahl MA>5, 0, IF THEN ELSE (Mitarbeitendenqualifikation<80\,DELAY1(Schulungen/"d.	*[dmnl]*	(139)

Mitarbeiterqualifikation",12),IF THEN ELSE(Mitarbeitendenqualifikation>110,Anzahl MA-Schulungen,0)))		
Schulung neuer MA= IF THEN ELSE("Schulungen p. MA p.a."<2, 3"Schulungen p. MA p.a.", 3)*	*[dmnl]*	(140)
*Arbeitsbelastung= IF THEN ELSE(Arbeitsbelastung$_{norminal}$*Wochenarbeitszeit/5<=10:AND:Arbeitsbelastung$_{norminal}$*Wochenarbeitszeit/5>2.4, Arbeitsbelastung$_{norminal}$*Wochenarbeitszeit/5, IF THEN ELSE\(Arbeitsbelastung$_{norminal}$*Wochenarbeitszeit/5>10, 10, 2.4))*	*[h]*	(141)
familiäre Einbindung= (Wochenarbeitszeit/5)/Arbeitszeit(Familienzufriedenheit/5)*	*[dmnl]*	(142)
*Zunahme Arbeitszufriedenheit Vergleich= DELAY INFORMATION (FIWC*Arbeitsflexibilität*(1-organisatorische Unterstützung)*(Arbeitszeit/(Wochenarbeitszeit/5))*Arbeitsdruck,TIME STEP,0)*	*[dmnl]*	(143)
*Zunahme Arbeitszufriedenheit= IF THEN ELSE(Time<TIME STEP,Arbeitszufriedenheit-Arbeitszufriedenheit$_{initial}$,IF THEN ELSE(1<Arbeitszufriedenheit:AND:Arbeitszufriedenheit<5,(1-(Zunahme Arbeitszufriedenheit Vergleich/(FIWC*Arbeitsflexibilität *(1-organisatorische Unterstützung)*(Arbeitszeit/(Wochenarbeitszeit/5))*Arbeitsdruck)))*Arbeitszufriedenheit,0))*	*[dmnl]*	(144)
*Aufbaurate Qualifikation= DELAY1((Mitarbeiterakquise*Schulung neuer MA)*(0.6*(1+Bedarf an Kompetenzaufbau)),(2*12))+DELAY1(Mitarbeitendenbestand*("Schulungen p. MA p.a."+Bedarf an Kompetenzaufbau)*0.6,(4*8))/(4*Mitarbeitendenbestand)+DELAY1(0.05*Unternehmenszugehörigkeit, 36)*	*[dmnl]*	(145)
*"benötigte MA-Akquise"= (Anzahl MA$_{initial}$*Umsatz/Umsatz$_{initial}$)+(Mitarbeitendenbestand*Fluktuationsrate)*	*[dmnl]*	(146)
*posWahrnehmung REF= DELAY FIXED(SMOOTH(Familienfreundlichkeit, 6*TIME STEP)*0.35 +Arbeitgeberattraktivität*0.3 +Attraktiver Freizeitort*0.35,TIME STEP ,Familienfreundlichkeit*0.35+Arbeitgeberattraktivität*0.3 +Attraktiver Freizeitort*0.35)*	*[dmnl]*	(147)
Veränderung Umfeldbeitrag= ((0.25(positive Wahrnehmung-posWahrnehmung REF)+0.25*(positive Erscheinung-posErs REF)-0.15*(Verkehr-Verkehr REF)+("Anteil-lokal-günstiger MA"-AntMA REF)+0.35*("Angebote-Unternehmen"-AngU REF)))*	*[dmnl]*	(148)
positive Erscheinung=SAMPLE IF TRUE("Maßnahme-Dachbegrünung$_{realisiert}$">0:OR:"Maßnahme-Fassadenbegrünung$_{realisiert}$">0, positive Erscheinung+Dacheffekt"Maßnahme-Dachbegrünung$_{realisiert}$"+Fassadeneffekt*"Maßnahme-Fassadenbegrünung$_{realisiert}$", 0)*	*[dmnl]*	(149)
posErs REF= DELAY FIXED (positive Erscheinung, TIME STEP, positive Erscheinung)	*[dmnl]*	(150)
*AntMA REF= SMOOTH("Anteil-lokal-günstiger MA", 2*TIME STEP)*	*[dmnl]*	(151)
*Veränderung Stundenkonto=SAMPLE IF TRUE(Time>0, (Arbeitszeit*5)-Wochenarbeitszeit, 0)*	*[h]*	(152)
Arbeitgeberattraktivität$_{initial}$= SAMPLE IF TRUE(Time=TIME STEP, Arbeitgeberattraktivität, 0)	*[dmnl]*	(153)

*Änderung Krankenstand= IF THEN ELSE(Time>0,(SQRT(POWER(1-Arbeitgeberattraktivität/Arbeitgeberattraktivität$_{initial}$,2)*0.8+POWER(1-Arbeitszufriedenheit/Arbeitszufriedenheit$_{initial}$,2)*0.2))/100,0)*	*[dmnl]*	(154)
Zunahme Familienzufriedenheit= IF THEN ELSE(Familienzufriedenheit>1:AND:Familienzufriedenheit<5, WIFC-0.01, 0)* *positive Wahrnehmung= SMOOTH(Familienfreundlichkeit, 6*TIME STEP)*0.35+Arbeitgeberattraktivität*0.3+Attraktiver Freizeitort*0.35*	*[dmnl]*	(155)
*Familienfreundlichkeit= ((ABS(SIN(Time/("PI-Konstante"/48)))*Kinderbetreuung/15)+(ABS(COS(Time/("PI-Konstante"/48)))*Kindergarten/15))*0.5+Kapazitätsflexibilität*0.5*	*[dmnl]*	(156)
*Einfluss auf Arbeitgeberattraktivität= Bewirtungszulage+HomeOffice+Mitarbeitervorteile+(0.03*Kinderbetreuung+0.01*Kindergarten)*Anteil Eltern+0.75*positives Wohnumfeld*	*[dmnl]*	(157)
*MA-Angebot"=Anzahl passender Bewerber*Arbeitgeberattraktivität*	*[dmnl]*	(158)
Fluktuationsrate= Mitarbeiterfluktuation/Mitarbeitendenbestand	*[dmnl]*	(159)
Mitarbeiterakquise= IF THEN ELSE(("MA-Bedarf"-"MA-Angebot")>0,"MA-Angebot","MA-Bedarf")	*[dmnl]*	(160)
"MA-Bedarf"= IF THEN ELSE(("benötigte MA-Akquise"-Mitarbeitendenbestand)>=0,"benötigte MA-Akquise"-Mitarbeitendenbestand,0)	*[dmnl]*	(161)
"Flexibilisierung-MA"= IF THEN ELSE("Maßnahme-Digitalisierung$_{realisiert}$">=1, "Flexibilisierung-MA-LookUp"(Digitaler Zielreifegrad-"Digitaler Reifegrad (Start)"),"Flexibilisierung-MA-LookUp"(0))	*[dmnl]*	(162)
Bedarf an Kompetenzaufbau=IF THEN ELSE("Umsetzung-Digitalisierung">0:AND: "d. Mitarbeiterqualifikation"<1, (Digitaler Zielreifegrad-Digitaler Reifegrad)+(1-"d. Mitarbeiterqualifikation"), 0)	*[dmnl]*	(163)
Arbeitsflexibilität= SAMPLE IF TRUE(Kapazitätsflexibilität>0, Kapazitätsflexibilität,Pflichtarbeitsstunden/Wochenarbeitszeit)	*[dmnl]*	(164)
Anteil Eltern =SAMPLE IF TRUE("Anzahl MA-Eltern"<>"Anzahl MA-Eltern$_{initial}$","Anzahl MA-Eltern"/Anzahl MA,"Anzahl MA-Eltern$_{initial}$"/Anzahl MA)	*[dmnl]*	(165)
Mitarbeiterfluktuation= Veränderungspotenzial(Wettbewerbsfaktor MA)(1/Mitarbeitendenzufriedenheit)*Mitarbeitendenbestand*RANDOM UNIFORM(0.2, 0.5, 0)*(1/(Unternehmenszugehörigkeit*4*12))*	*[dmnl]*	(166)
"Anzahl MA-Eltern"= DELAY1((Anteil Eltern+0.01(Kinderbetreuung/Zuschuss Kinder)+0.03*(Kindergarten/Zuschuss Kinder))*Anzahl MA,24)*	*[dmnl]*	(167)
*Arbeitsleistung= (Arbeitszeit/Arbeitseinbindung)*Mitarbeitendenqualifikation*DELAY1I(Arbeitszufriedenheit, 4, 5)/10*	*[dmnl]*	(168)
Verfügbare Arbeitsleistung= IF THEN ELSE(Produkte>1.4, (Produktionsmenge-Produkte)/Produkte, 0)	*[dmnl]*	(169)
Kapazitätsflexibilität= IF THEN ELSE(Wirksamkeit Arbeitsflexibilität<Time, Flexibilisierung Beschäftigung, 0)+HomeOffice	*[dmnl]*	(170)
*Kündigungszeiten= 3*4*	*[week]*	(171)
Attraktor Wohnortnähe= Faktor Wohnortnähe(Durchschnittliche Distanz)	*[dmnl]*	(172)

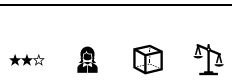
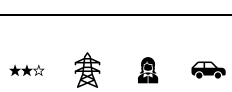
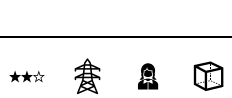
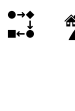
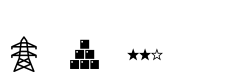
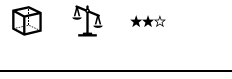
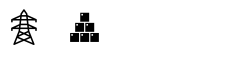
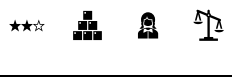
*Familienleistung= DELAY1I(Familienzufriedenheit, 4, 1.5)*familiäre Einbindung/10*	*[dmnl]*	(173)
*FIWC= 0.05*familiäre Einbindung*familiärer Druck*	*[dmnl]*	(174)
Anzahl passender Bewerber= RANDOM UNIFORM(0.2, 0.7, 0)/RANDOM UNIFORM(0.6, 1, 0)	*[dmnl]*	(175)
Arbeitsdruck= Arbeitsbelastung/(organisatorische Unterstützung(1/Arbeitsflexibilität)*Arbeitsleistung)*	*[dmnl]*	(176)
*Arbeitseinbindung= Arbeitszufriedenheit*Arbeitszeit*	*[dmnl]*	(177)
*WIFC= 0.05*Arbeitseinbindung*Arbeitsdruck/Arbeitsflexibilität*	*[dmnl]*	(178)
*Mitarbeitendenzufriedenheit= 1.1*Arbeitszufriedenheit*	*[dmnl]*	(179)
*familiäre Unterstützung= 1.2*familiäre Einbindung*	*[dmnl]*	(180)
*familiärer Druck=1/IF THEN ELSE(Familienleistung*familiäre Unterstützung<=0.5, 0.5, (Familienleistung*familiäre Unterstützung))*	*[dmnl]*	(181)
Qualifikationslebenszeit= RANDOM UNIFORM(0.7, 1.3, 0)(16*4*3)*	*[week]*	(182)
*Rekrutierungszeit= RANDOM UNIFORM(1, 2 , 0)*12*	*[week]*	(183)
*organisatorische Unterstützung= 0.35+IF THEN ELSE(Arbeitsleistung<0.5, DELAY1(0.65, 4), DELAY1(0.35, 4))*0.1+0.05*"Maßnahme-ÖPNV-realisiert"+0.05*Mitarbeitervorteile+IF THEN ELSE(Kindergarten>0:OR:Kinderbetreuung>0, 0.1, 0)*	*[dmnl]*	(184)
Arbeitszeit= Arbeitsbelastung	*[dmnl]*	(185)
Produktion= INTEG (Produktionsbedarf-Produktionszeit,1)	*[dmnl]*	(186)
Effizienzsteigerung= GET XLS LOOKUPS('UnternehmensKPI.xls','Kennzahlen','82','H83')	*[dmnl]*	(187)
Lager= INTEG (Produktionszeit-Verkauf,1)	*[dmnl]*	(188)
*Produktionszeit= Produktion / ((durchschnittliche Produktionszeit*Kundennachfrage)/(TIME STEP*2))*	*[week]*	(189)
*Produktionsbedarf= MAX(0,IF THEN ELSE((Kapazität*Produktivitätsindex)>=(Kundennachfrage+Fehlmenge),(Kundennachfrage + Fehlmenge)/durchschnittliche Rüstzeit,((Kundennachfrage+Fehlmenge)*Produktivitätsindex)/durchschnittliche Rüstzeit))*	*[dmnl]*	(190)
Verkauf= IF THEN ELSE(Lager<0, 0, (Kundennachfrage)/durchschnittliche Verkaufszeit)	*[dmnl]*	(191)
*Fehlmenge= IF THEN ELSE(Lager<1.5*Kundennachfrage, DELAY1(ABS(Kundennachfrage-Verkauf),1), 0)*	*[dmnl]*	(192)
durchschnittliche Rüstzeit=0.3/TIME STEP	*[week]*	(193)
*Kapazität= DELAY1(Anzahl MA/Anzahl $MA_{initial}$, Flexibilitätsindex*10)*	*[dmnl]*	(194)
Produktivitätsindex= $Produktivitätsindex_{aktuell}$/$Produktivitätsindex_{initial}$	*[dmnl]*	(195)
*$Produktivitätsindex_{aktuell}$= Umsatz/(Anzahl MA*durchschnittliche Personalkosten)*	*[dmnl]*	(196)
*$Produktivitätsindex_{initial}$= ($Umsatz_{initial}$)/(Anzahl $MA_{initial}$*durchschnittliche Personalkosten)*	*[dmnl]*	(197)

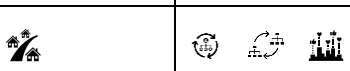
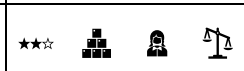
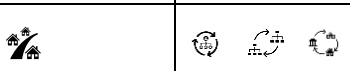
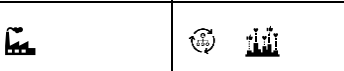
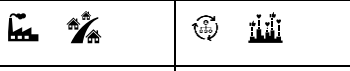
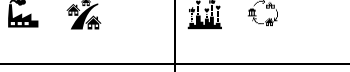
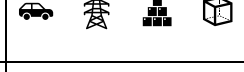
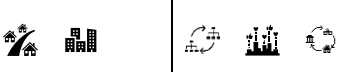
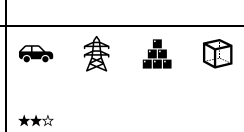
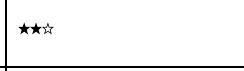
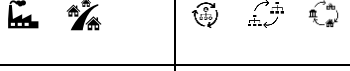
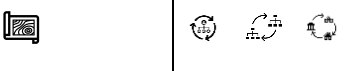
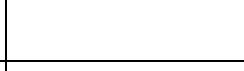
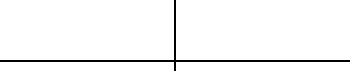
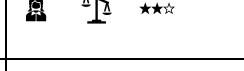
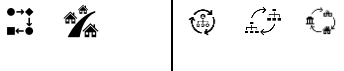
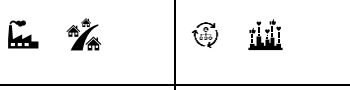
Validation Umsatzprognose= Umsatzprognose(Kalenderjahr)	*[Euro]*	(198)
Kundennachfrage= ((((Gewichtungsfaktor Konjunktur)/10)((Umsatzprognose(Kalenderjahr)/Umsatz$_{initial}$)*Varianzwert Konjunktur\)+(10-Gewichtungsfaktor Konjunktur)/10)*(monatliche Geschaeftsentwicklung(Kalendermonat\))*Varianzwert Konjunktur)*	*[dmnl]*	(199)
*Flexibilitätsindex= "Wissensintensivitäts-Index"*Flexibilisierung Beschäftigung*(IF THEN ELSE(Überstunden/Wochenarbeitszeit>3, 0.6, 1.1))+(1-"Wissensintensivitäts-Index")*"Flexibilisierung-Auftraege"*	*[dmnl]*	(200)
"Flexibilisierung-Auftraege"= IF THEN ELSE("Maßnahme-Digitalisierung-realisiert">=1, "Flexibilisierung-Aufträge-LookUp"(Digitaler Zielreifegrad-"Digitaler Reifegrad (Start)"),"Flexibilisierung-Aufträge-LookUp"(0))	*[dmnl]*	(201)
*Umsatzentwicklung= IF THEN ELSE(Time>=1, (Verkauf-verkaufte Produkte)*Umsatz$_{initial}$/48, Verkauf*Umsatz$_{initial}$/48)*	*[Euro]*	(202)
*Lagerveränderung= IF THEN ELSE(Produkte auf Lager<0,IF THEN ELSE((((Produkte*Umsatz$_{initial}$)-Umsatz)/Umsatz$_{initial}$)>0, (((Produkte*Umsatz$_{initial}$)-Umsatz)/Umsatz$_{initial}$), 0),(((Produkte*Umsatz$_{initial}$)-Umsatz)/Umsatz$_{initial}$))*	*[dmnl]*	(203)
Produkte auf Lager= INTEG (Lagerveränderung,Lager$_{initial}$)	*[dmnl]*	(204)
Produktionsmenge= IF THEN ELSE(0<Produkte:AND:Produkte<1.4, Produkte, 1.25)	*[dmnl]*	(205)
*Kapazität= DELAY1(Anzahl MA/Anzahl MA$_{initial}$, Flexibilitätsindex*10)*	*[dmnl]*	(206)
Verfügbare Arbeitsleistung= IF THEN ELSE(Produkte>1.4, (Produktionsmenge-Produkte)/Produkte, 0)	*[dmnl]*	(207)
Produkte= INTEG (Verfügbare Arbeitsleistung+Zunahme Verkaufserfolg,1)	*[dmnl]*	(208)
Zunahme Verkaufserfolg= IF THEN ELSE(Time<=1, 0, ((Umsatz/Umsatz$_{initial}$)(monatliche Geschaeftsentwicklung(Kalendermonat))*RANDOM UNIFORM(0.9, 1.1, 0))-Produkte)*	*[dmnl]*	(209)
Produktionsveränderung= (Produkte-Produkte$_{initial}$)/Produkte$_{initial}$	*[dmnl]*	(210)
Produkte$_{initial}$= SAMPLE IF TRUE(Time=0, Produkte , Produkte)	*[dmnl]*	(211)
*Zunahme Innovation= ((Innovationsindex+(Neugierde neues Probieren+Bereitschaft kreative Tätigkeit))*Marktgröße*0.2)/(10*Innovation)*	*[dmnl]*	(212)
*Innovationsindex= Innovationsindex Benchmark((Ausgaben in FuE/Umsatz)*100)*	*[dmnl]*	(213)
Neugierde neues Probieren= Anzahl Cluster/Anzahl Ideen	*[dmnl]*	(214)
Bereitschaft kreative Tätigkeit= Anzahl Ideen/Anzahl MA	*[dmnl]*	(215)

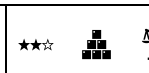
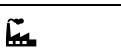
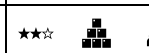
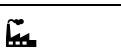
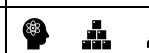
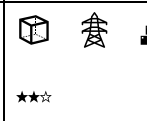
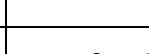
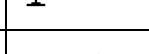
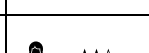
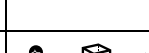
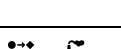
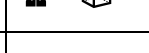
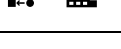
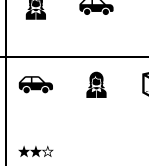
9.1.6 Auflistung potenzieller Weiterentwicklungsmaßnahmen im Kontext der urbanen Produktion sowie Einordnung

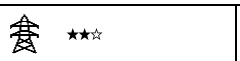
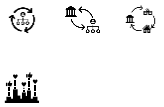
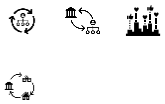
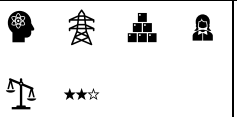
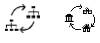
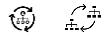
Anhang 41: Auflistung potenzieller Maßnahmen für die Etablierung und Weiterentwicklung von Produktion im urbanen Raum (Bucherer et al., 2019, Hertwig, 2017)

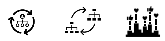
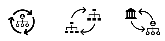
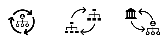
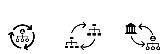
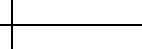
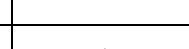
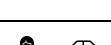
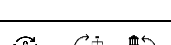
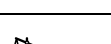
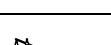
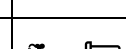
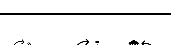
Weiterentwicklungsmaßnahmen für die Produktion im urbanen Raum	Wirkungsebene	Gestaltungsfelder	Organisatorischer Aufwand	Beteiligte Stakeholder
Zeitversetzte Nutzung gewerblicher Parkplatzflächen	★★☆			Unternehmen, Betreiber
Urban Gardening	★★☆			Gebäudeeigentümer, Verein, NGO
Offene Werkstatt	★★☆			Unternehmen
Reduzierung der Versiegelungsgrads	★★☆			Unternehmen, Stadt
Bespielung von Leerstand im Quartier	★★☆			Wirtschaftsförderung, Vereine, Unternehmen
Nachbarschaft-verträgliches Baustellenmanagement	★★☆			Unternehmen, Gebäudeeigentümer
Lokale Produkte als Identitätsträger für das Quartier	★★☆			Unternehmen, Handel, Wirtschaftsförderung
Werkseigene Sport- und Spielangebote zur Verfügung stellen	★★☆			Unternehmen, Sportverein
Zwischennutzungen im Quartier bereitstellen	★★☆			Wirtschaftsförderung, Eigentümer, Städtische/kommunale Verwaltung
Offene Werkskita /-kindergarten	★★☆			Kommunale Einrichtung, Verwaltung, Unternehmen
Emissionsschutzrundgang/-workshop mit der Nachbarschaft	★★☆			Unternehmen, Anwohner, Expert:in
Ökologische Aufwertung von Brachen	★★☆			Grundstückseigentümer, Stadt
Werksverkauf	★★☆			Unternehmen, Handel
Workshops und Kurse	★★☆			Verein, Expert:in, Anwohner
Fassadenbegrünung	★★☆			Gebäudeeigentümer, Städtische Verwaltung

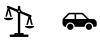
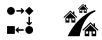
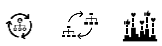
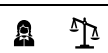
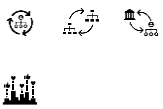
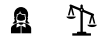
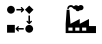
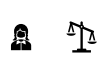
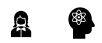
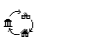
Distribution durch Lastenräder			Handel, Logistikdienstleister, Unternehmen
Open-Air-Kino an der Fabrikfassade			Gebäudeeigentümer, Städtische Verwaltung, Wirtschaftsförderung
Öffnung von Mobilitätsangeboten (Werksbus)			Unternehmen, Mobilitätsanbieter
E-Ladestation			Energieversorger, Unternehmen, Städtische Verwaltung, Betreiber
Quartiersbatterie			Betreiber, Investor / Unternehmen
Quartierstreff als Begegnungsräume für die Bewohner			Anwohner, Gebäudeeigentümer
Übernahme von Arbeitsschritten im Quartier			Quartiersbewohnende, Verein, NGO, Unternehmen
Sachstiftung für den öffentlichen Raum (z.B. Mobiliar)			Unternehmen, Investoren, Städtische Verwaltung
Nachbarschaftsverträgliches Lieferzeitenkonzept			Unternehmen Logistikdienstleister
Überschüssige Energie im Quartier zur Verfügung stellen			Unternehmen, Betreiber
Nahwärmenetz			Energieversorger, Betreiber, Unternehmen, Städtische/kommunale Verwaltung
Quartiersfest			Unternehmen, Anwohner, NGO/Vereine, Handel
Pseudobaukörper / Baugespann			Unternehmen, Gebäudeeigentümer, Städtische/kommunale Verwaltung
Fassadengestaltung (baulich)			Gebäudeeigentümer, Städtische Verwaltung
Nutzung von Wasseraufbereitungsanlagen für die Umgebung			Betreiber
Baustellenführung			Gebäudeeigentümer, Unternehmen, Expert:in
Werbeflächen für lokales Gewerbe an Bauzaun bereitstellen			Investoren, Grundstückseigentümer
Tag der offenen Tür			Unternehmen

Angebot von "Urban Services"			Betreibende, Unternehmen, Dienstleister
Aktion: gemeinsames Quartiersputzen			Anwohner, Unternehmen, NGO/Vereine
Ausweitung des Sicherheitsdienstes auf das Quartier			Unternehmen, Dienstleister
Schaufenster in die Fabrik			Unternehmen, Gebäudeeigentümer
Werksführungen			Unternehmen
Werkskantine für das Quartier öffnen			Unternehmen, Betreiber
Verbesserung durch Materialflussanalyse			Unternehmen, Logistik, Expert:in
Werkswohnungsbau			Investoren, Unternehmen, Städtische/kommunale Verwaltung, Grundstückseigentümer
Verarbeitung von Produktionsabfällen und Nebenprodukten			Unternehmen, Quartiersanwohnende
Verarbeitung von Abfallstoffen aus dem Quartier			Unternehmen, Vereine, Entsorgung
Abfälle und Nebenprodukte lokal zur Verfügung stellen			Unternehmen, Entsorgung
Angebot von Schulungen und Weiterbildung			Expert:in, Unternehmen, Verein, NGO, Dienstleistende
Erholungsflächen zur Verfügung stellen			Investoren, Unternehmen, Städtische/kommunale Verwaltung, Grundstückseigentümer
Lärmschutz: Technische Maßnahmen in der Produktion			Unternehmen, Investoren
Einbindung der urbanen Akteure in den Produktentstehungsprozess			Unternehmen, NGO, Vereine, Quartierbewohnende
Fassadengestaltung (farblich)			Grundstückeigentümer, Unternehmen, Investoren
Beleuchtungskonzept			Unternehmen, städtische/kommunale Verwaltung
Räumliche Schnittstellengestaltung (physisch)			Städtische/kommunale Verwaltung, Unternehmen

Reduktion der stofflichen Produktionsemissionen			Unternehmen
Energetische Emissionsreduktion			Unternehmen, Expert:in
Nachhaltigkeitsbericht			Unternehmen, Expert:in
Dachbegrünung			Unternehmen, Investoren
Einrichtung eines Co-Working Space			Unternehmen, NGO, Verein
Auflösen des Werkszauns			Unternehmen
Schnellschließtore und Torluftschleier			Unternehmen, Investoren
Kletterwand			Unternehmen, Investoren
Gestaltung der technischen Gebäudeausstattung (TGA)			Unternehmen, Dienstleistende
Schallreduzierung der technischen Gebäudeausrüstung			Unternehmen, Expert:in
Hochtemperatur-Abluftbehandlung			Unternehmen
Verdunklung gegen Lichtemissionen			Unternehmen, Grundstückseigentümer
Blendfreie Fassaden/Dachflächen			Unternehmen, Grundstückseigentümer
Wertstoffflächen abschirmen			Unternehmen, Grundstückseigentümer
Müllabfuhr verträglich timen			Unternehmen, Entsorgung, städtische/kommunale Verwaltung
Lieferzonen abschirmen			Unternehmen
Public Bikes			Städtische/kommunale Verwaltung
Paketannahme & Packstation für das Quartier			Unternehmen, Logistik, Quartiersbewohnende
Gepflegtes Auftreten			Unternehmen
Gepflegte Grünanlagen			Unternehmen, Dienstleistende

Regenwasser anbieten				Unternehmen, Grundstückeigentümer
Förderung der Biodiversität				Unternehmen
Mikroklima beeinflussen				Unternehmen
Instandhaltung Gebäudehülle				Unternehmen, Grundstückeigentümer
Alternativen zum Mitarbeiterparken im Quartier				Unternehmen, ÖPNV-Betriebe
Verbesserung durch Energieanalyse				Unternehmen,.Expert:in
Informationsbereitstellung zu Fabrik und Produktion				Unternehmen
Nutzungsgerechte Wegeführung				Unternehmen, städtische/kommunale Verwaltung
Klare Wegeführung und Vermeidung von Schleichwegen				Städtische/kommunale Verwaltung
Handelsbörse für lokale Produzenten anbieten				Unternehmen, Dienstleistende, NGO, Vereine
Produktion als offene Werkstatt				Unternehmen
Reduktion der Produktdimensionen				Unternehmen
Adaptive Regelung der Technischen Gebäudeausrüstung				Unternehmen, Expert:in
Sharing-Konzept für den Fuhrpark				Unternehmen, Betreiber
Bau-Paten				Investor, Quartiersbewohnende
ÖPNV-Zugang zu Betriebsgelände				Unternehmen, ÖPNV-Betriebe
Reduktion von Hilfs- und Betriebsstoffen				Unternehmen
Barrierefreiheit				Unternehmen, Investoren, Grundstückeigentümer
Mikro-Hubs, Miniläger & City Terminals				Unternehmen, Logistik

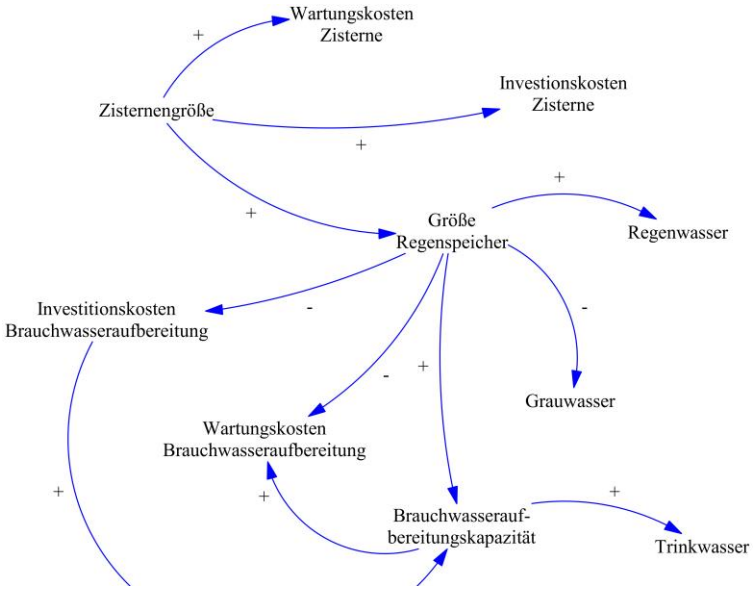
Suburbane Logistikcenter & Urban Consolidation Centers				Unternehmen, Logistik
Nutzung intermodaler Logistikanlagen				Unternehmen, Logistik
Nutzung von Schiene und Wasserstraße				Unternehmen, Logistik
Einrichtung von Ladezonen				Grundstückseigentümer, städtische/kommunale Verwaltung
Reparatur- oder Upgrade-Center				Verein, NGO, Quartiersbewohnende, Grundstückseigentümer
Emissionsreduktion durch Anpassung von Materialien				Unternehmen
Angebot (anderweitig) reservierter Verkehrsflächen				Städtische/kommunale Verwaltung, Unternehmen
Flexible Nutzung von Verkehrsfläche				Städtische/kommunale Verwaltung, Unternehmen
Restriktionen für private Pkw				Städtische/kommunale Verwaltung
Road Pricing & City-Maut				Städtische/kommunale Verwaltung, Unternehme
Nacht- & Offhour-Zustellung				Unternehmen, Logistik
Zugangsbestimmungen & Klassifikation von Straßen				Unternehmen, städtische/kommunale Verwaltung
Online-Reservierungen von Ladezonen				Städtische/kommunale Verwaltung, Unternehmen, Betreibung
Verkehrsinformationen in Echtzeit				Städtische/kommunale Verwaltung, Betreiber
Kooperation von Transportdienstleistern				Unternehmen, Logistik
Gemeinschaftliche Bestellung				Unternehmen, Logistik
Gemeinschaftliche Warenannahme				Unternehmen, Logistik
Informationsunterstützung und öffentliche Foren				Unternehmen, Vereine, NGO
Fahrerschulung				Unternehmen
Einsatz von E-Fahrzeugen				Unternehmen, Mitarbeitende
Erhöhung der Auslastung von Transporten				Unternehmen, Logistik

Gebäude- und standortbezogene Logistikplanung				Unternehmen, Logistik
Temporäre Konsolidierungszentren				Unternehmen, Logistik
Einsatz gasbetriebener Fahrzeuge				Unternehmen
Bepflanzung vor Gebäuden				Unternehmen, Eigentümer, Investoren
Kooperative Paketempfangsboxen im direkten Umfeld				Unternehmen, Logistik, Anwohnende, städtische/kommunale Verwaltung
Informationswebsite/-app				Unternehmen
Informationssysteme (am Gebäude)				Unternehmen
Lokales Produktbranding				Unternehmen, Handel
Regenerative Energieerzeugung				Unternehmen
Angebote für Mitarbeitende				Unternehmen, Dienstleistende
Zuschuss zur Speisung (gesund und vielfältig)				Unternehmen, Restaurants
Unterstützung für berufliche Weiterentwicklung (Finanzierung von berufsbegleitendem Studium, Aufzeigen von Entwicklungspfaden)				Unternehmen

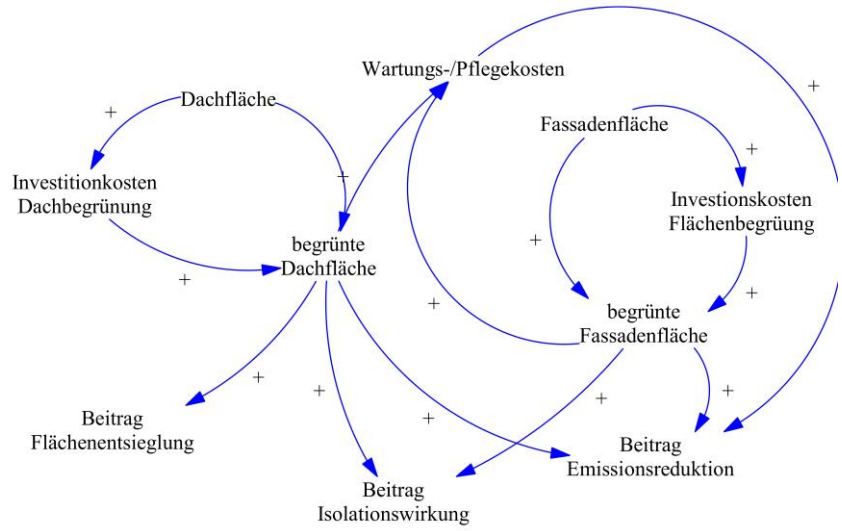
Gestaltungsfelder:		**Wirkungsebene:**		**Organisatorischer Aufwand:**	
Energie		Prozess		Organisationsintern	
Stoffe		Produktion		Cross-Organisational	
Mensch		Fabrik		Politisches Interesse	
Raum & Boden		Quartier		Anwohnerinteresse	
Wissen		Stadt oder Kommune		Sozio-politisches Interesse	
Recht und Kultur		regionales Umfeld			
Mobilität					
Image und Gestalt					

9.1.7 Kausaldiagramme der modellierten Maßnahmen

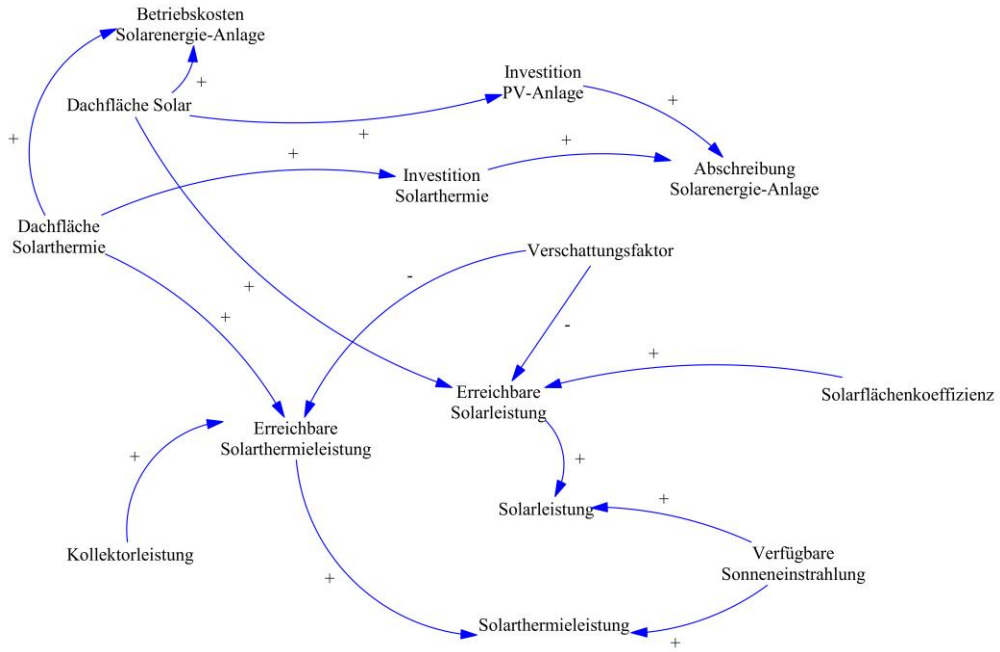
Anhang 42: Causal-Loop-Diagramm für die Maßnahme „Wasseraufbereitung zur Nutzung in der Fabrik“



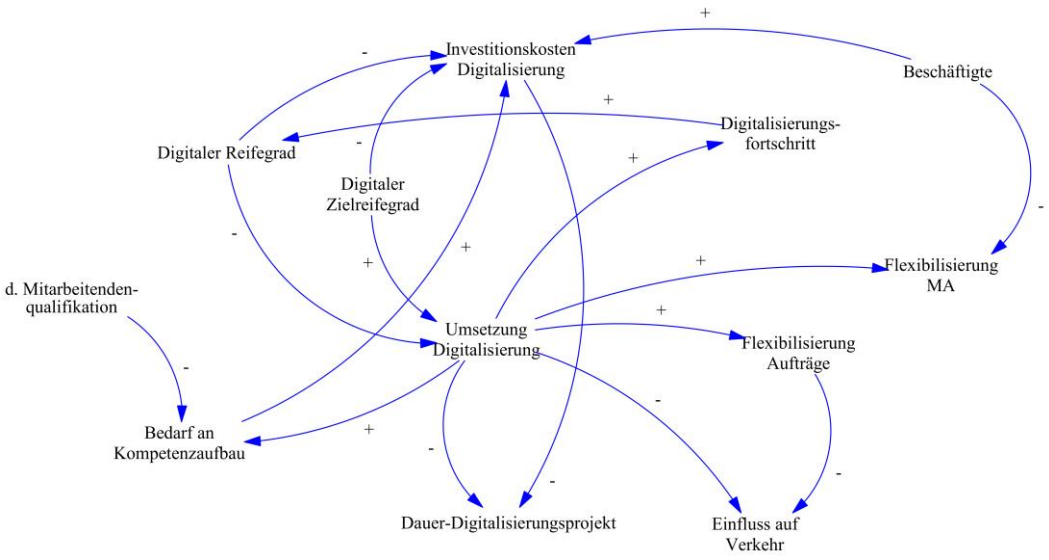
Anhang 43: Causal-Loop-Diagramm für Maßnahme „Begrünung Fabrikflächen“



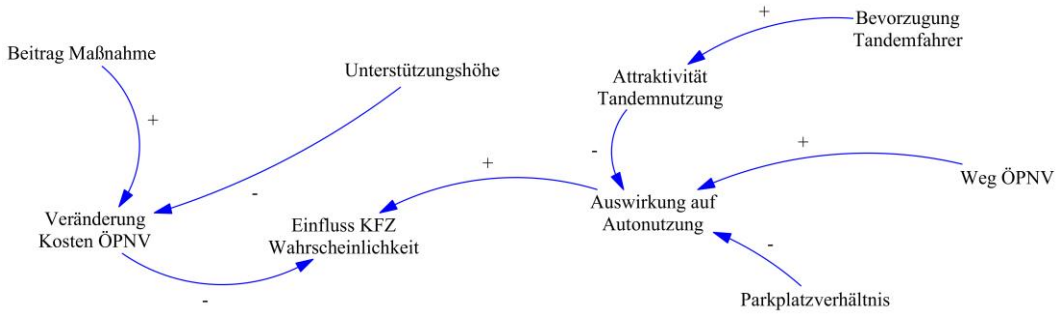
Anhang 44: Causal-Loop-Diagramm für verstärkten Einsatz regenerativer Energieerzeugung



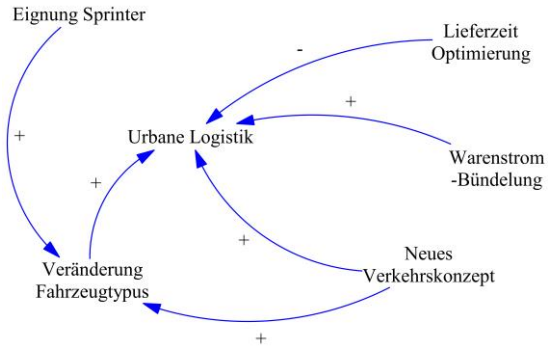
Anhang 45: Causal-Loop-Diagramm für ein zunehmende Digitalisierung in der Organisation



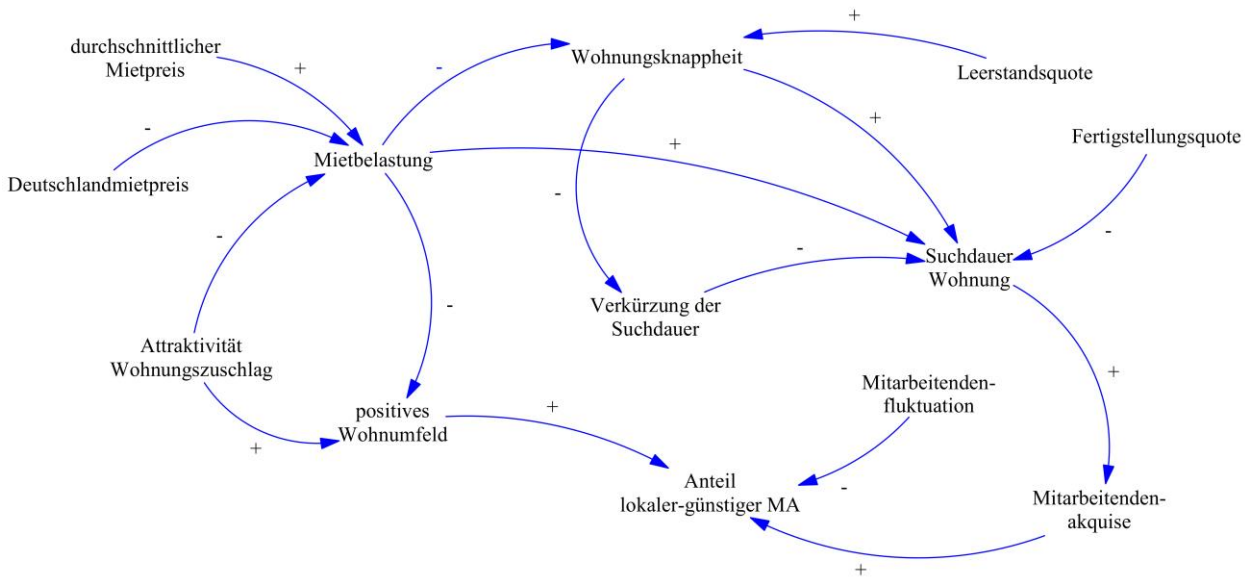
Anhang 46: Causal-Loop-Diagramm für die Beförderung von Veränderungen in der Personalmobilität



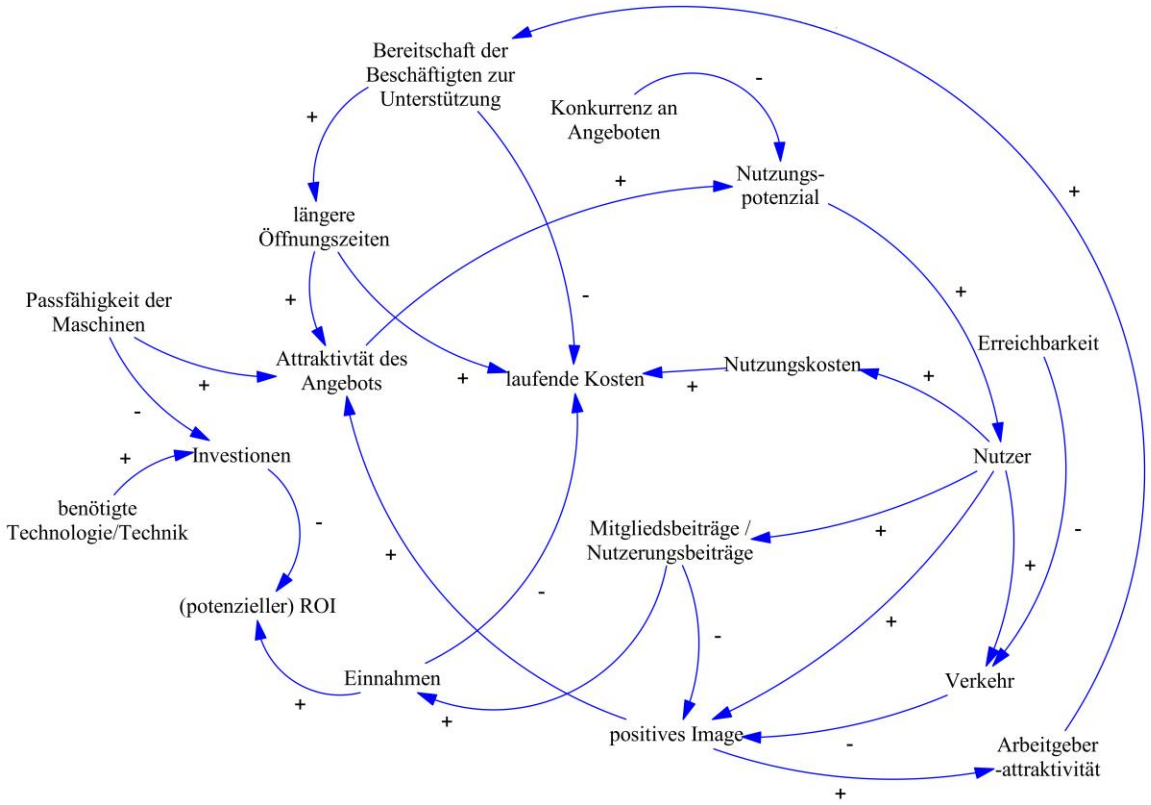
Anhang 47: Causal-Loop-Diagramm für die Anpassung des Lieferkonzepts



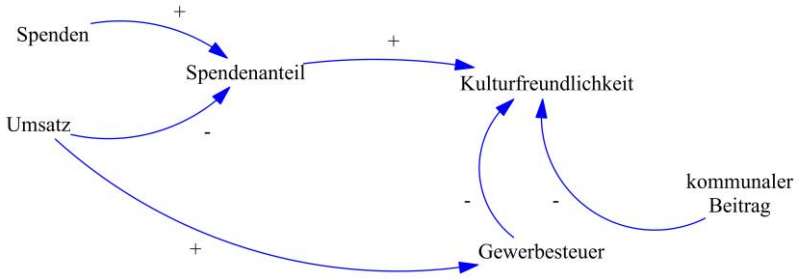
Anhang 48: Causal-Loop-Diagramm für die Maßnahme „Unterstützung der Wohnungssuche“



Anhang 49: Causal-Loop-Diagramm für die Maßnahme „Offene Werkstatt“

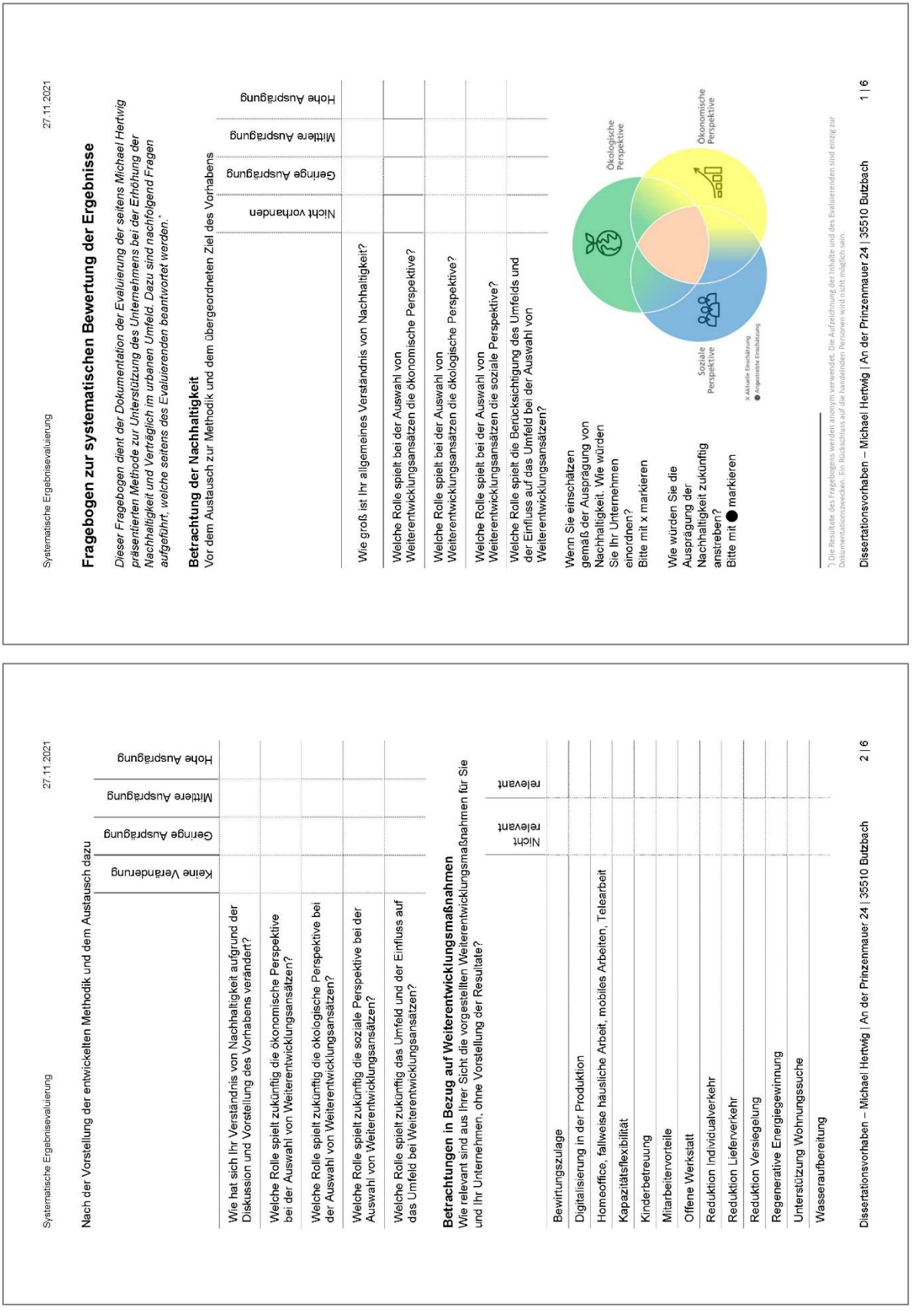


Anhang 50: Causal-Loop-Diagramm für eine kulturförderlicher Organisation



9.1.8 Unterlagen zur Dokumentation der Evaluierung

Anhang 51: Dokumentationsbogen für die Evaluierung mit den Unternehmen (Vorlage)



Systematische Ergebnisevaluierung 27.11.2021

Nach der Vorstellung der entwickelten Methodik und dem Austausch dazu

	Keine Veränderung	Geringe Ausprägung	Mittlere Ausprägung	Hohe Ausprägung
Wie hat sich Ihr Verständnis von Nachhaltigkeit aufgrund der Diskussion und Vorstellung des Vorhabens verändert?				
Welche Rolle spielt zukünftig die ökonomische Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?				
Welche Rolle spielt zukünftig die ökologische Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?				
Welche Rolle spielt zukünftig die soziale Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?				
Welche Rolle spielt zukünftig das Umfeld und der Einfluss auf das Umfeld bei Weiterentwicklungsansätzen?				

Betrachtungen in Bezug auf Weiterentwicklungsmaßnahmen
Wie relevant sind aus Ihrer Sicht die vorgestellten Weiterentwicklungsmaßnahmen für Sie und Ihr Unternehmen, ohne Vorstellung der Resultate?

	Nicht relevant	relevant
Bewirtungszulage		
Digitalisierung in der Produktion		
Homeoffice, fallweise hausliche Arbeit, mobiles Arbeiten, Telearbeit		
Kapazitätsflexibilität		
Kinderbetreuung		
Mitarbeitervorteile		
Offene Werkstatt		
Reduktion Individualverkehr		
Reduktion Lieferverkehr		
Reduktion Versiegelung		
Regenerative Energiegewinnung		
Unterstützung Wohnungssuche		
Wasseraufbereitung		

Dissertationsvorhaben – Michael Hertwig | An der Prinzenmauer 24 | 35510 Butzbach 2 | 6

Systematische Ergebnisevaluierung 27.11.2021

Fragebogen zur systematischen Bewertung der Ergebnisse

*Dieser Fragebogen dient der Dokumentation der Evaluierung der seitens Michael Hertwig präsentierten Methode zur Unterstützung des Unternehmens bei der Erhöhung der Nachhaltigkeit und Verträglich im urbanen Umfeld. Dazu sind nachfolgend Fragen aufgeführt, welche seitens des Evaluierenden beantwortet werden.**

Betrachtung der Nachhaltigkeit
Vor dem Austausch zur Methodik und dem übergeordneten Ziel des Vorhabens

	Nicht vorhanden	Geringe Ausprägung	Mittlere Ausprägung	Hohe Ausprägung
Wie groß ist Ihr allgemeines Verständnis von Nachhaltigkeit?				
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die ökonomische Perspektive?				
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die ökologische Perspektive?				
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die soziale Perspektive?				
Welche Rolle spielt die Berücksichtigung des Umfelds und der Einfluss auf das Umfeld bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?				

Wenn Sie einschätzen gemäß der Ausprägung von Nachhaltigkeit. Wie würden Sie Ihr Unternehmen einordnen?
Bitte mit x markieren

Wie würden Sie die Ausprägung der Nachhaltigkeit zukünftig anstreben?
Bitte mit ● markieren

*) Die Resultate des Fragebogens werden anonym verwendet. Die Aufzeichnung der Inhalte und des Evaluierenden sind einzig zur Dokumentationszwecken. Ein Rückschluss auf die handelnden Personen wird nicht möglich sein.

Dissertationsvorhaben – Michael Hertwig | An der Prinzenmauer 24 | 35510 Butzbach 1 | 6

Wie relevant sind aus Ihrer Sicht die vorgestellten Weiterentwicklungsmaßnahmen für Sie und Ihr Unternehmen, nach der Vorstellung der Resultate?
Zum möglichst objektiven Vergleich sind alle Maßnahmen zum identischen Zeitpunkt implementiert worden, um die Wirkungen ohne Wechselwirkungen sichtbar zu machen.

	Nicht relevant	relevant
Bewirtungszulage		
Digitalisierung in der Produktion		
Homeoffice, fallweise häusliche Arbeit, mobiles Arbeiten, Telearbeit		
Kapazitätsflexibilität		
Kinderbetreuung		
Mitarbeitervorteile		
Offene Werkstatt		
Reduktion Individualverkehr		
Reduktion Lieferverkehr		
Reduktion Versiegelung		
Regenerative Energiegewinnung		
Unterstützung Wohnungssuche		
Wasseraufbereitung		

Gibt es Maßnahmen, die aus Ihrer Sicht fehlen? Oder gibt es Maßnahmen, welche für Sie eine übergeordnete Relevanz besitzen?

Betrachtungen in Bezug auf entwickelbare Szenarien
Wenn Sie (zusammen mit dem Führungskräfteteam) Zukunftsprognosen diskutieren und Entwicklungen planen, welchen zeitlichen Maßstab legen Sie an?
☐ 1-2 Jahre ☐ 3-5 Jahre ☐ 5-10 Jahre ☐ größer 10 Jahre

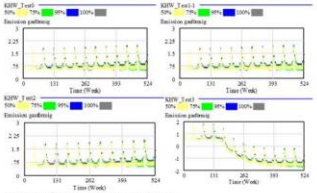
Das entwickelten Szenarien enthält einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren. Ist Ihnen der betrachtete Zeitraum ausreichend?
☐ zu lang ☐ genau richtig ☐ zu kurz ☐ weiß nicht

Bei der Entwicklung von den Weiterentwicklungsszenarien werden aufgrund der Systemgrenzen einige Aspekte nicht berücksichtigt (konstant gesetzt) bzw. sind nicht mitmodelliert. Wie sind die Einschränkungen aus Ihrer Sicht?
☐ zu groß ☐ genau richtig ☐ passend, aber es fehlt mir:

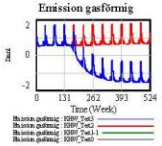
- *Begrenzte Wirtschaftliche Fokussierung*
  - *Keine Betrachtung der Inflation*
  - *Keine Berücksichtigung des Black Swan Events – Corona Pandemie*
  - *Amortisationsrechnung und Wirtschaftlichkeitsrechnung der Maßnahmen kein Bestandteil*
- *Berechnung von Relativwerten statt absoluter Kenngrößen*
- *Langfristige Perspektive für Prognose-Berechnung*
  - *Keine Berücksichtigung kurzfristiger hoher Volatilität*
  - *Systemische Betrachtung ist Vereinfachung von konkreten Zusammenhängen*

Welche Aspekte fehlen aus Ihrer Sicht? Und müssten in der Weiterentwicklung mitberücksichtigt werden? Was sind Ihre Gründe hierfür?

Bei den Szenarien gibt es zwei Arten der Auswertung. Er erfolgt die Gegenüberstellung der Szenarien. Dabei kann eine Multi-Run-Auswertung oder Single-Run-Auswertung genutzt werden. Welche stellt für Sie die interessantere Darstellung dar?



☐ Multi-Run-Auswertung
Mögliche Störgrößen werden mittels Verteilungsfunktionen mehrfach berechnet und so potenziell wahrscheinliche Ergebnisverteilungen erzeugt



☐ Single-Run-Auswertung
Störgrößen sind konstant und es erfolgt eine Berechnung mit den zugehörigen Szenario-Parametern

Nach Betrachtung der Szenarien, würden Sie ihre Einschätzung zu den Maßnahmen verändert treffen?
Wenn ja, warum sehen Sie Bedarf zur veränderten Einschätzung?

Bewertung der Möglichkeit der langfristigen Fortschreibung
Eine denkbare und möglicherweise anzustrebende Nutzung der Methode ist eine regelmäßige Anwendung mit der Aktualisierung des Datensatzes. Damit kann eine Fortschreibung der Szenarien erfolgen, und mit aktualisierten Rahmendaten und Werten eine Nachkorrektur den eingeschlagenen Weg fortgeführt werden.

Wie komplex und kompliziert wird die Methodik eingeschätzt?
☐ komplex & kompliziert ☐ Komplex ☐ kompliziert ☐ weiß nicht
Warum schätzen Sie das so ein?

Wie groß war der Aufwand zur Datenerhebung und damit zur Ermöglichung der Szenarien-Berechnung?
☐ groß ☐ akzeptabel ☐ klein ☐ weiß nicht
Warum schätzen Sie das so ein?

Wie wird der Mehrwert einer regelmäßigen Durchführung betrachtet?
☐ groß ☐ mittel ☐ klein ☐ weiß nicht
Warum schätzen Sie das so ein?

Wäre die Analyse als Bestandteil im Strategieprozess ein Vorteil?
☐ ja ☐ teilweise, Anpassung nötig
☐ teilweise, unterstützend für Perspektive Nachhaltigkeit ☐ Nein keine Aussage
Was müsste angepasst bzw. weiterentwickelt werden, um sinnvoll in die Strategieentstellung integriert zu werden?[1]

Hiermit bestätige ich, dass die vorausgehenden Bewertungsbeiträge ohne Beeinflussung des Methodenentwicklers erfolgt sind. Meine Aussagen und Bewertungen sind nach bestem Wissen und wahrheitsgemäß erfolgt. Aus dieser Bestätigung folgen keine rechtlichen Folgen, denn die Unterstützung ist freiwillig und ohne Vergütung durch den Methodenentwickler erfolgt.

Ort, Datum Unterschrift des Ausfüllenden

[1] Nutzen Sie für weitere Hinweise und Aspekte gerne die folgende Seite.

Notizen

Anhang 52: Systematische Dokumentation der Evaluierung durch das kleine Unternehmen

Nach der Vorstellung der entwickelten Methodik und dem Austausch dazu

	Keine Veränderung	Geringe Ausprägung	Mittlere Ausprägung	Hohe Ausprägung
Wie hat sich Ihr Verständnis von Nachhaltigkeit aufgrund der Diskussion und Vorstellung des Vorhabens verändert?			X	
Welche Rolle spielt zukünftig die ökonomische Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?				X
Welche Rolle spielt zukünftig die ökologische Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?			X	
Welche Rolle spielt zukünftig die soziale Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?			X	
Welche Rolle spielt zukünftig das Umfeld und der Einfluss auf das Umfeld bei Weiterentwicklungsansätzen?		X		

Betrachtungen in Bezug auf Weiterentwicklungsmaßnahmen
Wie relevant sind aus Ihrer Sicht die vorgestellten Weiterentwicklungsmaßnahmen für Sie und Ihr Unternehmen, ohne Vorstellung der Resultate?

	Nicht relevant	relevant
Bewirtungszulage	X	
Digitalisierung in der Produktion	X	
Homeoffice, fallweise häusliche Arbeit, mobiles Arbeiten, Telearbeit	X	
Kapazitätsflexibilität		X
Kinderbetreuung	X	
Mitarbeitervorteile	X	
Offene Werkstatt	X	
Reduktion Individualverkehr	X	
Reduktion Lieferverkehr	X	
Reduktion Versiegelung	X	
Regenerative Energiegewinnung	X	
Unterstützung Wohnungssuche	X	
Wasseraufbereitung	X	

Fragebogen zur systematischen Bewertung der Ergebnisse

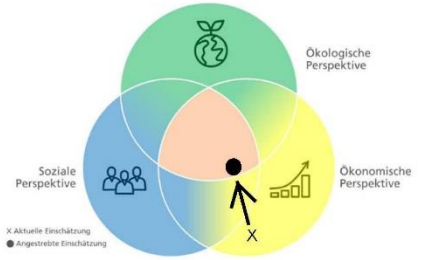
*Dieser Fragebogen dient der Dokumentation der Evaluierung der seitens Michael Hertwig präsentierten Methode zur Unterstützung des Unternehmens bei der Erhöhung der Nachhaltigkeit und Verträglich im urbanen Umfeld. Dazu sind nachfolgend Fragen aufgeführt, welche seitens des Evaluierenden beantwortet werden.**

Betrachtung der Nachhaltigkeit
Vor dem Austausch zur Methodik und dem übergeordneten Ziel des Vorhabens

	Nicht vorhanden	Geringe Ausprägung	Mittlere Ausprägung	Hohe Ausprägung
Wie groß ist Ihr allgemeines Verständnis von Nachhaltigkeit?	X			
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die ökonomische Perspektive?				X
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die ökologische Perspektive?		X		
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die soziale Perspektive?			X	
Welche Rolle spielt die Berücksichtigung des Umfelds und der Einfluss auf das Umfeld bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?	X			

Wenn Sie einschätzen gemäß der Ausprägung von Nachhaltigkeit. Wie würden Sie Ihr Unternehmen einordnen?
Bitte mit x markieren

Wie würden Sie die Ausprägung der Nachhaltigkeit zukünftig anstreben?
Bitte mit ● markieren



*) Die Resultate des Fragebogens werden anonym verwendet. Die Aufzeichnung der Inhalte und des Evaluierenden sind einzig zur Dokumentationszwecken. Ein Rückschluss auf die handelnden Personen wird nicht möglich sein.

Bei der Entwicklung von den Weiterentwicklungsszenarien werden aufgrund der Systemgrenzen einige Aspekte nicht berücksichtigt (konstant gesetzt) bzw. sind nicht mitmodelliert. Wie sind die Einschränkungen aus Ihrer Sicht?

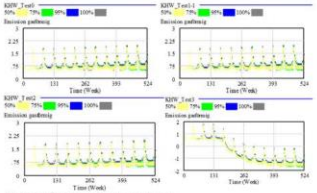
☐ zu groß ☒ genau richtig ☐ passend, aber es fehlt mir:

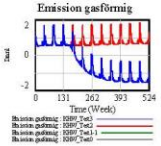
- *Begrenzte Wirtschaftliche Fokussierung*
  - *Keine Betrachtung der Inflation*
  - *Keine Berücksichtigung des Black Swan Events – Corona Pandemie*
  - *Amortisationsrechnung und Wirtschaftlichkeitsrechnung der Maßnahmen kein Bestandteil*
- *Berechnung von Relativwerten statt absoluter Kenngrößen*
- *Langfristige Perspektive für Prognose-Berechnung*
  - *Keine Berücksichtigung kurzfristiger hoher Volatilität*
  - *Systemische Betrachtung ist Vereinfachung von konkreten Zusammenhängen*

Welche Aspekte fehlen aus Ihrer Sicht? Und müssten in der Weiterentwicklung mitberücksichtigt werden? Was sind Ihre Gründe hierfür?

keine Aussage möglich

Bei den Szenarien gibt es zwei Arten der Auswertung. Er erfolgt die Gegenüberstellung der Szenarien. Dabei kann eine Multi-Run-Auswertung oder Single-Run-Auswertung genutzt werden. Welche stellt für Sie die interessantere Darstellung dar?





☒ Multi-Run-Auswertung
Mögliche Störgrößen werden mittels Verteilungsfunktionen mehrfach berechnet und so potenziell wahrscheinliche Ergebnisverteilungen erzeugt

☐ Single-Run-Auswertung
Störgrößen sind konstant und es erfolgt eine Berechnung mit den zugehörigen Szenario-Parametern

Nach Betrachtung der Szenarien, würden Sie ihre Einschätzung zu den Maßnahmen verändert treffen?
Wenn ja, warum sehen Sie Bedarf zur veränderten Einschätzung?

es steht der Generationswechsel an, es werden neue Prioritäten gesetzt

heute aber fehlendes Detailverständnis bzgl. der Beziehungen und Wechselwirkungen

--> neue Bewertung sinnvoll, insbesondere durch potenzielle Veränderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen

Die Analyse der Auswirkungen kann helfen, Entscheidungen besser zu treffen und so die Zukunftsfähigkeit zu stärken.

Wie relevant sind aus Ihrer Sicht die vorgestellten Weiterentwicklungsmaßnahmen für Sie und Ihr Unternehmen, nach der Vorstellung der Resultate?
Zum möglichst objektiven Vergleich sind alle Maßnahmen zum identischen Zeitpunkt implementiert worden, um die Wirkungen ohne Wechselwirkungen sichtbar zu machen.

	Nicht relevant	relevant
Bewirtungszulage		X
Digitalisierung in der Produktion		X
Homeoffice, fallweise häusliche Arbeit, mobiles Arbeiten, Telearbeit	X	
Kapazitätsflexibilität		X
Kinderbetreuung	X	
Mitarbeitervorteile		X
Offene Werkstatt	X	
Reduktion Individualverkehr	X	
Reduktion Lieferverkehr	X	
Reduktion Versiegelung		X
Regenerative Energiegewinnung		X
Unterstützung Wohnungssuche	X	
Wasseraufbereitung		X

Gibt es Maßnahmen, die aus Ihrer Sicht fehlen? Oder gibt es Maßnahmen, welche für Sie eine übergeordnete Relevanz besitzen?

Materialabfälle --> neuer Nutzung zuführen > Pellets erzeugen

Optimierung der Materialausnutzung > statt als Brennholz, erneute Nutzung, bzw. Teilwerkstoffe in Produkte integrieren

Neue Technologie --> Demontierbarkeit, mehrfache Nutzung, (neue Technologie), weniger Materialeinsatz

Neue Produkte --> Materialoptimierte (weniger Material), Material substituieren

Kostenfreie Nutzung von Reststoffen durch Mitarbeitender

Betrachtungen in Bezug auf entwickelbare Szenarien

Wenn Sie (zusammen mit dem Führungskräfteteam) Zukunftsprognosen diskutieren und Entwicklungen planen, welchen zeitlichen Maßstab legen Sie an?

☒ 1-2 Jahre ☐ 3-5 Jahre ☐ 5-10 Jahre ☐ größer 10 Jahre

Das entwickelten Szenarien enthält einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren. Ist Ihnen der betrachtete Zeitraum ausreichend?

☒ zu lang ☐ genau richtig ☐ zu kurz ☐ weiß nicht

5 Jahre erscheint ein besserer Zeitraum zu sein

Bewertung der Möglichkeit der langfristigen Fortschreibung

Eine denkbare und möglicherweise anzustrebende Nutzung der Methode ist eine regelmäßige Anwendung mit der Aktualisierung des Datensatzes. Damit kann eine Fortschreibung der Szenarien erfolgen, und mit aktualisierten Rahmendaten und Werten eine Nachkorrektur den eingeschlagenen Weg fortgeführt werden.

Wie komplex und kompliziert wird die Methodik eingeschätzt?

☐ komplex & kompliziert ☐ Komplex ☐ kompliziert ☒ weiß nicht

Warum schätzen Sie das so ein?

Unklar, was an Aufwand und Details nötig wird.
Deshalb gelingt es aktuell nicht eine belastbare Bewertung der Maßnahme vorzunehmen.
Generell fehlt bisher die kontinuierliche Basis für strategischer Prozess.

Wie groß war der Aufwand zur Datenerhebung und damit zur Ermöglichung der Szenarien-Berechnung?

☐ groß ☒ akzeptabel ☐ klein ☐ weiß nicht

Warum schätzen Sie das so ein?

Die benötigten Daten lagen alle vor, mussten teilweise nur zusammengestellt werden.
Die bereitsgestellt Unterstützung was ausreichend.
Die Durchführung war nicht mit zusätzlichem Aufwand belastet.

Wie wird der Mehrwert einer regelmäßigen Durchführung betrachtet?

☐ groß ☒ mittel ☐ klein ☐ weiß nicht

Warum schätzen Sie das so ein?

Überlegung werden systematisiert. Es wird basierend auf den Diskussionen ein regelmäßiger Reviewprozess implementiert.
Die Durchführung hat geholfen den Mehrwert einer regelmäßigen Beschäftigung aufgezeigt

Wäre die Analyse als Bestandteil im Strategieprozess ein Vorteil?

☐ ja ☒ teilweise, Anpassung nötig
☐ teilweise, unterstützend für Perspektive Nachhaltigkeit ☐ Nein keine Aussage

Was müsste angepasst bzw. weiterentwickelt werden, um sinnvoll in die Strategieentstellung integriert zu werden?[1]

Die Datenaufbereitung war unbekannt. Hier besteht mit häufiger Beschäftigung mit dem Ansatz das Verständnis zu vertiefen.
Eine Anpassung und Weiterentwicklung der Darstellungsform könnte in der Zukunft ein Verständnis für die Effekte vereinfachen.

Hiermit bestätige ich, dass die vorausgehenden Bewertungsbeiträge ohne Beeinflussung des Methodenentwicklers erfolgt sind. Meine Aussagen und Bewertungen sind nach bestem Wissen und wahrheitsgemäß erfolgt. Aus dieser Bestätigung folgen keine rechtlichen Folgen, denn die Unterstützung ist freiwillig und ohne Vergütung durch den Methodenentwickler erfolgt.

Arnstadt, 17.03.2022 — Ort, Datum

B. Lara Hertwig — Unterschrift des Ausfüllenden

[1]) Nutzen Sie für weitere Hinweise und Aspekte gerne die folgende Seite.

Anhang 53: Systematische Dokumentation der Evaluierung durch das mittlere Unternehmen

Fragebogen zur systematischen Bewertung der Ergebnisse

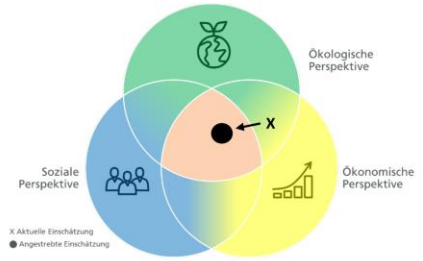
*Dieser Fragebogen dient der Dokumentation der Evaluierung der seitens Michael Hertwig präsentierten Methode zur Unterstützung des Unternehmens bei der Erhöhung der Nachhaltigkeit und Verträglich im urbanen Umfeld. Dazu sind nachfolgend Fragen aufgeführt, welche seitens des Evaluierenden beantwortet werden.**

Betrachtung der Nachhaltigkeit
Vor dem Austausch zur Methodik und dem übergeordneten Ziel des Vorhabens

	Nicht vorhanden	Geringe Ausprägung	Mittlere Ausprägung	Hohe Ausprägung
Wie groß ist Ihr allgemeines Verständnis von Nachhaltigkeit?			X	
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die ökonomische Perspektive?				X
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die ökologische Perspektive?			X	
Welche Rolle spielt bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen die soziale Perspektive?		X		
Welche Rolle spielt die Berücksichtigung des Umfelds und der Einfluss auf das Umfeld bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?		X		

Wenn Sie einschätzen gemäß der Ausprägung von Nachhaltigkeit. Wie würden Sie Ihr Unternehmen einordnen?
Bitte mit x markieren

Wie würden Sie die Ausprägung der Nachhaltigkeit zukünftig anstreben?
Bitte mit ● markieren



*) Die Resultate des Fragebogens werden anonym verwendet. Die Aufzeichnung der Inhalte und des Evaluierenden sind einzig zur Dokumentationszwecken. Ein Rückschluss auf die handelnden Personen wird nicht möglich sein.

Nach der Vorstellung der entwickelten Methodik und dem Austausch dazu

	Keine Veränderung	Geringe Ausprägung	Mittlere Ausprägung	Hohe Ausprägung
Wie hat sich Ihr Verständnis von Nachhaltigkeit aufgrund der Diskussion und Vorstellung des Vorhabens verändert?				X
Welche Rolle spielt zukünftig die ökonomische Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?				X
Welche Rolle spielt zukünftig die ökologische Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?			X	
Welche Rolle spielt zukünftig die soziale Perspektive bei der Auswahl von Weiterentwicklungsansätzen?			X	
Welche Rolle spielt zukünftig das Umfeld und der Einfluss auf das Umfeld bei Weiterentwicklungsansätzen?			X	

Betrachtungen in Bezug auf Weiterentwicklungsmaßnahmen
Wie relevant sind aus Ihrer Sicht die vorgestellten Weiterentwicklungsmaßnahmen für Sie und Ihr Unternehmen, ohne Vorstellung der Resultate?

	Nicht relevant	relevant
Bewirtungszulage	X	
Digitalisierung in der Produktion		X
Homeoffice, fallweise häusliche Arbeit, mobiles Arbeiten, Telearbeit	X	
Kapazitätsflexibilität		X
Kinderbetreuung	X	
Mitarbeitervorteile	X	
Offene Werkstatt	X	
Reduktion Individualverkehr	X	
Reduktion Lieferverkehr		X
Reduktion Versiegelung	X	
Regenerative Energiegewinnung	X	
Unterstützung Wohnungssuche	X	
Wasseraufbereitung	X	

Wie relevant sind aus Ihrer Sicht die vorgestellten Weiterentwicklungsmaßnahmen für Sie und Ihr Unternehmen, nach der Vorstellung der Resultate?
Zum möglichst objektiven Vergleich sind alle Maßnahmen zum identischen Zeitpunkt implementiert worden, um die Wirkungen ohne Wechselwirkungen sichtbar zu machen.

	Nicht relevant	relevant
Bewirtungszulage	X	
Digitalisierung in der Produktion		X
Homeoffice, fallweise häusliche Arbeit, mobiles Arbeiten, Telearbeit		X
Kapazitätsflexibilität		X
Kinderbetreuung		X
Mitarbeitervorteile		X
Offene Werkstatt	X	
Reduktion Individualverkehr		X
Reduktion Lieferverkehr		X
Reduktion Versiegelung	X	
Regenerative Energiegewinnung		X
Unterstützung Wohnungssuche	X	
Wasseraufbereitung	X	

Gibt es Maßnahmen, die aus Ihrer Sicht fehlen? Oder gibt es Maßnahmen, welche für Sie eine übergeordnete Relevanz besitzen?

Klarer Fokus liegt auf dem Lieferverkehr und der emissionsfreien Energieversorgung, um einen klaren Schritt Richtung Nachhaltigkeit zu tätigen.
Zunehmend wird der Bedarf für soziale Diskussionen zunehmen, um auch künftig passende Mitarbeitende zu finden und zu halten. Das wird mittelfristig zu einem wettbewerbskritischen Aspekt.

Betrachtungen in Bezug auf entwickelbare Szenarien

Wenn Sie (zusammen mit dem Führungskräfteteam) Zukunftsprognosen diskutieren und Entwicklungen planen, welchen zeitlichen Maßstab legen Sie an?

☐ 1-2 Jahre ☒ 3-5 Jahre ☐ 5-10 Jahre ☐ größer 10 Jahre

Das entwickelten Szenarien enthält einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren. Ist Ihnen der betrachtete Zeitraum ausreichend?

☐ zu lang ☒ genau richtig ☐ zu kurz ☐ weiß nicht

Bei der Entwicklung von den Weiterentwicklungsszenarien werden aufgrund der Systemgrenzen einige Aspekte nicht berücksichtigt (konstant gesetzt) bzw. sind nicht mitmodelliert. Wie sind die Einschränkungen aus Ihrer Sicht?

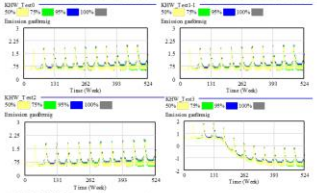
☐ zu groß ☒ genau richtig ☐ passend, aber es fehlt mir:

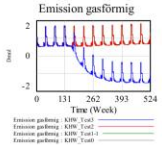
- *Begrenzte Wirtschaftliche Fokussierung*
  - *Keine Betrachtung der Inflation*
  - *Keine Berücksichtigung des Black Swan Events – Corona Pandemie*
  - *Amortisationsrechnung und Wirtschaftlichkeitsrechnung der Maßnahmen kein Bestandteil*
- *Berechnung von Relativwerten statt absoluter Kenngrößen*
- *Langfristige Perspektive für Prognose-Berechnung*
  - *Keine Berücksichtigung kurzfristiger hoher Volatilität*
  - *Systemische Betrachtung ist Vereinfachung von konkreten Zusammenhängen*

Welche Aspekte fehlen aus Ihrer Sicht? Und müssten in der Weiterentwicklung mitberücksichtigt werden? Was sind Ihre Gründe hierfür?

Das Modells bedarf eines Werkzeugs, in dem bisher keine Arbeiten erfolgen. Damit wird die Nutzung durch das Unternehmen erschwert. Eine geeignete Aufbereitung und vereinfachte Nutzung könnte hier einen zusätzlichen Mehrwert bieten.
Sofern Daten im Vergleich verfügbar sind, könnte eine Benchmark-Bewertung einen positiven Effekt haben, die Shareholder für weitere Aktivitäten zu begeistern.

Bei den Szenarien gibt es zwei Arten der Auswertung. Er erfolgt die Gegenüberstellung der Szenarien. Dabei kann eine Multi-Run-Auswertung oder Single-Run-Auswertung genutzt werden. Welche stellt für Sie die interessantere Darstellung dar?





☒ Multi-Run-Auswertung
Mögliche Störgrößen werden mittels Verteilungsfunktionen mehrfach berechnet und so potenziell wahrscheinliche Ergebnisverteilungen erzeugt

☐ Single-Run-Auswertung
Störgrößen sind konstant und es erfolgt eine Berechnung mit den zugehörigen Szenario-Parametern

Nach Betrachtung der Szenarien, würden Sie ihre Einschätzung zu den Maßnahmen verändert treffen?
Wenn ja, warum sehen Sie Bedarf zur veränderten Einschätzung?

Bewertung der Möglichkeit der langfristigen Fortschreibung
Eine denkbare und möglicherweise anzustrebende Nutzung der Methode ist eine regelmäßige Anwendung mit der Aktualisierung des Datensatzes. Damit kann eine Fortschreibung der Szenarien erfolgen, und mit aktualisierten Rahmendaten und Werten eine Nachkorrektur den eingeschlagenen Weg fortgeführt werden.

Wie komplex und kompliziert wird die Methodik eingeschätzt?
☐ komplex & kompliziert ☒ Komplex ☐ kompliziert ☐ weiß nicht
Warum schätzen Sie das so ein?

Aktuell fehlt im Unternehmen die Kompetenz die Komplexität dieser vielfältigen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zu bewerten. Auch ist die Bedienung des Werkzeuges eine Besonderheit im Vergleich zu aktuell eingesetzten Werkzeugen.

Wie groß war der Aufwand zur Datenerhebung und damit zur Ermöglichung der Szenarien-Berechnung?
☐ groß ☐ akzeptabel ☒ klein ☐ weiß nicht
Warum schätzen Sie das so ein?

Mehrheitliche Daten konnten direkt aus regelmäßig ermittelter Werten extrahiert werden.

Unklarheiten konnte nach Rückfrage direkt präzisiert werden, danach einfache Zusammenstellung

Wie wird der Mehrwert einer regelmäßigen Durchführung betrachtet?
☐ groß ☒ mittel ☐ klein ☐ weiß nicht
Warum schätzen Sie das so ein?

Der Aufwand für die Durchführung wird verhältnismäßig groß bewertet. Jedoch könnte eine Durchführung mit längerfristiger Regelmäßigkeit vorn Vorteil sein, um die Strategieprozess zu ergänzen

Wäre die Analyse als Bestandteil im Strategieprozess ein Vorteil?
☐ ja ☐ teilweise, Anpassung nötig
☒ teilweise, unterstützend für Perspektive Nachhaltigkeit ☐ Nein keine Aussage
Was müsste angepasst bzw. weiterentwickelt werden, um sinnvoll in die Strategieentstellung integriert zu werden?[†]

Ergänzte die betrachteten Dimensionen und eröffnete bisher unberücksichtigte Handlungsfelder

Hiermit bestätige ich, dass die vorausgehenden Bewertungsbeiträge ohne Beeinflussung des Methodenentwicklers erfolgt sind. Meine Aussagen und Bewertungen sind nach bestem Wissen und wahrheitsgemäß erfolgt. Aus dieser Bestätigung folgen keine rechtlichen Folgen, denn die Unterstützung ist freiwillig und ohne Vergütung durch den Methodenentwickler erfolgt.

Osnabrück 21.11.2022
Ort, Datum

Unterschrift des Ausfüllenden

[†] Nutzen Sie für weitere Hinweise und Aspekte gerne die folgende Seite.

10 Literatur

Abberger, K., G. Flaig und W. Nierhaus, Februar 2016. *ifo Konjunkturumfragen und Konjunkturanalyse. Ausgewählte methodische Aufsätze aus dem ifo Schnelldienst.* München: Ifo Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München Forschungsbereich Konjunktur und Finanzmärkte Forschungsbereich Unternehmensbefragungen; Ifo Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München Ifo Zentrum für Konjunkturforschung und Befragungen; ifo Institut für Wirtschaftsforschung. IFO Forschungsberichte. 72. ISBN 978-3-95942-009-9.

Abele, E. und G. Reinhart, 2011. *Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen.* München: Carl Hanser Verlag. ISBN 978-3-446-42595-8.

Ademmer, M., J. Boysen-Hogrefe, S. Fiedler, K.-J. Gern und D. Groll, 2020. Mittelfristprojektion für Deutschland. im Herbst 2020, (72).

Affeldt, J.F., 1999. The Application of System Dynamics (SD) Simulation to Enterprise Management [online]. *Proceeding of Winter Simulation Conference, Squaw Peak,*, 1496-1500. Proceeding of Winter Simulation Conference, Squaw Peak,. Verfügbar unter: doi:10.1109/wsc.1999.816885

Aifandopoulou, G. und E. Xenou, 2021. *Planungsleitfaden nachhaltige urbane Logistik.* Wiesbaden.

Alfeld, L.E., 1995. Urban dynamics-The first fifty years. *System Dynamics Review*, **11**(3), 199-217. System Dynamics Review.

Allesch, A. und P.H. BrunneR, 2015. Material Flow Analysis as a Decision Support Tool for Waste Management. *Journal of Industrial Ecology*, **19**(5), 753-764. Journal of Industrial Ecology.

ANDERSEN, D.F. und G.P. RICHARDSON, 1997. Scripts for group model building [online]. *System Dynamics Review*, **13**(2), 107-129. System Dynamics Review. Verfügbar unter: doi:10.1002/(SICI)1099-1727(199722)13:2<107::AID-SDR120>3.0.CO;2-7

Andes, L., 2019. *Methodensammlung zur Nachhaltigkeitsbewertung. Grundlagen, Indikatoren, Hilfsmittel.* Karlsruher Institut für Technologie KIT. Karlsruhe.

Ante, A., H. Bennemann, C. Blöcher, M. Engelhart, B. Fitzke, S.-U. Geißen, M. Hauswirth, M. Kozariszczuk, J. Leonhäuser, E. Rother, G. Sagawe, U. Schließmann, T. Track, A. Willner und C. Ziemer, 2018. *Industriewasser 4.0. Potenziale und Herausforderungen der Digitalisierung für die industrielle Wasserwirtschaft.* Positionspapier. Frankfurt am Main: DECHEMA e.V. ISBN 978-3-89746-210-6.

Arndt, H., Hg., 2017. *Systemisches Denken im Fachunterricht* [online]. Erlangen: FAU University Press. FAU Lehren und Lernen. 2. ISBN 978-3-96147-050-1. Verfügbar unter: https://opus4.kobv.de/opus4-fau/home

Arnoscht, J., M. Behr, A. Bohl, M. Lenders, C. Brecher, D. Buchbinder, A. Bührig-Polaczek, J. Bültmann, A. Diatlov, S. Elgeti, W. Herfs, C. Hinke, A. Karlberger, D. Kupke, W. Michaeli, C. Nußbaum, M. Probst, Y. Queudeville, J. Quick, H. Schleifenbaum, G. Schuh, M. Vorspel-Rüter und C. Windeck, 2011. Individualisierte Produktion. In: C. BRECHER, Hg. *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 83-255. ISBN 978-3-642-20692-4.

Arx, S., 2006. Die typischen Phasen des Strategieentwicklungs prozesses. In: E. BAUER und G. SANDER, Hg. *«Strategieentwicklung kurz und klar»*. Bern: Haupt, S. 19-26. ISBN 978-3-258-07002-5.

Ayres, R.U. und L. Ayres, 2002. *A handbook of industrial ecology.* Cheltenham: Elgar. ISBN 1 84064 506 7.

Azar, C., J. Holmberg und K. Lindgren, 1996. Socio-ecological indicators for sustainability. *Ecological Economics*, **18**, 89-112. Ecological Economics.

Bachmann, A., L. Bank, D. Bauer, C. Bark, B. Blöchl, M. Brugger, H.U. Buhl, B. Dietz, J. Donnelly, T. Friedl, S. Halbrügge, H. Hauck, J. Heil, A. Hieronymus, T. Hinck, S. Ilieva-König, C. Johnzén, C. Koch, J. Köberlein, E. Köse, S. Lochner, M. Lindner, T. Mayer, A. Mitsos, S. Roth, A. Sauer, C. Scheil, J. Schilp, J. Schimmelpfennig, J. Schulz, J. Schulze, J. Sossenheimer, N. Strobel, A. Tristán, S. Vernim, J. Wagner, F. Wagon, M. Weibelzahl, M. Weigold, J. Weissflog, S. Wenninger, M. Wöhl, J. Zacharias und M.F. Zäh, 2021. *Energieflexibel in die Zukunft – Wie Fabriken zum Gelingen der Energiewende beitragen können.* VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik. Düsseldorf.

Bae, H. und R.S. Smardon, 2011. Indicators of Sustainable Business Practices [online]. In: E. BRONIEWICZ, Hg. *Environmental Management in Practice.* Rijeka: InTech, S. 177-206. ISBN 978-953-307-358-3. Verfügbar unter: http://www.intechopen.com/books/environmental-management-in-practice/indicators-of-sustainable-business-practices

Baines, T.S. und D.K. Harrison, 1995. An opportunity for system dynamics in manufacturing system modelling. In: K. SHERWIN, Hg. *Introduction to thermodynamics.* London: Chapman & Hall, S. 1-20. ISBN 978-0-412-47640-2.

Baines, T.S., 1994. *Modelling in the Evaluation of a Manufacturing Strategy.* Dissertation.

Baines, T.S., N.R. Darlow und C. Lin, 1996. An opportunity for system dynamics in manufacturing strategy evaluation. *The International Journal of engineering solutions*, **96**(1), 47-56. The International Journal of engineering solutions.

Barlas, Y., 1996. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, **12**(3), 183-210. System Dynamics Review.

Barrett, J., H. Vallack, A. Jones und G. Haq, 2002. A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York.

Bartsch, M. und D. Suhr, 2020. *CORPORATE MAKERSPACE. Der Innovationstreiber für Ihr Unternehmen.* Öhringen.

Barwasser, A., J. Lentes, O. Riedel und N. Zimmermann, 2020. Software-Defined Product Features [online]. Reduktion physischer Varianz durch Virtualisierung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, **115**(11), 824-828. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.112433

Bathen, A., J. Bunse, S. Gärtner, K. Meyer, A. Lindner, S. Schambelon, M. Schonlau und S. Westhoff, 2019. *Urbane Produktion. Potenziale | Wege | Maßnahmen.* UrbaneProduktion.Ruhr 2019. Bochum.

Battjes, J.J., 1999. *Dynamic modelling of energy stocks and flows in the economy. an energy accounting approach.* Dissertation. Groningen.

Bauer, W. und J. Lentes, 2014. Wettbewerbsfähig produzieren durch urbane Produktion. *Industrie Management*, **30**(4), 7-10. Industrie Management.

Bauer, W., 2015a. *Ultraeffiziente Produktion im urbanen Umfeld. Ultraeffizienzfabrik – wesentlicher Bestandteil der Stadt der Zukunft*. Fellbach: Konsortium Ultraeffizienzfabrik, 2015. Konferenz Ultraeffizienzfabrik - 9.12.2015.

Bauer, W., 2015b. *Zukunftsfähige Produktion. wirtschaftlich produzieren im städtischen Umfeld*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), 2015. Innovationswerkstatt „zukunftsfähige Produktion“ - 28.04.2015.

Bauernhansl, T., M. Ten Hompel und B. Vogel-Heuser, Hg., 2014. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration* [online]. Wiesbaden: Springer Vieweg. SpringerLink. ISBN 9783658046811. Verfügbar unter: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8

Beam, B.T., 1987. cafeteria plans: whats on the menu now. *Journal of the American Society of CLU & ChFC*, **41**(6), 58. Journal of the American Society of CLU & ChFC.

Beckamp, M. und D. Schlieter, 2020. *Urbane Produktion: Unternehmenskooperation, offene Werkstätten und die gemeinsame Nutzung von Produktionsinfrastruktur* [online]. Gelsenkirchen. Forschung aktuell. 03. Verfügbar unter: http://hdl.handle.net/10419/214873

Becker, S., 2020. Multiple Zukunftsszenarien für die Produktentwicklung. In: D. Spath und D. Winter, Hg. *Studentische Forschungskonferenz StuFoKon.* Stuttgart: Universität Stuttgart, S. 1-14.

Becker, T., L. Croce, M. Fahrenkrug, J. Gebhardt, A. Gloystein, A. Grimm, F. Hartmann, V. Hartmann, K. Hermsen, J. Hülsdünker, U. Kreft, G. Löckemann, D. Mietzner, M. Niehoff, B. Pletz, J. Reckfort, M. Uhlig und H. Uske, 2017. Facharbeit und Digitalisierung. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Kompetenzmanagement für die Facharbeit in der High-Tech-Industrie“ (Prokom 4.0).

Bell, S. und S. Morse, 2008. *Sustainability indicators. Measuring the immeasurable?* 2nd ed. London: Earthscan. ISBN 1844072991.

Berends, S. und J. Haeffs, 2018. *Urbane Produktion und Logistik. VDI-Standpunkte* [online]. Düsseldorf. Verfügbar unter: www.vdi.de/urbane-produktion

Bergius, S., 2009. *Der Dow Jones Sustainability Index* [online]. 5. Juni 2009, 03:32 [Zugriff am: 19. März 2022]. Verfügbar unter: https://www.zeit.de/online/2007/13/reto-ringger-konzept/komplettansicht

Berlemann, M., J. Freese, M.-A. Luik, J.-E. Wesselhöft und J. Ragnitz, 2012. Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowie Netzumlegung auf die Verkehrsträger. Erstellung einer regionalisierten Strukturdatenprognose (Los 1). Abschlussbericht.

Berner, S.H., E.J. Dönitz, A. Westhofen und B.P. Moller, 2016. Szenariobasierte Bewertung der Zukunftsrelevanz von Nachhaltigkeitstechnologien [online]. *Chemie Ingenieur Technik*, **88**(4), 427-436. ISSN 0009286X. Verfügbar unter: doi:10.1002/cite.201400163

Besenfelder, C., M. Brüggenolte, M. Austerjost, N. Kämmerling, M. Pöting, C. Schwede und M. Schellert, 2017. *Paradigmenwechsel der Planung und Steuerung von Wertschöpfungsnetzen*.

Beucher, O., 2005. *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik mit MATLAB. Anwendungsorientierte Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler ; mit 42 Tabellen ; [Extras im web* [online]. Berlin: Springer. ISBN 3540234160. Verfügbar unter: http://digitale-objekte.hbz-nrw.de/webclient/DeliveryManager?pid=1503784&custom_att_2=simple_viewer

Beucker, S., C. Heyken, A. Hüttner, S. Maeding, C. Over, M. Richter, M. Richter, F. Stein und A. Weber, 2020. *Flex Identifizieren. Let,t Talk about Flex.* Berlin.

Bibliographisches Institut GMBH, 2022, 2022. *Duden* [online] [Zugriff am: 6. Februar 2022]. Verfügbar unter: https://www.duden.de/suchen/dudenonline/st%C3%A4dtisch%20[urban]

Bießlich, P., M. SCHRÖDER, K. LÜTJENS und V. GOLLNICK, 2014. Systemdynamische Abbildung von Langfristszenarien des Flughafens Hamburg. *63. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK), 16.-18. Sep. 2014, Augsburg.* 63. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK), 16.-18. Sep. 2014, Augsburg.

Binner, H.F., 1994. Faktor Mensch. kundenorientierte Führungsstrategien bei flexibler Betriebsorganisation. Organisation und Management. *Maschinenmarkt*, **100**(9), 54-57. Maschinenmarkt.

Binner, H.F., 2014. Industrie 4.0 bestimmt die Arbeitswelt der Zukunft [online]. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, **131**(7), 230-236. e & i Elektrotechnik und Informationstechnik. Verfügbar unter: doi:10.1007/s00502-014-0216-y

Blass, B., 2019. *15 Betriebskantinen, in denen auch Städte-Reisende essen dürfen* [online]. 11. Dezember 2019 [Zugriff am: 17. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.aktiv-online.de/ratgeber/15-betriebskantinen-in-denen-auch-…

Blome, A., 2018. *Auswertungen der MiD 2017 auf Basis des Regionalstatistischen Raumtyps des BMVI*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018. MiD-Abschlussveranstaltung - 15. November 2018.

BOËR, C.R. und S. DULIO, 2007. *Mass customization and footwear. Myth, salvation or reality?* A Comprehensive Analysis of the Adoption of the Mass Customization Paradigm in Footwear, from the Perspective of the EUROShoE (Extended User Oriented Shoe Enterprise) Research Project. New York: Springer. ISBN 978-1-84628-864-7.

Bogdanov, I., M. Hertwig, M. Beckett und L. Waltersmann, 2020. *Ultraeffizienzfabrik. Symbiotisch-verlustfreie Produktion im urbanen Raum.* Ausarbeitung von Anforderungsprofilen an Ultraeffizienzfabriken zum Aufbau stadtnaher Industriegebiete. Stuttgart.

Böllinghaus, T., G. Byrne, B.I. Cherpakov, E. Chlebus und C.E. Cross, 2009. 7. Manufacturing Engineering. Part B 7, S. 523-785.

Bommer, T., 2010. *Ein systemdynamisches Modell zur Erklärung der Entstehung von Premiummarken am Beispiel des Automobilsektors. Ein systemdynamisches Modell mit kausalanalytischer Validierung.* Dissertation. Stuttgart.

Bonin, H., W. Eichhorst, J. Kaczynska, A. Kümmerling, U. Rinne, A. Scholten und S. Steffes, 2020. *Verbreitung und Auswirkungen von mobiler Arbeit und Homeoffice. – Kurzexpertise –.* Berlin. FORSCHUNGSBERICHT. 549.

Bonny, H.W., 2018. *Urbane Produktion*. Gotha: Stadt Gotha, 2018. 6. Immobilienforum - 10.04.2018.

Boppert, J., 2013. Der Mensch im Mittelpunkt – Nutzung des intellektuellen Kapitals im schlanken Unternehmen. In: W.A. GÜNTHNER und J. BOPPERT, Hg. *Lean Logistics. Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie.* Berlin: Springer Vieweg, S. 251-261. ISBN 978-3-642-37325-1.

Bordt, M., 2009. *The OECD sustainable manufacturing toolkit*. Washington, D.C.: US Department of Commerce, 2009. The OECD sustainable manufacturing toolkit.

Borngässer, A., 2019. *Datenanalyse: Väterbeteiligung in der Kinderbetreuung* [online]. 21. Mai 2019 [Zugriff am: 2. April 2022]. Verfügbar unter: https://www.betreut.de/magazin/beruf/datenanalyse-vaeterbeteiligung-in-der-kinderbetreuung/

Bosch, O.J., K.E. Maani und C.S. Smith, 2007. Systems Thinking − Language of Complexity for Scientists and Managers. *Improving the Triple Line Bottom Line Returns from Small-scale Forestry,* S. 57-66.

Bosello, F., A. Best und F. Ciampalini, 2009. INtegrating MainSTREAM Economic Indicators with Sustainable Development Objectives. Full set of baseline indicators.

Bossel, H., 1994. *Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme.* ein-lehr-und-arbeitsbuch. 2., veränderte. Braunschweig: Vieweg+Teubner. ISBN 978-3-528-15242-0.

Bossel, H., 2004. *Systeme, Dynamik, Simulation. Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme.* Norderstedt: Books on Demand. ISBN 9783833409844.

Branderhorst, G., 2020. *Update on Limits to Growth: Comparing the World3 model with empirical data.* Master thesis. Boston.

Brandt, M. und S. Gärtner, 2016. Lokale Ökonomie:. Was, wer, wie, auf welchen Ebenen? *Forschung Aktuell*, (08). Forschung Aktuell.

Brandt, M., S. Gärtner und K. Meyer, 2017. Urbane Produktion – ein Versuch einer Begriffsdefinition [online]. *Forschung Aktuell*, (08), 1-14. Forschung Aktuell. Verfügbar unter: http://www.iat.eu/forschung-und-beratung/publikationen/forschungaktuell.html

Brandt, M., S. Gärtner und K. Meyer, 2018. Urbane Produktion, Planungsrecht und dezentrale Finanzsysteme. *Forschung Aktuell*, **10.** Forschung Aktuell.

Brandt, M., S. Gärtner, A. Butzin und K. Meyer, 2017. *Produktion zurück ins Quartier? Neue Arbeitsorte in der gemischten Stadt.* Bochum: Institut Arbeit und Technik.

Brecher, C., Hg., 2011. *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer.* Berlin: Springer. VDI-Buch. ISBN 3642206921.

Bronstert, A., G. Bürger, M. Heidenreich, D. Katzenmaier und B. Köhler, 1998. Effects of climate change influencing storm runoff generation. Basic considerations and a pilot study in Germany. *Impact of Climate Change on Flooding and Sustainable River Management.* Impact of Climate Change on Flooding and Sustainable River Management.

Brose, A., A. Fügenschuh, P. Gausemeier, I. Vierhaus und G. Seliger, 2013. *A System Dynamic Enhancement for the Scenario Technique.* Berlin. ZIB-Report 13. 24.

Brunner, P.H. und H. Rechberger, 2005. *Practical Handbook of Material Flow Analysis:* Taylor & Francis e-Library. ISBN 00-203-50720-7.

Büchele, R., T. Henzelmann, P. Panizza und A. Wiedemann, 2014. *GreenTech made in Germany 4.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland.* Roland Berger Strategy Consultants. Berlin.

Bucherer, M., U. Clausen, C. Herrmann, H. Hoffschröer, M. Juraschek, F. Kreuz, V. Langer, C. Reicher, C. Roth, A. Schmidt, A. Söfker-Rieniets, R. Sonntag, A. Spengler, S. Thiede und B. Vossen, 2019. *Urban Factory - Entwicklung ressourceneffizienter Fabriken in der Stadt. Maßnahmenkatalog zur Anpassung von urbanen Fabriken.* Teil 4. Technische Universität Braunschweig. Braunschweig.

Buchner, T. und J. Ojo, 2022. Making und Fähigkeit [online]. Eine ableismkritische Analyse der Potenziale von Makerspaces in formalen Bildungseinrichtungen. *Medienimpulse*, **60**(2). Medienimpulse. Verfügbar unter: doi:10.21243/MI-02-22-11

BUND, 2020. *Hitze, Trockenheit, versiegelte Städte BUND fordert gesundes Stadtklima für alle – BUND e.V.* [online]. 25. August 2020 [Zugriff am: 7. Juli 2021].

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2020. *Laufende Raumbeobachtung - Raumabgrenzungen* [online]. *Siedlungsstrukturelle Kreistypen* [Zugriff am: 6. Februar 2022]. Verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/kreise/siedlungsstrukturelle-kreistypen/kreistypen.html;jsessionid=4992E877E50EB7CFD55C5CA5D8EC62EA.live21324?nn=2544954

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. *BMU-Förderrichtlinie ‚Dekarbonisierung in der Industrie' in Kraft getreten Pressemitteilung BMU,* 2021. Berlin [Zugriff am: 10. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/pressemitteilung/bmu-foerderrichtlinie-dekarbonisierung-in-der-industrie-in-kraft-getreten/

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016a. *Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie 2014/52/EU im Städtebaurecht und zur Stärkung des neuen Zusammenlebens in der Stadt*.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016b. Ratifizierung und Inkrafttreten des Pariser Abkommens. Verfügbar unter: www.bmub.bund.de

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017. Energieforschungsprogramme der Bundesregierung. 1977 – 2017.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020. *Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen. Brennstoffemissionshandelsgesetz - BEHG.* 3. November 2020.

Bundesvereinigung Logistik, Hg., 2018. *Dossier Urbane Logistik* [online].

Burchardt, N., 2013. *Konzeption Kindertageseinrichtung „Saaleknirpse“.* Jena.

Burda, M., 1997. Eine wichtige Säule des amerikanischen Beschäftigungserfolges: der Dienstleistungssektor [online]. *Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung*, **30**(4), 819-821. Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung [Zugriff am: 5. März 2019]. Verfügbar unter: http://doku.iab.de/mittab/1997/1997_4_MittAB_Burda.pdf

Burkhardt, B., 2018. *Deshalb lohnt es sich in Rheinfelden in der Kantine zu essen* [online]. *Mehr als Currywurst.* Biolandgemüse, eigene Metzgerei und Konzerte: Die größten Unternehmen der Stadt verpflegen ihre Mitarbeiter auf teils ungewöhnliche Art und Weise. 19. Oktober 2018, 09:00 [Zugriff am: 4. April 2021]. Verfügbar unter: https://www.badische-zeitung.de/deshalb-lohnt-es-sich-in-rheinfelden-in-der-kantine-zu-essen--157820520.html

Butzin, A. und K. Meyer, 2019. Urbane Produktion und temporäre räumliche Nähe in Produktionsprozessen [online]. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, **78**(1), 5-20. Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning. Verfügbar unter: doi:10.2478/rara-2019-0061

Cahyandito, M.F., 2009. The MIPS Concept (Material Input Per Unit of Service): A Measure for an Ecological Economy.

Chertow, M.R., 2000. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and Environment*, **25**, 313-337. Annual Review of Energy and Environment.

Chowdhury, B., S.K. Deb und P.C. Das, 2014. System Dynamics Model In The Analysis Of Manufacturing Defects And Process Improvements. *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014) December 12th–14th*, **5.** 5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014) December 12th–14th.

Cioni, L., 2010. *The "good" and the "bad" of System Dynamics* [online]. Wissenschaftliche Veröffentlichung. Pisa. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/228792399_The_good_and_the_bad_of_System_Dynamics

Cleophas, C., 2014. Simulation als Werkzeug der Entscheidungsunterstützung. In: M. Lübbecke, A. Weiler und B. Werners, Hg. *Zukunftsperspektiven des Operations Research. Erfolgreicher Einsatz und Potenziale ; […Festschrift zu Ehren von Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Hans-Jürgen Zimmermann.* Wiesbaden: Springer Gabler, S. 129-145. ISBN 978-3-658-05706-0.

Club Of Rome, Hg., 2018. *A short history of a ground-breaking publication: The Limits to Growth* [online]. Zürich.

Club Of Rome, Hg., 2021. *Understanding "The Limits to Growth": A clear warning and a message of hope* [online]. Zürich.

Coyle, R.G., 1996. *System Dynamics Modelling. A Practical Approach.* London: Springer-Science+Business Media. 48. ISBN 978-0-412-61710-2.

Coyle, R.G., 1999. *Qualitative Modelling in System Dynamics. or What are the Wise Limits of Quantification?* A Keynote Address to the Conference of the. Wellington, New Zealeand, 1999. System Dynamics Society.

Coyle, R.G., 2000. Qualitative and quantitative modelling in system dynamics. some research questions. *System Dynamics Review*, **16**(3), 225-244. System Dynamics Review.

Coyle, R.G., 2001. Qualitative and Quantitative Modelling in System Dynamics. *Encyclopedia of Life Support Systems.* Encyclopedia of Life Support Systems.

Crosbie, T. und J. Moore, 2004. Work–life Balance and Working from Home [online]. *Social Policy and Society*, **3**(3), 223-233. ISSN 1474-7464. Verfügbar unter: doi:10.1017/S1474746404001733

Currie, D.J., C. Smith und P. Jagals, 2018. The application of system dynamics modelling to environmental health decision-making and policy - a scoping review [online]. *BMC public health*, **18**(1), 402. BMC public health. Verfügbar unter: doi:10.1186/s12889-018-5318-8

Davé, A., K. Salonitis, P.D. Ball, M. Adams und D. Morgan, 2016. Factory Eco-Efficiency Modelling: Framework Application and Analysis [online]. *Procedia CIRP*, **40**, 214-219. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2016.01.105

Day, G.S. und C. Moorman, 2010. *Strategy from the outside in. Profiting from customer value.* New York: McGraw-Hill. ISBN 9780071760782.

Day, G.S., 2014. An outside-in approach to resource-based theories [online]. *Journal of the Academy of Marketing Science*, **42**(1), 27-28. Journal of the Academy of Marketing Science. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11747-013-0348-3

De La Torre, G. und E. Koç, 2016. Verständnismodell Interaktion Logistik-Konsum/ Alternatives Rahmenkonzept „ILoNa“. Ergebnisse des ILoNa-Arbeitspakets 2.3 [Zugriff am: 3. November 2021]. Verfügbar unter: http://logistik-lebensstile.de/wordpress/wp-content/uploads/2017/09/Bericht-Arbeitspaket-2.3-ILoNa.pdf

Deif, A.M., 2011. A system model for green manufacturing [online]. *Journal of Cleaner Production*, (19), 1553-1559. ISSN 09596526. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jclepro.2011.05.022

Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau. *„Job plus Wohnung“ als neuen Trend in der Wohnungskrise nutzen. Studie „Wirtschaft macht Wohnen“ sieht „Comeback der Werkswohnung“,* 2016. Berlin. Verfügbar unter: www.impulse-fuer-den-wohnungsbau.de

Deutsche Presseagentur, 2019. Analyse Thunbergs Wut, Merkels Versprechen und ein Überraschungsgast [online]. Analyse. *ZEIT ONLINE* [Zugriff am: 12. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.zeit.de/news/2019-09/23/thunbergs-wut-merkels-versprechen-und-ein-ueberraschungsgast

Deutscher Naturschutzring, 2022. Kernforderungen zum EU-Klimapaket „Fit for 55“. Europäischer Klimaschutz jetzt.

Deutscher Wetterdienst. *Attributionsstudie. Klimawandel machte die Starkregenfälle wahrscheinlicher, die zu Überschwemmungen in Westeuropa führten,* 2021. Offenbach [Zugriff am: 16. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20210824_attributionsstudie_starkregen_news.html?nn=16210

Diekmann, F., 2018. Tarifabschluss [online]. Darauf haben sich IG Metall und Arbeitgeber geeinigt. Der härteste Tarifstreit in der Metallbranche seit vielen Jahren ist beendet - und sowohl Gewerkschaft als auch Arbeitgeber haben bekommen, was sie wollten. Die Ergebnisse im Detail. *Spiegel Online*, 1-9 [Zugriff am: 2. Januar 2019]. Verfügbar unter: http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/ig-metall-der-tarifabschluss-im-detail-a-1191974.html

Distelkamp, M. und M. Meyer, 2017. *Langfristszenarien und Potenziale zur Ressourceneffizienz in Deutschland im globalen Kontext – quantitative Abschätzungen mit dem Modell GINFORS.* Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung. Dessau-Roßlau. TEXTE. 50.

Dobbs, R., S. Smit, J. Remes, J. Manyika, C. Roxburgh und A. Restrepo, 2011. *Urban world. Mapping the economic power of cities* [online]. McKinsey Global Institute. Seoul. Verfügbar unter: www.mckinsey.com/mgi

Donhauer, S. Theorie realer Konjunkturzyklen — Konzept, Simulation, Anwendung. *Staat und Wirtschaft in Hessen*, **7**(11), 192-205.

Doran, G.T., 1981. There's a SMART way to write management's goals and objectives. *Management Review*, **70**(11), 35-36. Management Review.

Dörfler, T., 2011. Antinomien des (neuen) Urbanismus. Henri Lefebvre, die HafenCity Hamburg und die Produktion des posturbanen Raumes [online]. Eine Forschungsskizze. *Raumforschung und Raumordnung*, **69**(2), 91-104. ISSN 0034-0111. Verfügbar unter: doi:10.1007/s13147-011-0085-3

Dornbracht, M., 2013. *Anders Denken – Anders Handeln*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), 2013. Mit digitaler Produktion zur urbanen Produktion - 25.04.2013.

Dörr, H., V. Marsch und Y. Toifl, 2017a. Smart City Supply – Verkehrstechnologien, Güterversorgung und Stadtentwicklung auf dem Weg ins 4.0-Zeitalter. Proceedings of 22nd International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society : Tagungsband : 12-14 September, 2017, Vienna, Austria : REAL CORP 2017. *REAL CORP 2017*, 485-495. REAL CORP 2017.

Dörr, H., V. Marsch und Y. Toifl, 2017b. *Smart City Supply. Verkehrstechnologie, Güterversorgung und Stadtentwicklung auf dem Weg ins 4.0-Zeitalter*. Paris ZAC Clichy-Batignolles, 2017. REAL CORP 2017 -14.09.2017.

Dreher, J., M. Lawler, J. Stewart, G. Strasorier und M. Thorne, 14. Mai 2009. *General Motors Metrics for Sustainable Manufacturing* [online]. Cambridge, Massachusetts. Verfügbar unter: https://www.readkong.com/page/general-motors-1822704

Duffie, N.A., D. Roy und L. Shi, 2008. Dynamic modeling of production networks of autonomous work systems with local capacity control [online]. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, **57**(1), 463-466. ISSN 00078506. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.cirp.2008.03.018

Dulebohn, J.H., J.C. Molloy, S.M. Pichler und B. Murray, 2009. Employee benefits: Literature review and emerging issues [online]. *Human Resource Management Review*, **19**(2), 86-103. ISSN 10534822. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.hrmr.2008.10.001

Dvornik, J., A. Munitic und F. Mitrovic, 2005. System Dynamics Simulation Modelling of Organisational Business System of Management of Material and Informational Flows in Productive Company. *Conference Proceedings – The 23rd International Conference of the System Dynamics Society*, **23.** Conference Proceedings – The 23rd International Conference of the System Dynamics Society.

Eberle, J., 2020. *Urbane Logistik – die letzte Meile nachhaltig gestalten. Handlungsempfehlung von GS1 Switzerland für eine erfolgreiche Einführung des «Harmonised Parcel Labels»*. Bern.

Ebrahimpour, M. und B.M. Fathi, 1985. Dynamic Simulation of a Kanban Production Inventory System. *International Journal of Operations & Production Management*, **1**(Vol. 5), 5-14. International Journal of Operations & Production Management.

Egloff, N., 2000. *Wissen, Arbeit und Organisation. Die Theorie der Wissensgesellschaft als Gesellschaftstheorie.* Dissertation. Darmstadt.

Eicher, C., 2020. *Steuerung zur flexiblen Konfiguration der Inbound-Logistik in der Automobilindustrie.* Dissertation. München. ISBN 9783948514068.

Eichhorst, W. und F. Buhlmann, 2015. *Die Zukunft der Arbeit und der Wandel der Arbeitswelt.* IZA Standpunkte. 77.

Eigner, M., 2014. *Modellbasierte Virtuelle Produktentwicklung* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg. ISBN 9783662438169. Verfügbar unter: https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=1966086

Ekardt, F., 2001. Effektivierende Steuerungsoptionen im allgemeinen Flächenschutz. *ZUR 2001*, 249-252. ZUR 2001.

El Geneidy, S., S. Baumeister, V.M. Govigli, T. Orfanidou und V. Wallius, 2021. The carbon footprint of a knowledge organization and emission scenarios for a post-COVID-19 world [online]. *Environmental Impact Assessment Review*, **91**, 106645. ISSN 01959255. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.eiar.2021.106645

Elkington, J., 1994. Towards the sustainable corporation:. Win-win-win business strategies for sustainable development. *California Management Review*, **36**(2), 90-100. California Management Review.

Engelbertink, D.G.L., 2019. *System Dynamics-based Scenario Planning.* Masterarbeit. Twente.

Epstein, R. und F. Marckstein, 2014. *Strategie und Umsetzung – Wer hat die Fäden in der Hand? Studie.* Deloitte Center for Strategy Execution.

Erdmann, L. und E.J. Dönitz, 2016. Zukunftsbilder für Offene Werkstätten. In: J.P. Wulfsberg, T. Redlich und M. Moritz, Hg. *1. Interdisziplinäre Konferenz zur Zukunft der Wertschöpfung. Konferenzband.* Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität Universität der Bundeswehr Laboratorium Fertigungstechnik, S. 15-24. ISBN 9783868180923.

European Commission, 2021. EMAS Amendment 2017/2019 // EMAS amendment 2017/2019. All changes at a glance.

Eurostat, Hg., 1999. *Towards Environmental Pressure Indicators for the European Union (EU)* [online]. Brüssel.

Fahey, L. und R.M. Randall, Hg., 1998. *Learning from the future. Competitive foresight scenarios.* New York: Wiley. ISBN 0471303526.

Feil, A., D. Schreiber, C. Haetinger, V. Strasburg und C. Barkert, 2019. Sustainability Indicators for Industrial Organizations: Systematic Review of Literature [online]. *Sustainability*, **11**(3), 854. ISSN 2071-1050. Verfügbar unter: doi:10.3390/su11030854

Felicio, M., D. Amaral, K. Esposto und X. Gabarrell Durany, 2016. Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems [online]. *Journal of Cleaner Production*, **118**, 54-64. ISSN 09596526. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jclepro.2016.01.031

Feng, S.C., C.-B. Joung und G. Li, 2010. Development Overview of Sustainable Manufacturing Metrics. *Proceedings of the 17th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, (390 - 395). Proceedings of the 17th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering.

Feulner, M., D. Krüger, J. Müller, E. Stoycheva und S. Yilmaz, 2005. Trinkwasser. In: M. PRYTULA, Hg. *Urbaner Metabolismus. Die städtische Infrastruktur von Berlin.*

Fiksel, J., 2002. Sustainable Development through Industrial Ecology. In: R.L. Lankey und P.T. Anastas, Hg. *Advancing Sustainability throught Green Chemistry and Engineering.* Washington, D.C.: American Chemical Society.

Fink, A. und H. Rammig, 2014. *Integrierte Szenarien im Rahmen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Mögliche Umfeldentwicklungen bis 2040 sowie nachhaltige Gestaltungsoptionen für Freizeit, Wohnen und Ernährung* [online]. Scenario Management International AG. Dessau-Roßlau. Verfügbar unter: http://www.uba.de/publikationen/zukunftsszenarien-nachhaltigkeit

Fink, A., 2017. *Zukunftsrobuste Strategien.* Paderborn.

Fink, L.D., 2020. Eine grundlegende Umgestaltung der Finanzwelt. Brief [Zugriff am: 16. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.blackrock.com/ch/privatanleger/de/larry-fink-ceo-letter

Fischer, M.M., 1977. Forrester‘s Computersimulationsmodell Urban Dynamics. Ein Überblick. *Mitteilungen der Osterreichischen Geographischen Gesellschaft*, **119**(2), 210-240. Mitteilungen der Osterreichischen Geographischen Gesellschaft.

Fled, L.P., V. Grimm, M. Schnitzer, A. Truger und V. Wieland, 2021. Jahresgutachen 2021/22 des Sachverständigenrates zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Lage, **20. Wahlperiode**(20/160).

Fleissner, P.K., 2010. Mathematische Modellierung und Computersimulation als Widerspiegelungsprozesse. *Präsentation am Institut für Wissenschaft und Kunst im Rahmen des Arbeitskreises „Simulation komplexer Systeme“*. Präsentation am Institut für Wissenschaft und Kunst im Rahmen des Arbeitskreises „Simulation komplexer Systeme“.

Fluch, M., 2020. Konjunktur aktuell. Berichte und Analysen zur wirtschaftlichen Lage.

Food Service, 2020. *„Mobile Canteen“ als Erfolgsfaktor* [online]. *Umfrage Betriebsgastronomie (Teil 2).* 19. Oktober 2020 [Zugriff am: 17. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.food-service.de/management/news/umfrage-betriebsgastronomie-teil-2-mobile-canteen-als-erfolgsfaktor-46462?crefresh=1

Ford Company, 2009. Ford Product Sustainability Index. Verfügbar unter: http://www.ford.com/doc/sr07-ford-psi.pdf

Forrester, J.W., 1969. *Urban dynamics.* Cambridge: M.I.T. Press. ISBN 1-883823-39-0.

Forrester, J.W., 1971. *Industrial dynamics.* Cambridge: M.I.T. Press.

Forrester, J.W., 1973. *World Dynamics.* 2. Auflage. Cambridge, Massachusetts: Wright-Allen Press.

Forrester, J.W., 1989. *The Beginning of System Dynamics*. Stuttgart: System Dynamics Society, 1989. International meeting of the System Dynamics Society - 13 Juli 1989.

Forrester, J.W., 1991. System Dynamics and the Lessons of 35 Years. The Systemic Basis of Policy Making in the 1990s.

Forum Wohnen und Stadtentwicklung, Hg., 2021. *Verkehrswende: Chancen und Hemmnisse.* 3.000. Auflage. Berlin: Hirnbrand. Forum Wohnen und Stadtentwicklung. 3.

Frank Hartmann, D. Mietzner und Dorina Zerbe, 2016. *Die Maker Bewegung als neues soziales Phänomen - Ergebnisse einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewählter Massenmedien*.

Frank, M., M. Hattebuhr und C. Röckerath, 2017. Komplexe Modellierung: Nachhaltigkeitsforschung mit Mathematik. In: U. KORTENKAMP und A. KUZLE, Hg. *Beiträge zum Mathematikunterricht.* Münster: WTM-Verlag, S. 243-246.

Frankfurter Allgemeine Zeitung, 2020. *Blackrock will mehr auf Nachhaltigkeit drängen* [online]. *Brief an Unternehmen.* 14. Januar 2020, 11:19 [Zugriff am: 16. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.faz.net/aktuell/finanzen/finanzmarkt/brief-an-unternehmen-blackrock-will-mehr-auf-nachhaltigkeit-draengen-16580517.html

Fricke, A., S. Siedentop und P. Zakrzewski, Hg., 2015. *Reurbanisierung in baden-württembergischen Stadtregionen* [online]. Hannover: ARL. Arbeitsberichte der ARL. 14. ISBN 9783888383977. Verfügbar unter: http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0156-39770

Friedrich, A., 2018. *Zeitfenster-Management im Straßengüterverkehr. Effizienzsteigerung durch integration von Zeitfenstervorgaben in Planungs- und Dispositionsprozessen.* Bundesvereinigung Logistik. Bremen.

Friedrich, S., 2016. *Entwicklung, Erprobung und Verbreitung von Konzepten zum nachhaltigen Produzieren Und Konsumieren in der Ausser-Haus-Gastronomie* [online]. Fachhochschule Münster. Wuppertal. Nachhaltiges Wirtschaften. Verfügbar unter: www.nahgast.de

Friese, U., 2014. *Mehr als schiere Fressbuden* [online]. 10. September 2014 [Zugriff am: 9. April 2022]. Verfügbar unter: https://www.faz.net/aktuell/karriere-hochschule/buero-co/essen-kantinen-13136001.html

Frondel, M., 2019. *CO2-Bepreisung in den nicht in den Emissionshandel integrierten Sektoren: Optionen für eine sozial ausgewogene Ausgestaltung. Studie im Auftrag des BDEW Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.* Essen.

Fry, J., 2022. *So trocken sind die Böden in Deutschland schon wieder* [online]. *Dürremonitor.* 3. Januar 2022 [Zugriff am: 16. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.agrar-heute.com/pflanze/duerremonitor-so-trocken-boeden-deutschland-schon-588967

Fuchs, J., D. Söhnlein und B. Weber, 2011. *Projektion des Arbeitskräfteangebots bis 2050. Rückgang und Alterung sind nicht mehr aufzuhalten.* Nürnberg. IAB-Kurzbericht. 16/2011.

Fügenschuh, A. und I. Vierhaus, 2013. A Global Approach to the Optimal Control of System Dynamics Models. *Proceedings of the 31st International Conference of the System Dynamics Society*, 1126-1140. Proceedings of the 31st International Conference of the System Dynamics Society.

Ganschar, O., S. Gerlach, M. Hämmerle, T. Krause und S. Schlund, Hg., 2013. *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Studie* [online]. Stuttgart: Fraunhofer-Verl. ISBN 9783839605707. Verfügbar unter: http://web.archive.org/web/20140729000428/http://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf

Gaschke, S., 2005. *Die Emanzipationsfalle. Erfolgreich, einsam, kinderlos* [online]. München: Bertelsmann. ISBN 3570008215. Verfügbar unter: http://bvbr.bib-bvb.de:8991/F?func=service&doc_library=BVB01&doc_number=013341479&line_number=0002&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA

Gatzweiler, H.-P., P. Kuhlmann, K. Meyer, A. Milbert, T. Pütz, C. Schlömer und A. Schürt, 2006. *Herausforderungen deutscher Städte und Stadtregionen. Ergebnisse aus der Laufenden Raum- und Stadtbeobachtung des BBR zur Entwicklung der Städte und Stadtregionen in Deutschland.* Bonn. BBR-Online-Publikation. 8.

Gausemeier, J., A. Fink und B. Riepe, 1998. Szenariobasiertes Technologie-management [online]. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, **93**(4), 139-142. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Verfügbar unter: doi:10.1515/zwf-1998-0079

Gebhard, J. und M. Bertelmann, 2020. *Flächenversiegelung* [online]. 27. September 2020 [Zugriff am: 7. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/wetter/themadestages/2020/9/27.html

Geddes, P., 1915. *Cities in Evolution. An Introduction to the town planning movement ans to the study of civics.* London: William and Norgate. ISBN 978-0-7619-2507-1.

Geisberger, E. und M. Broy, Hg., 2012. *Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems* [online]. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. München. acatech STUDIE.

Georgantzas, N.C. und W. Acar, 1995. *Scenario-driven planning. Learning to manage strategic uncertainty.* Westport, Conn: Quorum Books. ISBN 0899308252.

Georgantzas, N.C., 2011. Scenario-Driven Planning with System Dynamics. In: R.A. MEYERS, Hg. *Complex Systems in Finance and Econometrics // Complex systems in finance and econometrics.* New York, NY: Springer, S. 671-693. ISBN 978-1-4419-7701-4.

Gerlach, S., M. Hämmerle und S. Schuler, 2019. Patterns for Analysis of Human Resource Flexibility in Manufacturing [online]. *Procedia Manufacturing*, **39**, 947-955. ISSN 23519789. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.promfg.2020.01.394

Gershenfeld, N., 2005. *FAB. The coming revolution on your desktop-from personal computers to personal fabrication.* New York: Perseus Books Group.

Gerstenmayer, A., R. Semmler und M. Schmeja, 2005. Industrieproduktion im Hochlohnland. *WINGbusiness*, **38**(4), 25-28. WINGbusiness.

Gerth, M., 2021. *Comeback der Werkswohnung* [online]. *Konzerne ködern Mitarbeiter mit günstigen Wohnungen.* 10. Februar 2021 [Zugriff am: 17. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.wiwo.de/finanzen/immobilien/comeback-der-werkswohnung-konzerne-koedern-mitarbeiter-mit-guenstigen-wohnungen/26880600.html

Ghaffarzadegan, N., J. Lyneis und G.P. Richardson, 2011. How small system dynamics models can help the public policy process [online]. *System Dynamics Review*, **27**(1), 22-44. System Dynamics Review. Verfügbar unter: doi:10.1002/sdr.442

Gleissner, W. und T. Berger, 2004. Auf nach Monte Carlo: Simulationsverfahren zur Risiko-Aggregation [online]. *RISKNEWS*, **1**(1), 30-37. ISSN 1612-8931. Verfügbar unter: doi:10.1002/risk.200490005

Gleißner, W., 2020. Unternehmensstrategie und strategische Positionierung im Zeitalter der Digitalisierung. *Controller Magazin*, **45**(1), 4-13. Controller Magazin.

Gleißner, W., T. Just und E. Kamarás, 2017. Simulationsbasierter Ertragswert als Ergänzung zum Verkehrswert [online]. *Zeitschrift für Immobilienökonomie*, **3**(1), 21-48. ISSN 1611-4051. Verfügbar unter: doi:10.1365/s41056-017-0018-5

Grabbe, H., J. Potočnik und S. Dixson-Declève, 2022. *International System Change Compass. The Global Implications of achieving the european green deal* [online]. Open Society European Policy Institute; SYSTEMIQ; The Club of Rome. Zürich. Verfügbar unter: opensocietyfoundations.org

Grace, W. und M. Parker, 2017. Worklife Satisfaction – Subjective Wellbeing in the Workplace. In: System Dynamics Society, Hg. *35th International Conference of the System Dynamics Society 2017.* Red Hook: Curran Associates, Inc., S. 721-734. ISBN 978-1-5108-5107-8.

Grames, P.P., 2020. *Wissenstransfer in Organisationen. Entwicklung eines Methodenkonzepts des Wissensmanagements zur Sicherung von Erfahrungswissen, zur Vermeidung von Wissensverlusten und zur Einarbeitung neuer Mitarbeiter.* Dissertation. Hamburg.

Gramespacher, E., J. Funk und I. Rothäusler, Hg., 2010. *Dual Career Couples an Hochschulen. Zwischen Wissenschaft, Praxis und Politik* [online]. Opladen: Verlag Barbara Budrich. ISBN 9783866497078. Verfügbar unter: https://elibrary.utb.de/doi/book/10.3224/9783866497078

Gregoriades, A., 2001. Manpower planning with Systems Dynamics and Business Objects. *Proceedings of International Systems Dynamics Conference*, **19.** Proceedings of International Systems Dynamics Conference.

Grossman-Clarke, S., S. Schubert und D. Fenner, 2017. Urban effects on summertime air temperature in Germany under climate change [online]. *International Journal of Climatology*, **37**(2), 905-917. International Journal of Climatology. Verfügbar unter: doi:10.1002/joc.4748

Gusain, A.S., 2020. *Work from home to work from anywhere* [online]. *The future of co-working spaces.* 27. Oktober 2020 [Zugriff am: 31. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.orfonline.org/expert-speak/work-home-anywhere-future-coworking-spaces/

Gutenberg, E., 1971. *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Die Produktion.* 24., unveränderte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Enzyklopädie der Rechts- und Staatswissenschaft. ISBN 9783642619892.

Gwildis, F., 2015. *Entwicklungskonzeption Wirtschaftsflächen für Stuttgart*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), 2015. Innovationswerkstatt „zukunftsfähige Produktion“ - 28.04.2015.

Hagen, K., R. Stiles und H. Trimmer, 2010. *Wirkungszusammenhänge Freiraum und Mikroklima.* TU Wien, Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst, Institut für Städtebau, Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Wien.

Hagenlocher, S. und P. Wittenbrink, 2014. *Schnittstelle Laderampe. Gute Beispiele.* Handbuch. Berlin.

Hammer, R.M., H.H. Hinterhuber, P. Kutis und G. Turnheim, Hg., 1993. *Strategisches Management global. Unternehmen, Menschen, Umwelt erfolgreich gestalten und führen.* Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-409-19619-2.

Hämmerle, M., 2015. *Methode zur strategischen Dimensionierung der Personalflexibiliät in der Produktion. Wirkungsbewertung von Instrumenten zur Flexibilisierung der Personalkapazität im volatilen Marktumfeld.* Dissertation. Stuttgart: Fraunhofer Verlag. Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement. 26. ISBN 978-3-8396-0899-9.

Hämmerle, M., W. Bauer, D. Spath und S. Gerlach, 2016. Systematic Dimensioning of Personnel Flexibility in Manufacturing. In: C.M. Schlick und S. Trzcieliński, Hg. *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future. Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing, July 27-31, 2016,*

Walt Disney World®, Florida, USA. Cham: Springer International Publishing, S. 531-542. ISBN 978-3-319-41696-0.

Hannah, K. und R. Gaßner, 2007. *Methods of future and scenario analysis. Overview, assessment. and selection criteria.* Bonn: Dt. Inst. für Entwicklungspolitik. ISBN 9783889853752.

Hartmann, E.A., T. Jetzke, P. Kelterborn, D. Mandwurf, D. Richter, S. Rohner, H. Schweigel, J. Stubbe, C. Thiem, J. Wessels und G. Zinke, 2020. *Verschwörungstheorien und Wissenschaftsfeindlichkeit.* Berlin: VDI/VDE Innovation + Technik. ISBN 978-3-89750-218-5.

Heinrichs, S., W. Winterhoff und W. Schmidt, 2012. Vegetation dynamics of beech forests on limestone in central Germany over half a century – effects of climate change, forest management, eutrophication or game browsing? [online]. *Biodiversity & Ecology*, **4**, 49-61. Biodiversity & Ecology. Verfügbar unter: doi:10.7809/b-e.00059

Henkel, J., 2022. *Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz von Fabriken im urbanen Umfeld* [online]. Aachen: Apprimus Wissenschaftsverlag. ISBN 9783985551057. Verfügbar unter: https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=7085369

Henseling, C., U. Eberle und R. Grießhammer, 1999. *Soziale und ökonomische Nachhaltigkeitsindikatoren.* Freiburg: Öko-Institut. ISBN 3928433946.

Herrington, G., 2021. *Data check on the world model that forecast global collapse* [online]. 26. Juli 2021 [Zugriff am: 13. Mai 2022]. Verfügbar unter: https://www.clubofrome.org/blogpost/herrington-world-model/

Herrmann, C., C. Schmidt, D. Kurle, S. Blume und S. Thiede, 2014. Sustainability in manufacturing and factories of the future [online]. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, **1**(4), 283-292. ISSN 2288-6206. Verfügbar unter: doi:10.1007/s40684-014-0034-z

Herrmann, C., M. Juraschek, P. Burggräf und S. Kara, 2020. Urban production: State of the art and future trends for urban factories [online]. *CIRP Annals*, **69**(2), 764-787. ISSN 0007-8506. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.cirp.2020.05.003

Herrmann, C., S. Blume, D. Kurle, C. Schmidt und S. Thiede, 2015. The Positive Impact Factory–Transition from Eco-efficiency to Eco–effectiveness Strategies in Manufacturing [online]. *Procedia CIRP*, (29), 19-27. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2015.02.066

Hertwig, M., 2017. *Konzeptstudie. Holistische Standortentwicklung von produzierenden Unternehmen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit dem Umfeld.* 100. Auflage. Universität Stuttgart. Stuttgart.

Hertwig, M., 2021a. Erstgespräch zur Evaluationsunterstützung. Präsentation und Dokumentation [Zugriff am: 6. Mai 2021].

Hertwig, M., 2021b. Workshop zur Anwendbarkeit der systemdynamischen Bewertung von Weiterentwicklungsmaßnahmen für die urbane Produktion. Präsentationsfolien ergänzt mit Workshopergebnisse [Zugriff am: 13. November 2021].

Hertwig, M., 2021c. Workshop zur Bewertung der Weiterentwicklungsmaßnahmen. Protokoll [Zugriff am: 7. Mai 2021].

Hertwig, M., 2021d. Workshop zur Bewertung der Weiterentwicklungsmaßnahmen. Protokoll [Zugriff am: 7. September 2021].

Hertwig, M., 2022. Evaluierungsworkshop der Simulationsergebnisse. Protokoll [Zugriff am: 7. Januar 2022].

Heß, W., 2008. Ein Blick in die Zukunft - acht Megatrends, die Wirtschaft und Gesellschaft verändern. Working Paper, (103).

Hettesheimer, T., 2017. *Strategische Produktionsplanung in jungen Märkten. Ein systemdynamischer Ansatz zur Konzeption und dynamischen Bewertung von Produktionsstrategien am Beispiel der Lithium-Ionen-Traktionsbatterie.* Dissertation. Karlsruhe. ISBN 9783839612750.

Hidayatno, A., A.R. Destyanto, A.O. Moeis und M.R. Nur Iman, 2017. *Scenario Planning using System Dynamics for Reducing Uncertainty on Managing Employee Turnover*. Singapur: System Dynamics Society, 2017. 2nd Asia-Pacific Region System Dynamic Conference 2017 of the System Dynamics Society.

Hill, E.J., M. Ferris und V. Märtinson, 2003. Does it matter where you work? A comparison of how three work venues (traditional office, virtual office, and home office) influence aspects of work and personal/family life [online]. *Journal of Vocational Behavior*, **63**(2), 220-241. ISSN 00018791. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0001-8791(03)00042-3

Hilpert, T., 2015. 1920-1936 Die Funktionelle Stadt. In: T. HILPERT, Hg. *Century of Modernity*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 54-149. ISBN 978-3-658-07042-7.

Himstedt, S., 2013. *KAPAFLEXCY Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität in Cyber-Physical-Systems. Kurzvorstellung Verbundprojekt*. Hannover: Deutsche Messe, 2013. Hannover Messe 2013 - 8.-12.04.2013.

Hirschnitz-Garbers, M., M. Distelkamp, D. Koca, M. Meyer und H.U. Sverdrup, November 2017. *Potentiale und Kernergebnisse der Simulationen von Ressourcenschonung(spolitik).* Ecologic Institut. Dessau-Roßlau. TEXTE. 48.

Hofmann, E., 2018. *Urbane Logistik: Rahmenbedingungen und innovative Konzepte*. Bern, 2018. 13. GS1 Forum Logistics & Supply Chain.

Höhne, S., 2006. *Job und Familie Chef zahlt den Kindergarten* [online]. 11. Mai 2006, 06:59 [Zugriff am: 2. April 2022]. Verfügbar unter: https://www.mz.de/mitteldeutschland/job-und-familie-chef-zahlt-den-kindergarten-2725496

Hollmann, M., 2019. *Ein systemdynamischer Modellierungsansatz zur Untersuchung des technischen und ökologischen Potenzials dezentraler Energieversorgung.* Göttingen: Cuvillier Verlag.

Homburg, C., 2013. *Quantitative Betriebswirtschaftslehre. Entscheidungsunterstützung durch Modelle ; mit Beispielen, Übungsaufgaben und Lösungen.* 3., überarb. Aufl., [Nachdr.]. Wiesbaden: Gabler. Lehrbuch. ISBN 383494341X.

Homer, J. und R. Oliva, 2001. Maps and models in system dynamics [online]. a response to Coyle. *System Dynamics Review*, **17**(4), 347-355. System Dynamics Review [Zugriff am: 18. September 2016]. Verfügbar unter: doi:10.1002/sdr.224

Hoppe, M., R. Hörler und F. Härri, 2018. *Nachhaltiges und zeitgemässes Pendeln. Möglichkeiten für einen Wandel in der Mobilität.* Bern. SI/501403-02/SI/402394-01.

Hubbert, M.K., 2016. *System Dynamics and Energy Modeling* [online]. 16. Juni 2016 [Zugriff am: 28. Mai 2017]. Verfügbar unter: http://www.hubbertpeak.com/hubbert/systemdynamicsenergymodeling/

Hübler, M., G. Klepper und S. Peterson, 2008. Costs of climate change [online]. *Ecological Economics*, **68**(1-2), 381-393. Ecological Economics. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.ecolecon.2008.04.010

Hulchanski, D.J., 2010. *Neighbourhood Trends in Divided Cities:. Income Inequality, Social Polarization & Spatial Segregation.* Social Sciences and Humanities Research Council of Canada. Toronto.

Hulla, M., P. Herstätter, H. Burgsteiner, D. Moser und C. Ramsauer, 2021. Design von Trainings in Lernfabriken und Makerspaces für KMUs in der digitalen Transformation. *Zeitschrift für (Fach)Didaktik in Forschung und Unterricht*, **3**(3), 83-101. Zeitschrift für (Fach)Didaktik in Forschung und Unterricht.

Hult, G.T.M. und D.J. Ketchen, 2001. Does market orientation matter?: a test of the relationship between positional advantage and performance [online]. *Strategic Management Journal*, **22**(9), 899-906. Strategic Management Journal. Verfügbar unter: doi:10.1002/smj.197

Hundsdörfer, R., 2015. *Effizienz als Geschäftsmodell*. Fellbach: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA); Fraunhofer IGB, 2015. Konferenz Ultraeffizienzfabrik - 9.12.2015.

Illigens, S., 2017. Henri Lefebvre: Entfremdung und das Recht auf die Stadt [online]. *Soziologiemagazin*, **10**(2), 37-53. Soziologiemagazin. Verfügbar unter: doi:10.3224/soz.v10i2.04

Institut für Wirtschaftsforschung, 2020a. European Green Deal. Bottlenecks bis 2030, (73).

Institut für Wirtschaftsforschung, 2020b. ifo-Geschäftsklimaindex - Jahresdurchschnittswerte bis 2020. Jahresdurchschnittswerte des ifo-Geschäftsklimaindex von 2005 bis 2020.

Institut für Wirtschaftsforschung, Hg., 2021. *ifo Geschäftsklimaindex gefallen. ifo Geschäftsklima Deutschland Ergebnisse der ifo Konjunkturumfragen im Januar 2021* [online]. Institut für Wirtschaftsforschung (ifo). München.

International Standardization Organization ISO. 14031:2013:2013, *Umweltmanagement - Umweltleistungsbewertung - Leitlinien*.

Jackson, T., P. Victor und A. Naqvi, 2016. *Towards a Stock-Flow Consistent Ecological Macroeconomics* [online]. WWWforEurope - WelfareWealthWork. Wien. WWWforEurope Working Paper. 114. Verfügbar unter: http://hdl.handle.net/10419/146611

Jain, S. und D. Kibira, 2010. A Framework for Multi-Resolution Modeling of Sustainable Manufacturing [online]. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference.* Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. Verfügbar unter: http://www.informs-sim.org/wsc10papers/316.pdf

Jessen, J., S. Siedentop und P. Zakrzewski, 2012. Rezentralisierung der Stadtentwicklung? Kleinräumige Analyse des Wanderungsgeschehens in deutschen Großstädten. In: K. BRAKE, Hg. *Reurbanisierung. Materialität und Diskurs in Deutschland.* Wiesbaden: VS Verlag fur Sozialwissenschaften GmbH, S. 198-215. ISBN 978-3-531-17462-4.

Jockisch, M. und J. Rosendahl, 2010. Klassifikation von Modellen. In: G. Bandow und H.H. Holzmüller, Hg. *„Das ist gar kein Modell!“. Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften.* Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 23-52. ISBN 978-3-8349-1842-0.

Johnson, M., 2015. Stop Talking About Work/Life Balance! [online]. TEQ and the Millennial Generation. *Workforce Solution Review*, **March**, 4-7. Workforce Solution Review. Verfügbar unter: www.ihrim.org

Joung, C.B., J. Carrell, P. Sarkar und S.C. Feng, 2013. Categorization of indicators for sustainable manufacturing [online]. *Ecological Indicators*, **24**, 148-157. Ecological Indicators. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.ecolind.2012.05.030

Jovane, F., Y. Koren und C.R. Boër, 2003. Present and Future of Flexible Automation: Towards New Paradigms [online]. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, **52**(2), 543-560. ISSN 00078506. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0007-8506(07)60203-0

Juraschek, M., B. Vossen, H. Hoffschröer, C. Reicher und C. Herrmann, 2018a. Urbane Produktion. Ökotone als Analogie für eine nachhaltige Wertschöpfung in Städten. In: T. Redlich, M. Moritz und J.P. Wulfsberg, Hg. *Interdisziplinäre Perspektiven zur Zukunft der Wertschöpfung.* Wiesbaden: Springer-Gabler. ISBN 978-3-658-20265-1.

Juraschek, M., M. Bucherer, F. Schnabel, H. Hoffschröer, B. Vossen, F. Kreuz, S. Thiede und C. Herrmann, 2018b. Urban Factories and Their Potential Contribution to the Sustainable Development of Cities [online]. *Procedia CIRP*, **69**, 72-77. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2017.11.067

Kagermann, H., R. Anderl, J. Gausemeier, G. Schuh und W. Wahlster, Hg., 2016. *Industrie 4.0 im globalen Kontext. Strategien der Zusammenarbeit mit internationalen Partnern* [online]. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. München. acatech STUDIE.

Kaiser, C., 2012. Entscheidungsunterstützung. In: C. Kaiser, Hg. *Business Intelligence 2.0. Knowledge-Based Services zur automatisierten Analyse der Meinungsbildung im Web 2.0.* Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2011. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 115-141. ISBN 978-3-8349-3989-0.

Kamp, L., 2009. *Finanzkrise - Ursachen, Wirkungen, Rettungspakete und Regulierungen,* 11. Dezember 2009.

Kantardgi, I., 2003a. Dynamic Modelling of Environment-Industry Systems [online]. *Computational Science — ICCS 2003,* **June 2–4, 2003**(Part II), 188-193. Computational Science — ICCS 2003. Verfügbar unter: doi:10.1007/3-540-44862-4_21

Kantardgi, I., 2003b. Dynamic modelling of environment-industry systems in computational science. *Springer Lecture Notes in Computer Science*, **ICCS 2003**(Volume 2658), 673-679. Springer Lecture Notes in Computer Science.

Kapmeier, F., 1999. *Vom systemischen Denken zur Methode System Dynamics.* Diplomarbeit. Stuttgart.

Kapourani, E.-E. und F. Kapmeier, 2017. „Boom Without Limits?“ – An Analysis of the Stuttgart Real Estate Market. In: System Dynamics Society, Hg. *35th International Conference of the System Dynamics Society 2017*. Red Hook: Curran Associates, Inc., S. 894-930. ISBN 978-1-5108-5107-8.

Katzenbach, A., 2015. *wirklich-eine-revolution-oder-nur-continous-improvement*. Kaiserslautern, 2015. 7. PLM Future Tagung - 07.10.2015.

Kersten, J., 2016. *Inwastement - Abfall in Umwelt und Gesellschaft* [online]. Bielefeld: transcript Verlag. Kulturen der Gesellschaft. 16. ISBN 9783839430507. Verfügbar unter: http://dx.doi.org/10.14361/9783839430507

Kersten, W., H. Koller und H. Lödding, Hg., 2014. *Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern* [online]. Berlin: Gito mbH Verlag. Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB). ISBN 9783955450830. Verfügbar unter: http://www.industrie-management.de/sites/industrie-management.de/files/sonderdrucke/loedding_Indistrie-4-0.pdf

Kersting, S., 2019. *Warum Firmen Wohnungen zum Job bieten* [online]. *WERKSWOHNUNGEN*. 6. April 2019, 04:40 [Zugriff am: 17. Juli 2021].

Khaledi, H., 2015. *A Generic System Dynamics Model of Firm Internal Processes*.

Kibira, D., S. Jain und C.R. Mclean, 2009. A System Dynamics Modeling Framework for Sustainable Manufacturing. *27th System Dynamics Conference*. 27th System Dynamics Conference.

Kim, D.B., S. Leong und C.-S. Chen, 2012. An Overview of Sustainability Indicators and Metrics for Discrete Part Manufacturing. In: American Society of Mechanical Engineers, Hg. *Volume 2: 32nd Computers and Information in Engineering Conference:* American Society of Mechanical Engineers, S. 1173-1181. ISBN 978-0-7918-4501-1.

King, L.A., 2018. Henri Lefebvre and the Right to the City, **Oktober 2018**.

Kitzmann, R., M. Lange und G. Michelczak, 2021. Werkswohnen 2.0: die Wiederbelebung unternehmerischer Wohnungsversorgung. *Forum Wohnen und Stadtentwicklung*, **13**(2 / März-April), 105-110. Forum Wohnen und Stadtentwicklung.

Kletti, J. und J. Schumacher, 2014. *Die perfekte Produktion. Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT)* [online]. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg. ISBN 9783662454411. Verfügbar unter: http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/1880176

Klose, P., 2016. Innovationen im Innovationsmanagement. Ein Plädoyer für neue, kreative Denkansätze. *DQS im Dialog - Das Fachmagazin für Managementsysteme und impulsstarke Audits*, (11), 16-17. DQS im Dialog - Das Fachmagazin für Managementsysteme und impulsstarke Audits.

Klose, P., 2017. *Der „TM² - Effect"- Innovationsmanagement 4.0 – Positive Resonanz durch die Harmonisierung von interdisziplinären Innovationszyklen. Wissen schafft Fortschritt.* Technische Mitteilung. 20160727.

Koch, C., S. Letzgus und D. Schröder, 2020. *Multikriterielle Bewertung energiewirtschaftlicher Handlungsoptionen.* Technische Universität Berlin. Berlin.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2003. *Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen.* 2003/361/EG.

Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien, 2021. *Förderprogramm „Dekarbonisierung in der Industrie"* [online] [Zugriff am: 10. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.klimaschutz-industrie.de/index.php?id=165#c1040

Kondziella, H., S. Graupner, T. Bruckner, H. Doderer, S. Schäfer-Stradowsky, C. Koch, S. Letzgus, G. Erdmann, J. Guder und J.-C. Holst, 2019. *Marktdesign, Regulierung und Gesamteffizienz von Flexibilität im Stromsystem – Bestandsaufnahme und Herausforderungen.* Universität Leipzig. Leipzig.

Korby, W. und F.X. Heckl, 2008. *Städtische Räume im Wandel.* Gotha: Klett-Perthes. Fundamente - Kursthemen. / von Wilfried Korby. ISBN 9783623294407.

Köse, E. und A. Sauer, 2019. Impacts of Energy Flexibility on Energy Efficiency of Hybrid and Bivalent Facilities [online]. *Procedia Manufacturing*, **39**, 1297-1306. ISSN 23519789. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.promfg.2020.01.339

Köse, E. und A. Sauer, 2021. Evaluation model for multi-energy carrier facilities within the control energy market [online]. *Procedia CIRP*, **99**, 537-542. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2021.03.073

Köse, E., 2017. *Reduzierung von Stromspitzen und optimierte Fahrweise mit eigenen Erzeugeranlagen.* Frankfurt am Main, 2017. Energieeffizienznetzwerk Metropolregion Rhein-Neckar - 9. März 2017.

Köse, E., L. Willer und A. Sauer, 2021. Method for the Economic Evaluation of Waste Heat Recovery Technologies in Bivalent Facilities [online]. *Procedia CIRP*, **104**, 295-300. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2021.11.050

Kowalk, W.P., 1996. *System - Modell - Programm. Vom GOTO zur objektorientierten Programmierung* [online]. Heidelberg: Spektrum [Zugriff am: 3. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://www.humanitas-versand.de/KOWALK-SYSTEM-MODELL-PROGRAMM

Krail, M., J. Hellekes, U. Schneider, E. Dütschke, M. Schellert, D. Rüdiger, A. Steindl, I. Luchmann, V. Waßmuth, H. Flämig, W. Schade und S. Mader, 2019. *Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr.* Karlsruhe.

Krallmann, H., 1985. Betriebliche Entscheidungsunterstützungssysteme. In: D. OHSE, Hg. *Operations research proceedings 1984. Papers of the 13th annual meeting.* Berlin: Springer, S. 581-593. ISBN 978-3-540-15374-0.

Krech, D., E.L. Ballachey und R.S. Crutchfield, 1962. *Individual in society;. A textbook of social psychology, by David Krech, Richard S. Crutchfield, and Egerton L. Ballachey.* New York: McGraw-Hill. ISBN 9780070354661.

Kreienkamp, F., S.Y. Philip, J.S. Tradowsky, S.F. Kew, P. Lorenz, J. Arrighi, A. Belleflamme, T. Bettmann, S. Caluwaerts, S.C. Chan, A. Ciavarella, L. De Cruz, H. De Vries, N. Demuth, A. Ferrone, E.M. Fischer, H.J. Fowler, K. Goergen, D. Heinrich, Y. Henrichs, G. Lenderink, F. Kaspar, E. Nilson, Otto, Friederike E L, F. Ragone, S.I. Seneviratne, R.K. Singh, A. Skålevåg, P. Termonia, L. Thalheimer, M. Van Aalst, J. Van Den Bergh, H. Van De Vyver, S. Vannitsem, G.J. Van Oldenborgh, B. Van Schaeybroeck, R. Vautard, D. Vonk und N. Wanders, 2021. *Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021* [online]. Online [Zugriff am: 16. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf

Kreuzer, M., 2018. Weiterentwicklung des Gewerbegebiets in Ostfildern.

Kreyenfeld, M., 2004. *Sozialstruktur und Kinderbetreuung. Eine Analyse der sozialen und ökonomischen Determinanten der Nutzung von Kindertageseinrichtungen.* Working Paper. WP 2004-009.

Kreyenfeld, M., 2008. Soziale Ungleichheit und Kinderbetreuung. Eine Analyse der sozialen und ökonomischen Determinanten der Nutzung von Kindertageseinrichtungen. In: R. Becker und W. Lauterbach, Hg. *Bildung als Privileg.* Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 103-127. ISBN 978-3-531-16116-7.

Krückhans, B. und H. Meier, 2013. Industrie 4.0 – Handlungsfelder der Digitalen Fabrik zur Optimierung der Ressourceneffizienz in der Produktion. In: W. Dangelmaier, C. Laroque und A.

Klaas, Hg. *Simulation in Produktion und Logistik. Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung.* Paderborn: HNI-Verlag, S. 31-40.

Kuhlmann, T. und A. Sauer, 2016. Ultra-Efficiency Factory - Framework and Holistic Approach to Increase and Evaluate Efficiency and Sustainability [online]. *Advanced Materials Research*, **1140**, 481-488. Advanced Materials Research. Verfügbar unter: doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1140.481

Kuhlmann, T. und T. Bauernhansl, 2015. Method for Designing an Energy-agile Energy System for Industrial Manufacturing [online]. *Procedia CIRP*, **29**, 179-184. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2015.02.005

Kühne, C., 2020. Entwicklung eines zukunftsorientierten Produktionsquartiers.

Küpper, H.-U., 1979. Dynamische Produktionsfunktion der Unternehmung auf der Basis des Input-Output-Ansatzes. *Zeitschrift für Betriebswirtschaftlehre*, **49**(2), 93-106. Zeitschrift für Betriebswirtschaftlehre.

Küpper, P., 2016. *Abgrenzung und Typisierung ländlicher Räume.* Thünen-Institut für Ländliche Räume. Braunschweig. Thünen Working Paper. 68.

Kurland, N.B. und D.E. Bailey, 1999. The Advantages and Challenges of Working Here, There, Anywhere, and Anytime. Telework. *Organizational Dynamics*, (Autumn), 53-67. Organizational Dynamics.

Kuss, P. und K.A. Nicholas, 2022. A dozen effective interventions to reduce car use in European cities [online]. Lessons learned from a meta-analysis and Transition Management. *Case Studies on Transport Policy*. ISSN 2213624X. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.cstp.2022.02.001

Kuszewski, J. und Y. Crowther, 2011. The OECD Sustainable Manufacturing Toolkit. Verfügbar unter: www.oecd.org/innovation/green/toolkit

Laczniak, G.R. und P.E. Murphy, 2012. Stakeholder Theory and Marketing: Moving from a Firm-Centric to a Societal Perspective [online]. *Journal of Public Policy & Marketing*, **31**(2), 284-292. ISSN 0743-9156. Verfügbar unter: doi:10.1509/jppm.10.106

Laengle, S., N.M. Modak, J.M. Merigó und C. De La Sotta, 2018. Thirty years of the International Journal of Computer Integrated Manufacturing [online]. a bibliometric analysis. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **31**(12), 1247-1268. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Verfügbar unter: doi:10.1080/0951192X.2018.1529434

Landeshauptstadt Stuttgart und Statistisches Amt. Bevölkerungsdynymik und Wanderungen in der Stadtregion Stuttgart - Von der Sub- zur Reurbanisierung? [online]. *Statistik und Informationsmanagement: Monatshefte*, **71**(4), 129-149. Statistik und Informationsmanagement: Monatshefte. Verfügbar unter: https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-428076

Landtag von Baden-Württemberg, 2020. *Gesetz zur Weiterentwicklung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg* [online]. Verfügbar unter: www.landtag-bw.de/Dokumente

Langer, T., 2017. *Potentiale durch Digitalisierung in der Produktion. Einblick ind Aktuelle Entwicklungen*. Chemnitz: Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnologie (IWU), 2017. 16. Tage des Betriebs- und Systemingenieurs - 10.11.2017.

Lecerf, L., S. Kunz und A. Skinner, 2020. The Revised Annexes of the Emas Regulation // The revised annexes of the EMAS regulation.

Lee, J.Y. und Y.T. Lee, 2014. A framework for a research inventory of sustainability assessment in manufacturing [online]. *Journal of Cleaner Production*, **79**, 207-218. ISSN 09596526. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jclepro.2014.05.004

Lefebvre, H., 2014. Dissolving City, Planetary Metamorphosis [online]. *Environment and Planning D: Society and Space*, **32**(2), 203-205. ISSN 0263-7758. Verfügbar unter: doi:10.1068/d3202tra

Lefebvre, H., M. Gottdiener und E. Stuart, 2001. Material zu: Henri Lefèbvre. Die Produktion des Raums.

Lehmann, S., 2020. *Urbane Logistik: Studie fordert Umdenken in der Stadtlogistik* [online]. 25. Juni 2020 [Zugriff am: 13. März 2022]. Verfügbar unter: logistik-heute.de/news/urbane-logistik-studie-fordert-umdenken-der-stadtlogistik-30959.html

Lentes, J. und M. Hertwig, 2021. Digitalisierung als Befähiger der urbanen Produktion. In: T. Krüger, M. Piegler und G. Spars, Hg. *Urbane Produktion. Neue Perspektiven des produzierenden Gewerbes in der Stadt?* Stuttgart: W. Kohlhammer, S. 81-90. ISBN 978-3-17-038309-8.

Lentes, J., 2015. *Mit Industrie 4.0 zur urbanen Produktion* [online]. Frankfurt am Main, 2015. 1. Think Tank – Urbane Produktion - 17. Februar 2015 [Zugriff am: 13. Dezember 2016]. Verfügbar unter: http://www.wissensportalfrankfurtrheinmain.de/media/custom/2393_138_1.PDF?1426085776

Lentes, J., 2016. Urbane Produktion [online]. In: D. Spath und E. Westkämper, Hg. *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung.* Living reference work, continuously updated edition. Berlin: Springer Vieweg, S. 1-11. ISBN 978-3-642-45370-0. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-642-45370-0_8-1

Lentes, J., J. Mandel, U. Schließmann, R. Blach und M. Hertwig, 2016a. Competitive and sustainable manufacturing by means of ultra-efficient factories in urban surroundings. *International Journal of Production Research.* International Journal of Production Research.

Lentes, J., J. Mandel, U. Schliessmann, R. Blach, M. Hertwig und T. Kuhlmann, 2016b. Competitive and sustainable manufacturing by means of ultra-efficient factories in urban surroundings. *International Journal of Production Research.* International Journal of Production Research.

Liedtke, C., K. Bienge, K. Wiesen, J. Teubler, K. Greiff, M. Lettenmeier und H. Rohn, 2014. Resource Use in the Production and Consumption System—The MIPS Approach [online]. *Resources*, **3**(3), 544-574. Resources. Verfügbar unter: doi:10.3390/resources3030544

Liggesmeyer, P., 2009. *Software-Qualität. Testen, Analysieren und Verifizieren von Software.* 2. Auflage. Heidelberg: Spektrum. ISBN 978-3-8274-2056-5.

Lin, C., T.S. Baines, D. Link und N.R. Darlow, 1996. A system dynamics generic modelling approach to manufacturing systems simulation. *Proceedings of 3rd International Conference of the European operations Management Association*, (London 2-4 June), 379-384. Proceedings of 3rd International Conference of the European operations Management Association.

Lin, C., T.S. Baines, J.O. O'Kane und D. Link, 1998. A Generic Methodology that aids the Application of System Dynamics to Manufacturing System Modelling. *International Conference on SIMULATION*, **30 September – 2 October 1998**(457), 344-349. International Conference on SIMULATION.

Lin, D., L. Hanscom, A. Murthy, A. Galli, M. Evans, E. Neill, M.S. Mancini, J. Martindill, F.-Z. Medouar, S. Huang, M. Wackernagel und M. Mancini, 2018. Ecological Footprint Accounting for Countries: Updates and Results of the National Footprint Accounts, 2012–2018 [online]. *Resources for the Future*, **7**(3), 58. Resources for the Future. Verfügbar unter: doi:10.3390/resources7030058

Logistik Aktuell, 2021. *BentoBox und Logistik-Tram Trends der Urbanen Logistik* [online]. 1. Juni 2021 [Zugriff am: 23. April 2022]. Verfügbar unter: https://logistik-aktuell.com/2021/06/01/trends-der-urbanen-logistik/

Loia, F. und P. Adinolfi, 2021. Teleworking as an Eco-Innovation for Sustainable Development: Assessing Collective Perceptions during COVID-19 [online]. *Sustainability*, **13**(9), 4823. ISSN 2071-1050. Verfügbar unter: doi:10.3390/su13094823

Lotter, B. und H.-P. Wiendahl, Hg., 2012. *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis.* 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg. VDI-/Buch]. ISBN 3642290604.

Lui, H., 2011. *Modelling Dynamic Production Systems with a Special Focus on Dynamic Bottlenecks.* Poster. Bremen.

Lux, A. und N. Schuldt-Baumgart, 2022. Wissenstransfer Wissenschaftskommunikation – transdisziplinäre Forschung: der Versuch einer Orientierung [Zugriff am: 3. Dezember 2022]. Verfügbar unter: https://isoe.blog/wissenstransfer-wissenschaftskommunikation-transdisziplinaere-forschung-der-versuch-einer-orientierung/

Lyneis, J.M., 2000. System dynamics for market forecasting and structural analysis. *System Dynamics Review*, **16**(1), 3-25. System Dynamics Review.

Machate, A., 2006. *Zukunftsgestaltung durch Roadmapping. Vorgehensweise und Methodeneinsatz für eine zielorientierte Erstellung und Visualisierung von Roadmaps.* Dissertation. München.

Mahlau, L.-M., 2016. *Erarbeitung eines Entwicklungspfades zur dezentralisierten kundennahen Endmontage im urbanen Umfeld.* Masterarbeit. Stuttgart.

Maidstone, R., 2010. Discrete Event Simulation, System Dynamics and Agent Based Simulation. Discussion and Comparison. In: A. GOTI, Hg. *Discrete Event Simulations:* Sciyo. ISBN 978-953-307-115-2.

Maira, A., 1986. Local area networks-the future of the factory. *Manufacturing Engineering*, **96**(3), 77-79. Manufacturing Engineering.

Maitz, K.-M. und S. Böhmer, 2021. Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers Implementation Report in accordance with Decision I/5 (ECE/MP.PRTR/2010/2/Add.1).

Malik Management Zentrum St. Gallen, Hg., 2006. *Sensitivitätsmodell Prof. Vester. Die Computerisierten Tools für ein neues Management komplexer Probleme.* Protokoll intern. St. Gallen.

Manager Magazin, 2020. *Blackrock Chef Larry Fink mahnt Unternehmen zu mehr Klimaschutz* [online]. 14. Januar 2020, 04:17 [Zugriff am: 16. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.manager-magazin.de/unternehmen/banken/blackrock-chef-larry-fink-mahnt-unternehmen-zu-mehr-klimaschutz-a-1304099.html

Mandel, J., J. Lentes und U. Schließmann, 2014. *Die Ultraeffizienzfabrik im urbanen Umfeld. verlustfrei produzieren in lebenswerter Umgebung*. Karlsruhe: Umwelttechnik BW, 2014. Ressourceneffizienzkongress 2014 - 25.-26.09.2014.

Mann, G. und F. Mollenhauer, 2019. *„Positive Wirkungen von Gebäudebegrünungen (Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung)". Zusammenstellung von Zahlen, Daten, Fakten aus verschiedenen Untersuchungen.* Berlin. BuGG-Fachinformation.

Mann, G., 2019. Lärmminderung durch Gebäudebegrünung - www.derbauleiter.info [online]. *Der Bauleiter*, (September), 12-14. Der Bauleiter [Zugriff am: 27. März 2021]. Verfügbar unter: https://www.derbauleiter.info/laermminderung-durch-gebaeudebegruenung/

Mann, G., 2020. *„Biodiversitätsgründach". Grundlagen, Planungshilfen, Praxisbeispiele.* Berlin. BuGG-Fachinformation.

Masch, V.A., 2013. Extensions of stochastic multiscenario models for long-range planning under uncertainty [online]. *Environment Systems & Decisions*, **33**(1), 43-59. ISSN 2194-5403. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10669-013-9433-x

Masior, J., B. Schneider, T. Tasci und O. Riedel, 2020. Modellvernetzung im Advanced Systems Engineering [online]. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, **115**(7-8), 545-549. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.112305

Masson-Delmotte, V., A. Pirani, Y. Chen, J. Matthews, O. Yelekçi, E. Lonnoy, K. Leitzell, Connors , Sarah L., L. Goldfarb, S. Berger, R. Yu, T.K. Maycock, P. Zhai, Panmao, C. Péan, M.I. Gomis, M. Huang, B. Zhou, T. Waterfield und N. Caud, 2021. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Masterson, J., 1990. Benefit Plans That Cut Costs and Increase Satisfaction. *Management Review*, (Juli-August), 72-76. Management Review.

Mathieu, A. und A. Gläser, 2021. Das Fit-for-55-Paket: Startpunkt für die Umsetzung des EU-Klimaziels 2030. Erste Übersicht und Kurzanalyse wichtiger Teile der Fitfor-55-Vorschläge der EU-Kommission mit Blick auf die aktuellen Positionen von zwei zentralen Mitgliedsstaaten: Deutschland und Frankreich. POLICY BRIEF [Zugriff am: 5. Januar 2023]. Verfügbar unter: www.germanwatch.org/de/20459

Meadows, D., D. Meadows, E.O. Zahn und P. Milling, 1972. *Die Grenzen des Wachstums // The limits to growth. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit // A report for the Club of Rome‘s project on the predicament of mankind.* 4. print. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart; Universe Books. A Potomac Associates book. ISBN 0-87663-165-0.

Meadows, D.H., D.L. Meadows und J. Randers, 1992. *Beyond the limits: confronting global collapse envisioning a sustainable future // Beyond the limits. Confronting global collapse, envisioning a sustainable future.* Post Mills, Vt: Post Mills; Chelsea Green Pub. Co. 30. ISBN 0-930031-55-5.

Meadows, D.H., J. Randers und D.L. Meadows, 2002. *A Synopsis: Limits to Growth: The 30-Year Update* [online] [Zugriff am: 16. Mai 2022]. Verfügbar unter: https://donellameadows.org/archives/a-synopsis-limits-to-growth-the-30-year-update/

Meiksins, P. und P. Whalley, 2002. *Putting work in its place. A quiet revolution* [online]. Ithaca: Cornell University Press. Collection on technology and work. ISBN 0801438586. Verfügbar unter: http://www.jstor.org/stable/10.7591/j.ctv5rf0c0

Michaeli, R., 10. Januar 2000. *Schlüssel für erfolgreiche Dynamische Szenarien – Unternehmensstrategien.* Butzbach.

Mietzner, D. und G. Reger, 2005. Advantages and disadvantages of scenario approaches for strategic foresight. *International Journal of Technology Intelligence and Planning*, **1**(2), 220-239. International Journal of Technology Intelligence and Planning.

Mietzner, D., 2009. *Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen. Methodenevaluation und neue Ansätze.* Zugl.: Potsdam, Univ., Diss., 2009. Wiesbaden: Gabler. Gabler Research Innovation und Technologie im modernen Management. ISBN 9783834916877.

Mietzner, D., F. Hartmann, M. Fahrenkrug und K. Fahrenkrug, 2017. Strategische Vorausschau bei der Multiwatt® GmbH [online]. *Wissenschaftliche Beiträge / Technische Hochschule Wildau*, **21**, 101-108. ISSN 0949-8214. Verfügbar unter: doi:10.15771/0949-8214_2017_13

Mietzner, D., M. Kamprath und D. Wagner, 2010. *Zukunftsperspektiven und Kompetenzentwicklungen in der Medienbranche. Eine Szenarioanalyse.* Potsdam: Babelsberg-Filmverl. Edition. Bd. 01. ISBN 9783981343229.

Ministerium Für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021. *PV-Anlagen au Parkplatzdächern: Umweltministerium fördert Pilotvorhaben zur Sektorkopplung* [online]. 15. April 2021 [Zugriff am: 23. April 2022]. Verfügbar unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/pv-anlagen-auf-parkplatzdaechern-umweltministerium-foerdert-pilotvorhaben-zur-sektorkopplung/

Mittleres Evaluationsunternehmen, 2021. unternehmensspezifische Kennwerte. Datenerhebung für die Modellspezifizierung.

Moellers, T., B. Bansemir, M. Pretzl und O. Gassmann, 2017. Design and Evaluation of a System Dynamics Based Business Model Evaluation Method. In: A. Hevner, A. Maedche und J. Vom Brocke, Hg. *Designing the Digital Transformation. 12th International Conference, DESRIST 2017, Karlsruhe, Germany, May 30 - June 1, 2017, Proceedings.* Cham: Springer International Publishing; Imprint: Springer, S. 125-144. ISBN 9783319591445.

Moellers, T., L. Von Der Burg, B. Bansemir, M. Pretzl und O. Gassmann, 2019. System dynamics for corporate business model innovation [online]. *Electronic Markets*, **29**(3), 387-406. Electronic Markets. Verfügbar unter: doi:10.1007/s12525-019-00329-y

Molamohamadi, Z. und N. Ismail, 2013. Developing a New Scheme for Sustainable Manufacturing [online]. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, **1**(1), 1-5. International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing. Verfügbar unter: doi:10.7763/IJMMM.2013.V1.1

Möller, H.W., 2002. *Angewandte Volkswirtschaftslehre. Wirtschaftspolitische Fallstudien mit Lösungstechniken.* 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 9783322828750.

Momonova, S. und L. Seidel, 2019. *MIA Expertisen Vol 5. Branchen, Produkte & Unternehmen - Urbane Produktion in Aachen.* RWTH Aachen. Aachen.

Monk, K., 2020. *Why bother offering food in the workplace?* [online]. 20. März 2020 [Zugriff am: 9. April 2022]. Verfügbar unter: https://www.raconteur.net/workplace/food-workplace-culture/

Mönkemeier, E., 2014. C. Entscheidungsunterstützung, Risikomanagement und Simulation. In: E. Mönkemeier, Hg. *Aufwandsschätzung von Offshore-IT-Entwicklungsprojekten. Risikomanagement durch systemdynamische Modelle globaler virtueller Teams.* Zugl.: Tübingen, Univ., Diss., 2013. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 85-115. ISBN 978-3-658-07433-3.

Moon, Y.B., 2016. Simulation Modeling for Sustainability: A Review of the Literature [online]. *International Journal of Sustainable Engineering*, 1-18. International Journal of Sustainable Engineering. Verfügbar unter: doi:10.1080/19397038.2016.1220990

Morecroft, J.D.W., 2015. *Strategic Modelling and Business Dynamics. A feedback systems approach.* 2. Auflage. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 978-1-118-84468-7.

Morena, G., 2021. *Social well-being in offices. A design intervention to enhance employees' sense of belonging by stimulating informal social interaction.* Masterarbeit. Delft.

Mota-López, D.R., C. Sánchez-Ramírez, G. Alor-Hernández und M.Á.G. Huerta, 2017. A Systemic Conceptual Model to Support Decision-Making in the Sustainability Assessment of Industrial Ecosystems. *Research in Computing Science*, (132), 41-53. Research in Computing Science.

Muller, M., 2020. EMAS as a driver of change. Case study : best practices from EMAS Awards 2019 nominees.

Müller, P., G. Wittfeld, P. Burggräf und J. Utsch, 2016. *Standort- und Marktanalyse der Gewerbeflächen Aachen-Nord.* Aachen.

Müller-Merbach, H., 1977. Entwurf von Input-Output-Modellen [online]. *Proceedings in Operations Research*, **7**, 521-532. Proceedings in Operations Research. Verfügbar unter: doi:10.1007/978-3-662-00409-8_79

Myrtveit, M., 2005. *The World Model Controversy. The System Dynamics Group.* Working Papers In System Dynamics. Bergen, Norwegen.

Nägele, R., P. Ohlhausen und A.-T. Braun, 2018. *Bedarf und Anforderungen von KMU in Baden-Württemberg an Makerspaces. Eine Analyse des Bedarfs und der Anforderungen von KMU im Hinblick auf die Etablierung einer Makerspace-Landschaft in Baden-Würtemberg.* ESB Business School Reutlingen. Stuttgart.

Nehls, A., 2020. *Comeback der Werkswohnung* [online]. *Im Wettbewerb um Fachkräfte.* 12. Februar 2020 [Zugriff am: 17. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.deutschlandfunk.de/im-wettbewerb-um-fachkraefte-comeback-der-werkswohnung.766.de.html?dram:article_id=470094

Neumann, J. und O. Morgenstern, 1944. *Theory of games and economic behavior.* Princeton: Princeton University Press.

Nicholls, A., 2021. Impact Measurement and Management in Sustainable Finance. Asian Development Outlook 2021: Financing a Green and Inclusive Recovery.

Nicole, E., 2011. *Is Your Business Glocal? How to Think Globally and Act Locally* [online]. 11. Oktober 2011 [Zugriff am: 6. Januar 2018]. Verfügbar unter: http://yfsmagazine.com/2011/10/11/5-steps-to-reverse-engineer-your-business-strategy-in-24-hours-and-go-glocal/

Nieder, P., 2005. Rezensionen: Fehlzeiten-Report 2003. Wettbewerbsfaktor Work-Life-Balance [online]. *German Journal of Human Resource Management: Zeitschrift für Personalforschung*, **19**(1), 93-96. ISSN 2397-0022. Verfügbar unter: doi:10.1177/239700220501900109

Nobis, C. und T. Kuhnimhof, 2018. *Mobilität in Deutschland – MiD. Ergebnisbericht.* Bonn. 70.904/15.

Nonaka, I. und H. Takeuchi, 2012. *Die Organisation des Wissens. Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen.* 2. um ein Vorwort erw. Aufl. Frankfurt am Main: Campus. ISBN 9783593396316.

Noortwyck, R., T. Jung, J. Nasser, R. Schulz und M. Weyrich, 2019. *Rekonfiguration von Intralogistiksystemen mit Hilfe von Simulation unter Einbeziehung von Umfeldbedingungen – Potenzialanalyse.* Logistics Journal.

O'Brien, C., 1999. Sustainable production – a new paradigm for a new millennium [online]. *International Journal of Production Economics*, **60-61**, 1-7. ISSN 09255273. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0925-5273(98)00126-1

O'Brien, W. und F. Yazdani Aliabadi, 2020. Does telecommuting save energy? A critical review of quantitative studies and their research methods [online]. *Energy and buildings*, **225**, 110298. ISSN 0378-7788. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.enbuild.2020.110298

Oediger, H.-L. und P. Walter, September 2020. *Urban Sandwich. Steigerung der Flächeneffizienz durch Stapelung Gewerblicher Nutzung.* Abschlussbericht. Amt für Stadtplanung und Wohnen. Stuttgart.

Oehler, S., A. Seyboth, S. Scherz und M. Wortmann, 2019. *Das Verkehrsentwicklungskonzept der Landeshauptstadt Stuttgart*.

Ogbeiwi, O., 2017. Why written objectives need to be really SMART [online]. *British Journal of Healthcare Management*, **23**(7), 324-336. ISSN 1358-0574. Verfügbar unter: doi:10.12968/bjhc.2017.23.7.324

Orcun, S., R. Uzsoy und K. Kempf, 2006. Using System Dynamics Simulations to Compare Capacity Models for Production Planning. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.* Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.

Organization for Economic Cooperation and Development, 2000. Part B - Environmental Performance Indicators. *OECD Rome Conference Proceedings-Volume II: Framework s and indicators*, 99-127. OECD Rome Conference Proceedings-Volume II: Framework s and indicators.

Organization for Economic Cooperation and Development, 2007. PRTR. Pollutant Release and Transfer Register.

Organization for Economic Cooperation and Development, 2009. Overview of the OECD Sustainable Manufacturing Toolkit Prototype.

Osterhage, F. und S. Kaup, 2012. Reurbanisierung als neue Phase der Stadtentwicklung? Eine Analyse der Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung in Deutschland 1999 bis 2009 [online]. *Jahrbuch StadtRegion 2011/2012. Schwerpunkt: Stadt und Religion*, 125-141. Jahrbuch StadtRegion 2011/2012. Schwerpunkt: Stadt und Religion. Verfügbar unter: doi:10.3224/jbsr.v7i1.07

Otterbein, M., 2018. *Betriebsverpflegung: Motivieren mit Genuss* [online]. 1. Oktober 2018 [Zugriff am: 9. April 2022]. Verfügbar unter: https://www.regiomanager.de/ruhrgebiet/themen/buero-und-arbeitswelt/motivieren-mit-genuss

Oyarbide, A., 2003. *Manufacturing systems simulation using the principles of System Dynamics.* Dissertation. Cranfield University.

Oyarbide, A., T.S. Baines, J.M. Kay und J. Ladbrook, 2000. A System Dynamic Simulator for Manufacture. *First World Conference on Production and Operations Management*, (1). First World Conference on Production and Operations Management.

Oyarbide, A., T.S. Baines, J.M. Kay und J. Ladbrook, 2003. Manufacturing Systems Modelling using System Dynamics. Forming a dedicated modelling tool. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, (Vol. 2, No. 1), 71-87. Journal of Advanced Manufacturing Systems.

Paju, M., J. Heilala, M. Hentula, A. Heikkilä, B. Johansson, S. Leong und K. Lyons, 2010. Framework and Indicators for a Sustainable Manufacturing Mapping Methodology [online]. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 3411-3422. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. Verfügbar unter: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2433508

Parkinson, J. und L. Jones, 2014. *Does free food make for a happier office?* [online]. 20. November 2014 [Zugriff am: 9. April 2022]. Verfügbar unter: https://www.bbc.com/news/magazine-30113648

Paulus, C.G. und H.-P. Schwintowski, 2010. Finanzkrise – Euro-Krise. Ursachen und Folgen – Reformkonzepte zur Bewältigung und Prävention. *humboldt-spektrum*, (3), 30-39. humboldt-spektrum.

Perrin, P., 2013. *Simulationsbasierte Analyse der Einflussfaktoren auf Betriebszahlen von Wärmepumpenanlagen.* Dissertation. Braunschweig.

Persson, L.M., B.M. Carney Almroth, C.D. Collins, S. Cornell, C.A. De Wit, M.L. Diamond, P. Fantke, M. Hassellöv, M. Macleod, M.W. Ryberg, P. Søgaard Jørgensen, P. Villarrubia-Gómez, Z. Wang Uud M.Z. Hauschild, 2022. Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities [online]. *Environmental science & technology*, **56**(3), 1510-1521. Environmental science & technology. Verfügbar unter: doi:10.1021/acs.est.1c04158

Peuckert, J., 2016. Neue Formen der kollaborativen Innovation: Wie verändert sich das Innovationssystem? In: J.P. Wulfsberg, T. Redlich und M. Moritz, Hg. *1. Interdisziplinäre Konferenz zur Zukunft der Wertschöpfung. Konferenzband.* Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität Universität der Bundeswehr Laboratorium Fertigungstechnik, S. 25-35. ISBN 9783868180923.

Phelps, R., C. Chan und S. Kapsalis, 2001. Does scenario planning affect performance? Two exploratory studies [online]. *Journal of Business Research*, **51**(3), 223-232. ISSN 01482963. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0148-2963(99)00048-X

Pheng, O.F., 2012. *FUTUREtense.* Singapur. ISBN 978-981-07-4501-1.

Piegeler, M. und G. Spars, 2019. Urbane Produktion – Konzept und Messung. *Schumpeter Discussion Papers*, **2019**(001), 1-39. Schumpeter Discussion Papers.

Pirkl, M., 2018. *Kantinen steigern die Zufriedenheit der Mitarbeiter* [online]. 1. August 2018 [Zugriff am: 9. April 2022]. Verfügbar unter: https://www.marktundmittelstand.de/personal/kantinen-steigern-die-zufriedenheit-der-mitarbeiter-1275201/

Poenicke, O., K. Richter und M. Schenk, 2013. Wechselbehälter als kombinierter Frachtraum und Energiespeicher für kleinvolumige Wirtschaftsverkehre in der City-Logistik. In: U. CLAUSEN, Hg. *Wirtschaftsverkehr 2013. Datenerfassung und Verkehrsträgerübergreifende Modellierung des Güterverkehrs Als Entscheidungsgrundlage Für Die Verkehrspolitik.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, S. 136-148. ISBN 978-3-642-37600-9.

Pomrehn, W., 2021. *Diese Szenarien prognostiziert der Weltklimarat für West- und Mitteleuropa Telepolis* [online]. 14. August 2021 [Zugriff am: 16. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.heise.de/tp/news/Diese-Szenarien-prognostiziert-der-Weltklimarat-fuer-West-und-Mitteleuropa-6165290.html

Popescu, I.-S., C. Hitaj und E. Benetto, 2021. Measuring the sustainability of investment funds: A critical review of methods and frameworks in sustainable finance [online]. *Journal of Cleaner Production*, **314**, 128016. ISSN 09596526. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jclepro.2021.128016

Pourbafrani, M., S.J. Van Zelst und W.M.P. Van Der Aalst, 2019. Scenario-Based Prediction of Business Processes Using System Dynamics [online]. *On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2019 Conferences*, 422-439. On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2019 Conferences. Verfügbar unter: doi:10.1007/978-3-030-33246-4_27

Pretschuh, J., R. Traxl und G. Zeichen, 2002. *Quantifying Model For Holistic Manufacturing Management.* Wien.

Querbach, S., M. Waldkirch und N. Kammerlander, 2020. Benefitting from benefits—A comparison of employee satisfaction in family and non-family firms [online]. *Journal of Family Business Strategy*, 100351. ISSN 18778585. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jfbs.2020.100351

Rainer, H., S. Bauernschuster, W. Auer, N. Danzer, M. Hancioglu, B. Hartmann, T. Hener, C. Holzner, N. Ott, J. Reinkowski und M. Werding, 2013. *Kinderbetreuung. Im Auftrag der Geschäftsstelle Gesamtevaluation der ehe- und familienbezogenen Leistungen in Deutschland.* München: ifo Institut. IFO Forschungsberichte. 59. ISBN 9783885125372.

Ralyté, J., C. Rolland und V. Plihon, 1999. Method Enhancement with Scenario Based Techniques. *CAiSE'99, LNCS 1626*, 103-118. CAiSE'99, LNCS 1626.

Ramsauer, C., 2013. Industrie 4.0 - Die Produktion der Zukunft. *WINGbusiness*, **3**, 6-12. WINGbusiness.

Randers, J. und D. Meadows, 1971. *System Simulation to Test Environmental Policy I: A Sample Study of DDT Movement in the Environment.* Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Rao, P.N., 2013. *Sustainable Manufacturing. Principles, Applications And Directions*. Mnit, Jaipur, 4. Mai 2013.

Raynor, M.E., 2007. *The Strategy Paradox. Why Committing to Success Leads to Failure (and What to Do about It)* [online]. Westminster: Crown/Archetype. ISBN 9780385521918. Verfügbar unter: https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=6103688

Rechkemmer, A., 2005. *The Rio Earth Summit 1992 as local classicus for postmodernity* [online]. Research Unit Paper. German Institute for International and Security Affairs. Berlin. Working Paper. FG 8, 2005/01. Verfügbar unter: www.swp-berlin.org

Remer, S., 2020. *Socially Responsible Investment (SRI)* [online]. 2. April 2020 [Zugriff am: 29. August 2022]. Verfügbar unter: https://www.gabler-banklexikon.de/definition/socially-responsible-investment-sri-70774/version-376373

Reuter, N. und K.G. Zinn, 2011. Moderne Gesellschaften brauchen eine aktive Dienstleistungspolitik [online]. *WSI Mitteilungen*, (9), 462-469. WSI Mitteilungen [Zugriff am: 5. März 2019]. Verfügbar unter: https://www.boeckler.de/wsimit_2011_09_reuter.pdf

Richardson, G.P., 1996. Problems for the Future of System Dynamics [online]. *System Dynamics Review*, **12**(2), 141-157. System Dynamics Review. Verfügbar unter: doi:10.1002/(SICI)1099-1727(199622)12:2<141::AID-SDR101>3.0.CO;2-O

Richter, M., 2016. Urban climate change-related effects on extreme heat events in Rostock, Germany [online]. *Urban Ecosystems*, **19**(2), 849-866. Urban Ecosystems. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11252-015-0508-y

Ritthoff, M., H. Rohn und C. Liedtke, 2002. MIPS berechnen. Ressourcenproduktivitaet von Produkten und Dienstleistungen // Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen, **27**.

Romero, E. und M.C. Ruiz, 2014. Proposal of an agent-based analytical model to convert industrial areas in industrial eco-systems [online]. *The Science of the total environment*, **468-469**, 394-405. The Science of the total environment. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.049

Rundnagel, R., 2004. *Innovation und Beschäftigung – Mitgestalten der Zukunft. Konzepte – Anforderungen – Handlungsansätze für Betriebsräte und Gewerkschaften.* Düsseldorf. Arbeitspapier. 81.

Rupprecht, C., 2002. *Ein Konzept zur projektspezifischen Individualisierung von Prozessmodellen.* Dissertation. Karlsruhe.

Saeed, K., 2015. Urban Dynamics. A Systems Thinking Framework For Economic Development And Planning. *Isocarp Review*, **September 2015**(11), 32-48. Isocarp Review.

Saeed, S., S. Yousafzai, A. Paladino und L.M. De Luca, 2015. Inside-out and outside-in orientations: A meta-analysis of orientation‘s effects on innovation and firm performance [online]. *Industrial Marketing Management*, **47**, 121-133. ISSN 00198501. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.indmarman.2015.02.037

Sartorius, C., 2007. *Zukunftsmarkt Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement.* Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Dessau-Roßlau. 206 14 132/05.

Saurat, M. und M. Ritthoff, 2013. Calculating MIPS 2.0 [online]. *Resources*, **2**(4), 581-607. Resources. Verfügbar unter: doi:10.3390/resources2040581

Sayyadi, R. und A. Awasthi, 2017. A system dynamics based simulation model to evaluate regulatory policies for sustainable transportation planning [online]. *International Journal of Modelling and Simulation*, **37**(1), 25-35. ISSN 0228-6203. Verfügbar unter: doi:10.1080/02286203.2016.1219806

Scheffold, J., 2007. *Kinderbetreuung in Deutschland - Analyse eines zukünftigen, bedarfsgerechten Ausbaus der Infrastruktur.* München: GRIN Verlag GmbH. ISBN 9783638712255.

Schirmer, S., 2019. Die fast perfekte Jugendbewegung [online]. Fridays for Future. *ZEIT Campus* [Zugriff am: 12. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.zeit.de/campus/2019-07/fridays-for-future-sommerkongress…

Schlund, S., 2014. *Gebäude neu nutzen – Unterwegs in die vierte industrielle Revolution*. Berlin, 2014. 2. BEOS Forum »Weiter Denken«.

Schmid, B. und A. Messmer, 2003. Die Optimierung der Passung zwischen Unternehmen und Mensch. *Lernende Organisation*, **16**(November), 36-43. Lernende Organisation.

Schmid, L., 2012. *Erfolgsdynamik. Ein Konzept für die Erstellung systemdynamischer Modelle zur Entscheidungsunterstützung im strategischen Management.* Dissertation. St. Gallen.

Schmidt, S., O. Ibert, A. Kuebart und J. Kühn, 2016. *Open Creative Labs in Deutschland: Typologisierung, Verbreitung und Entwicklungsbedingungen* [online]. Erkner. Verfügbar unter: www.leibniz-irs.de

Schmidt, W.-P. und A. Taylor, 2006. Ford of Europe's Product Sustainability Index. *Proceedings Of Lce2006*, 5-10. PROCEEDINGS OF LCE2006.

Schmidt-Scheele, R., 2020. *The Plausibility of Future Scenarios // The plausibility of future scenarios. Conceptualising an Unexplored Criterion in Scenario Planning.* Dissertation. Bielefeld: transcript Verlag. Science studies. ISBN 978-3-8376-5319-9.

Schmitt, R., C. Brecher, B. Corves, T. Gries, S. Jeschke, F. Klocke, P. Loosen, W. Michaeli, R. Müller, R. Poprawe, U. Reisgen, C.M. Schlick, G. Schuh, T. Auerbach, F. Bauhoff, M. Beckers, D. Behnen, T. Brosze, G. Buchholz, C. Büscher, U. Eppelt, M. Esser, D. Ewert, K. Fayzullin, R. Freudenberg, P. Fritz, S. Fuchs, Y.-S. Gloy, S. Haag, E. Hauck, W. Herfs, N. Hering, M. Hüsing, M. Isermann, M. Janssen, B. Kausch, T. Kempf, S. Kratz, S. Kuz, M. Laass, J. Lose, A. Malik, M.P. Mayer, T. Molitor, S. Müller, B. Odenthal, A. Pavim, D. Petring, T. Potente, N. Pyschny, A. Reßmann, M. Riedel, S. Runge, H. Schenuit, D. Schilberg, W. Schulz, M. Schürmeyer, J. Schüttler, U. Thombansen, D. Veselovac, M. Vette, C. Wagels und K. Willms, 2011. Kapitel 6. Selbstoptimierende Produktionssysteme. In: C. BRECHER, Hg. *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 747-1057. ISBN 978-3-642-20693-16.

Schnetzer, S., 2021. *Generation XYZ - Übersicht* [online] [Zugriff am: 6. März 2022]. Verfügbar unter: https://simon-schnetzer.com/generation-xyz/

Schocke, K.-O., P.K. Schäfer, S. Höhl und A. Gilbert, 2020. *Bericht zum Forschungsvorhaben „LastMileTram. Empirische Forschung zum Einsatz einer Güterstraßenbahn am Beispiel Frankfurt am Main“.* Abschlussbericht. Frankfurt University of Applied Sciences. Frankfurt am Main.

Schön, S., M. Ebner und M. Grandl, 2019. Makerspaces als Kreativ- und Lernräume.der Erwachsenenbildung [online]. Werkstätten mit digitalen Werkzeugen aus Perspektive. *Magazin erwachsenenbildung.at*, (35-36). Magazin erwachsenenbildung.at. Verfügbar unter: doi:10.25656/01:16672

Schöneberg, K., 2020. Vorsicht, Fridays! [online]. Luisa Neubauer trifft Siemens-Chef. *TAZ* [Zugriff am: 12. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://taz.de/Luisa-Neubauer-trifft-Siemens-Chef/!5651339/

Schrape, J.-F., 2020. Kollaborative Labs und offene Werkstätten [online]. *Ökologisches Wirtschaften - Fachzeitschrift*, **33**(1), 22-24. ISSN 1430-8800. Verfügbar unter: doi:10.14512/OEW350122

Schröter, F., 2020. *Bodenzähler* [online]. *Flächenverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland.* 22. Dezember 2020 [Zugriff am: 7. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.dr-frank-schroeter.de/Bodenverbrauch/Aktueller_Stand.htm

Schuh, G. und C. Schmidt, 2014. *Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5.* 2. Aufl. 2014. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. VDI-Buch. ISBN 9783642542879.

Schuh, G., W. Boos, A. Kampker Und U. Gartzen, 2011. Strategie. In: G. Schuh und A. Kampker, Hg. *Strategie und Management produziernder Unternehmen.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 63-131. ISBN 978-3-642-14501-8.

Schulze Dieckhoff, R., M. Schmid, B. Steinerstauch, J. Klank und S. Guhl, 2001. *Flächennutzungsplan Stuttgart.* Stadt Stuttgart: Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung.

Seehausen, H., 1995. *Familie. Arbeit. Kinderbetreuung. Berufstätige Eltern und ihre KInde im Konfliktdreieck // Berufstätige Eltern und ihre Kinder im Konfliktdreieck.* Opladen: Leske + Budrich; VS Verlag für Sozialwissenschaften. Springer eBook Collection. ISBN 9783322925251.

Seele, P. und R. Wagner, 2015. Transition from GRI 3.0 to 4.0. Summary of relevant changes.

Seitz, J. und C. Rauch, 2013. *FAIR – Von der Nische zum Mainstream. Eine Trendstudie zur Fair2013*.

Senge, P., 1990. *The Fifth Discipline. The Art and Practice of the Learning Organization.* New York: Doubleday.

Shahgholian, K. und H. Hajihosseini, 2009. A Dynamic Model of Air Pollution, Health, and Population Growth Using System Dynamics: A Study on Tehran-Iran (With Computer Simulation by the Software Vensim) [online]. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, **3**(11), 372-379. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering. Verfügbar unter: scholar.waset.org/1999.6/15736

Shaw, M.J., 1987. A distributed scheduling method for computer integrated manufacturing: the use of local area networks in cellular systems [online]. *International Journal of Production Research*, **25**(9), 1285-1303. International Journal of Production Research. Verfügbar unter: doi:10.1080/00207548708919915

Siebel, W., 1994. *Was macht eine Stadt urban? zur Stadtkultur und Stadtentwicklung.* [online]. Oldenburg, 1994. Oldenburger Universitätsreden [Zugriff am: 27. Mai 2017]. Verfügbar unter: http://oops.uni-oldenburg.de/1232/1/ur61.pdf

Siedentop, S., 2008. Die Rückkehr der Städte? Zur Plausibilität der Reurbanisierungshypothese. *Informationen zur Raumentwicklung*, (3/4), 193-210. Informationen zur Raumentwicklung.

Simons, A., U. Petschow und J. Peuckert, 2016. *Offene Werkstätten - nachhaltig innovativ? Potenziale gemeinsamen Arbeitens und Produzierens in der gesellschaftlichen Transformation.* Berlin. Schriftenreihe des IÖW. 212/16. ISBN 978-3-940920-15-7.

Singh, S., E.U. Olugu und S.N. Musa, 2016. Development of Sustainable Manufacturing Performance Evaluation Expert System for Small and Medium Enterprises [online]. *Procedia CIRP*, **40**, 608-613. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2016.01.142

Siyal, S. und T. Garavan, 2020. Employee Benefits. In: A. Farazmand, Hg. *Global Encyclopedia of Public Administration, Public Policy, and Governance*. Cham: Springer International Publishing, S. 1-6. ISBN 978-3-319-31816-5.

Smith, K., G. Kolar, S. Kornfeld, E. Märzendorfer, C. Rösch und M. Foszczynski, 2014. *Produktion findet Stadt. Warum der urbane Raum produzierende Unternehmen braucht.* Wirtschaftskammer Wien. Wien. ON. 7.

Snook, I.D. und S.E. Levitsky, 1980. Redesign of employee cafeteria increases efficiency, satisfaction. *Hospitals*, **54**(23), 73-74. ISSN 0018-5973.

Sonne, W., 2014. Urbanität. *Urbanität und Dichte im Städtebau des 20. Jahrhunderts*, S. 14-36 [Zugriff am: 27. Mai 2017]. Verfügbar unter: https://arthist.net/reviews/10338/view=pdf

Spangenberg, M., 2008. *Städtisch und ländlich geprägte Räume*. ICC Berlin, 2008. Begleitveranstaltung 2 des Zukunftsforums Ländliche Entwicklung „Stadt und Land in der Raumentwicklung“.

Spath, D. und J. Lentes, 2012. Flexibler produzieren in der Stadt. *Stuttgarter Impulse Schriftliche Fassung der Vorträge zum Fertigungstechnischen Kolloquium am 25. und 26. September 2012*, **Stuttgart 25 – 26.09.2012**(FtK2012), 241-259. Stuttgarter Impulse Schriftliche Fassung der Vorträge zum Fertigungstechnischen Kolloquium am 25. und 26. September 2012.

Spath, D. und J. Lentes, 2013. Urban Production to advance the competitiveness of Industrial Enterprises. In: *Challenges for sustainable operations. Planning, implementing and managing reverse networks ; 22nd International Conference on Production Research, ICPR 22 ; July 28 - August 1, 2013 in Inguassu Falls, Brazil proceedings.* Foz do Iguaçu. ISBN 8588478471.

Spath, D., 2005. Digitale Produktion? Auch für Klein- und Mittelständler! *Konstruktion: Zeitschrift Für Produktentwicklung Und Ingenieur-Werkstoffe*, **11/12.** Konstruktion: Zeitschrift Für Produktentwicklung Und Ingenieur-Werkstoffe.

Spath, D., 2008. *JITT - Just in Time Training. Berufliche Qualifizierung als Wegbereiter für erfolgreiche Innovation*, 2008.

Spath, D., 2012. *Fachkräftemangel und Know-How-Sicherung in der IT Wirtschaft*. Berlin, 2012. Pressekonferenz mit Bitkom - 22.05.2012.

Spath, D., 2013. *Perspektiven der Dienstleistungs- und Arbeitsforschung* [online]. Düsseldorf, Hotel Radisson Blu Scandinavia: Hans-Böckler-Stiftung, 2013. Dienstleistungstagung 2013: Dienstleistungsforschung und Dienstleistungspolitik - 24.-25.04.2013. Verfügbar unter: https://www.boeckler.de/veranstaltung_41975.htm

Spath, D., J. Lentes und F. Haselberger, 2009. Virtuelle Realität als Werkzeug in der Digitalen Produktion [online]. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, **104**(1-2), 84-88. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.110004

Spath, D., J. Lentes und M. Richter, 2007. Neue Ansätze für die Integration von Konstruktion und Planung im Rahmen der digitalen Produktion [online]. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, **102**(1-2), 73-77. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.101108

Spath, D., S. Schlund, S. Gerlach, M. Hämmerle und T. Krause, 2012. Produktionsprozesse im Jahr 2030 [online]. *Fachzeitschrift für Information Management*, **27**(3), 50-55. Fachzeitschrift für Information Management. Verfügbar unter: http://publica.fraunhofer.de/documents/N-225025.html

Spath, D., T. Burger, R. Ilg und J. Lentes, 2013. Simulation in Produktion und Logistik 2013. Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung ; 15. ASIM Fachtagung] ; Paderborn, 09. - 11. Oktober 2013. *Simulation in Produktion und Logistik*, **147,** S. 21-29.

Spath, D., W. Bauer und J. Lentes, 2014. Urbane Produktion. In: K. WEINERT, Hg. *Stadt der Zukunft - Strategieelemente einer nachhaltigen Stadtentwicklung.* München: Acatech Akademie der Technikwissenschaften, S. 61-71.

Spath, D., W. Bauer und J. Lentes, 2015. A quick-check to identify potentials by urban manufacturing for industrial enterprises. In: *With Philippine Institute of Industrial Engineers (PIIE) National Congress, 7th IE Research Conference & 17th International Society for Business Innovation and Technology Management Roundtable Conference. operational excellence towards sustainable development goals (SDG) through industry 4.0*, S. 6-11.

Spiekermann, K. und M. Wegener, 2009. *Modelle in der Raumplanung II. „Modelle in der Raumplanung“*. Lehrveranstaltungsunterlagen. Dortmund.

Stachowiak, H., 1973. *Allgemeine Modelltheorie.* Wien: Springer. ISBN 3211811060.

Stahmer, C., 2010. *Das magische Dreieck. Input-Output-Rechnung.* Berlin.

Stahnke, J., P. Blickle, A. Skowronnek, F. Mohr und S. Venohr, 2016. *Eine Nation pendelt* [online]. 2. Juni 2016 [Zugriff am: 6. Februar 2022]. Verfügbar unter: https://www.zeit.de/feature/pendeln-stau-arbeit-verkehr-wohnort-arbeitsweg-ballungsraeume

Starlinger, M., 2018. Multifunktionale Enerigefassaden. Dezentral und modular integrierbare Technologie. *EnEV Baupraxis*, (7), 22-27. EnEV Baupraxis.

Statista, 2018. *Anteil der Wirtschaftsbereiche an der Gesamtbeschäftigung in der Bundesrepublik Deutschland von 1950 bis 2017* [online]. Statistisches Bundesamt. Statistisches Jahrbuch 2018. Verfügbar unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/275637/umfrage/anteil-der-wirtschaftsbereiche-an-der-gesamtbeschaeftigung-in-deutschland/

Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2011. *Demografischer Wandel in Deutschland. Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung im Bund und in den Ländern.* Wiesbaden. 1.

Statistisches Bundesamt, 2020. *Bildungsstand der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus 2019.* Wiesbaden. 5210002197004.

Statistisches Bundesamt, 2022. *Pendelverkehr* [online]. *Berufspendler.* 31. Januar 2022 [Zugriff am: 2. April 2022]. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/im-Fokus-Pendler.html

Statistisches Bundesamt, Hg., 2008. *Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008). mit Erläuterungen* [online]. Wiesbaden. 3100100-08900-4.

Statistisches Bundesamt, Hg., 2019. *Bevölkerung im Wandel. Annahmen und Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung* [online]. Wiesbaden. Verfügbar unter: www.destatis.de

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2009. *Demografischer Wandel in Deutschland. Auswirkungen auf die Zahl der Erwerbspersonen.* Wiesbaden. 4.

Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S.E. Cornell, I. Fetzer, E.M. Bennett, R. Biggs, S.R. Carpenter, W. De Vries, C.A. De Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G.M. Mace, L.M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers und S. Sörlin, 2015. Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet [online]. *Science (New York, N.Y.)*, **347**(6223), 1259855. Science (New York, N.Y.). Verfügbar unter: doi:10.1126/science.1259855

Steinmüller, K., 2002. Workshop Zukunftsforschung. Teil 2: Szenarien, Grundlagen und Anwendungen.

Stemper, T., 2017. Fitness Trends Deutschland 2018. „Qualität“ bleibt der Megatrend. *F&G*, (8), 32-37. F&G.

Sterman, J.D., 2000. *Business dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world.* Boston: Irwin/McGraw-Hill. ISBN 0-07-231135-5.

Sterman, J.D., 1994. Learning in and about complex systems,. *System Dynamics Review*, **10**(2 - 3), 291-330. System Dynamics Review.

Stiehm, S., 2017. *Gestaltungsparameter für die (Re-) Integration von Produktion in den urbanen Raum im Kontext von Industrie 4.0.* Dissertation. Edition Wissenschaft - Apprimus. ISBN 9783863595517.

Stocker, A. und F. Hinterberger, 2006. *Providing knowledge for better decisions* [online]. *Modellierung einer nachhaltigen Entwicklung* [Zugriff am: 4. Januar 2021]. Verfügbar unter: https://www.seri.at/modell/

Streich, B., 2005. *Die Charta von Athen* [online] [Zugriff am: 5. März 2019]. Verfügbar unter: http://www.urban-is.de/Quellennachweis-Internet/StadtPlanung@CD/Charta_v_Athen.pdf

Strohhäussl, N., 2007. *Analyse und Beurteilung von Engpässen in der industriellen Produktion am Beispiel der Engpasssituation eines Papier erzeugenden Unternehmens.* Magisterarbeit. Leoben.

Strölin, T., 2012. *Entwicklung eines Modells zur Planung der Kapazitätsverfügbarkeit in mittelständischen Produktionsunternehmen* [online]. München: GRIN Verlag. Verfügbar unter: https://www.grin.com/document/230035

Strom-Report, 2021. *Deutscher Strommix: Stromerzeugung Deutschland bis 2021* [online] [Zugriff am: 10. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://strom-report.de/strom/

Strunk, G., 2019. *Systemdynamik und Komplexitätsmanagement*. fractint, 2019.

Studtrucker, M., M. Kalinowski, C. Schneemann, D. Söhnlein und G. Zika, 2022. QuBe-Bevölkerungsprojektion für die Kreise und kreisfreien Städte Deutschlands [online]. *IAB-Discussion Paper*, (19). IAB-Discussion Paper. Verfügbar unter: https://doi.org/10.48720/IAB.DP.2219

Sverdrup, H.U. und D. Koca, 2018. *The WORLD Model Development and The Integrated Assessment of the Global Natural Resources Supply.* Dessau-Roßlau. TEXTE. 100.

Sweetser, A., 1999. A Comparison of System Dynamics (SD) and Discrete Event Simulation (DES). *17th International Conference of the System Dynamics Society*, **17**, 20-27. 17th International Conference of the System Dynamics Society.

Szumilas, I. und S. Vogel, 2006. MIPS - Material Input Pro Serviceeinheit. In: M. Prytula, Hg. *Urbaner Metabolismus 2. Analyse und Bewertung von Energie- und Stoffströmen urbaner Systeme.* Berlin.

Teulings, C. und R. Baldwin, 2014. *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures.* London.

Thiel, F., 2017. „Urbane Gebiete“ in bestehenden Gewerbegebieten? Eine Untersuchung zu Konfliktbewältigung und Gewerbegentrifizierung. *fub - Flächenmanagement und Bodenordnung*, **2017**(4), 174-182. fub - Flächenmanagement und Bodenordnung.

Thinkaboutgeny.com, 2017. Konjunkturschwankungen.

Tolidou, C., 2014. *Ferienakademie Sommer 2014 bei Siempelkamp und ATR Industrie-Elektronik GmbH – Kremintec* [online]. 23. Juli 2014 [Zugriff am: 7. November 2021]. Verfügbar unter: https://kremintec.de/2014/07/23/ferienakademie-sommer-2014-bei-siempelkamp-und-atr-industrie-elektronik-gmbh/

Tomčíkov, Ľ., 2016. Employee benefits and trends in the workplace [online]. *Economy & Society & Environment.* Economy & Society & Environment. Verfügbar unter: http://www.exclusiveejournal.sk

Torres, J.P., M. Kunc und F. O‘Brien, 2017. Supporting strategy using system dynamics [online]. *European Journal of Operational Research*, **260**(3), 1081-1094. ISSN 03772217. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.ejor.2017.01.018

Trading Economics, 2022. *EU Carbon Permits* [online]. 10. Juni 2022 [Zugriff am: 12. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://tradingeconomics.com/commodity/carbon

Tress, D.W., 1987. Ganzheitlicher Ansatz logistikorientierter Fabrikplanung [online]. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, **82**(8), 441-446. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Verfügbar unter: doi:10.1515/zwf-1987-820805

Trippner, D., 2021. *Das 1x1 der Strategie. Know-how und Methoden für Menschen, die etwas bewegen wollen.* Freiburg: Haufe-Lexware; Haufe Group. ISBN 978-3-648-15747-3.

Trompisch, P., 2017. Industrie 4.0 und die Zukunft der Arbeit [online]. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, **134**(7), 370-373. e & i Elektrotechnik und Informationstechnik. Verfügbar unter: doi:10.1007/s00502-017-0531-1

Turner, G.M., 2012. On the Cusp of Global Collapse? Updated Comparison of The Limits to Growth with Historical Data. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, **21**(2), 116-124. ISSN 0940-5550.

Turner, G.M., 2014. *Is Global Collapse Imminent? An Updated Comparison of The Limits to Growth with Historical Data.* Melbourne: Melbourne Sustainable Society Institute. MSSI Research Paper. 4. ISBN 978 0 7340 4940 7.

Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf, 2012. *Dachbegrünung - eine lohnenswerte Investition. Fördermittel und Beratung für Düsseldorfer.* Düsseldorf. 2.

Umweltbundesamt, 2019. *Europäische Energie- und Klimaziele* [online]. 10. Mai 2019 [Zugriff am: 10. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele

Umweltbundesamt, 2021. *Treibhausgas-Emissionen in Deutschland* [online]. 21. Juni 2021 [Zugriff am: 10. Juli 2021]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung

United Nations Committee on Sustainable Development, Hg., 2007. *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies* [online]. 3. Auflage. United Nations. New York.

United Nations, 2011. World Urbanization Prospects. The 2011 Revision.

United Nations, 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. *General Assembly*, **70 Session**(16301), 1-35. General Assembly.

Urmersbach, B., 2022. Europäische Union: Verteilung der Erwerbstätigen auf die Wirtschaftssektoren in den Mitgliedstaaten im Jahr 2020 [Zugriff am: 2. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/249086/umfrage/erwerbstaetige-nach-wirtschaftssektoren-in-den-eu-laendern/

Useem, J. und A. Harrington, 2000. Welcome To The New Company Town [online]. With all the great amenities companies are offering these days, you could spend your whole life at work. That, in fact, might be the problem., **62**(74), 8-25 [Zugriff am: 1. August 2021]. Verfügbar unter: https://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune_archive/2000/01/10/271757/index.htm

Van Geert, J.A.G., 2019. *Employee benefits. A Qualitative Research study on the perceptions of HR-Professionals with a strategic point of view on the use of flexibility, communication and employee involvement.* Masterarbeit. Lissabon.

Van Oldenborgh, G.J., K. Van Der Wiel, S.F. Kew, S.Y. Philip, Otto, Friederike E L, R. Vautard, A. King, F. Lott, J. Arrighi, R.K. Singh und M. Van Aalst, 2021. Pathways and pitfalls in extreme event attribution [online]. *Climatic Change*, **166**(1-2). ISSN 0165-0009. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10584-021-03071-7

Vastag, A., D. Kirsch, A. Bernsmann, C. Moll und M. Stockmann, Hg., 2017. *Potenziale einer geräuscharmen Nachtlogistik. Ergebnisse und Handlungsempfehlungen des Forschungsprojekts GeNaLog : Dezember 2013 - Februar 2015, Juni 2015 - September 2017* [online]. Stuttgart: Fraunhofer Verlag. ISBN 9783839612576. Verfügbar unter: http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-477670.html

Vennix, J., 1996. *Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics. (1996). Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics. , .* Chichester: Wiley-VCH Verlag GmbH.

Vester, F., 1994. *Ballungsgebiete in der Krise – Vom Verstehen und Planen menschlicher Lebensräume.* 5. Auflage. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

Vester, F., 2002. *Die Kunst vernetzt zu denken – Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Der neue Bericht an den Club of Rome.* akt. Auflage. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

Volland, S., 2012. *Produktionslosgrößen und logistische Kennlinien in der Hybribdfertigung. Ein Konzept zur Bestimmung des Einflusses der Produktionslosgröße und Reihenfolge auf logistische Zielgrößen am Beispiel einer Hybridfertigung.* Dissertation. Leoben.

Vosskamp, R. und J. Schmidt-Ehmcke, 2006. *Die Beiträge von Forschung, Entwicklung und Innovation zu Produktivität und Wachstum. Schwerpunktstudie zur „Technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands“ ; Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.* Berlin: DIW Berlin. Politikberatung kompakt. 15. ISBN 3938762047.

Wackernagel, M. und B. Beyers, 2019. *Ecological footprint. Managing our biocapacity budget.* Gabriola Island, BC, Canada: New Society Publishers. ISBN 9780865719118.

Wackernagel, M., D. Lin, M. Evans, L. Hanscom und P. Raven, 2019. Defying the Footprint Oracle: Implications of Country Resource Trends [online]. *Sustainability*, **11**(7), 2164. ISSN 2071-1050. Verfügbar unter: doi:10.3390/su11072164

Wackernagel, M., L. Hanscom, P. Jayasinghe, D. Lin, A. Murthy, E. Neill und P. Raven, 2021. The importance of resource security for poverty eradication [online]. *Nature Sustainability*, **4**(8), 731-738. Nature Sustainability. Verfügbar unter: doi:10.1038/s41893-021-00708-4

Wahlster, W., 2014. *Industrie 4.0: Künstliche Intelligenz in der Produktion. Wie intelligent können Maschinen werden?* Saarbrücken, 2014. Saarbrücker Wissenschaftler berichten über ihre aktuellen Forschungsprojekte.

Waibel, R. und M. Käppeli, 2013. *Betriebswirtschaft für Führungskräfte. Die Erfolgslogik des unternehmerischen Denkens und Handelns* [online]. 4., überarb. Aufl. Zürich: Versus. ISBN 978-3-03909-188-1. Verfügbar unter: http://dnb.dnb.de

Walmart, Hg., 2009. *Sustainability Product Index* [online]. Verfügbar unter: http://walmartstores.com/download/3863.pdf

Waltenberg, T. und J. Hafele, 2021. *EU-Politik jenseits von Wirtschaftswachstum* [online]. 29. April 2021 [Zugriff am: 6. Februar 2022]. Verfügbar unter: https://www.postwachstum.de/eu-politik-jenseits-von-wirtschaftswachstum-20210429

Wedekind, H., G. Görz, R. Kötter und R. Inhetveen, 1998. Modellierung , Simulation, Visualisierung: Zu aktuellen Aufgaben der Informatik [online]. *Informatik-Spektrum*, **21**(5), 265-272. ISSN 0170-6012. Verfügbar unter: doi:10.1007/s002870050104

Weidenhaupt, K., K. Pohl, M. Jarke und P. Haumer, 1998. Scenarios in system development: current practice [online]. *IEEE Software*, **15**(2), 34-45. IEEE Software. Verfügbar unter: doi:10.1109/52.663783

Weilandt, D., 2007. Jenoptik-Spende für das Kinder- und Jugendzentrum KLEX. *Stadtteilzeitung Lobeda*, **10**(111), 2.

Weiß, M., 2020. *Wie das trockene Frühjahr die Natur* [online]. 21. April 2020 [Zugriff am: 16. Juni 2022]. Verfügbar unter: https://www.sueddeutsche.de/wissen/trockenheit-wetter-klima-regen-april-1.4883633

Wenzel, E., 2017. Demografischer Wandel verändert alles! [Zugriff am: 27. März 2017]. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=saeoCWlFECc

Wenzel, E., C. Langwieser und O. Dziemba, 2012. *Wie wir morgen leben werden. 15 Lebensstiltrends, die unsere Zukunft prägen* [online]. mvg verlag: mi Wirtschaftsbuch. ISBN 3864161053. Verfügbar unter: https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=2028005

Wenzel, H.-D., 2010. *Mikroökonomik 1. 3.7 Das ökonomische Marktmodell eines Wohnungs(miet)marktes.* Vorlesungsbegleitung.

Wessels, K. und S. Robinson, 2018. *2018 Employee Benefits Report* [online]. Alexandria. 18-0623. Verfügbar unter: shrm.org

Whitehead, R., 2015. *Club of Rome: Grenzen des Wachstums, wie alles begann* [online]. 29. September 2015 [Zugriff am: 13. Mai 2022]. Verfügbar unter: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/entstehung_des_berichtes_541.htm

Wicht, J., 2014. Simulationsstudie zur Anpassung der Produktionsplanung eines mittelständischen Industrieunternehmens. *Schumpeter Discussion Papers*, (013). Schumpeter Discussion Papers.

Wieland, S., P. Strobel und A. Von Bodelschwingh, 2017. *Mitarbeiterwohnen. Mehr Als Ein Instrument Aktiver Personalpolitik*. Berlin.

Wiendahl, H.-P., 2005. *Betriebsorganisation für Ingenieure.* München: Hanser. ISBN 978-3-446-44101-9.

Wiesen, K., M. Saurat und M. Lettenmeier, 2014. Calculating MIPS using the Ecoinvent database. *International Journal of Performability Engineering*, **10**(4), 357-366. International Journal of Performability Engineering.

Wiggering, H., J.-U. Fischer, G. Penn-Bressel, W. Eckelmann, F. Ekardt, U. Köpke, F. Makeschin, Y.H. Lee und F. Glante, 2009. *Empfehlungen der „Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt" – Flächenverbrauch einschränken - jetzt handeln.* Kommission Bodenschutz am Umweltbundesamt (KBU). Dessau-Roßlau.

Wilke, S., 2021. *Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche**. Dessau-Roßlau.

Will, M. und S. Wuscher, 2014. *Leitfaden „Strategische Ziele entwickeln". Zusatzmodul zum Leitfaden 2.0 zur Erstellung einer Wissensbilanz* [online]. Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK). Berlin. Verfügbar unter: urn:nbn:de:0011-n-3112404

Wohlrabe, K., 2021. *ifo Konjunkturumfragen* [online]. *ifo Zeitreihen* [Zugriff am: 31. Juli 2022]. Verfügbar unter: https://www.ifo.de/umfragen/zeitreihen

Wölfel, R., C. Hörmann, M. Seidel und S. Dorsch, 2014. *Innerstädtischer Verkehr und Handel in bayerischen Klein- und Mittelstädten.* CIMA Beratung + Management GmbH. München.

Wollmershäuser, T., M. Göttert, C. Grimme, C. Krolage, S. Lautenbacher, R. Lehmann, S. Link, W. Nierhaus, A.-C. Rathje, M. Reif, A.-P. Sandqvist, R. Šauer, M. Stöckli, K. Wohlrabe und A. Wolf, 2019. ifo Konjunkturprognose Sommer 2019: Deutsche Konjunktur ohne Schwung. *ifo Schnelldienst*, **72. Jahrgang**(12 / 2019), 25-78. ifo Schnelldienst.

Wolstenholme, E.F., 1998. *Qualitative v. Quantitative Modelling: The Evolving Balance*, 1998. International Systems Dynamic Conference.

Wood, R. und E.G. Hertwich, 2013. Economic modelling and indicators in life cycle sustainability assessment [online]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **18**(9), 1710-1721. The International Journal of Life Cycle Assessment. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11367-012-0463-2

Wulf, T., P. Meißner und S. Stubner, 2010. *A Scenario-based Approach to Strategic Planning – Integrating Planning and Process Perspective of Strategy.* Lehrstuhl für Strategisches Management und Organisation. Leipzig. Working Paper Chair of Strategic Management and Organization.

Wulf, T., S. Stubner, P. Meißner und C. Brands, 2012. Szenariobasierte strategische Planung in volatilen Umfeldern [online]. *Zeitschrift für Controlling & Management)*, **56**(S2), 34-38. Zeitschrift für Controlling & Management). Verfügbar unter: doi:10.1365/s12176-012-0380-z

Yrjölä, M., 2021. Eye on the customer: breaking away from the inside-out mindset [online]. *Journal of Business Strategy*, **42**(3), 206-214. ISSN 0275-6668. Verfügbar unter: doi:10.1108/JBS-02-2020-0022

Yrjölä, M., H. Kuusela, K. Neilimo und H. Saarijärvi, 2018. Inside-out and outside-in mental models: a top executive perspective [online]. *European Business Review*, **30**(5), 529-553. European Business Review. Verfügbar unter: doi:10.1108/EBR-10-2016-0133

Yudutskii, S.A., 2001. Objective Scenario Approach to System Analysis. *Automation and Remote Control,*, **62**(4), 656-667. Automation and Remote Control,

Zacharias, S., C. Koppe und H.-G. Mücke, 2015. Climate Change Effects on Heat Waves and Future Heat Wave-Associated IHD Mortality in Germany [online]. *Climate*, **3**(1), 100-117. Climate. Verfügbar unter: doi:10.3390/cli3010100

Zhang, H., 2019. Understanding the Linkages [online]. A Dynamic Sustainability Assessment Method and Decision Making in Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, (80), 233-238. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2019.01.064

Zhang, H., J. Calvo-Amodio und K.R. Haapala, 2013. A conceptual model for assisting sustainable manufacturing through system dynamics [online]. *Journal of Manufacturing Systems*, **32**(4), 543-549. Journal of Manufacturing Systems. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jmsy.2013.05.007

Zimmermann, K., 2019. *Urbanes Gebiet: Fallbeispiel für neue Gebietskategorie zwischen Mischgebiet und Kerngebiet* [online]. 9. Mai 2019 [Zugriff am: 29. Januar 2022]. Verfügbar unter: https://www.forum-verlag.com/blog/urbanes-gebiet-beispiel

Zukunftsinstitut GmbH, Hg., 2020. *Der Corona--Effekt. Vier Zukunftsszenarien* [online]. Frankfurt am Main.

ZWF-Redaktion, 2009. Das magische Dreieck [online]. Editorial. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, **104**(4), 215. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.090401

Zwicker, E., 1980. System Dynamics in inventory and production planning [online]. An Introduction and Critical Overview. *OR Spektrum*, **1**(3), 143-168. ISSN 0171-6468. Verfügbar unter: doi:10.1007/BF01719338

Curriculum Vitae

PERSÖNLICHE DATEN

Name	**Michael Hertwig**
Geburtsdatum	**Bangkok, Thailand**
Geburtsort	**05.06.1987**
Familienstand	**verheiratet**

SCHULISCHE AUSBILDUNG

1996 bis 2005	**Besuch des Johann-Gottfried-Herder Gymnasiums in Arnstadt** **Abschluss: Allgemeine Hochschulreife**

UNIVERSITÄRE AUSBILDUNG

07/2018 bis 09/2024	**Promotionsstudent der Universität Stuttgart** **Abschluss: Doktor-Ingenieur**
10/2008 bis 02/2013	**Studium des Maschinenwesens**, Vertiefungen Feinwerktechnik am Institut für Feinwerktechnik (IFKT) und Mikrosystemtechnik am Institut für Mikrointegration (IfM), **Universität Stuttgart** **Abschluss: Diplom-Ingenieur**
10/2005 bis 09/2008	**Studium der Produktionstechnik**, in Kooperation mit Jenoptik Laser, Optik, Systeme GmbH, **Staatliche Studienakademie Thüringen, Berufsakademie Eisenach** **Abschluss: Diplom-Ingenieur (BA)**

BERUFLICHER UND WISSENSCHAFTLICHER WERDEGANG

ab 07/2018	**Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO,** Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Team Digital Engineering
10/2014 bis 06/2018	**Universität Stuttgart, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Team Digital Engineering
05/2014 bis 09/2014	**Universität Stuttgart, Institut für Mikrointegration IfM**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Team Mikroaufbautechnik
02/2013 bis 04/2014	**Hahn-Schickard-Gesellschaft, Institut für Mikroaufbautechnologie IMAT**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Team Mikroaufbautechnik
05/2011 bis 04/2012	**Leuze electronic GmbH**, Werksstudent im Bereich Entwicklung Optik
10/2005 bis 09/2008	**Jenoptik Laser Optik Systeme GmbH**, Berufsakademie-Student in der Business Unit Mikrooptik

Universität Stuttgart

Das produzierende Gewerbe sorgte für einen Wohlstandszuwachs, doch die zunehmende Tertiarisierung reduzierte die Attraktivität der Fabrik. Zunehmend sind Fabriken in unmittelbarer Nähe zu Wohnarealen Konflikten ausgesetzt, was eine Neugestaltung der urbanen Produktion erforderlich macht.

Eine urbane Produktion ist sowohl ökologisch positiv, sozial stärkend als auch ökonomisch erfolgreich. Dafür erfolgt eine Einordnung des Begriffs sowie relevanter Rahmenbedingungen. Die unterschiedlichen Zieldimensionen erschweren den Unternehmen, Maßnahmen hinsichtlich ihrer langfristigen Wirkung zu bewerten und monetäre Auswirkungen abzuschätzen. Mit dem beschriebenen Modell soll es möglich sein, die Wirkung von Maßnahmen mit längerem Betrachtungshorizont zu untersuchen, um ausgehend von Kennwerten der aktuellen Situation eine Entwicklungsperspektive aufzuzeigen.

Als optimale Modellierungsmethode wurde die Systemdynamik identifiziert. Unter Verwendung vorhandener Modelle wurden wiederverwendbare Bestandteile geeignet adaptiert. Mit Anwendungsfällen konnte das vorliegende Modell als Basis für die Unternehmensweiterentwicklung genutzt werden, indem Maßnahmen bewertet werden.

ISBN 978-3-8396-2020-5

Fraunhofer VERLAG