

# **STRATEGIEN UND TECHNOLOGIEN EINER PLURALISTISCHEN FERN- UND NAHWÄRME- VERSORGUNG IN EINEM LIBERALISIERTEN ENERGIEMARKT UNTER BESONDERER BERÜCK- SICHTIGUNG DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG UND REGENERATIVER ENERGIEN**

Kurztitel

PLURALISTISCHE WÄRMEVERSORGUNG

AGFW-Hauptstudie – Erster Bearbeitungsabschnitt

**Band 2**

**Teil 1: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes**

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieverwendung  
der Universität Stuttgart

**Teil 2: Technologieentwicklung und -bewertung**

Institut für Energietechnik der Technischen Universität Dresden

## **Gesamtprojektleitung:**

Neuffer, H.; Witterhold, F.-G.  
Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V., Frankfurt/M.

## **Wissenschaftliche Projektleitung:**

Pfaffenberger, W.  
bremer energie institut, Bremen

## **Bearbeitung:**

Gregorzewski, A.; Pfaffenberger, W.; Schulz, W.  
bremer energie institut, Bremen

Blesl, M.; Fahl., U; Voß, A.  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieverwendung  
der Universität Stuttgart (federführend - Teil 1)

Jochem, E.; Mannsbart, W.; Radgen, P.; Schmid, Chr.  
Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe

Dribbisch, M.; Sager, J.; Sander, Th.; Zschernig, J.  
Institut für Energietechnik der Technischen Universität Dresden (federführend - Teil 2)

Carter, J. M.; Mauch, W.; David, R.  
Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München

Dötsch, Chr.; Fahlenkamp, H.; Hölder, D.  
Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, Oberhausen

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 0327280 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

**AGFW:** Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme

Band 2: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes + Technologieentwicklung und –bewertung

Frankfurt, im August 2001

## **Teil 1: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes**



# Inhaltsverzeichnis

## A. Ökologischer und ökonomischer Vergleich verschiedener CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen anhand unterschiedlicher Versorgungsaufgaben

<b>1</b>	<b>Vorgehensweise und Rahmenbedingungen</b> (Vortext IER) .....	<b>19</b>
1.1	Technische und ökonomische Beschreibung der Vergleichssysteme (IER) .....	19
1.2	Ökonomische und regulative Rahmenbedingungen (IER) .....	21
1.2.1	Energieträgerpreisentwicklung (IER).....	21
1.2.2	Energieeinsparverordnung 2000 (FFE).....	22
<b>2</b>	<b>Definition der Versorgungsaufgaben</b> (Vortext IER) .....	<b>25</b>
2.1	Besiedlungsstruktur (IER) .....	25
2.1.1	Übersicht über die Siedlungstypen (IER) .....	25
2.1.2	Charakterisierung und exemplarische Beispiele für die Siedlungstypen (IER).....	28
2.1.2.1	Beschreibung des Siedlungstyps 0 – Freistehende Einzelgebäude (IER) .	30
2.1.2.2	Beschreibung des Siedlungstyps 1 – Lockere offene Bebauung (IER).....	32
2.1.2.3	Beschreibung des Siedlungstyps 2 – Einfamilienhäuser- und Doppelhäusersiedlung (IER) .....	34
2.1.2.4	Beschreibung des Siedlungstyps 3a – Städtischer Dorfkern (IER) .....	36
2.1.2.5	Beschreibung des Siedlungstyps 3b – Ländlicher Dorfkern (IER).....	38
2.1.2.6	Beschreibung des Siedlungstyps 4 – Reihenhäuser (IER).....	40
2.1.2.7	Beschreibung des Siedlungstyps 5a – Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser (IER).....	42
2.1.2.8	Beschreibung des Siedlungstyps 5b – Zeilenbebauung mit kleinen und größeren Mehrfamilienhäusern (IER).....	44
2.1.2.9	Beschreibung des Siedlungstyps 6 – Zeilenbebauung mit großen hohen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern (IER).....	46
2.1.2.10	Beschreibung des Siedlungstyps 7a – Blockbebauung niedriger Dichte (IER) .....	48
2.1.2.11	Beschreibung des Siedlungstyps 7b – Dichte Blockbebauung (IER) .....	50
2.1.2.12	Beschreibung des Siedlungstyps 8 – Citybebauung (IER).....	52
2.1.2.13	Beschreibung des Siedlungstyps 9 – Historische Altstadt (IER) .....	54
2.1.2.14	Beschreibung des Siedlungstyps 10a – Große öffentliche Sonderbauten (IER).....	56
2.1.2.15	Beschreibung des Siedlungstyps 10b – Kleine öffentliche Sonderbauten (IER).....	58
2.1.2.16	Beschreibung des Siedlungstyps 11a – Industriebauten (mit Produktion) (IER) .....	60
2.1.2.17	Beschreibung des Siedlungstyps 11b – Gewerbliche Sonderbauten/ Dienstleistungsbauten (IER) .....	62

2.1.2.18	Beschreibung des Siedlungstyps 12 – Sonstige Versorgungsgebiete und -gelände (IER).....	64
2.1.3	Zusammenfassung der Eigenschaften der Siedlungstypen (IER).....	66
2.1.4	Vernetzung der Siedlungstypen (IER).....	70
2.1.5	Exemplarischer Einsatz regenerativer Energien im Bereich der Siedlungs-KWK (UMSICHT) .....	71
2.2	Objektversorgung (BEI).....	74
2.3	Industrieobjekte (ISI).....	74
2.3.1	Allgemeine Beschreibung (ISI).....	74
2.3.2	Beispiel Papierindustrie (ISI).....	78
<b>3</b>	<b>Energieeinsparung durch verstärkte Wärmedämmung (Vortext IER) ..</b>	<b>82</b>
3.1	Einsparpotentiale im Siedlungsbereich (IER).....	82
3.1.1	Wärmedämmung an typischen Gebäudetypen (FFE*/IER).....	82
3.1.2	Wärmebedarfs- und Verbrauchsentwicklung in den Siedlungstypen (IER)	86
3.2	Einsparpotentiale bei der kommunalen Objektversorgung (BEI).....	87
<b>4</b>	<b>Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten.....</b>	<b>90</b>
4.1	Siedlungsbereich (IER) .....	90
4.2	Objektversorgung (BEI).....	108
4.3	Industrieobjekt (ISI).....	124
<b>5</b>	<b>Bewertung der verschiedenen Versorgungsvarianten (Vortext IER) .</b>	<b>132</b>
5.1	Siedlungsbereich (IER) .....	133
5.2	Objektversorgung (BEI).....	135
5.3	Industrieobjekt (ISI).....	135
5.4	Zusammenfassung (IER) .....	135
<b>6</b>	<b>Rückwirkungen der verstärkten KWK-Stromerzeugung auf das Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland (IER) .....</b>	<b>140</b>

## **B. Grundlagen der gebäudescharfen Modellierung von Siedlungsstrukturen – Weiterentwicklung von Energiesystemmodellen**

<b>7</b>	<b>Grundlagen der gebäudescharfen Modellierung in Energiesystemmodellen und Stadtmodellen (Vortext IER) .....</b>	<b>147</b>
7.1	Anforderungen an die Modellierung der Nah- und Fernwärmeversorgung (IER).....	147
7.2	Erfassung des räumlich verteilten Wärmemarktes für die Modellierung (IER) .....	149
7.2.1	Modifizierte Siedlungstypmethode (IER).....	150

\* Berechnung durch FFE

7.2.2	Laser-Photogrammetrie (BEI) .....	153
7.2.2.1	Zur Ermittlung der Basisinformationen mit Hilfe von Laser-Photogrammetrie (BEI) .....	154
7.2.2.2	Auswertungsroutinen zur Erfassung von Gebäudekörpern und –konstellationen (BEI) .....	155
7.3	Regionalisierung im Energiesystem-Flächenmodell (IER) .....	164
7.4	Räumlich hoch aufgelöste Modellierung im Stadtmodell (IER) .....	170





## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Siedlungstyp 0 – Freistehende Gebäude .....	31
Abbildung 2-2:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 0 – Freistehende Gebäude .....	31
Abbildung 2-3:	Siedlungstyp 1 – Lockere offene Bebauung .....	33
Abbildung 2-4:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 1 – Lockere offene Bebauung..	33
Abbildung 2-5:	Siedlungstyp 2 – Ein- und Zweifamilienhaussiedlung.....	35
Abbildung 2-6:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 2 – Ein- und Zweifamilien- haussiedlung .....	35
Abbildung 2-7:	Siedlungstyp 3a – Städtischer Dorfkern .....	37
Abbildung 2-8:	Siedlungstyp 3b – Ländlicher Dorfkern.....	39
Abbildung 2-9:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 3b – Ländlicher Dorfkern .....	39
Abbildung 2-10:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 4 – Reihenhäuser .....	41
Abbildung 2-11:	Siedlungstyp 4 – Reihenhäuser.....	41
Abbildung 2-12:	Siedlungstyp 5a – Kleine Mehrfamilienhäuser.....	43
Abbildung 2-13:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 5a – Kleine Mehrfamilien- häuser .....	43
Abbildung 2-14:	Siedlungstyp 5b – Kleinere und mittelgroße Mehrfamilien- häuser .....	45
Abbildung 2-15:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 5b – Kleinere und mittel- große Mehrfamilienhäuser.....	45
Abbildung 2-16:	Siedlungstyp 6 – Hochhäuser und große Zeilenbauten.....	47
Abbildung 2-17:	Kartenausschnitt Siedlungstyp 6 – Hochhäuser und große Zeilenbauten.....	47
Abbildung 2-18:	Siedlungstyp 7a – Lockere Blockbebauung.....	49
Abbildung 2-19:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 7a – Lockere Blockbe- bauung .....	49
Abbildung 2-20:	Siedlungstyp 7b – Dichte Blockbebauung .....	51
Abbildung 2-21:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 7b – Dichte Blockbebauung.....	51
Abbildung 2-22:	Siedlungstyp 8 – Citybebauung .....	53
Abbildung 2-23:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 8 – Citybebauung .....	53
Abbildung 2-24:	Siedlungstyp 9 – Historische Altstadt .....	55
Abbildung 2-25:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 9 – Historische Altstadt.....	55
Abbildung 2-26:	Siedlungstyp 10a – Große öffentliche Sonderbauten .....	57
Abbildung 2-27:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 10a – Große öffentliche Sonderbauten .....	57
Abbildung 2-28:	Siedlungstyp 10b – Kleine öffentliche Sonderbauten .....	59
Abbildung 2-29:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 10b – Kleine öffentliche Sonderbauten.....	59
Abbildung 2-30:	Siedlungstyp 11a – Industriebauten .....	61
Abbildung 2-31:	Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 11a – Industriebauten .....	61

Abbildung 2-32: Siedlungstyp 11b – Gewerbe- und Dienstleistungsbauten .....	63
Abbildung 2-33: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 11b – Gewerbe- und Dienstleistungsbauten .....	63
Abbildung 2-34: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 12 – Sonstige Versorgungsgebiete und –gelände .....	65
Abbildung 2-35: Siedlungstyp 12 – Sonstige Versorgungsgebiete und –gelände .....	65
Abbildung 2-36: Aufteilung der Stadt Stuttgart nach Siedlungstypen .....	70
Abbildung 2-37: Absoluter Anteil der fernwärmeversorgten Fläche an der Gesamtfläche des jeweiligen Siedlungstypes.....	71
Abbildung 2-38: Geothermische Anlagen mit einer Leistung zwischen 0,1 und 20 MW <sub>th</sub> in Deutschland.....	72
Abbildung 2-39: Beispiele solartechnischer Anlagen in Deutschland in Abhängigkeit von der Kollektorfläche.....	73
Abbildung 2-40: Thermische Leistung; ausgewählte Nahwärmenetze mit Nutzung fester Biomasse in Deutschland.....	74
Abbildung 2-41: Temperaturniveau des Wärmebedarfs für unterschiedliche Branchen .....	75
Abbildung 2-42: Jahresganglinie von Strom- und Wärmeverbrauch .....	76
Abbildung 2-43: Wochenganglinie von Strom- und Wärmeverbrauch .....	77
Abbildung 3-1: Wärmehöchstlast- und Wärmeverbrauchsichte für die untersuchten Siedlungstypen ST 2, ST 7a, ST 7b und ST 8 .....	86
Abbildung 4-1: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den verschiedenen Versorgungsvarianten des Siedlungstyps 7a .....	92
Abbildung 4-2: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der verschiedenen Versorgungsvarianten des Siedlungstyps 7a im Fall ungekoppelter Sanierungsvarianten und getr. Stromerzeugungskosten Variante 2 .....	96
Abbildung 4-3: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der verschiedenen Versorgungsvarianten des Siedlungstyps 7a im Fall gekoppelter Sanierungsvarianten und getr. Stromerzeugungskosten Variante 2 .....	97
Abbildung 4-4: Prozentualer CO <sub>2</sub> -Emissionsvergleich der verschiedenen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp ST 2 (Heizöl-Niedertemperaturheizung und Stromerzeugungsmix Deutschland = 100 ) .....	103
Abbildung 4-5: Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen im IST-Zustand ST 2 und ST 8 (Heizöl-Niedertemperaturheizung und Stromerzeugungsmix Deutschland = 100 ) .....	104
Abbildung 4-6: Prozentualer Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen ST 8 (Heizöl-Niedertemperaturheizung und Stromerzeugungsmix Deutschland = 100 ) .....	105
Abbildung 5-1: CO <sub>2</sub> -Minderungskosten der Versorgungsvarianten gegenüber HEL-NT-Heizung Stromerzeugungsmix Deutschland des Siedlungstyps 2 .....	133

Abbildung 5-2:	CO <sub>2</sub> -Minderungskosten der Versorgungsvarianten gegenüber HEL-NT-Heizung Stromerzeugungsmix Deutschland des Siedlungstyps 8 .....	134
Abbildung 6-1:	Differenz der Nettostromerzeugung im Vergleich zum Referenzszenario nach Energieträgern .....	142
Abbildung 6-2:	Primärenergieeinsparung der verschiedenen Szenarien im Vergleich zum Referenzfall.....	142
Abbildung 6-3:	Differenz des Primärenergieverbrauchs der unterschiedlichen Primärenergieträger im Vergleich zum Primärenergieverbrauch im Referenzfall .....	143
Abbildung 6-4:	Vergleich der spezifischen CO <sub>2</sub> -Emissionen der Kondensationsstromerzeugung und der gesamten Stromerzeugung in den verschiedenen Szenarien .....	144
Abbildung 7-1:	Anforderungen der Nah- und Fernwärmeversorgung an die Modellierung.....	148
Abbildung 7-2:	Verknüpfung der Gebäudetypmethode und der Siedlungstypmethode.....	151
Abbildung 7-3:	Basisbausteine der Siedlungstypen.....	152
Abbildung 7-4:	Auswertung eines Mustergebietes mit der Siedlungstypmethode .....	153
Abbildung 7-5:	Veranschaulichung einer extrem unterschiedlichen Siedlungscharakteristik bei gleichem Gebäudevolumen pro Hektar .....	156
Abbildung 7-6:	Identifizierbarkeit von konzentrierten Bebauungen in Abhängigkeit vom Rastermaß.....	157
Abbildung 7-7:	Analyse zur Ermittlung zusammenhängender Gebäudekörper ...	159
Abbildung 7-8:	Betrachtungsrichtungen zur Ermittlung von Nachbargebäudezellen .....	161
Abbildung 7-9:	Ermittlung einer relevanten Siedlungsfläche .....	162
Abbildung 7-10:	Übergang zu einer Darstellung von zusammenhängenden Gebäudegruppen bzw. Siedlungen in Vektoren .....	163
Abbildung 7-11:	Vereinfachte Darstellung der Abbildung der Fern- und Nahwärme in Energiesystemmodellen.....	165
Abbildung 7-12:	Übergang von linearen zusammenhängenden zur baumartigen regionalisierten Struktur in Energiesystemmodellen.....	167
Abbildung 7-13:	Mögliche Vernetzung des Siedlungsgebietes für die Fernwärmeversorgung.....	171
Abbildung 7-14:	Detaillierte gebäudescharfe Analyse eines Siedlungsgebietes ...	172
Abbildung 7-15:	Modellhafter Aufbau von Siedlungsgebieten, bestehend aus mehreren Siedlungstypen.....	173



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1–1:	Technische und ökonomische Daten der gekoppelten und getrennten Erzeugungssysteme .....	20
Tabelle 1–2:	Technische und ökonomische Daten der Gebäudeheizungssysteme (Teil 1) .....	21
Tabelle 1–3:	Technische und ökonomische Daten der Gebäudeheizungssysteme (Teil 2) .....	21
Tabelle 1–4:	Energieträgerpreisentwicklung .....	22
Tabelle 1–5:	Varianten von Sanierungsmaßnahmen .....	23
Tabelle 2–1:	Erweiterte Siedlungstypen .....	26
Tabelle 2–2:	Gebäudematrix für den Jahresheizwärmebedarf pro m <sup>2</sup> Nutzfläche in [kWh/m <sup>2</sup> ] (Stand 1995) .....	28
Tabelle 2–3:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 0 pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	30
Tabelle 2–4:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 1 pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	32
Tabelle 2–5:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 2 pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	34
Tabelle 2–6:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 3a pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	36
Tabelle 2–7:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 3b pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	38
Tabelle 2–8:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 4 pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	40
Tabelle 2–9:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 5a pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	42
Tabelle 2–10:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 5b pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	44
Tabelle 2–11:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 6 pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	46
Tabelle 2–12:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 7a pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	48
Tabelle 2–13:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 7b pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	50
Tabelle 2–14:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 8 pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	52
Tabelle 2–15:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 9 pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	54
Tabelle 2–16:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 10a pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	56
Tabelle 2–17:	Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 10b pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	58

Tabelle 2–18: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 11a pro km <sup>2</sup> Siedlungsfläche .....	60
Tabelle 2–19: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 11b .....	62
Tabelle 2–20: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 12 .....	64
Tabelle 2–21: Charakteristische Merkmale der Siedlungstypen .....	67
Tabelle 2–22: Anteil der Gebäudetypen am Siedlungstyp (Teil 1) .....	68
Tabelle 2–23: Anteil der Gebäudetypen am Siedlungstyp (Teil 2) .....	69
Tabelle 2–24: Energieeinsparpotentiale bei Querschnittstechnologien in industriellen Objekten .....	78
Tabelle 2–25: Energiebedarf und Produktionskennwerte .....	79
Tabelle 2–26: Bestehende Objektversorgung mit KWK .....	80
Tabelle 3–1: Verminderung des spezifischen Heizwärmebedarfs durch wärme- technische Verbesserungsmaßnahmen .....	83
Tabelle 3–2: Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesse- rungsmaßnahme Variante 1 (Fenster austausch) .....	84
Tabelle 3–3: Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesse- rungsmaßnahme Variante 2 (Fenster und Dach) .....	84
Tabelle 3–4: Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesse- rungsmaßnahme Variante 3 (Fenster, Dach und Außenwand) .....	85
Tabelle 3–5: Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesse- rungsmaßnahme Variante 4 (Fenster, Dach, Außenwand und Keller) .....	85
Tabelle 3–6: Wärmeverbrauchsichte für die untersuchten Siedlungstypen in Abhängigkeit der Sanierungsvariante .....	87
Tabelle 3–7: Wärmehöchstlastdichte für die untersuchten Siedlungstypen in Abhängigkeit der Sanierungsvariante .....	87
Tabelle 3–8: Energiebedarf bestimmende Kennwerte der Gebäude (Teil 1) .....	88
Tabelle 3–9: Energiebedarf bestimmende Kennwerte der Gebäude (Teil 2) .....	88
Tabelle 3–10: Kostenabschätzung für Wärmeschutzmaßnahmen .....	89
Tabelle 3–11: Kosten der Wärmeschutzmaßnahmen für das gesamte Schul- zentrum .....	89
Tabelle 3–12: Annahmen zu den Ferienzeiten zur Einschätzung des Jahres- ganges des Wärmebedarfs .....	89
Tabelle 4–1: Wirkungsgrad und spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten getrennten Stromerzeugungssysteme .....	90
Tabelle 4–2: Stromkennzahl und Gleichzeitigkeitsfaktoren der Siedlungstypen ....	91
Tabelle 4–3: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den unter- schiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 7a) .....	93
Tabelle 4–4: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den unter- schiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 2) .....	93
Tabelle 4–5: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den unter- schiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 7b) .....	94
Tabelle 4–6: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den unter- schiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 8) .....	94

Tabelle 4–7:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 2 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	97
Tabelle 4–8:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7a (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	98
Tabelle 4–9:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7b (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	98
Tabelle 4–10:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 8 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	98
Tabelle 4–11:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 2 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	99
Tabelle 4–12:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7a (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	99
Tabelle 4–13:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7b (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	99
Tabelle 4–14:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 8 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	100
Tabelle 4–15:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 2 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	100
Tabelle 4–16:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7a (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	100
Tabelle 4–17:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7b (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	101
Tabelle 4–18:	Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 8 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	101

Tabelle 4–19: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 2 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	101
Tabelle 4–20: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7a (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	102
Tabelle 4–21: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7b (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	102
Tabelle 4–22: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 8 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100) .....	102
Tabelle 4–23: Prozentualer Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 2) .....	106
Tabelle 4–24: Prozentualer Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 7a) .....	106
Tabelle 4–25: Prozentualer Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 7b) .....	107
Tabelle 4–26: Prozentualer Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionen bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 8) .....	107
Tabelle 4–27: Primärenergieeinsatz und CO <sub>2</sub> -Emissionen im Rahmen der Versorgungsfälle .....	123
Tabelle 4–28: Primärenergieeinsparung, CO <sub>2</sub> -Minderung und Kosten der CO <sub>2</sub> -Minderung gegenüber der ursprünglichen Situation .....	124
Tabelle 4–29: Alternative Objektversorgung ohne KWK .....	126
Tabelle 4–30: Energiebedarf bei angenommenen Effizienzverbesserungen .....	127
Tabelle 4–31: Objektversorgung mit KWK im Fall "Moderate Effizienzsteigerungen" .....	128
Tabelle 4–32: Alternative Objektversorgung ohne KWK im Fall "Moderate Effizienzsteigerung" .....	129
Tabelle 4–33: Objektversorgung mit KWK im Fall "BVT" .....	130
Tabelle 4–34: Alternative Objektversorgung ohne KWK im Fall "BVT" .....	131
Tabelle 5–1: Verhältnis zwischen Strom- und Wärmenachfrage (< 400°C) 1998 und 2020 /Prognos/Ewi 2000, Geiger 2000/ .....	137
Tabelle 6–1: Zusätzliche KWK-Stromerzeugung in den verschiedenen Szenarien .....	141
Tabelle 7–1: Exemplarische Unterteilung des Bundeslandes Bayern in regionale Fernwärmeversorgungs-klassen 1998 (öffentliche Wärmeversorgung) .....	166
Tabelle 7–2: Exemplarische Unterteilung der Verteilungsnetzkapazitäten der Fernwärmeversorgung Bayerns auf unterschiedliche Regionen und Verteilungskostenklassen (Teil 1) .....	168



Tabelle 7–3: Exemplarische Unterteilung der Verteilungsnetzkapazitäten der Fernwärmeversorgung Bayerns auf unterschiedliche Regionen und Verteilungskostenklassen (Teil 2) .....	169
Tabelle 7–4: Anschlußgrad und -dauer an die Fernwärmeversorgung verschiedener Siedlungsgebiete und Ausbaustrategien /BMFT 1977/, /Winkens 1985/ und /Winkens 1994/ .....	174



## **A. Ökologischer und ökonomischer Vergleich verschiedener CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen anhand unterschiedlicher Versorgungsaufgaben**

### **1 Vorgehensweise und Rahmenbedingungen**

KWK-Anlagen werden meist in Abhängigkeit der Wärmenachfrage betrieben. Das KWK-Potential der Haushalte und Kleinverbraucher kann daher in Abhängigkeit des Raumwärme- und Brauchwarmwasserbedarfs bestimmt werden. Das industrielle KWK-Potential ist zusätzlich abhängig vom Prozeßwärmebedarf mit einer Temperatur unterhalb von 400 °C. Will man die bei der Fern- und Nahwärmeversorgung mit KWK-Anlagen auftretenden CO<sub>2</sub>-Emissionen bewerten, so muß man sie mit dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß vergleichen, der sich ergibt, wenn man die gleichen Strom- und Wärmemengen mit alternativen Erzeugungssystemen in getrennter Strom- und Wärmeerzeugung bereitstellt bzw. teilweise durch Wärmedämmmaßnahmen reduziert.

Ob und in welchem Umfang KWK gegenüber einer getrennten Erzeugung CO<sub>2</sub>-Emissionen vermeiden kann und zu welchen Kosten, hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Die wesentlichen Faktoren sind:

- Das Referenzsystem, mit dem der Vergleich durchgeführt wird (ökonomische und ökologische Parameter der Vergleichssysteme).
- Die zeitliche fluktuierende Nachfrage nach Wärme und elektrischer Energie und deren Verhältnis zueinander, d. h. die Versorgungsaufgabe (hierbei sind Nachfrageschwankungen, die zeitlich differierende Nachfrage nach Wärme und elektrischer Energie und mögliche Verteilungsverluste zu berücksichtigen).
- Energieträgerpreisentwicklungen bzw. möglicherweise relevante gesetzliche Vorschriften.
- Annahmen bezüglich der Ohnehin-Entwicklung des Wärmebedarfs und -verbrauchs.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die technischen und ökonomischen Parameter der Vergleichssysteme und die ökonomischen und regulativen Rahmenbedingungen näher beschrieben. Die für die Untersuchung verwendeten Versorgungsaufgaben werden in Kapitel 2 ausführlich erläutert.

#### **1.1 Technische und ökonomische Beschreibung der Vergleichssysteme**

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen eines KWK-Systems mit Spitzenkessel hängen von den Gesamtnutzungsgraden, den Verlusten beim Wärmetransport und der Wärmeverteilung, den Anlagen- und Verteilungsnutzungsgraden der Heizungsanlagen in den Gebäuden sowie insbesondere von den eingesetzten Brennstoffen ab. Für die Berechnung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der getrennten Erzeugung sind die Brennstoffnutzungsgrade der Kondensationsstromerzeugung und die Anlagen- und Verteilungsnutzungsgrade des dezentralen Gebäudeheizungssystems zu berücksichtigen. Die wichtigsten technischen und ökonomischen Parameter der verschiedenen getrennten und gekoppelten Erzeugungssysteme sind in Tabelle 1–1 zusammengefaßt. Tabelle 1–2 und Tabelle 1–3 enthalten die entsprechenden Daten für die Heizungssysteme. Für die Verteilungsverluste der Fern- bzw. Nahwärme wurden 10 % bzw. 8,5 % zugrunde gelegt.

Variante		BHKW Erdgas 2*1 MW	GuD-HKW 100 MW	GuD- HKW 200 MW	Kohle- HKW 200 MW
Nutzungsdauer	[a]	16	20	20	25
Variable Betriebskosten	[DM/MWh]	15	10	10	2,5
Fixe Betriebskosten	[DM/(kW a)]	39,0	55,00	41,25	131,25
el. Wirkungsgrad		39%	45%	45%	35%
therm. Wirkungsgrad		50%	45%	45%	50%
Stromkennziffer (Strom/Wärme)		0,78	1,00	1,00	0,70
Spezifische Investition	[DM/kW <sub>el</sub> ]	1500	1200	1050	2500
Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen	[kg/MWh]	226,5	224,0	224,0	389,4

Tabelle 1–1: Technische und ökonomische Daten der gekoppelten und getrennten Erzeugungssysteme

Die Berechnung des Endenergiebedarfs der einzelnen Gebäudetypen wurde für vier Heizungssysteme durchgeführt. Die Auswahl der Heizungssysteme wurde in Hinblick auf die Berechnung verschiedener Szenarien getroffen. Zum einen soll der derzeitige Bestand an Zentralheizungssystemen wiedergegeben werden, zum anderen soll eine zukünftige Entwicklung mit optimierter Wärmeversorgung betrachtet werden können. Gleichzeitig wurde versucht, die Anzahl der zu berechnenden Varianten möglichst gering zu halten.

Der Vergleich der derzeit unter dem Gesichtspunkt der CO<sub>2</sub>-Einsparung am günstigsten erscheinenden Heizungssysteme, einem Gas-Brennwertkessel und einer Versorgung mit Fernwärme, soll miteinbezogen werden. Aus den in der IKARUS-Technikdatenbank abgelegten Wärmeerzeugern wurden solche ausgewählt, die den derzeitigen Bestand gut repräsentieren bzw. deren Verwendung zukünftig wahrscheinlich sein wird. Je nach Gebäude wurden Wärmeerzeuger der kleinen oder der großen Leistungsklasse eingesetzt.

Das mittlere Alter der Wärmeerzeuger im Bestand liegt zwischen 10 und 15 Jahren, so daß zur Darstellung des Bestandes im Jahr 2000 Wärmeerzeuger des Jahres 1989 ausgewählt wurden, zur Darstellung der zukünftigen Entwicklung bis 2020 Wärmeerzeuger des Technikstandes von 2005.

Im einzelnen wurden folgende Wärmeerzeuger für die Berechnung verwendet:

- Öl-Niedertemperaturkessel
- Fernwärme-Hausstation mit indirekter Wärmeübergabe
- Erdgas-Brennwertkessel
- Sole/Wasser-Wärmepumpe /Leven 2001/

Variante		EG-Brennwertkessel			Fernwärmekompa- ktionstation		
		EFH	KMH	GMH	EFH	KMH	GMH
Thermische Leistung	[kW]	12	38,4	60	12	38,4	60
Variable Betriebskosten	[DM/MWh]	2,19	2,14	2,05	2,19	1,86	1,75
Fixe Betriebskosten	[DM/(kW a)]	34,4	18,3	15,4	13,7	12,7	8,5
Jahresnutzungsgrad		97,02	96,66	96,66	96,04	94,08	94,08
Spez. Investition	[DM/kW]	840	427	395	487	248	227
Spez. CO <sub>2</sub> -Emissionen	[kg/MWh <sub>out</sub> ]	204,6	205,5	205,5	-	-	-

Tabelle 1–2: Technische und ökonomische Daten der Gebäudeheizungssysteme (Teil 1)

Variante		Öl-Nieder- temperaturkessel			Sole-/Wasser- Wärmepumpe		
		EFH	KMH	GMH	EFH	KMH	GMH
Thermische Leistung	[kW]	12	38,4	60	12	38,4	60
Variable Betriebskosten	[DM/ MWh]	4,39	2,69	2,63	0	0	0
Fixe Betriebskosten	[DM/(kW a)]	44,42	22,45	19,02	42,4	20,3	18,0
Jahresnutzungsgrad		90	88	88	330	330	330
Spez. Investition	[DM/kW]	816	423	351	870	465	400
Spez. CO <sub>2</sub> -Emissionen	[kg/MWh <sub>out</sub> ]	295,6	302,3	302,3	A)	A)	A)

A) Abhängig vom spez. CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor der Stromerzeugung

Tabelle 1–3: Technische und ökonomische Daten der Gebäudeheizungssysteme (Teil 2)

## 1.2 Ökonomische und regulative Rahmenbedingungen

### 1.2.1 Energieträgerpreisentwicklung

Die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Energieerzeugungssysteme wird maßgeblich durch die Energieträgerpreisentwicklung beeinflusst. Da es sich bei Fernwärme- und Nahwärmeversorgungssystemen um kapitalintensive Techniken handelt, wird eine dynamische Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt. Die hierfür verwendeten prognostizierten Energieträgerpreisentwicklungen können der Tabelle 1–4 entnommen werden.

		Statistik	Prognose						
		1999	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Steinkohle küstenfern</b>	Pf <sub>98</sub> /kWh	0,96	1,05	1,06	1,06	1,10	1,15	1,19	1,23
<b>Erdgas Kraftwerk (H<sub>0</sub>)</b>	Pf <sub>98</sub> /kWh	1,95	2,43	2,46	2,55	2,72	2,92	3,03	3,15
<b>Erdgas Industrie (H<sub>0</sub>)</b>	Pf <sub>98</sub> /kWh	2,64	3,65	3,16	3,24	3,38	3,52	3,64	3,76
<b>Erdgas Haushalte (H<sub>0</sub>)</b>	Pf <sub>98</sub> /kWh	5,30	8,38	7,05	7,22	7,47	7,96	8,16	8,37
<b>HEL Haushalte</b>	DM <sub>98</sub> /100 l	50,28	75,76	59,39	61,19	62,90	64,67	66,84	69,10

Tabelle 1–4: Energieträgerpreisentwicklung

### 1.2.2 Energieeinsparverordnung 2000

Die mit Sanierungsmaßnahmen verbundene mögliche Energieeinsparung und deren Kosten bzw. die spezifischen Energieeinsparkosten hängen stark vom Sanierungsstandard und der Kombination der unterschiedlichen Maßnahmen ab. In aktuellen und zukünftigen Diskussionen spielt die Energieeinsparverordnung 2000 (EnEV)<sup>1</sup> eine wichtige Rolle.

In der zukünftigen Energieeinsparverordnung werden die energetischen Vorgaben für den baulichen (bisher Wärmeschutzverordnung) und den anlagentechnischen (bisher Heizungsanlagenverordnung) Teil eines Gebäudes zusammengeführt.

Diese münden in der Festlegung eines zulässigen spezifischen Maximal-Jahres-**Primärenergie**bedarfs und der Begrenzung der zulässigen spezifischen Transmissionswärmeverluste, die beide abhängig von dem sogenannten "A/V<sub>e</sub>-Verhältnis" sind. Bisher wird in der Wärmeschutzverordnung der zulässige "Jahres-Heizwärmebedarf" definiert.

Sowohl in der Wärmeschutzverordnung als auch in der EnEV gelten die Grenzwerte des zulässigen Heizwärme- bzw. Primärenergiebedarfs für neu zu errichtende Gebäude. Der Gebäudebestand ist von diesen Vorgaben nicht betroffen. Die Auswirkungen der EnEV auf den Energieverbrauch im Gebäudebestand sind daher von geringerer Bedeutung. Gleichwohl sind bestehende Gebäude im dritten Abschnitt der EnEV berücksichtigt, mit dem Ziel, das vorhandene Einsparpotential mit möglichst geringem Kostenaufwand zu mobilisieren, nämlich dann, wenn sowieso eine bauliche Veränderung des Gebäudes ansteht. § 8 der EnEV schreibt vor, daß, soweit Änderungen durch bauliche Maßnahmen am Gebäude durchgeführt werden, beispielsweise durch Fensteraustausch oder Ersetzen der Dachhaut, die Baumaßnahmen soweit erweitert werden müssen, daß das betroffene neue Bauteil die zugehörigen festgelegten Wärmedurchgangskoeffizienten nicht überschreitet.

§ 8 gilt nicht, wenn nur geringfügige Maßnahmen, beispielsweise Erneuerung des Anstrichs der Außenwand, durchgeführt werden oder, falls von der Maßnahme weniger als 20 % der Bauteilfläche gleicher Orientierung betroffen sind.

<sup>1</sup> Grundlage der hier dargelegten Diskussion ist die am 07.03.2001 von der Bundesregierung verabschiedete Fassung der Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (EnEV).

Wie groß der zukünftige Anteil des Gebäudebestands ist, an dem die Sanierungsmaßnahmen gemäß § 8 durchgeführt werden, kann nicht gesagt werden, da hier viele unbekannte Faktoren eine Rolle spielen. Beispielsweise erfolgen im Bereich der selbstgenutzten Ein- und Zweifamilienhäuser bauliche Sanierungsmaßnahmen selten im Rahmen des eigentlich erforderlichen Sanierungszyklus. Umbaumaßnahmen werden oft im Rahmen eines Neuerwerbs von Gebäuden oder auch im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit von Geldmitteln (beispielsweise Erbschaft oder Auszahlung eines Bausparvertrags) durchgeführt. Aber auch für Gebäude mit Mietwohnungen gibt es kaum verlässliche Zahlen über die Anzahl und den Umfang der Sanierungstätigkeit. Zudem kann sich die EnEV durch die neuen Anforderungen und den damit verbundenen höheren Kosten insofern auswirken, als daß anstehende Baumaßnahmen hinausgeschoben werden. Andererseits werden sich geplante Förderprogramme verstärkend auf die Sanierungstätigkeit auswirken.

Zeitliche Vorgaben für die wärmetechnische Verbesserung bestehender Gebäude sind nach § 9 der EnEV ("Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden") vorgesehen. Darin wird festgelegt, daß bis zum 31.12.2005 zum einen Heizkessel, die vor dem 1. Oktober 1978 eingebaut wurden, außer Betrieb genommen werden müssen, ungedämmte zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen zu dämmen sind und zudem ungedämmte, nicht begehbare aber zugängliche oberste Geschoßdecken beheizter Räume so zu dämmen sind, daß der Wärmedurchgangskoeffizient den Wert  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  nicht überschreitet. Wieviele Gebäude hiervon betroffen sind, läßt sich ebenfalls schwer abschätzen.

Ausgehend von § 8 lassen sich dennoch mögliche realistische Sanierungsmaßnahmen am Gebäude definieren (vgl. Tabelle 1–5).

Variante 1	Fensteraustausch mit Wärmeschutzverglasung ( $U_W = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ )
Variante 2	Fensteraustausch mit Wärmeschutzverglasung ( $U_W = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ), zzgl. Dachdämmung (12 cm)
Variante 3	Fensteraustausch mit Wärmeschutzverglasung ( $U_W = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ), zzgl. Dachdämmung (12 cm) und Dämmung der Außenwand (12 cm)
Variante 4	Fensteraustausch mit Dreifachverglasung ( $k_W = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ), zzgl. Dachdämmung (12 cm), Dämmung der Außenwand (12 cm) und Dämmung der Kellerdeckenunterseite (8 cm)

Tabelle 1–5: Varianten von Sanierungsmaßnahmen

Die Maßnahmen sind so festgelegt, daß die Bauteile jeweils die Mindestanforderungen an den zugehörigen Wärmedurchgangskoeffizienten erfüllen, i. d. R. sogar deutlich darüber hinausgehen. Darüber hinaus ist angesetzt, daß jeweils 100 % der betroffenen Bauteilfläche wärmetechnisch verbessert werden. Die Maßnahmekombinationen entsprechen der i. d. R. eingehaltenen zeitlichen Abfolge und der Häufigkeit der einzelnen durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen.

- **Sanierungsvariante 1** beinhaltet eine einfache Maßnahme: Fensteraustausch mit Wärmeschutzverglasung,  $U_W = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Aus den Vorgaben der EnEV an die neuen einzubauenden Fenster ergibt sich eine Mindestanforderung von

$U_W < 1,7 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ . Es ist jedoch bereits heute Stand der Technik, Fenster mit  $U_W = 1,4 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$  zu verwenden.

- In der **Sanierungsvariante 2** wird neben dem Fensteraustausch auch eine Dachdämmung angesetzt.
- **Sanierungsvariante 3** beschreibt eine nahezu umfassende wärmetechnische Verbesserung der Gebäudehülle entsprechend § 8. Neben den zwei o. g. Maßnahmen wird die gesamte Außenwand wärmetechnisch verbessert.
- **Sanierungsvariante 4** beinhaltet eine wärmetechnische Verbesserung der gesamten Gebäudehülle unter Einhaltung aller nach EnEV geforderten Wärmedurchgangskoeffizienten.



## **2 Definition der Versorgungsaufgaben**

Im folgenden werden die Versorgungsaufgaben definiert. Hierbei wird zwischen exemplarischen Besiedlungsstrukturen, größeren kommunalen Versorgungsobjekten und der Industrierversorgung unterschieden.

### **2.1 Besiedlungsstruktur**

Die räumlich detaillierte Bestimmung des Potentials leitungsgebundener Energieträger und den damit verbundenen Kosten erfordert, daß die Untersuchungen bei Berücksichtigung der geographischen Verteilung gebäudebestandsbezogen (gegenwärtige Ausgangslage = IST-Zustand) und maßnahmenbezogen (im Hinblick auf verschiedene Stufen der energietechnischen Standardanhebung) durchgeführt werden. Die Vielfalt der Siedlungsformen macht eine Vereinfachung und Typisierung notwendig. Hierfür kann eine modifizierte Siedlungstypmethode verwendet werden, da diese die geographischen Gegebenheiten wie Wärmedichten oder Liniendichten der Unterverteilung eines Gebietes erfaßt. Die einzelnen Siedlungstypen sind durch ein städtebauliches Erscheinungsbild und ihre Bauzeit definiert. Die Bauzeit berücksichtigt, daß aufgrund der über die Zeit veränderten baulichen Vorschriften der Wärmebedarf und -verbrauch der Gebäude abnimmt und daß aufgrund sozialer und wirtschaftlicher Aspekte unterschiedliche Siedlungsstrukturen entstanden sind.

#### **2.1.1 Übersicht über die Siedlungstypen**

In /Roth 1980/ wurde erstmals der Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeverteilungssystemen untersucht. Darauf aufbauend wurden in /Winkens 1984/ die Einteilung der Siedlungsstrukturen modifiziert und die Kosten der Wärmeverteilung für verschiedene Siedlungstypen beschrieben. Es wurde nachgewiesen, daß die Wärmeverteilungskosten stark durch die vorliegende Siedlungsstruktur beeinflusst werden. Regional sind diese Siedlungsstrukturen in der Bundesrepublik Deutschland unterschiedlich verteilt. Basierend auf der von /Roth 1980/ angegebenen regionalen Unterteilung und deren anteilige Zusammensetzung aus Siedlungstypen wurden von /Schulz 1995/ erste Hochrechnungen für die Bestimmung des KWK-Potentials in Deutschland durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurden Erweiterungen vorgenommen (vgl. Tabelle 2–1).

Bei den Siedlungstypen ST 0, ST 10a, ST 10b, ST 11a und ST 11b handelt es sich teilweise um Einzelgebäude. Diese werden gezielt nicht in andere Siedlungstypen integriert, um deren prozentuale Häufigkeit und die Korrelation zu anderen benachbarten Siedlungstypen innerhalb einer Stadt herauszuarbeiten. Große Gebiete der Siedlungstypen ST 10a (z. B. Universitätsgelände), ST 11a (z. B. Fabrikgelände) und ST 11b (z. B. Dienstleistungsgebiet) treten jedoch in Groß- und Mittelstädten auf.

<b>Siedlungs- typ</b>	<b>Bezeichnung des Siedlungstyp</b>	<b>Merkmale</b>
ST 0	Freistehende Einzelgebäude	Einzelgebäude oder Gebäudekomplexe in Wald- oder landwirtschaftlicher Nutzfläche bzw. größerer Entfernung zu anderer Bebauung
ST 1 <sup>1)2)</sup>	Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	lockere unregelmäßige Bebauung, vor allem an Stadträndern und langgezogenen Straßendörfern
ST 2 <sup>1)2)</sup>	Einfamilienhäuser- und Doppelhäusersiedlung	Vorortgemeinde, häufig mit dichtem geometrisch angelegten Erschließungsnetz
ST 3a <sup>1)2)</sup>	Städtischer Dorfkern	Dorfkernstruktur ohne Zentrum, die in Mittelstädten oder in Teilorten von Großstädten erhalten sind
ST 3b <sup>1)2)</sup>	Ländlicher Dorfkern	Dorfkern im ländlichen Raum oder in kleinen Eingemeindungen von Städten
ST 4 <sup>1)2)</sup>	Reihenhäuser	Reihenhaussiedlung engmaschig geometrisch erschlossen
ST 5a <sup>1)2)</sup>	Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	kleine Mehrfamilienhäuser, häufig mit dichtem geometrisch angelegten Erschließungsnetz, (entstanden Mitte 1980)
ST 5b	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern	überwiegend mittelgroße Wohnbebauung, relativ geringer Gebäudeabstand, Erschließungsnetz relativ grobmaschig
ST 6 <sup>1)2)</sup>	Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern	große Mehrfamilienhäuser/Hochhäuser, gekennzeichnet durch große Gebäudeabstände
ST 7a <sup>1)2)</sup>	Blockbebauung niedriger Dichte	meist nur in Großstädten, oft Stadtrandbebauung, regelmäßiges Straßennetz
ST 7b <sup>1)2)</sup>	Blockbebauung hoher Dichte	meist nur in Großstädten, oft Stadtrandbebauung, regelmäßiges Straßennetz mit überbauten Innenhöfen
ST 8 <sup>1)2)</sup>	Citybebauung	Citybebauung, meist aus der Zeit der Jahrhundertwende, mit überbauten Innenhöfen
ST 9 <sup>1)2)</sup>	Historische Altstadt	mittelalterlicher Stadtkern, hohe Dichte, geschlossene Bebauung, verwinkelte Straßen
ST 10a <sup>1)2)</sup>	Öffentliche Sonderbauten (groß)	große Einzelbauten, ungewöhnliche Grundrißformen, meistens freistehend, oft in Großstädten (z. B. Krankenhäuser, Universität)
ST 10b	Öffentliche Sonderbauten (klein)	kleinere Einzelbauten (Schulen, Kindergärten, Stadtverwaltung); Grundfläche
ST 11a <sup>1)2)</sup>	Industriebauten	Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen und Prozeßwärmebedarf
ST 11b	Gewerbliche Sonderbauten/ Dienstleistungsbauten	Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen ohne Prozeßwärmebedarf
ST 12	Sonstige Versorgungsgebiete	meist Einzelgebäude in Stadtrandlage mit zugehöriger großer Sonderfläche (z. B. Sportgelände oder Gärtnerei)

<sup>1)</sup> Siedlungstyp vgl. /Winkens 1994/ (identische Numerierung)

<sup>2)</sup> Siedlungstyp vgl. /Roth 1980/ (Numerierung um eins kleiner)

Tabelle 2–1: Erweiterte Siedlungstypen

Die Siedlungstypmethode kann mit der Gebäudetypmethode korreliert werden, indem für jeden Siedlungstyp die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Gebäudetypen bestimmt werden. Zur Abbildung der energierelevanten Kriterien des Gebäudebestandes werden Gebäudetypen (vgl. /Ebel et al. 1990/, /Ebel et al. 1995/ und /Gülec et al. 1994/) gebildet, mit denen die baulich konstruktiven Merkmale des Bestandes an Wohngebäuden insgesamt repräsentativ dargestellt werden können. Ein Gebäudetyp wird durch die Kombination von Bauform des Gebäudes und zugeordneter Baualtersklasse gebildet. Für die Einschätzung des Raumwärmeeinsparpotentials entscheidend sind bei jedem Gebäudetyp die Wärmeverluste durch

- die Außenwand,
- die Fenster,
- die Kellerdecke,
- das Dach bzw. die Dachdecke,

jeweils mit Angabe zur Dimensionierung, zum Material und zur Dämmschicht der Bauteile. Die Gebäudegeometrie, d. h. das Verhältnis zwischen Oberfläche zu Volumen, wird durch die Einteilung der Gebäude in Bauformen berücksichtigt. Hierbei kann zwischen den folgenden Bauformen der Gebäude unterschieden werden:

- Einfamilienhaus oder Doppelhaushälften,
- Reihenhaus,
- kleines Mehrfamilienhaus (bis 6 WE),
- großes Mehrfamilienhaus (bis 12 WE),
- Hochhaus/Blockbau.

Der Gebäudebestand kann des weiteren in Baualtersklassen eingeteilt werden. Die Einteilung der Bauklassen orientiert sich einerseits an den Verfassungs- und Gebietsänderungen, andererseits an den Zeitpunkten, zu denen für den Wohnungsbau wichtige Rahmenrichtlinien (z. B. Inkrafttreten der Wärmeschutzverordnung) wirksam wurden. Hieraus ergeben sich folgende acht Baualtersklassen:

- Die *Baualtersklasse I* entspricht den Gebäuden der Entstehungszeit bis 1918. Im Vergleich zu /Gülec et al. 1994/ wurden die Baualtersklassen „bis 1900“ und „1901-1918“ zusammengefaßt, da es zwischen beiden keine relevanten baukonstruktiven Unterschiede gibt.
- Die *Baualtersklasse II* umfaßt den Entstehungszeitraum 1919-1948.
- Die *Baualtersklasse III* beinhaltet den Entstehungszeitraum 1949-1957. Der 50er Jahre Baustil ist geprägt durch nicht eingehaltene Mindestanforderungen an den Wärmeschutz aus Gründen der Material- und Geldknappheit. Erst 1956 wurde der Wärmeschutz durch die Änderung der DIN 4108 verbessert, da von da an die vorgeschriebene Mauerwandstärke 17,5 cm anstatt 11,5 cm betrug.
- Die *Baualtersklasse IV* reicht von 1958-1968. In den 60er Jahren wurde die Mindestanforderung durch die DIN 4108 teilweise sogar übertroffen.
- Die *Baualtersklasse V* entspricht dem Zeitraum von 1969-1977, dem Anwendungszeitraum der DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, Ausgabe 1969. Die Intention dieser Verordnung war in erster Linie, Bauschäden infolge von Tauwasser, Frostschäden u. ä. zu verhindern und nicht den Wärmebedarf im Sinne einer

Wärmeschutzverordnung zu reduzieren. Vor allem die erste Ölpreiskrise 1973 führte zu einem verbesserten Wärmeschutz bei den Gebäuden.

- Die *Baualtersklasse VI* umspannt den Zeitraum von 1978-1983. Sie ist geprägt durch die Anforderungen der I. Wärmeschutzverordnung von 1977.
- Die *Baualtersklasse 1984-1994* ist durch die II. Wärmeschutzverordnung von 1982 vorgegeben, die zum 01.01.1984 in Kraft getreten ist.
- Die *Baualtersklasse 1995 bis heute* ist geprägt durch die Wärmeschutzverordnung von 1995.

Der Anspruch auf Repräsentativität der Gebäudetypen kann aus der Erfahrung abgeleitet werden, daß zu bestimmten Entstehungszeiten, also bei einheitlichen Baujahrgängen, für bestimmte Bauformen auch weitgehende Übereinstimmungen in der Konstruktionsart, der Dimensionierung der Bauelemente und Materialwahl festzustellen sind.

Aus der Einteilung der Gebäude in Bauvolumen und Baualtersklasse kann eine Gebäudetypenmatrix aufgestellt werden. In Tabelle 2–2 ist diese Gebäudetypenmatrix für den Jahresheizwärmebedarf pro m<sup>2</sup> Nutzfläche exemplarisch dargestellt.

	<b>Einfamilienhaus</b>	<b>Reihendoppelhaus</b>	<b>Kleines Mehrfamilienhaus (bis 6 WE)</b>	<b>Großes Mehrfamilienhaus (bis 12 WE)</b>	<b>Hochhaus/Blockbau</b>
Baujahr					
bis 1918	212,0		180,0	187,1	-
1918-48	204,7	178,3	167,5	184,9	-
1949-57	260,3	212,9	139,3	169,5	-
1958-68	163,5	202,3	190,9	141,2	112,6
1969-78	170,2	191,8	169,1	152,7	117,3
1979-83	165,5	171,4	125,2	115,8	-
1984-94	135,7	129,1	101,4	95,1	-
ab 1995	101,3	89,2	93,7	72,8	

Tabelle 2–2: Gebäudematrix für den Jahresheizwärmebedarf pro m<sup>2</sup> Nutzfläche in [kWh/m<sup>2</sup>] (Stand 1995)

### 2.1.2 Charakterisierung und exemplarische Beispiele für die Siedlungstypen

Für die Charakterisierung der Siedlungstypen wurden Eigenschaften von Gebäuden, Gebäudedichte und Straßenverlauf bestimmt. Hierfür wurden die folgenden Eigenschaften verwendet:

- Gebäudetyp:  
Die Einteilung der Gebäudetypen erfolgt in Anlehnung an die Gebäudetypologie von IWU bzw. IKARUS.

- **Baualter:**  
Das Baualter legt den Erbauungszeitraum der Gebäude fest. Mit Hilfe des Gebäudetyps und des Baualters kann der spezifische Wärmebedarf abgeschätzt werden.
- **Gebäudegrundfläche:**  
Entspricht der Bandbreite zwischen minimaler und maximaler Gebäudegrundfläche.
- **Ø Grundfläche:**  
Durchschnittliche Gebäudegrundfläche
- **Anzahl der Gebäude:**  
Anzahl der Gebäude im Siedlungsgebiet bezogen auf 1 km<sup>2</sup> Siedlungsfläche.
- **Abstand zwischen Gebäude und Straße:**  
Der Abstand entspricht dem Abstand zwischen Straßenrand, d. h. Gehwegkante, und Gebäude (= Breite des Gehwegs + Grünstreifen + Abstand Grundstücksgrenze/Gebäude (Breite des Vorgartens)).
- **Ø Abstand zwischen Gebäude und Straße:**
- **Statistisch gemittelter Abstand zwischen Gebäude und Straße**
- **Abstand zwischen parallelen Straßen:**  
Der Abstand zwischen parallelen Straßen kann nur bei weitgehend geometrischem (rechteckigem) Straßenverlauf innerhalb des Siedlungstyps bestimmt werden. Der Abstand zwischen parallelen Straßen entspricht der Seite mit dem kürzeren Abstand bei rechteckigem Straßenverlauf.
- **Ø Abstand zwischen parallelen Straßen:**  
Entspricht dem durchschnittlichen Abstand zwischen zwei parallelen Straßen.
- **Abstand zwischen Kreuzungen:**  
Der Abstand zwischen Kreuzungen entspricht der Seite mit dem längeren Abstand bei rechteckigem Straßenverlauf.
- **Ø Abstand zwischen Kreuzungen:**  
Entspricht dem durchschnittlichen Abstand zwischen zwei Kreuzungen.
- **Gesamtlänge der Straßen:**  
Entspricht der additiven Länge aller Straßenabschnitte innerhalb eines Gebietes, bezogen auf die angegebene Fläche des Siedlungstyps.
- **Anzahl vom Zentrum abgehender Straßen:**  
Eine Straßenkreuzung ist durch vier vom Zentrum abgehende Straßen gekennzeichnet. Bei einem nicht rechteckigen Verlauf können mehrere Straßen (speziell bei Siedlungstyp 3b) vom Zentrum (z. B. Dorfplatz) weglaufen, diese Anzahl wird hierdurch erfaßt.
- **Abstand zwischen Straßenabzweigungen:**  
Ist kein rechteckiger Straßenverlauf im Siedlungsgebiet zu beobachten bzw. existieren nur Sackgassen, die von einer Erschließungsstraße abzweigen, so kann nur der Abstand zwischen zwei Kreuzungen bzw. Straßenabzweigungen bestimmt werden.
- **Ø Abstand zwischen Straßenabzweigungen:**  
Entspricht dem durchschnittlichen Straßenabstand zwischen zwei Kreuzungen.
- **Ø Grundfläche eines Blockes**
- **Ø Anzahl Gebäude pro Block.**

Im folgenden werden die Siedlungstypen anhand der aufgeführten Merkmale beschrieben und ihre Gestalt anhand von Luftbildern und topologischen Grundkarten visualisiert.

### 2.1.2.1 Beschreibung des Siedlungstyps 0 – Freistehende Einzelgebäude

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Bei diesem Siedlungstyp handelt es sich, wie der Name bereits sagt, um freistehende Einzelgebäude. Die Siedlungsfläche der einzelnen Siedlungsgebiete ist daher klein.
- Die Gebäudevielfalt ist bei diesem Siedlungstyp groß, da Einfamilienhäuser, kleine Mehrfamilienhäuser und kleine Sonderbauten (z. B. Gaststätten oder Aussiedlerhöfe) vorkommen.

<b>Gebäudemerkmale</b>	<b>Gebäudetypen</b>	<b>EFH, ZFH, KMH, kleine Sonderbauten</b>
	Baualter	ab 1918
	Gebäudegrundfläche	130 - 250 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	195 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	5
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	4 - 24 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	14 m
<b>Straßenmerkmale</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	-
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	-
	Abstand zwischen Kreuzungen	-
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	-
	Gesamtlänge der Straßen	625 m

Tabelle 2–3: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 0 pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-1: Siedlungstyp 0 – Freistehende Gebäude

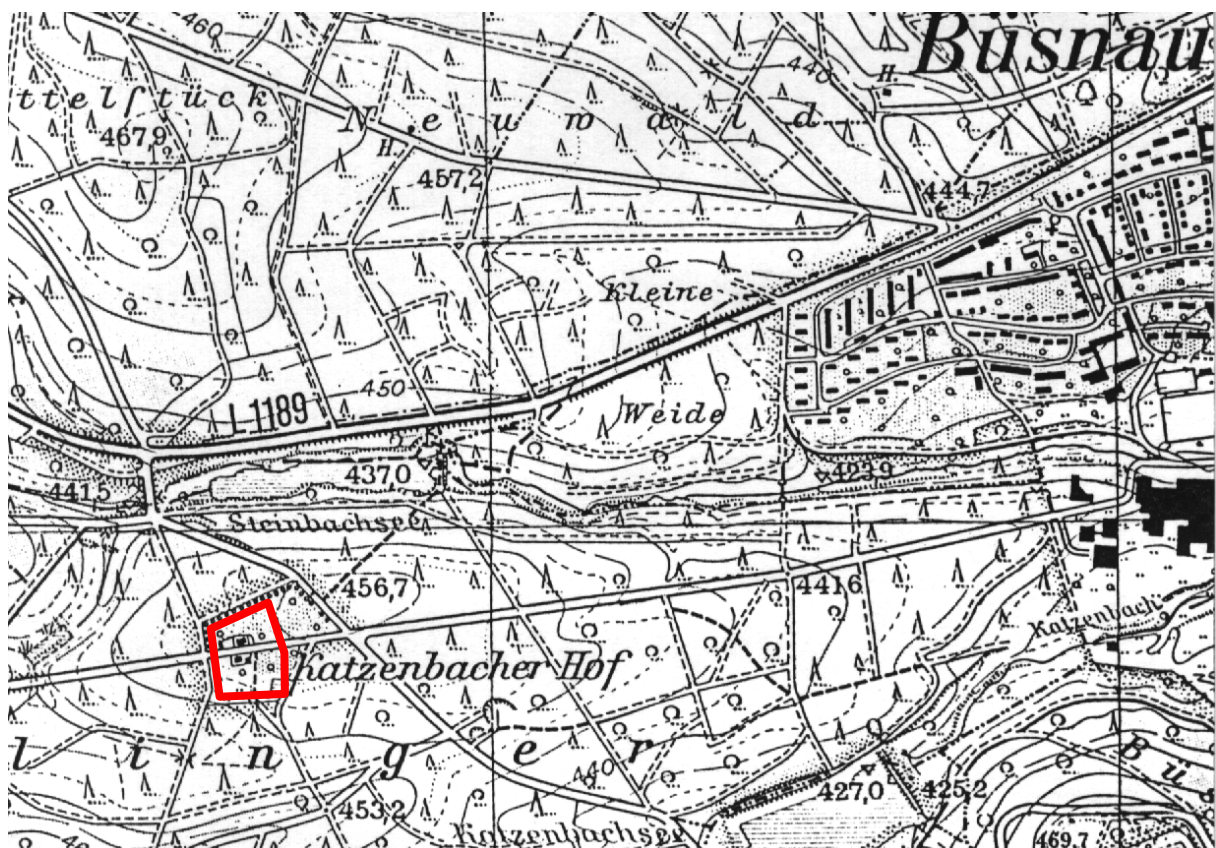


Abbildung 2-2: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 0 – Freistehende Gebäude

## 2.1.2.2 Beschreibung des Siedlungstyps 1 – Lockere offene Bebauung

### Merkmale des Siedlungstyps

- Die locker offene Bebauung, die auch als „Streusiedlungen“ bezeichnet werden kann, ist in Vorortgemeinden meist als Ausläufer von Einfamilienhaussiedlungen zu finden.
- Die unregelmäßige Bebauung wurde in Großstädten teilweise verdichtet durch die Teilung der Grundstücke und den nachträglichen Bau von Einfamilienhäusern.
- Die Wohngebäude sind fast ausschließlich zweigeschossig und größer als in den durchschnittlichen Einfamilienhaussiedlungen. Die Gebäude sind fast alle freistehend bzw. einseitig angebaut an Garagen.

Gebäudefeatures	Gebäudefeatures	EFH, ZFH
Gebäudefeatures	Baualter	ab 1918
	Gebäudegrundfläche	102-255 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	174 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	766
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	4-35
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	17,5 m
	Straßenfeatures	Abstand zwischen parallelen Straßen
Straßenfeatures	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	115 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	99-900 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	352 m
	Gesamtlänge der Straßen	16.931 m

Tabelle 2–4: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 1 pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche





Abbildung 2-3: Siedlungstyp 1 – Lockere offene Bebauung

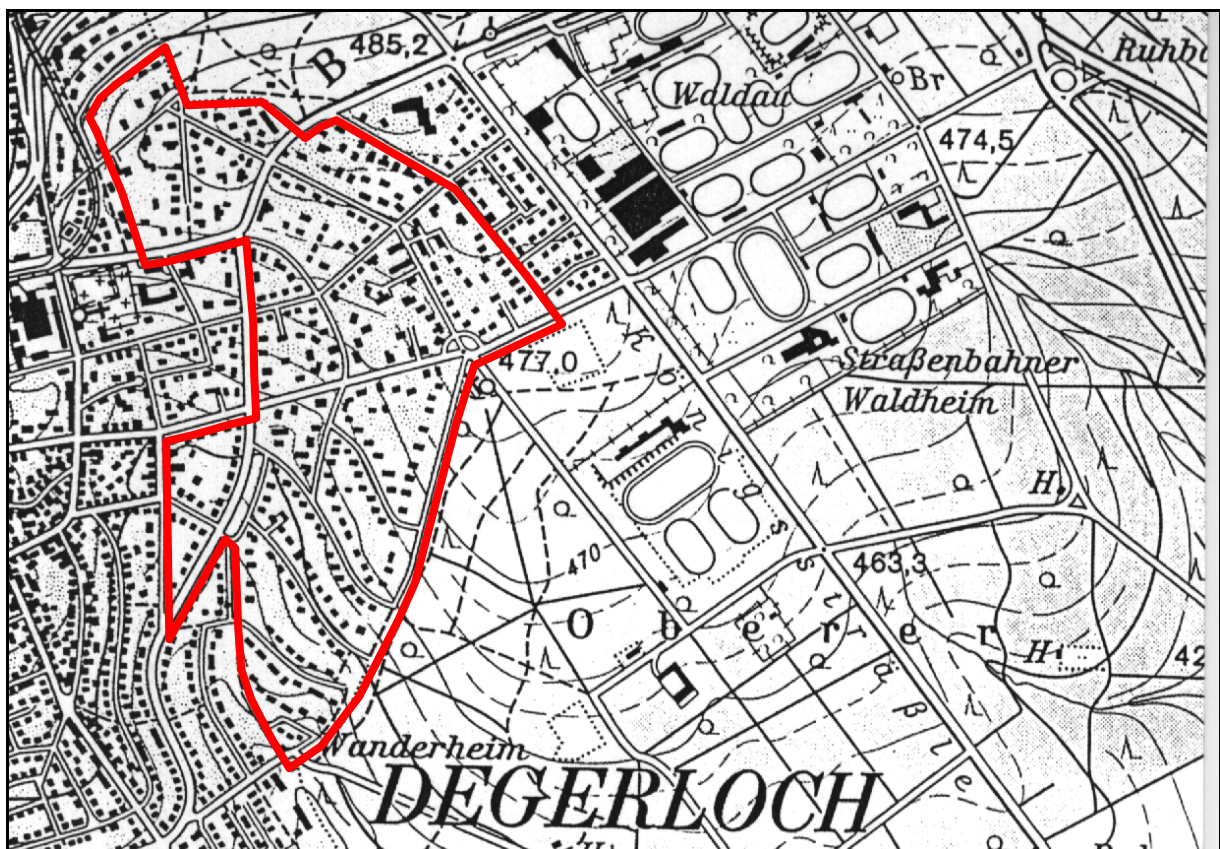


Abbildung 2-4: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 1 – Lockere offene Bebauung

### 2.1.2.3 Beschreibung des Siedlungstyps 2 – Einfamilienhäuser- und Doppelhäusersiedlung

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Die Einfamilienhaussiedlung repräsentiert überwiegend Wohngebiete, die an Stadträndern und in Vorortgemeinden gelegen sind. Der Siedlungstyp ist mit einem dichten, regelmäßigen Straßennetz erschlossen.
- Die Einfamilienhäuser freistehend sind mit 1 ½ bis 2 ½ Geschossen gebaut. Die Bandbreite der Gebäudegröße ist aufgrund der unterschiedlichen Bauzeiten relativ groß. Sie reicht von sehr kleinen Arbeiterwohnhäusern der 30er Jahre bis zu großvolumigen Villen.

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	EFH, ZFH
	Baualter	ab 1932
	Gebäudegrundfläche	79-229 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	136,4 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	1 257
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	2,8-18 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	7,2 m
Straßenmerkmale	Abstand zwischen parallelen Straßen	29-145 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	74,7 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	65-605 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	165,4 m
	Gesamtlänge der Straßen	21.839 m

Tabelle 2–5: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 2 pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-5: Siedlungstyp 2 – Ein- und Zweifamilienhaussiedlung

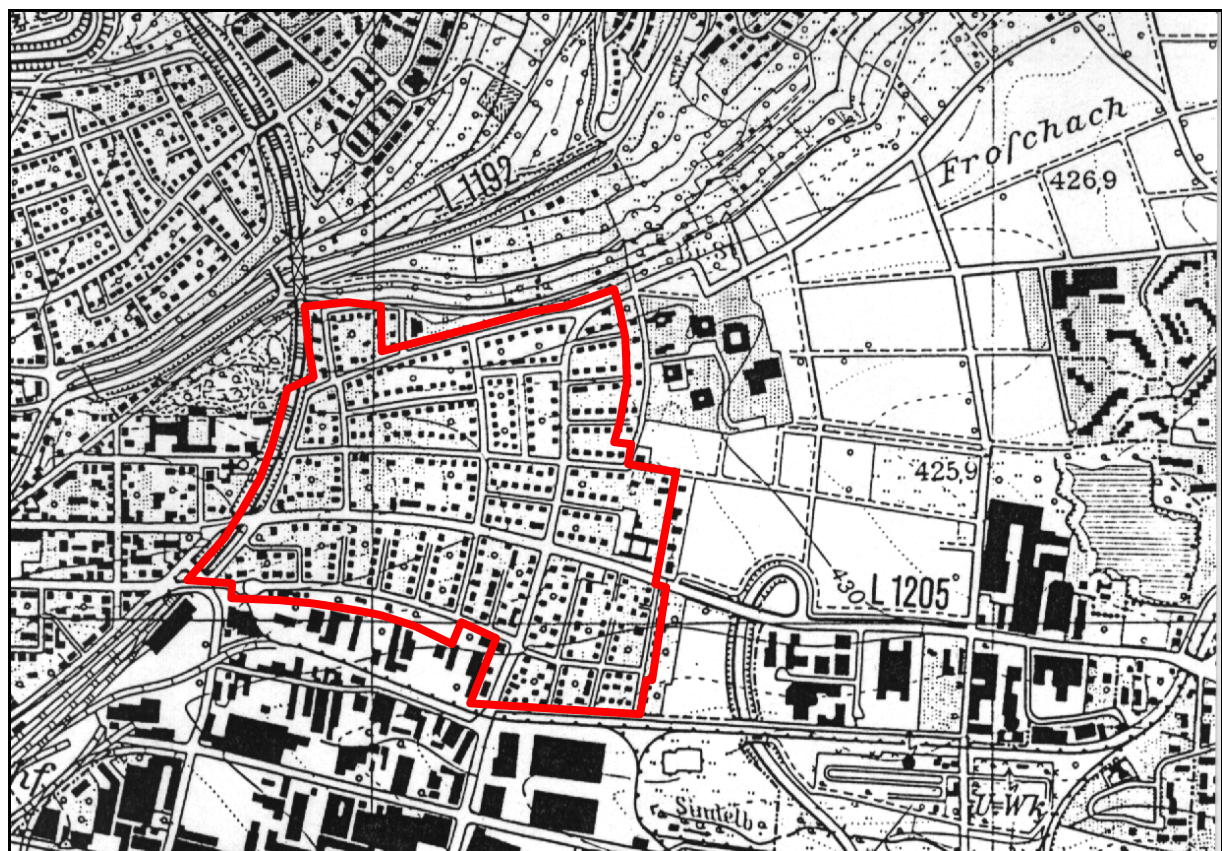


Abbildung 2-6: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 2 – Ein- und Zweifamilienhaussiedlung

## 2.1.2.4 Beschreibung des Siedlungstyps 3a – Städtischer Dorfkern

### Merkmale des Siedlungstyps

- Der Siedlungstyp „städtischer Dorfkern“ befindet sich ausschließlich in Groß- und Mittelstädten. Hierbei handelt es sich um Mischgebiete.
- Im Gegensatz zu Siedlungstyp 3b fehlt der Dorfkern und der Straßenverlauf ist regelmäßig rechteckig. Die Gebäude sind direkt an den Gehweg gebaut.
- Der Siedlungstyp weist eine dichte Bebauung auf. Knapp die Hälfte der Gebäude ist aneinander gebaut.

<b>Gebäudemerkmale</b>	<b>Gebäudetypen</b>	<b>EFH, ZFH, KMH und GMH</b>
	Baualter	ab ca. 1850
	Gebäudegrundfläche	100-480 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	175 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	1 559
	Abstand zw. Gebäude und Straße	1-40 m
	∅ Abstand zw. Gebäude und Straße	3 m
<b>Straßenmerkmale</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	32-118 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	76,6 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	80-192 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	123,9 m
	Gesamtlänge der Straßen	19.998 m

Tabelle 2–6: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 3a pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche

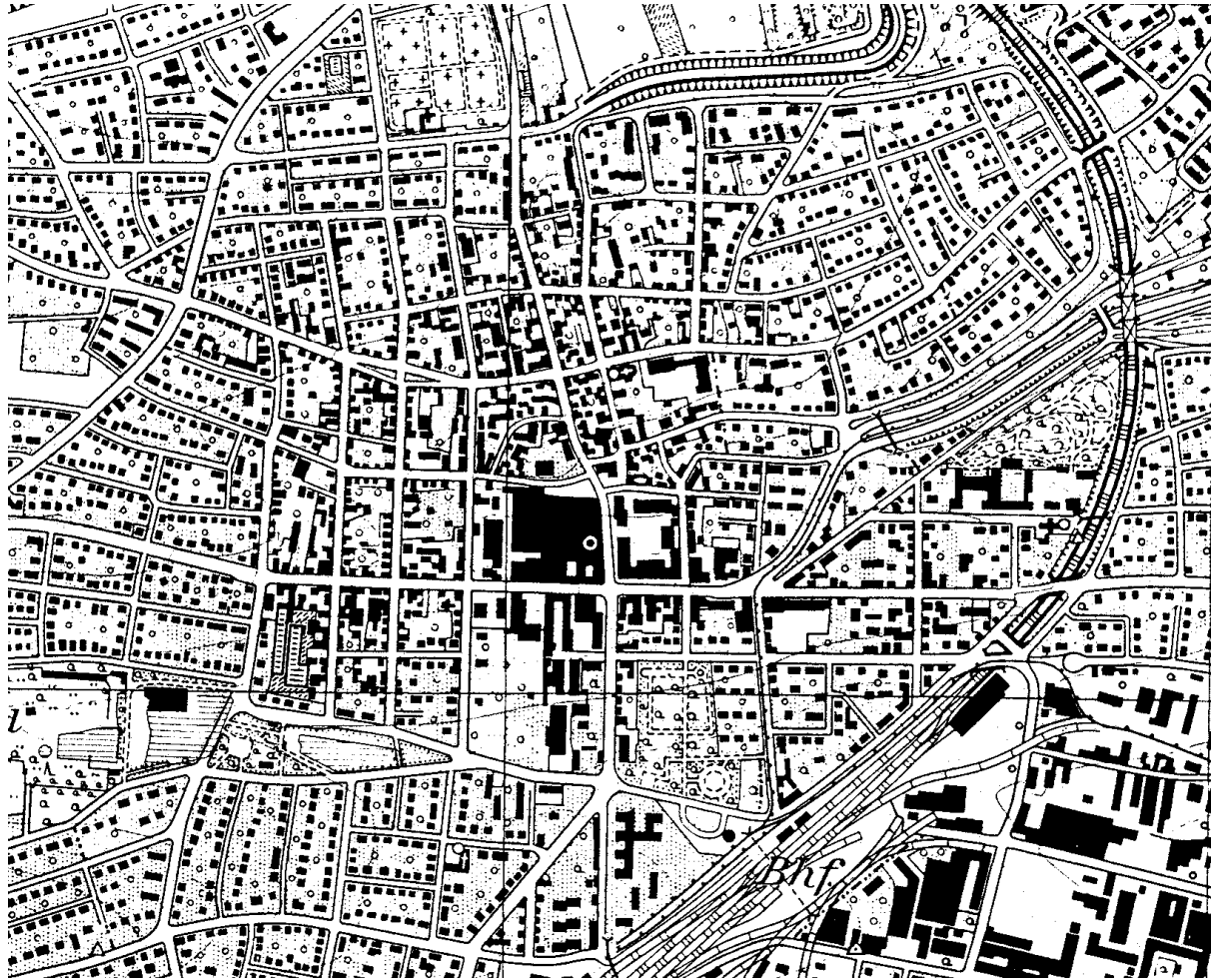


Abbildung 2-7: Siedlungstyp 3a – Städtischer Dorfkern

## 2.1.2.5 Beschreibung des Siedlungstyps 3b – Ländlicher Dorfkern

### Merkmale des Siedlungstyps

- Der Siedlungstyp „ländlicher Dorfkern“ befindet sich ausschließlich in kleinen Eingemeindungen von Großstädten und in ländlichen Dorfgemeinden. Der Siedlungstyp ist durch einen zentralen Platz gekennzeichnet, von dem aus sternförmig die Straßen weglafen. Das Straßennetz ist mehr von topographischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedingungen als von geometrischen Verläufen geprägt. Die Gebäude sind direkt an den Gehweg gebaut.
- Der Siedlungstyp weist eine dichte Bebauung auf. Knapp die Hälfte der Gebäude ist aneinander gebaut. Die Gebäude bestehen teilweise aus Fachwerk- und aus Mauerwerkbauten. Die Wohngebäude sind 1 ½- bis 2geschossig und weisen zu 75 % ein ausgebautes Dachgeschoß auf.

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	EFH, ZFH, KMH und GMH
	Baualter	ab ca. 1850
	Gebäudegrundfläche	100-480 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	175 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	1 555
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	1-20 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	3 m
Straßenmerkmale	Abstand zwischen Kreuzungspunkten	17-451 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungspunkten	79,6 m
	Anzahl vom Zentrum abgehender Straßen	5
	Gesamtlänge der Straßen	19.998 m

Tabelle 2–7: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 3b pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-8: Siedlungstyp 3b – Ländlicher Dorfkern

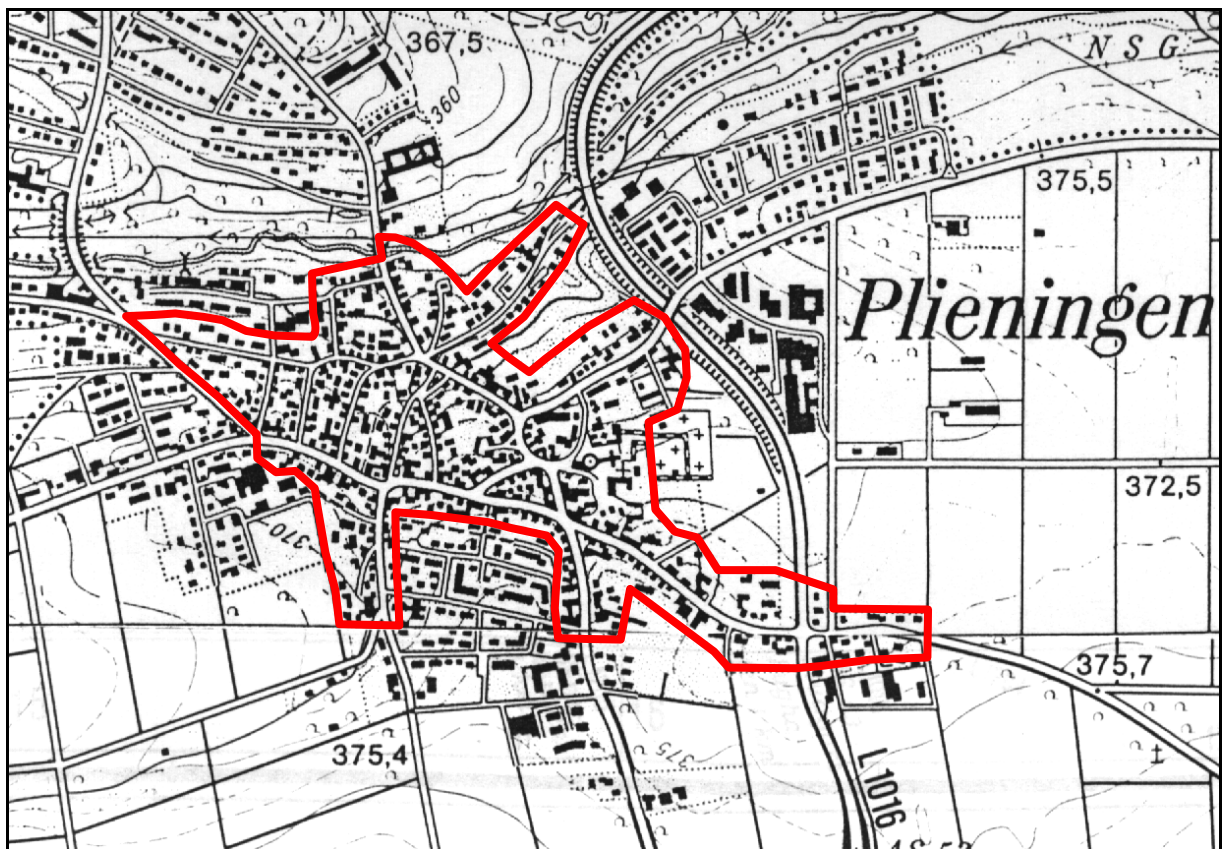


Abbildung 2-9: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 3b – Ländlicher Dorfkern

### 2.1.2.6 Beschreibung des Siedlungstyps 4 – Reihenhäuser

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Der Siedlungstyp „Reihenhäuser“ befindet sich in Vororten und an Stadträndern, meist in Verbindung mit Siedlungstyp 2. Im Siedlungsgebiet befinden sich ausschließlich Reihenhäuser.
- Das Gebiet ist engmaschig geometrisch durch Straßen erschlossen. Die Hauszeilen sind dicht und überwiegend parallel angeordnet.

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	RDH
	Baualter	ab 1970
	Gebäudegrundfläche	80-110 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	90 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	1914
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	3-21 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	8,6 m
Straßenmerkmale	Abstand zwischen parallelen Straßen	38-97 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	62,5 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	49-176 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	101,9 m
	Abstand zw. Kreuzungspunkten	15-115 m
	∅ Abstand zw. Kreuzungspunkten	57,9 m
	Anzahl zusammenhängender Häuser	3-6
	Gesamtlänge der Straßen	30.380 m

Tabelle 2–8: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 4 pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



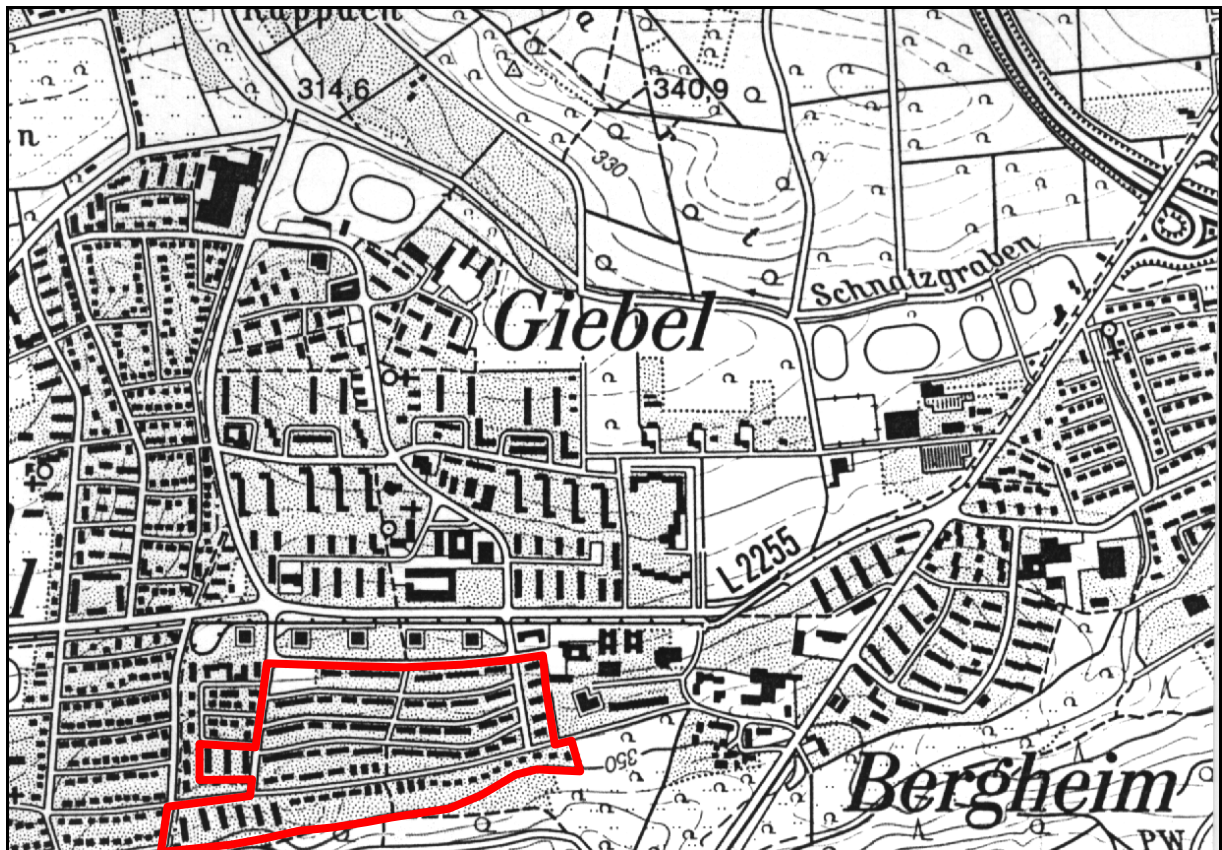


Abbildung 2-10: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 4 – Reihenhäuser

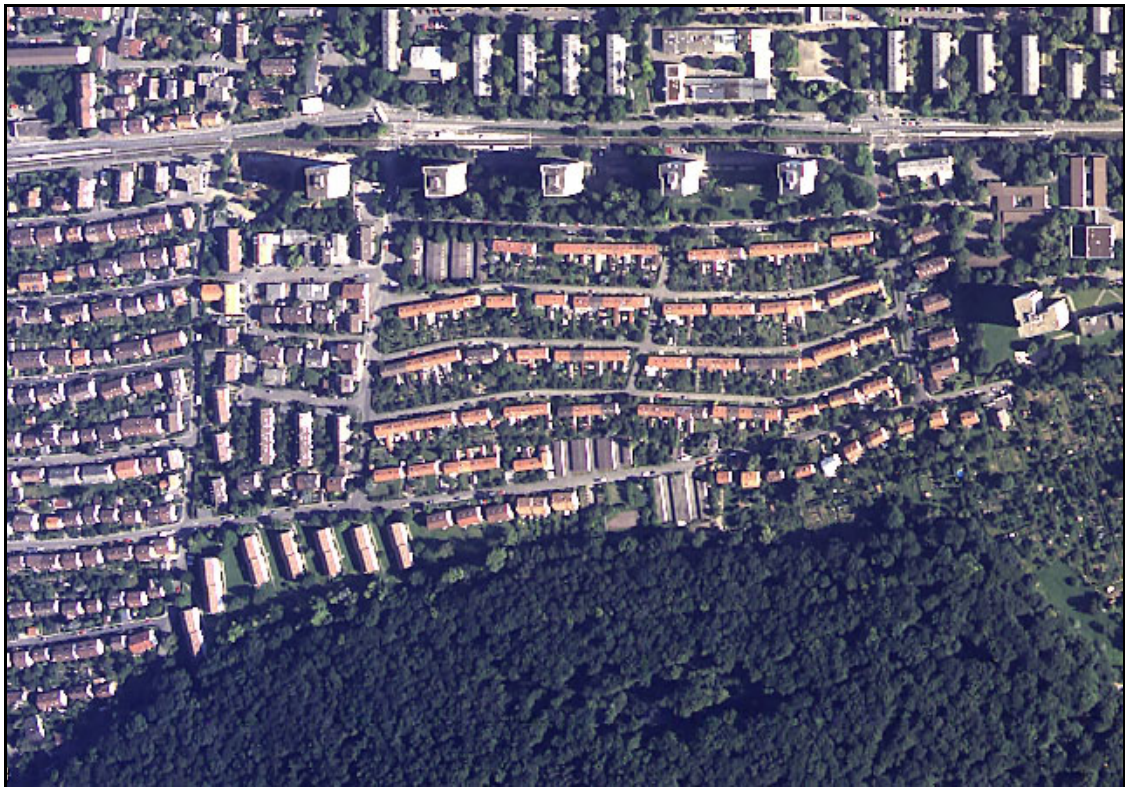


Abbildung 2-11: Siedlungstyp 4 – Reihenhäuser

### 2.1.2.7 Beschreibung des Siedlungstyps 5a – Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Der Siedlungstyp „Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser“ entspricht einem Siedlungstyp, der erst ab Mitte der 80er Jahre entstanden ist. Er besteht beinahe ausschließlich aus kleinen Mehrfamilienhäusern, die mit einem engen geometrischen Netz von Straßen erschlossen sind.
- Die Wohngebäude sind fast ausschließlich 2- bis 3geschoßig, das Dachgeschoß ist vollständig ausgebaut. Die Gebäude sind fast alle freistehend bzw. einseitig angebaut an Garagen.

<b>Gebäudemerkmale</b>	<b>Gebäudetypen</b>	<b>KMH</b>
	Baualter	ab ca. 1980
	Gebäudegrundfläche	130-350 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	224 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	1 524
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	4-15 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	7 m
<b>Straßenmerkmale</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	27-98 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	87,5 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	70-261 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	130,8 m
	Abstand zwischen Straßenabzweigungen	14-158 m
	∅ Abstand zwischen Straßenabzweigungen	84 m
	Gesamtlänge der Straßen	27.564 m

Tabelle 2–9: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 5a pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-12: Siedlungstyp 5a – Kleine Mehrfamilienhäuser

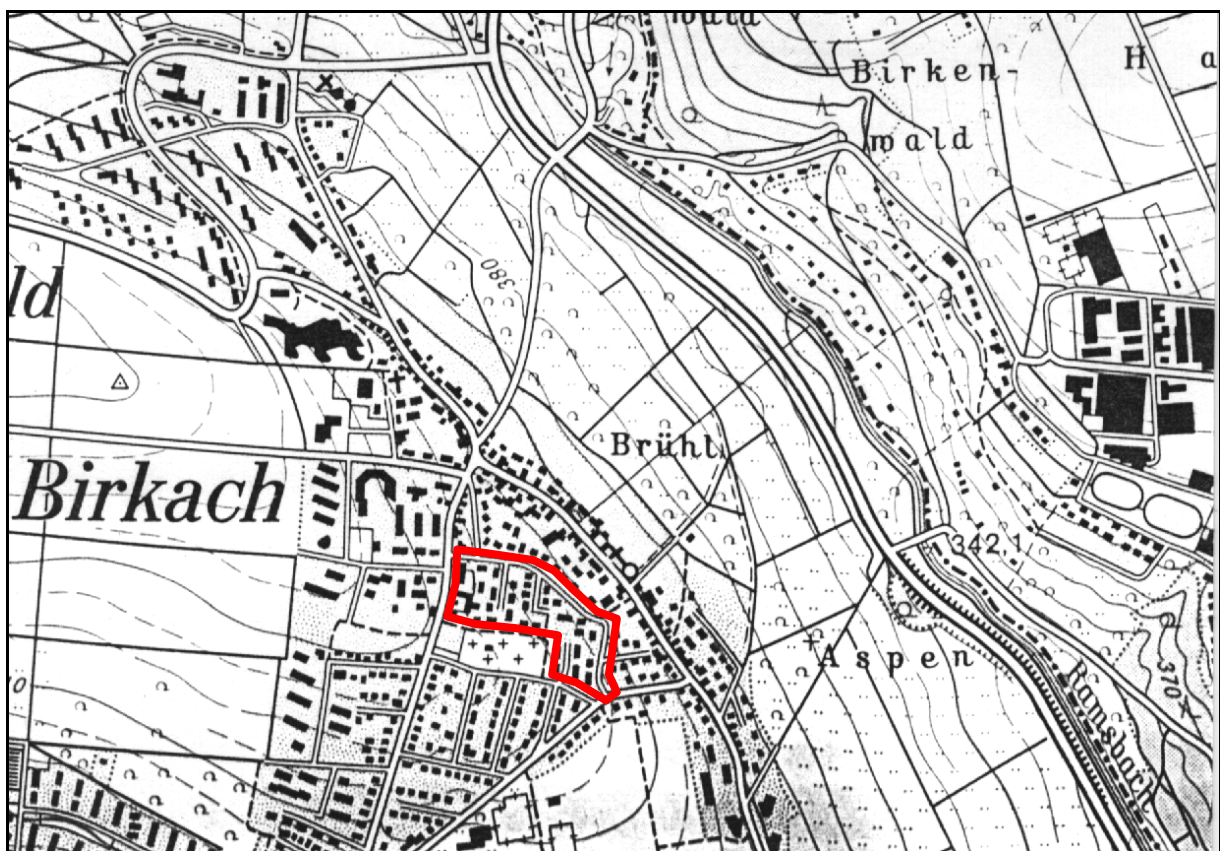


Abbildung 2-13: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 5a – Kleine Mehrfamilienhäuser

### 2.1.2.8 Beschreibung des Siedlungstyps 5b – Zeilenbebauung mit kleinen und größeren Mehrfamilienhäusern

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Die Zeilenbebauung (bis max. 115 m Gesamtlänge) ist zum großen Teil in der Nachkriegszeit gebaut worden. Die Wohnblocks sind grobmaschig erschlossen. Sie befinden sich vorwiegend am Stadtrand von Groß- und Mittelstädten.
- Die großen Mehrfamilienhäuser sind 3- bis 5geschossige Wohnbauten, die in 2-, 3- und 4-Spanner angeordnet sind.

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	KMH und GMH
	Baualter	1948-65
	Gebäudegrundfläche	87-210 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	156 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	1 172
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	2-32 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	9 m
Straßenmerkmale	Abstand zwischen parallelen Straßen	32-135 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	84 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	52-338 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	165 m
	Gesamtlänge der Straßen	17.725 m

Tabelle 2–10: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 5b pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-14: Siedlungstyp 5b – Kleinere und mittelgroße Mehrfamilienhäuser

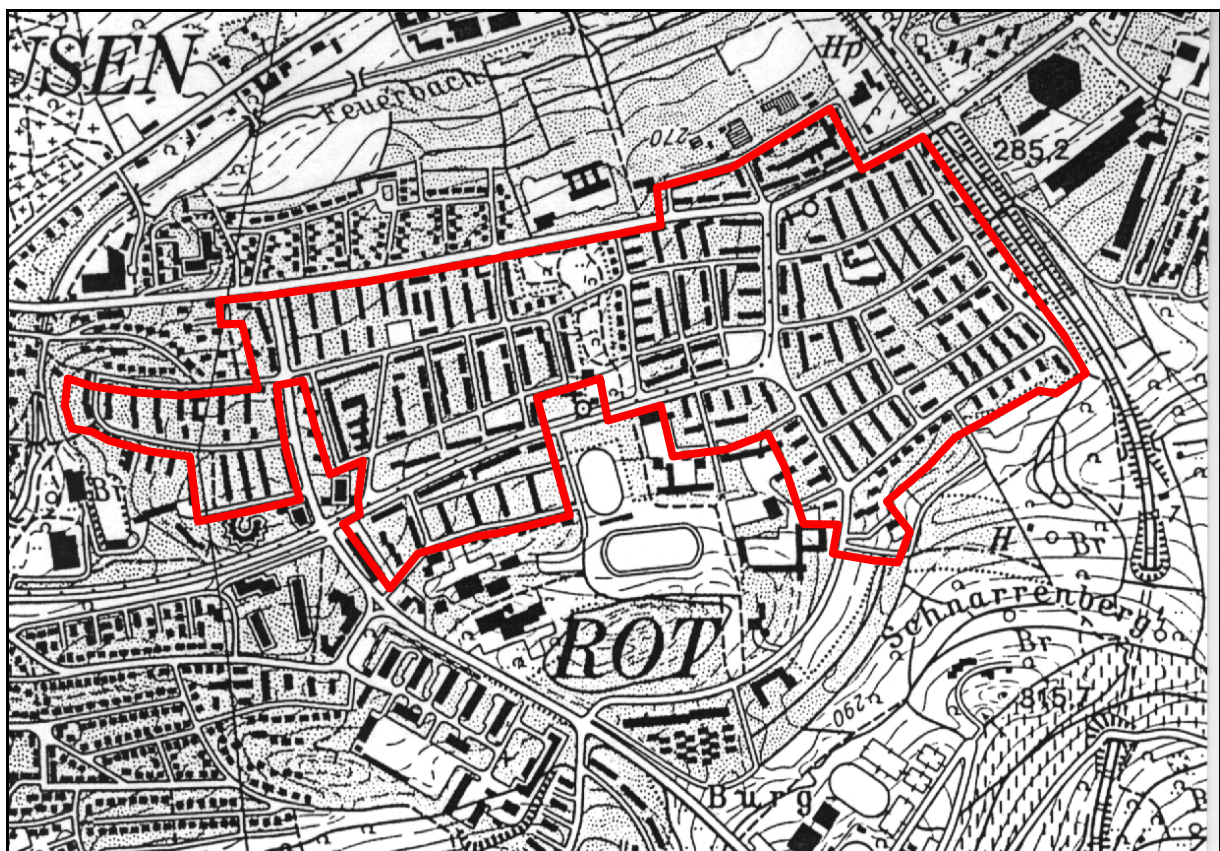


Abbildung 2-15: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 5b – Kleinere und mittelgroße Mehrfamilienhäuser

### 2.1.2.9 Beschreibung des Siedlungstyps 6 – Zeilenbebauung mit großen hohen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Typisch für den Siedlungstyp ist die Randlage von Städten („Trabantenstädte“). In Abhängigkeit des Baualters sind bei den Wohngebäuden Scheibenhäuser oder Wohncluster zu beobachten, die im großen Gebäudeabstand voneinander stehen.
- Der Siedlungstyp wird verkehrstechnisch in erster Linie über Sackgassen erschlossen, die von einer Umgehungsstraße um das Siedlungsgebiet abzweigen.

<b>Gebäudemerkmale</b>	<b>Gebäudetypen</b>	<b>Wohncluster, Hochhäuser, Scheibenhäuser</b>
	Baujahr	1964-80
	Gebäudegrundfläche	90-1.108 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	323 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	720
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	5-39 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	16,8 m
<b>Straßenmerkmale</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	-
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	-
	Abstand zwischen Kreuzungen	-
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	-
	Abstand zwischen Straßenabzweigungen	16-557 m
	∅ Abstand zwischen Straßenabzweigungen	143 m
	Gesamtlänge der Straßen	17.341 m

Tabelle 2–11: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 6 pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-16: Siedlungstyp 6 – Hochhäuser und große Zeilenbauten

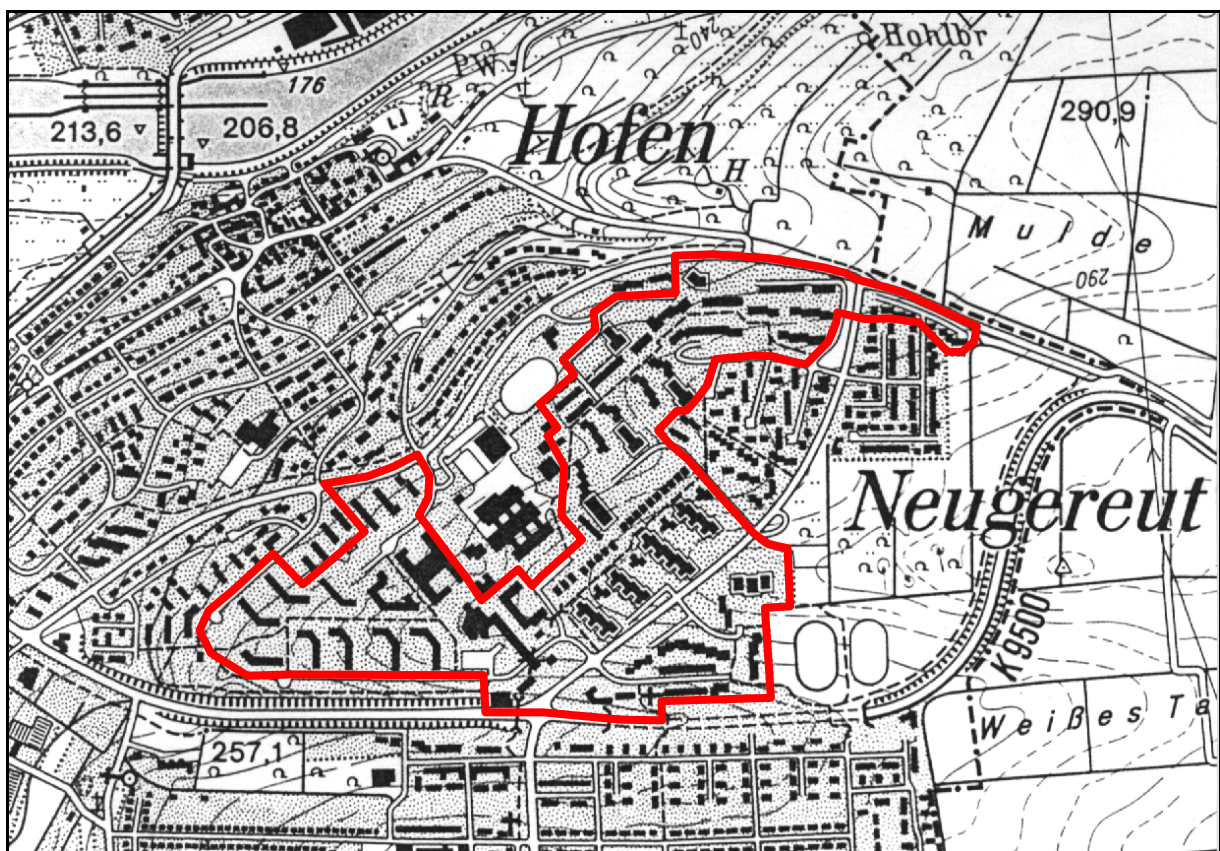


Abbildung 2-17: Kartenausschnitt Siedlungstyp 6 – Hochhäuser und große Zeilenbauten

### 2.1.2.10 Beschreibung des Siedlungstyps 7a – Blockbebauung niedriger Dichte

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Der Siedlungstyp 7a befindet sich fast ausschließlich in Innenstadtbereichen von Großstädten. Die Straßenführung ist beinahe quadratisch. Typisches Merkmal sind die innen liegenden großen Freiflächen und die Hauptorientierung der Wohnungen auf die Straße.
- Zu diesem Siedlungstyp gehören die großen Mehrfamilienhäuser und Villen der Jahrhundertwende, die zusammen ganze Straßenblöcke bilden. Die Einzelgebäude sind meistens 3geschossig. Die Gebäude sind teilweise aneinander gebaut.

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	GMH und KMH
	Baualter	ab 1850
	Gebäudegrundfläche	90-1.100 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	276 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	1 541
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	3-35 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	4 m
Blockmerkmale	Anzahl einzelner Blöcke	17-20
	Grundfläche eines Blockes	0,27-2,66 ha
	∅ Grundfläche eines Blockes	1,37 ha
	Anzahl der Gebäude pro Block	5-53
	∅ Anzahl der Gebäude pro Block	21
Straßenmerkmale	Abstand zwischen parallelen Straßen	23-191 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	91 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	72-353 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	162 m
	Gesamtlänge der Straßen	25.994 m

Tabelle 2–12: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 7a pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche





Abbildung 2-18: Siedlungstyp 7a – Lockere Blockbebauung

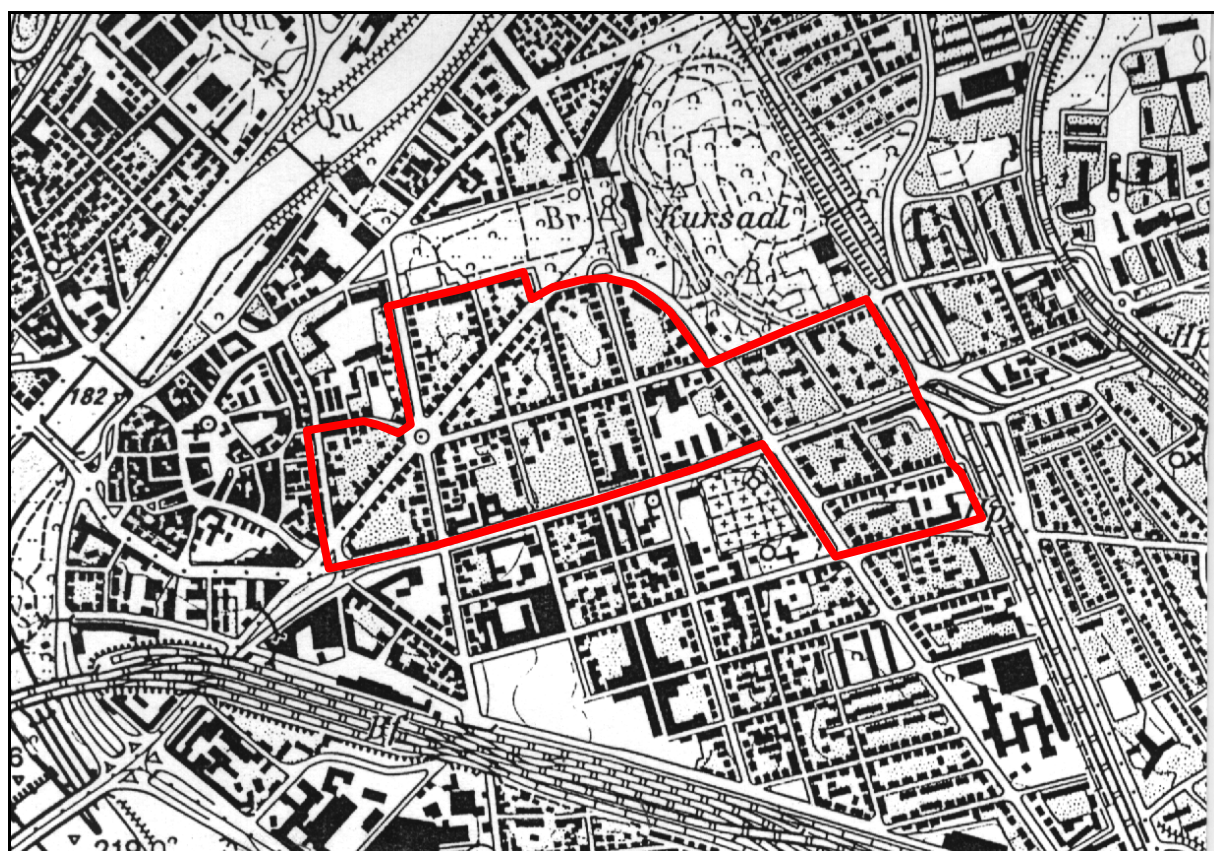


Abbildung 2-19: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 7a – Lockere Blockbebauung

### 2.1.2.11 Beschreibung des Siedlungstyps 7b – Dichte Blockbebauung

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Siedlungstyp 7b unterscheidet sich von Siedlungstyp 7a dahingehend, daß die innen liegenden großen Freiflächen mit Gebäuden bebaut sind. Diese können nur durch Zufahrten in den Innenhof erreicht werden.
- Die Einzelgebäude sind meistens 3geschossig und aneinander gebaut, so daß die Einzelgebäude nur schwer voneinander zu trennen sind.

<b>Gebäudemerkmale</b>	<b>Gebäudetypen</b>	<b>GMH und KMH</b>
	Baujahr	ab 1850
	Gebäudegrundfläche	200-2.000 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	335 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	1 484
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	3-20 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	4 m
<b>Blockmerkmale</b>	Anzahl einzelner Blöcke	99
	Grundfläche eines Blockes	0,358-2,90 ha
	∅ Grundfläche eines Blockes	1,268 ha
	Anzahl der Gebäude pro Block	6-57
	∅ Anzahl Gebäude pro Block	19
<b>Straßenmerkmale</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	33-139 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	98 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	49-390 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	137 m
	Gesamtlänge der Straßen	22.385 m

Tabelle 2–13: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 7b pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-20: Siedlungstyp 7b – Dichte Blockbebauung



Abbildung 2-21: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 7b – Dichte Blockbebauung

### 2.1.2.12 Beschreibung des Siedlungstyps 8 – Citybebauung

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Siedlungstyp 8 kennzeichnet die Citybebauung sehr hoher Dichte. Sie erstreckt sich in den meisten Städten vom Bahnhof bis zum Zentrum. Sie grenzt häufig an die mittelalterliche Altstadt an.
- Große kompakte Gebäude kennzeichnen das Gebiet. Teilweise sind bei der Citybebauung ganze Blöcke (vgl. Siedlungstyp 7a und 7b) durch wenige Gebäude vollständig überbaut. Die Gebäudenutzung variiert je nach Lage zwischen ausschließlichen Geschäfts-, Dienstleistungs-, Verwaltungs- und reinen Wohngebäuden.

<b>Gebäudemerkmale</b>	<b>Gebäudetypen</b>	<b>Geschäftshäuser, Dienstleistungs- und Verwaltungsgebäude</b>
	Baualter	ab 1850
	Gebäudegrundfläche	116-8.585 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	988 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	901
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	3-8 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	5,5 m
<b>Blockmerkmale</b>	Anzahl einzelner Blöcke	90
	Grundfläche eines Blockes	0,137-2,32 ha
	∅ Grundfläche eines Blockes	0,924 ha
	Anzahl der Gebäude pro Block	1-33
	∅ Anzahl Gebäude pro Block	8
<b>Straßenmerkmale</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	25-154 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	73,1 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	51-257 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	113,3 m
	Gesamtlänge der Straßen	24.035 m

Tabelle 2–14: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 8 pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-22: Siedlungstyp 8 – Citybebauung



Abbildung 2-23: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 8 – Citybebauung

### 2.1.2.13 Beschreibung des Siedlungstyps 9 – Historische Altstadt

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Siedlungstyp 9 entspricht dem mittelalterlichen Stadtkern. Dieser ist durch die geschlossene Bebauung mit verhältnismäßig hohen 3½geschossigen Gebäuden gekennzeichnet.

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	EFH, ZFH, KMH, GMH, kleine Sonderbauten
		Baualter
	Gebäudegrundfläche	66-2 340 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	166 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	2.293
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	0-30 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	3 m
Straßenmerkmale	Abstand zwischen parallelen Straßen	15-125 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	51,1 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	36-235 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	93,6 m
	Abstand zwischen Straßenabzweigungen	12-184 m
	∅ Abstand zwischen Straßenabzweigungen	58,0 m
	Gesamtlänge der Straßen	28.062 m

Tabelle 2–15: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 9 pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-24: Siedlungstyp 9 – Historische Altstadt

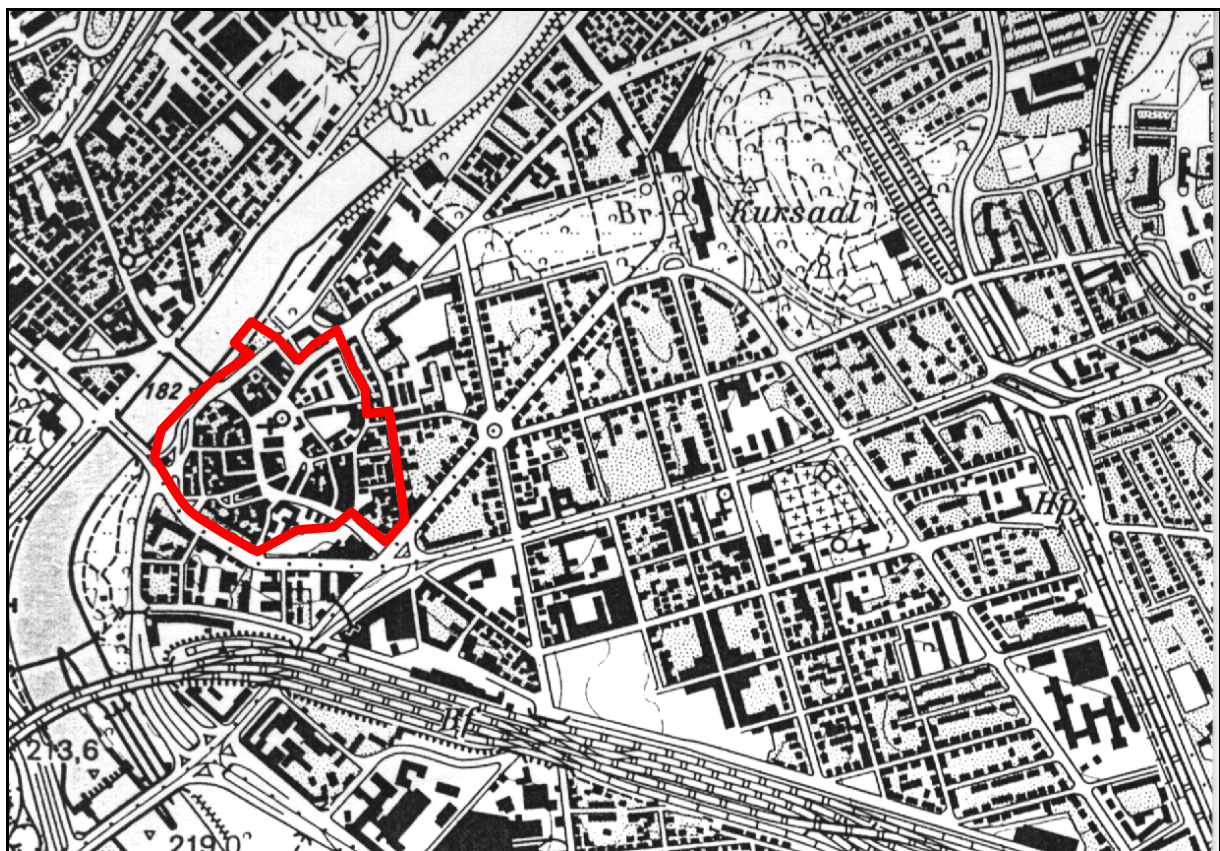


Abbildung 2-25: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 9 – Historische Altstadt

### 2.1.2.14 Beschreibung des Siedlungstyps 10a – Große öffentliche Sonderbauten

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Bei dem Siedlungstyp 10a "Große öffentliche Sonderbauten" kann zwischen einzelnen großen Sonderbauten (Schulzentrum oder Krankenhäuser) und Gebieten mit großen Sonderbauten (z. B. Universitätsgelände oder Kasernen) unterschieden werden (vgl. auch Kapitel 2.2).
- Gebiete mit großen Sonderbauten werden in erster Linie über Sackgassen erschlossen, die von einer umlaufenden Ringstraße abzweigen.

<b>Gebäudemerkmale</b>	<b>Gebäudetypen</b>	<b>öffentliche Sonderbauten groß</b>
	Baualter	ab 1968
	Gebäudegrundfläche	150-8 430 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	1.550 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	226
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	5-75 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	20 m
<b>Straßenmerkmale</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	-
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	-
	Abstand zwischen Kreuzungen	-
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	-
	Abstand zwischen 2 Straßenabzweigungen	25-432 m
	∅ Abstand zwischen 2 Straßenabzweigungen	121,4 m
	Gesamtlänge der Straßen	11.540 m

Tabelle 2–16: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 10a pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



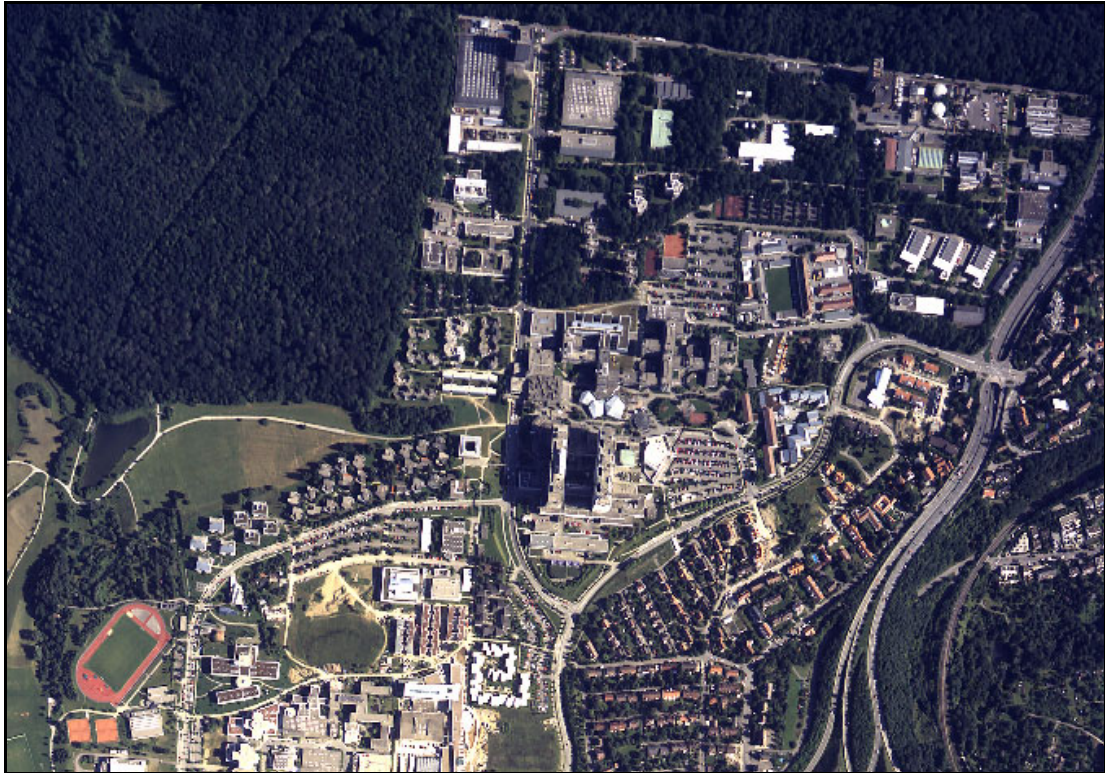


Abbildung 2-26: Siedlungstyp 10a – Große öffentliche Sonderbauten



Abbildung 2-27: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 10a – Große öffentliche Sonderbauten

### 2.1.2.15 Beschreibung des Siedlungstyps 10b – Kleine öffentliche Sonderbauten

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Bei dem Siedlungstyp 10b "Kleine öffentliche Sonderbauten" existieren kaum größere Ansammlungen von kleinen Sonderbauten (z. B. Kirche, Kindergarten u. a.) (vgl. auch Kapitel 2.2). Im Gegensatz zu Siedlungstyp 3a, 3b, 8 und 9 sind in die Siedlungstypen 2, 5a, 5b, 6, 7 nur in Ausnahmefällen kleine Sonderbauten integriert. An diese schließen sich oft ohne städtebauliche Integration kleine öffentliche Sonderbauten an, die meistens von kleinen Grünanlagen bzw. Freiflächen umgeben sind .

Gebäudefeatures	Gebäudefeatures	öffentliche Sonderbauten klein
	Baualter	
	Gebäudegrundfläche	
	∅ Gebäudegrundfläche	
	Anzahl der Gebäude	
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	
<b>Straßenfeatures</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	
	Abstand zwischen Kreuzungen	
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	
	Gesamtlänge der Straßen	

Tabelle 2–17: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 10b pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche



Abbildung 2-28: Siedlungstyp 10b – Kleine öffentliche Sonderbauten

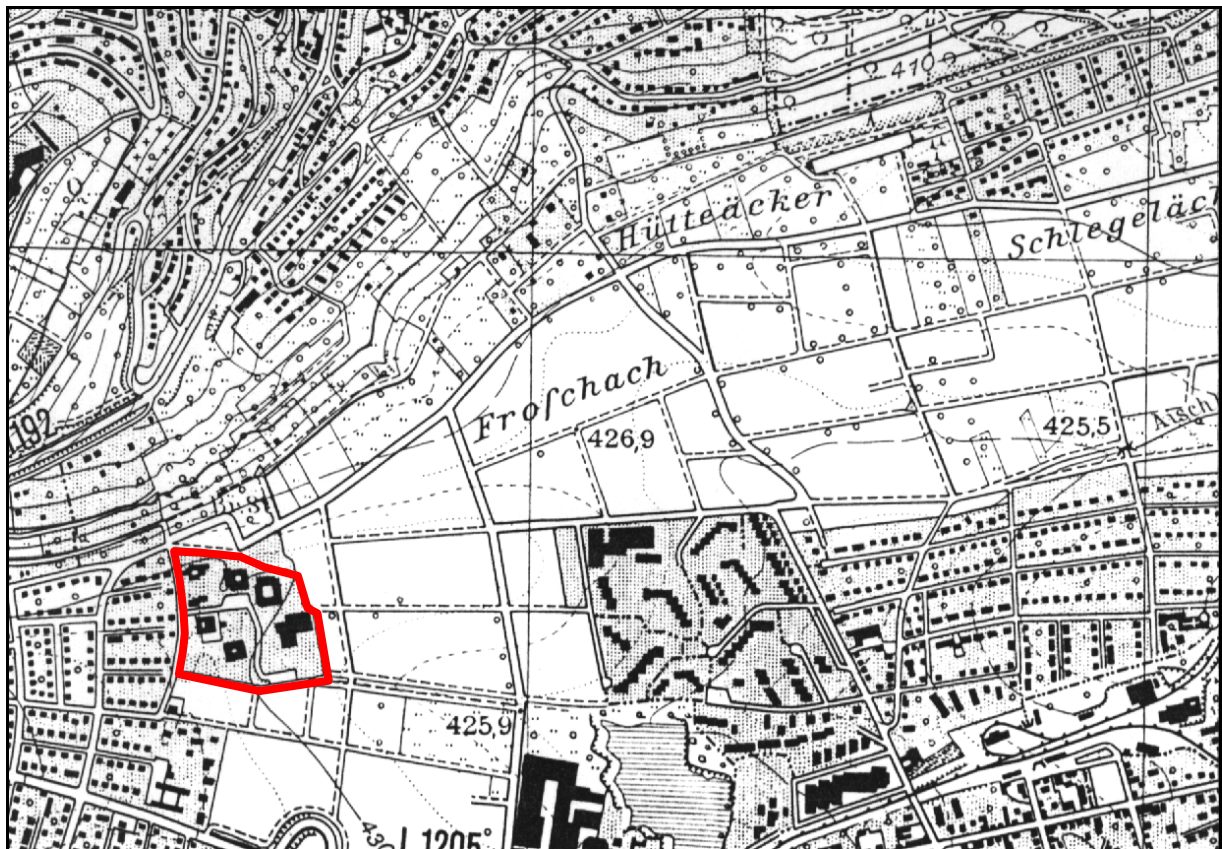


Abbildung 2-29: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 10b – Kleine öffentliche Sonderbauten

### 2.1.2.16 Beschreibung des Siedlungstyps 11a – Industriebauten (mit Produktion)

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Siedlungstyp 11a faßt Industriebauten zusammen. Die großen Gebäude sind meist von unregelmäßigem Grundriß und wirken durch Um- und Anbauten stark verschachtelt. Oft werden mehrere Gebäude unterschiedlichster Nutzung (Produktions-, Lager- und Bürogebäude) zu einem „Werksgelände“ zusammengefaßt. Die Produktionsgebäude sind zum Teil mit Rohrleitungssystemen für den Rohstoff- und Produkttransport miteinander verbunden. Zwischen den einzelnen Gebäudekomplexen befinden sich große Freiflächen für das Transportwesen. Meist ist eine gute Verkehrsanbindung, oftmals auch ein Bahnanschluß vorhanden. Eine Abgrenzung zum öffentlichen Raum erfolgt durch Zäune.
- Industriebauten befinden sich meist am Rande von Siedlungsgebieten, teilweise handelt es sich um reine Industriegebiete. Energiebedarf besteht bei diesem Siedlungstyp in erster Linie für Prozeßwärme. Der Straßenverlauf ist zu individuell, um hierüber Aussagen zu treffen.

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	Große Industriebauten mit Produktion
	Baualter	
	Gebäudegrundfläche	
	∅ Gebäudegrundfläche	
	Anzahl der Gebäude	
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	
Straßenmerkmale	Abstand zwischen parallelen Straßen	
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	
	Abstand zwischen Kreuzungen	
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	
	Gesamtlänge der Straßen	

Tabelle 2–18: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 11a pro km<sup>2</sup> Siedlungsfläche

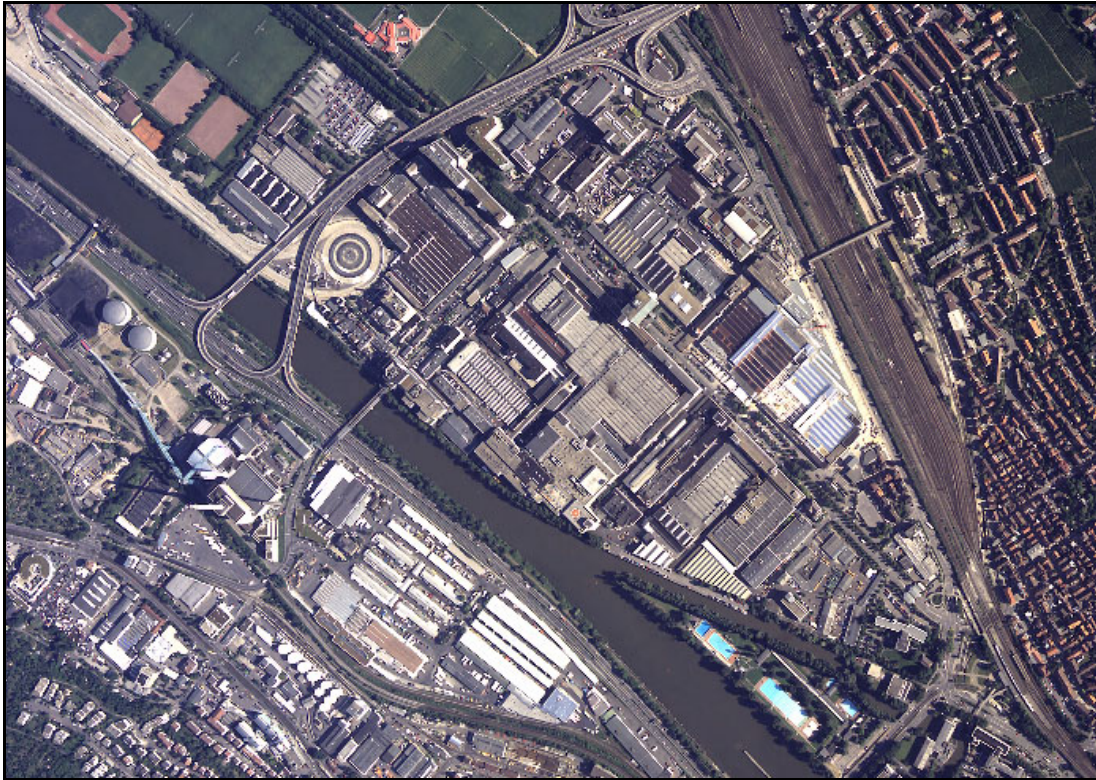


Abbildung 2-30: Siedlungstyp 11a – Industriebauten

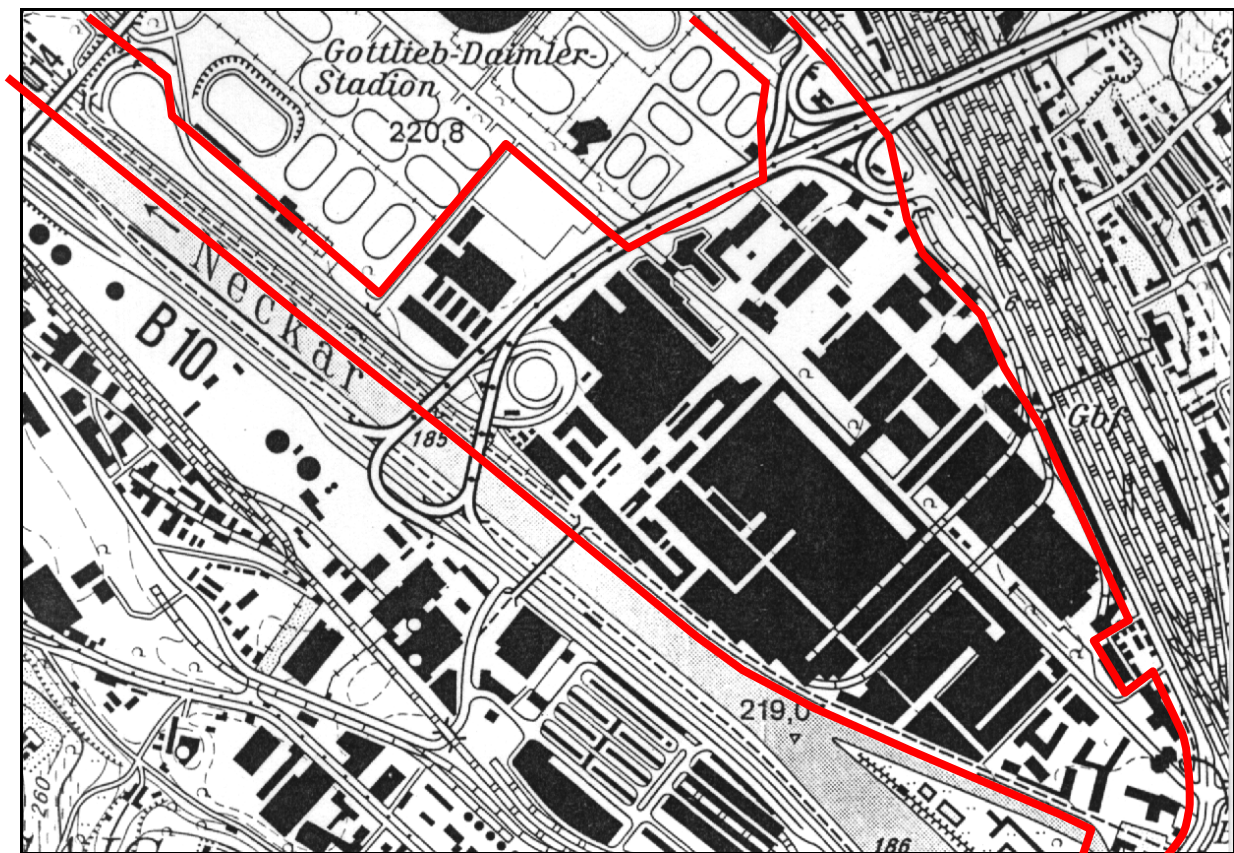


Abbildung 2-31: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 11a – Industriebauten

### 2.1.2.17 Beschreibung des Siedlungstyps 11b – Gewerbliche Sonderbauten/ Dienstleistungsbauten

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Dieser Siedlungstyp beschreibt Gewerbe-, Dienstleistungs- und Lagerbauten mit unregelmäßigen Grundrissen. Sie liegen meist in verkehrsgünstigen Lagen in neu erschlossenen reinen Gewerbe- und Industriegebieten am Rande von Siedlungsgebieten. Solche Gebiete entstanden vereinzelt ab ca. 1948, vermehrt ab den 70er Jahren. Die großen Gebäude sind meist weit von der Straße zurückversetzt, auf tiefen Grundstücken mit viel Park- und Verkehrsfläche errichtet. Aus diesem Grund sind teilweise sehr lange Hausanschlusleitungen notwendig.
- Das orthogonale Straßennetz weist große Straßenabstände auf und sorgt für eine gute Verkehrsanbindung. Oftmals führen Ringstraßen um das Gewerbegebiet herum. Im Unterschied zu ST 11a wird hier keine Prozeßwärme benötigt.

<b>Gebäudemerkmale</b>	<b>Gebäudetypen</b>	<b>Gewerbliche Sonderbauten groß, ohne Prozeßwärme für Produktion</b>
	Baujahr	ab 1948
	Gebäudegrundfläche	110-18 000 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	1.450 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	340
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	6-86 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	25 m
<b>Straßenmerkmale</b>	Abstand zwischen parallelen Straßen	52-267 m
	∅ Abstand zwischen parallelen Straßen	131,1 m
	Abstand zwischen Kreuzungen	188-705 m
	∅ Abstand zwischen Kreuzungen	397,5 m
	Gesamtlänge der Straßen	8.547 m

Tabelle 2–19: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 11b



Abbildung 2-32: Siedlungstyp 11b – Gewerbe- und Dienstleistungsbauten

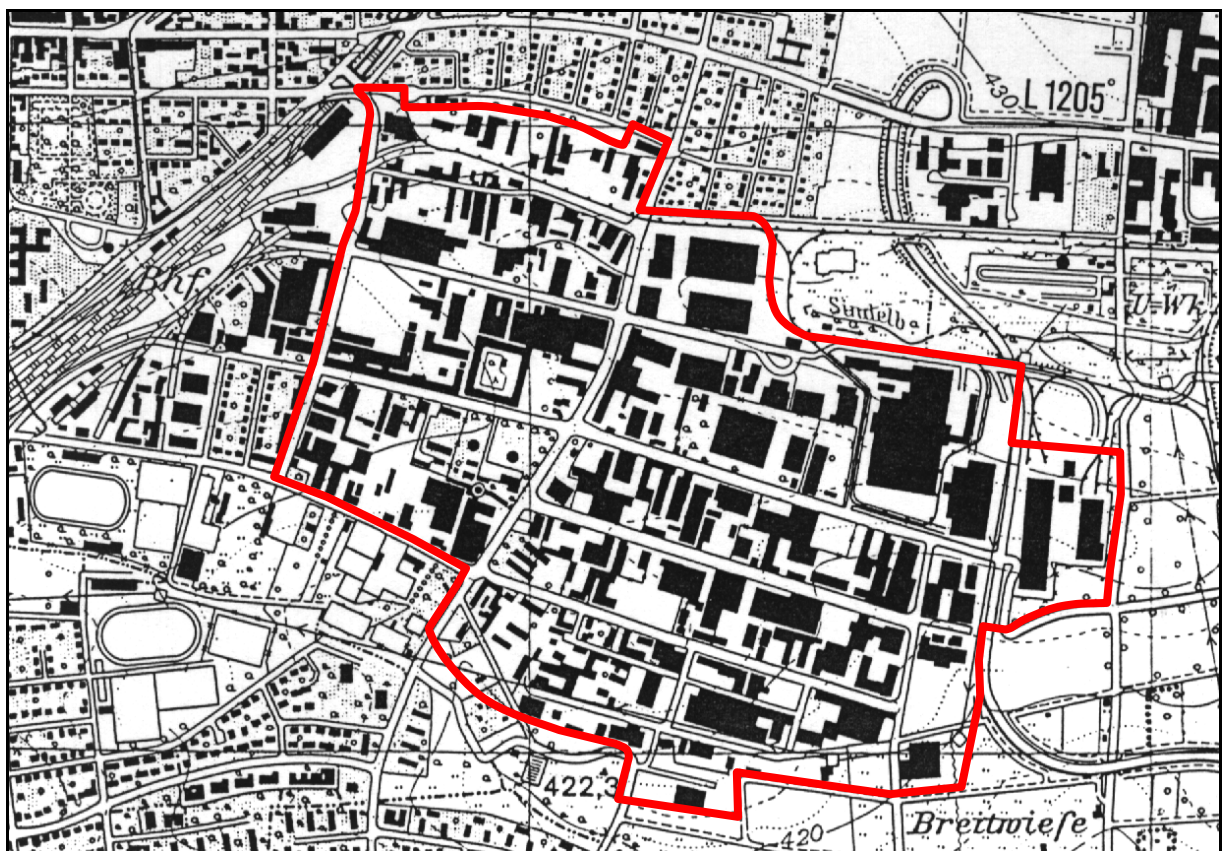


Abbildung 2-33: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 11b – Gewerbe- und Dienstleistungsbauten

### 2.1.2.18 Beschreibung des Siedlungstyps 12 – Sonstige Versorgungsgebiete und -gelände

#### Merkmale des Siedlungstyps

- Siedlungstyp 12 kennzeichnet potentielle Versorgungsgebiete und -gelände. Hierbei handelt es sich um Sonderbauten, die heute noch nicht bzw. nur zum Teil energieversorgt sind, aber für eine Versorgung zu einem späteren Zeitpunkt in Betracht kommen. Beispiele hierfür sind Sportanlagen, wie Tennishallen, Tennisplätze, Freibäder, Sportplätze mit dazugehörigen Nebengebäuden wie Duschen, Umkleiden und Vereinsheimen sowie Gärtnereien mit Gewächshäusern, städtische Versorgungsgebäude für Gas und Wasser, Kläranlagen.

Gebäudemerkmale	Gebäudetypen	
	Baujahr	ab 1948
	Gebäudegrundfläche	200-750 m <sup>2</sup>
	∅ Gebäudegrundfläche	400 m <sup>2</sup>
	Anzahl der Gebäude	32
	Abstand zwischen Gebäude und Straße	3-60 m
	∅ Abstand zwischen Gebäude und Straße	10 m
	Straßenmerkmale	Abstand zwischen parallelen Straßen
∅ Abstand zwischen parallelen Straßen		
Abstand zwischen Kreuzungen		
∅ Abstand zwischen Kreuzungen		
Gesamtlänge der Straßen		

Tabelle 2–20: Charakteristische Werte des Siedlungstyps ST 12



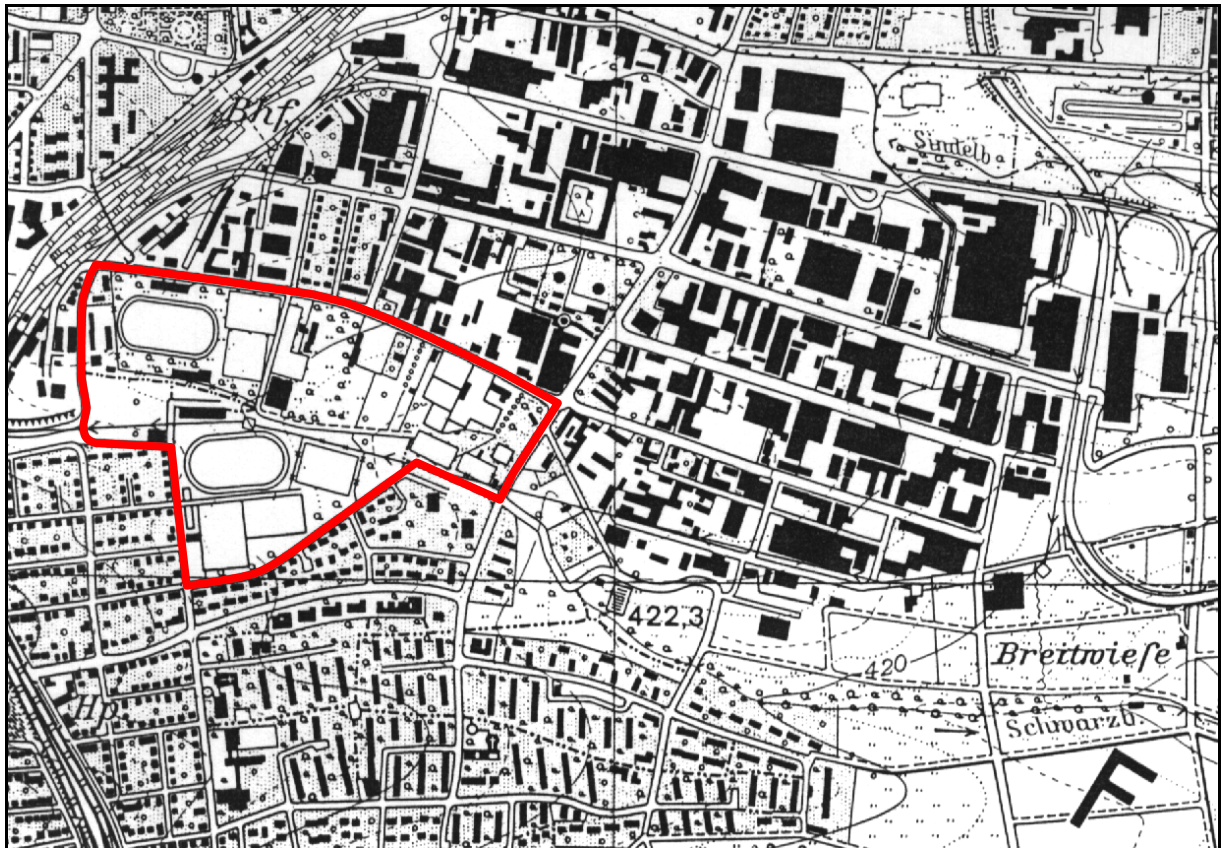


Abbildung 2-34: Kartenausschnitt zu Siedlungstyp 12 – Sonstige Versorgungsgebiete und –gelände



Abbildung 2-35: Siedlungstyp 12 – Sonstige Versorgungsgebiete und -gelände

### **2.1.3 Zusammenfassung der Eigenschaften der Siedlungstypen**

Für die Siedlungstypen ST 10b (öffentliche Sonderbauten klein), ST 11a (Industriebauten) und ST 12 (potentielle Versorgungsgebäude und -gebiete) ist aufgrund der Größe der Siedlungsgebiete und der Vielfalt der Nutzung keine allgemeine Beschreibung möglich. Hierbei handelt es sich meistens um bezüglich der Wärmeversorgung abgeschlossene Einheiten. Der Siedlungstyp ST 10b enthält meist nur zwei bis maximal sieben kommunale Gebäude. Diese Objekte gelten heute am ehesten für die BHKW-Versorgung geeignet (vgl. auch Kapitel 2.2). In Siedlungstyp 11a kann aufgrund der unterschiedlichen hergestellten Produkte der Prozeßwärmebedarf stark variieren.

Da ein Siedlungstyp einerseits durch den Straßenverlauf (Abstand der parallelen Straßen und der Kreuzungen) und den Abstand zwischen Straße und Gebäude charakteristisch ist, ist ein möglicher Verlegeort vorgegeben und in Kombination mit dem Wärmeverbrauch kann eine Liniendichte bestimmt werden. Andererseits ist ein Siedlungstyp durch die in ihm auftretenden Gebäudetypen und die Gebäudeanzahl charakterisiert, dadurch können Wärmebedarf und -verbrauch im IST-Zustand und mögliche Veränderungen durch Sanierungsmaßnahmen abgeschätzt werden.

Die für die einzelnen Siedlungstypen (ST 1 – ST 10a, ST 11b) charakteristischen Merkmale, unterteilt in Gebäude-, Block- Straßenmerkmale, sind in Tabelle 2–21 aufgelistet.

Die Bezeichnung des Siedlungstyps deutet teilweise darauf hin, daß in den jeweiligen Siedlungstypen gewisse Gebäudetypen überwiegen. Der Anteil der Gebäudetypen an den Siedlungstypen kann Tabelle 2–22 und Tabelle 2–23 entnommen werden. Aus den Tabellen ist ersichtlich, daß bis auf die Siedlungstypen ST 3a, ST 3b und ST 9 die Gebäudevielfalt in den Siedlungstypen eng begrenzt ist.

Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

Siedlungstyp	ST 1	ST 2	ST 3a	ST 3b	ST 4	ST 5a	ST 5b	ST 6	ST 7a	ST 7b	ST 8	ST 9	ST 10a	ST 11b	
															lockere Bebauung (Streusiedlung)
Gebäude-merkmale	Gebäudetypen	EFH, ZFH	EFH, ZFH, KMH u. GMH	EFH, ZFH, KMH u. GMH	RDH	KMH	KMH und GMH	Wohncluster HH, Scheibenhäuser	GMH, KMH	GMH	KMH, GMH, Sonderbauten	EFH, ZFH, KMH u. GMH	große Sonderbauten	große Sonderbauten	
	Baualter	ab 1918	ab 1918	ab 1918	ab 1960	ab 1978	1948-67	1960-78	ab 1918	ab 1918	ab 1800	bis 1918	ab 1918	ab 1948	
	Gebäudegrundfläche	102-255 [m²]	79-229	100-480	100-480	80-110	130-350	87-210	90-1108	90-1.100	200-2.000	116-8.585	66-2.340	150-8.430	110-18.000
	Gebäudegrundfläche	174 [m²]	136,4	175	175	90	224	156	323	276	335	843	166	1.550	1.450
Block-merkmale	Anzahl der Gebäude	766 [1/km²]	1.257	1.555	1.914	1.524	1172	661	1541	1484	901	2293	226	340	
	Abstand zw. Gebäude und Straße	4-35 [m]	2,8-18	1-20	1-20	3-21	2-32	5-39	3-35	3-20	3-8	1,5-30	5-75	6-86	
	Abstand zw. Gebäude und Straße	18 [m]	7	3	3	9	7	9	4	4	6	3	20	25	
	Anzahl einzelner Blöcke	- [1/km²]	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	
Straßen-merkmale	Grundfläche der Blöcke	- [ha]	-	-	-	-	-	-	1,37	1.268	0,924	-	-	-	
	Anzahl Gebäude pro Block	- [1]	-	-	-	-	-	-	21	19	8	-	-	-	
	Abstand zw. parallelen Straßen	50-293 [m]	29-145	32-118	-	38-97	27-98	32-135	-	23-191	33-139	25-154	15-125	-	52-267
	Abstand zw. parallelen Straßen	115 [m]	74,7	76,6	-	63	87,5	84	-	91	98	73,1	51,1	-	131,1
	Abstand zw. Kreuzungen	99-900 [m]	65-605	80-192	-	49-176	70-261	52-338	-	72-353	49-390	51-257	36-235	-	188-705
	Abstand zw. Kreuzungen	352 [m]	165,4	123,9	-	102	130,8	165	-	162	137	113,3	93,6	-	397,5
	Abstand zw. zwei Kreuzungspunkten	- [m]	-	-	17-451	15-115	14-158	-	16-557	-	-	-	12-184	25-432	-
Abstand zw. zwei Kreuzungspunkten	- [m]	-	-	79,6	58	84	-	143	-	-	-	58	121,4	-	
Gesamtlänge der Straßen	16.931 [m]	21.839	19.998	18.554	30.380	27.564	17.725	17.341	25.994	22.385	24.035	28.062	11.540	8.547	

Tabelle 2–21: Charakteristische Merkmale der Siedlungstypen

	ST 1	ST 2	ST 3a	ST 3b	ST 4	ST 5a	ST 5b	ST 6	ST 7a	ST 7b	ST 8	ST 9	ST 10a	ST 11b
	Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	Einfamilienhäuser- u. Doppelhäuser-Siedlung	städtischer Dorfkern	ländlicher Dorfkern	Reihenhäuser	Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	Zeilenbauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern	Zeilenbauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern	Blockbauung niedriger Dichte	Blockbauung hoher Dichte	Citybebauung	Historische Altstadt	Öffentliche Sonderbauten (groß)	Gewerbliche Sonderbauten/ Dienstleistungsbauten
EFH bis 1918	10	10	30	10	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0
EFH 1918-48	20	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
EFH 1949-57	25	35	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFH 1958-68	25	25	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFH 1969-78	10	10	5	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFH 1979-83	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFH1984-94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFH ab 1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDH bis 1918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDH 1918-48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDH 1949-57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDH 1958-68	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDH 1969-78	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDH 1979-83	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDH 1984-94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDH ab 1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 2–22: Anteil der Gebäudetypen am Siedlungstyp (Teil 1)

	ST 1	ST 2	ST 3a	ST 3b	ST 4	ST 5a	ST 5b	ST 6	ST 7a	ST 7b	ST 8	ST 9	ST 10a	ST 11b
	Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	Einfamilienhäuser- u. Doppelhäuser-Siedlung	städtischer Dorfkern	ländlicher Dorfkern	Reihenhäuser	Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern	Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern	Blockbebauung niedriger Dichte	Blockbebauung hoher Dichte	Citybebauung	Historische Altstadt	Öffentliche Sonderbauten (groß)	Gewerbliche Sonderbauten/Dienstleistungsbauten
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
KMH bis 1918	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	30	0	0
KMH 1918-48	0	0	15	10	0	0	0	0	5	0	0	10	0	0
KMH 1949-57	0	0	10	10	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0
KMH 1958-68	0	0	0	10	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0
KMH 1969-78	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
KMH 1979-83	0	0	0	0	0	40	25	0	0	0	0	0	0	0
KMH1984-94	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0
KMH ab 1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GMH bis 1918	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20	10	10	0	0
GMH 1918-48	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0
GMH 1949-57	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	10	0	0	0
GMH 1958-68	0	0	0	0	0	0	25	0	20	20	10	0	10	10
GMH 1969-78	0	0	0	0	0	0	25	0	10	10	10	0	0	0
GMH 1979-83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GMH1984-94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GMH ab 1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HH 1958-68	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0
HH 1969-78	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
Sonderbau Gewerbe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
Sonderbau Verwaltung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	90	0
Sonderbau Verkauf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0

Tabelle 2–23: Anteil der Gebäudetypen am Siedlungstyp (Teil 2)

### 2.1.4 Vernetzung der Siedlungstypen

Die städtischen Siedlungsgebiete haben sich aus stadtplanerischen Gesichtspunkten über die Jahre hinweg entwickelt. Aufgrund unterschiedlicher sozialer und funktionaler Anforderungen setzen sich Städte aus unterschiedlichen Siedlungstypen in Abhängigkeit der Stadtgröße und der Industrieansiedlung zusammen. In Abbildung 2-36 ist eine Auswertung für Stuttgart nach Siedlungstypen abgebildet. Hierbei wurde zwischen bereits fernwärmeversorgten und nicht fernwärmeversorgten Siedlungsflächen unterschieden.

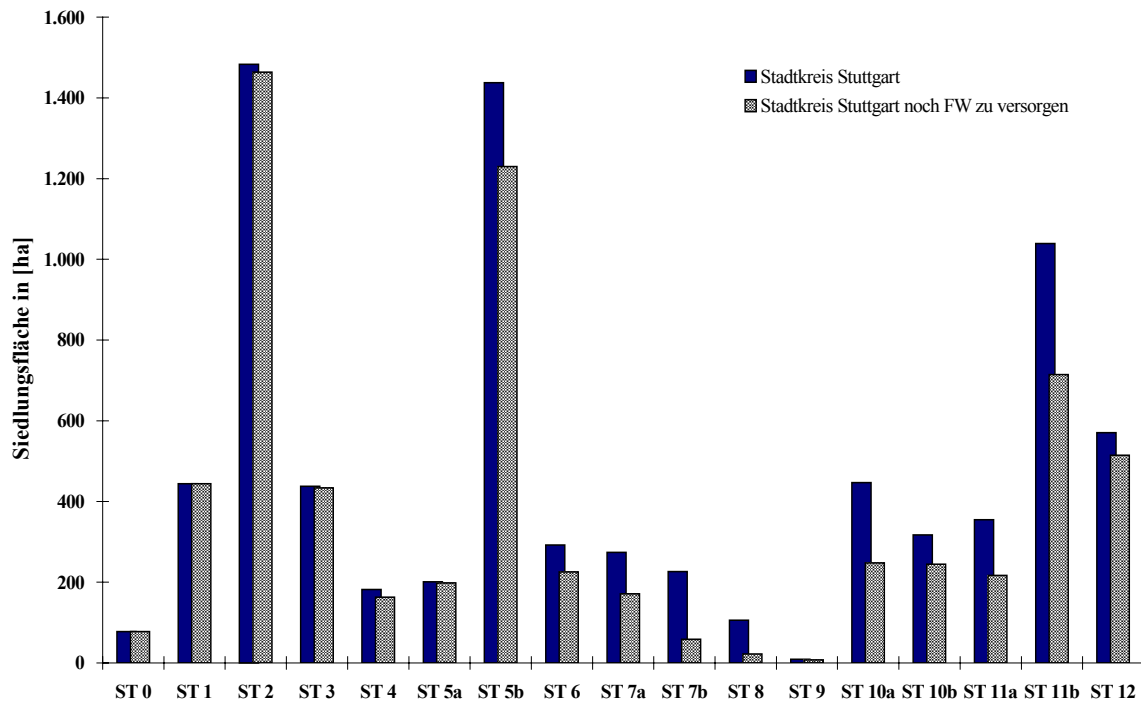


Abbildung 2-36: Aufteilung der Stadt Stuttgart nach Siedlungstypen

Aufgrund des Vergleichs zwischen fernwärmeversorgten und nicht fernwärmeversorgten Gebieten in der Stadt Stuttgart kann noch keine allgemeine Aussage über entsprechende Fernwärmepotentiale abgeleitet werden. Für eine Potentialbestimmung sind beispielsweise zusätzliche Hemmnisse durch konkrete geographische Gegebenheiten (z. B. Kessellage des Stadtkerns von Stuttgart), aber auch mögliche technische und ökonomische Weiterentwicklungen der letzten Jahre zu berücksichtigen. Der absolute Anteil der fernwärmeversorgten Gebiete im Vergleich zur Gesamtfläche eines Siedlungstyps kann jedoch als Anhaltspunkt für die Bestandsanalyse fernwärmeversorgter Gebiete herangezogen werden bzw. zur Bestimmung möglicher Nahwärmepotentiale. In Abbildung 2-37 ist der Vergleich des absoluten Anteils der fernwärmeversorgten Gebiete zur Gesamtfläche eines Siedlungstyps dargestellt. Bei den Siedlungstypen, die zu überwiegenderem Teil mit Fernwärme versorgt sind, handelt es sich um die Siedlungstypen ST 7b (Blockbebauung hoher Dichte), ST 8 (Citybebauung), ST 10a (öffentliche Sonderbauten), ST 11a (Industriebauten) und ST 7a (Blockbebauung niedriger Dichte). Im Rahmen des Vergleichs verschiedener Versorgungsaufgaben (Bereich Siedlungs-KWK) werden vor allem die bisher vorwiegend fernwärmeversorgten Siedlungstypen ST 7a, ST 7b und ST 8 in Kapitel 4 ein-

gehend untersucht. Um die Grenzen oder mögliche Optionen der Nah-/Fernwärmeversorgung aufzuzeigen, wird außerdem der Siedlungstyp ST 2 untersucht. Der IST-Zustand des Wärmebedarfs und -verbrauchs in den Siedlungstypen wird, basierend auf den Werten der IKARUS-Gebäudetypologie, bestimmt. Die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs und -verbrauchs und die Auswirkungen der Energieeinsparverordnung 2000 wird detailliert für die GMH der Baualtersklassen „bis 1918“, „1919-48“, „1949-57“ und „1958-68“, für die KMH der Baualtersklassen „1949-57“, „1958-68“, „1969-78“ und „1979-83“ und für EFH der Baualtersklassen „1958-68“ und „1969-78“ in Kapitel 3.1.1 ermittelt. Die Bereiche öffentliche Sonderbauten werden teilweise durch die kommunale Objektversorgung (vgl. Kapitel 2.2) abgedeckt.

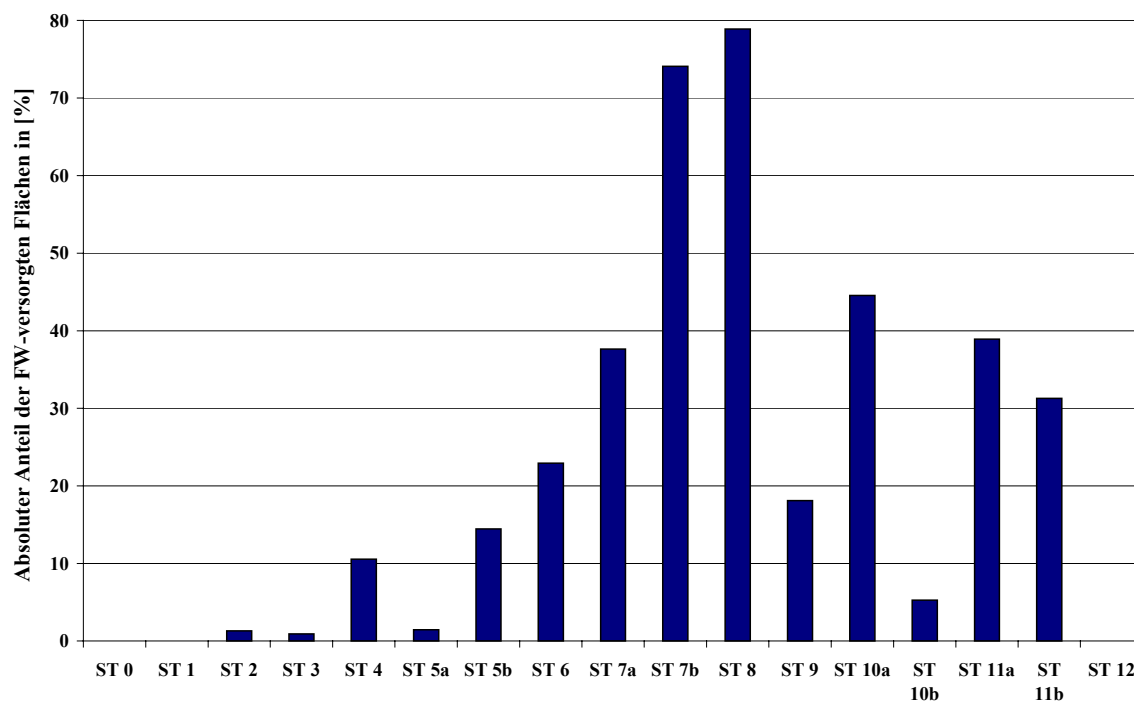


Abbildung 2-37: Absoluter Anteil der fernwärmeversorgten Fläche an der Gesamtfläche des jeweiligen Siedlungstypes

### 2.1.5 Exemplarischer Einsatz regenerativer Energien im Bereich der Siedlungs-KWK

Erneuerbare Energiequellen werden in einer Vielzahl unterschiedlicher Nahwärmeversorgungen eingesetzt. Der nachfolgende Abschnitt gibt einen ersten Überblick über in Deutschland realisierte Projekte.

#### Geothermie

Obwohl das EEG die Stromerzeugung aus Geothermie vorsieht, sind aus wirtschaftlichen Gründen in Deutschland bisher nur Anlagen zur reinen Wärmeenergieerzeugung realisiert worden. Zur Zeit existieren [Geothermische Vereinigung] 15 größere geothermische Anlagen mit einer Leistung zwischen 0,1 und 20 MW<sub>th</sub>, die zusammen eine Leistung von ca. 53,5 MW<sub>th</sub> (inkl. Projekt Simbach in deutsch-österreichischer Kooperation mit 20 MW) aufweisen. Bei einer typischen Anlagengröße

von 2 MW<sub>th</sub> betragen die Investitionen ca. 4.600 DM/kW<sub>th</sub>; bei größeren Anlagenleistungen und Bohrtiefen bis 2.800 m sinken die Kosten bis auf ca. 2.200 DM/kW<sub>th</sub>. Hieraus resultieren Wärmegestehungskosten von 0,15 bis 0,33 DM/kWh<sub>th</sub> (10 MW- bzw. 2 MW-Anlage). Die Geothermische Vereinigung gibt auch minimale Wärmegestehungskosten von nur 0,05 DM/kWh<sub>th</sub> an.

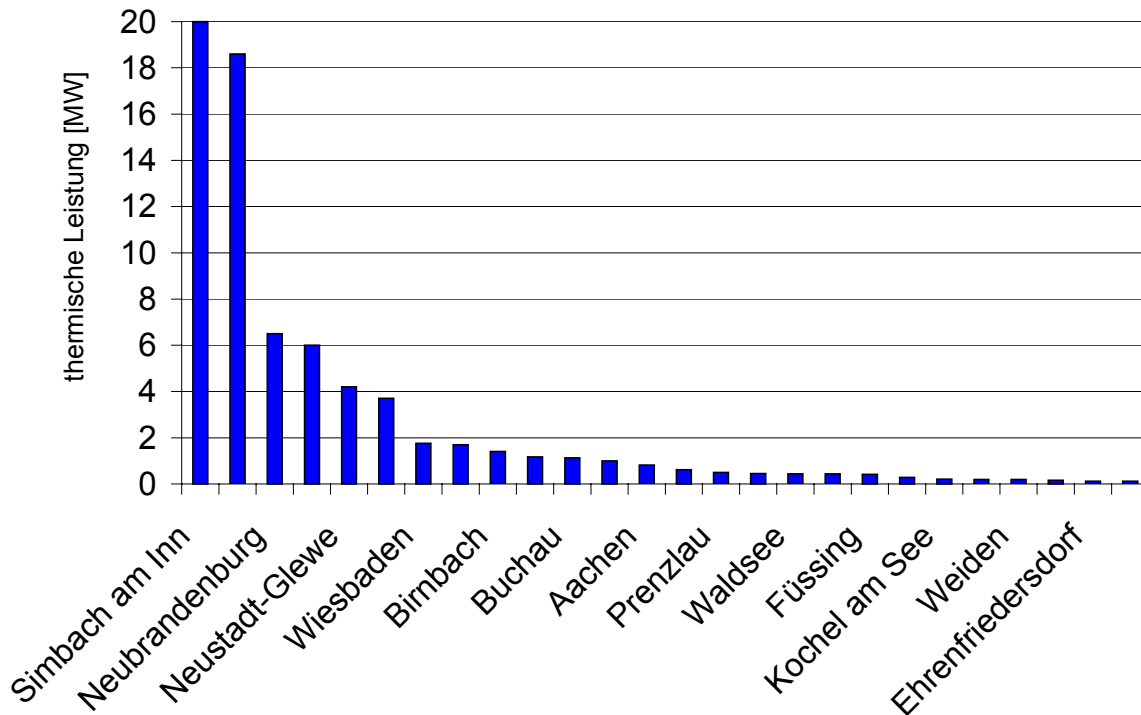


Abbildung 2-38: Geothermische Anlagen mit einer Leistung zwischen 0,1 und 20 MW<sub>th</sub> in Deutschland

## Solarthermie

Die Solarthermie wird ebenso wie die Geothermie in Deutschland nur zur Wärmezeugung eingesetzt, obwohl prinzipiell laut EEG auch die Stromerzeugung gefördert würde. Dominierend sind Kleinanlagen für Einfamilienhäuser, was sich auch daran zeigt, daß von den 2,6 Mio. m<sup>2</sup> Kollektorfläche nur ca. 16.500 m<sup>2</sup> in Großanlagen mit mindestens 100 m<sup>2</sup> installiert sind. Bei einem Ca.-Jahresertrag von 380 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> bei Kleinanlagen, 400 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> bei Großanlagen und 300 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> bei Großanlagen mit saisonalem Wärmespeicher werden insgesamt 980.000 MWh<sub>th</sub>/a solarthermischer Energie erzeugt, wobei ca. 6.000 MWh<sub>th</sub> durch die genannten Großanlagen bereitgestellt werden. Die spezifischen Investitionskosten betragen zwischen 800 DM/m<sup>2</sup> ohne bzw. 1.400 DM/m<sup>2</sup> Kollektorfläche mit saisonalem Wärmespeicher. Hieraus resultieren Wärmegestehungskosten von 0,20 bis 0,50 DM/kWh (ohne bzw. mit saisonalem Wärmespeicher).



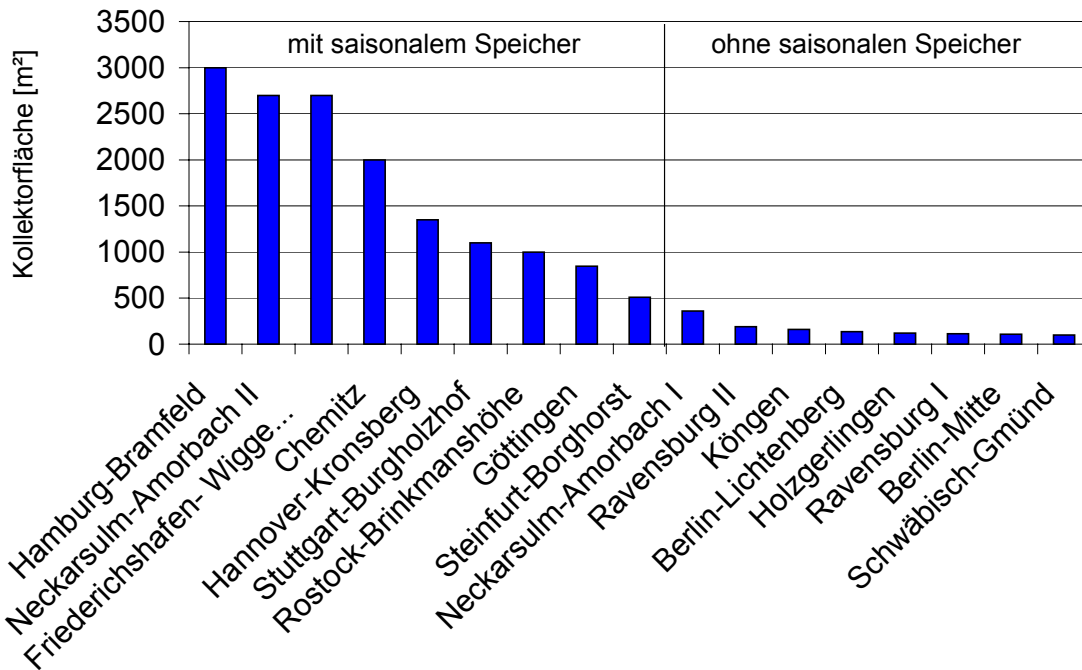


Abbildung 2-39: Beispiele solartechnischer Anlagen in Deutschland in Abhängigkeit von der Kollektorfläche

### Biomassenutzung in Holzheizwerken, Holzheizkraftwerken

Die thermische Nutzung von fester Biomasse – zumeist Holzhackschnitzel – wird sowohl zur reinen Wärmeerzeugung in Heizwerken als auch in Heizkraftwerken zur KWK genutzt; hierbei wird die Stromerzeugung direkt durch das EEG gefördert. Dominierend sind – wie auch bei der Solarthermie – Kleinanlagen, wie beispielsweise Kachelöfen für Einfamilienhäuser. Die gesamte Wärmeerzeugung beträgt – je nach Schätzung – zwischen 10 und 13,5 Mio. MWh/a, was ca. einer installierten Leistung von 5.000-7.000 MW entspricht. Bei reinen Heizwerken betragen die Investitionen zwischen 500 bis 1.100 DM/kW<sub>th</sub> Leistung, bei Heizkraftwerken zwischen 5.000 und 10.000 DM/kW<sub>el</sub>. Hieraus resultieren Wärmegestehungskosten von 0,02 bis 0,09 DM/kWh<sub>th</sub>.

Eine stichprobenartige Literaturlauswertung von Nahwärmenetzen in Deutschland ist in Abbildung 2-40 dargestellt. Die 123 identifizierten Nahwärmenetze im Leistungsbe- reich von 0,2 bis 5,0 MW<sub>th</sub> weisen eine durchschnittliche Leistung von ca. 0,8 MW<sub>th</sub> auf; der Medianwert liegt bei ca. 0,5 MW<sub>th</sub>, was zeigt, daß kleine Nahwärmenetze in der Anzahl dominierend sind. Die Vollaststunden betragen zwischen 1.200 und über 5.000 h/a, im Mittel ca. 3.500 h/a. Dieser, für Nahwärmenetze vergleichsweise hohe Wert resultiert daraus, daß die Holzheiz(kraft)werke zumeist in der Grundlastversor- gung (30 bis 50 % der Spitzenlast) eingesetzt werden. Bezogen auf die insgesamt installierte Leistung sind Vollaststunden von bis 2.000 h/a üblich.

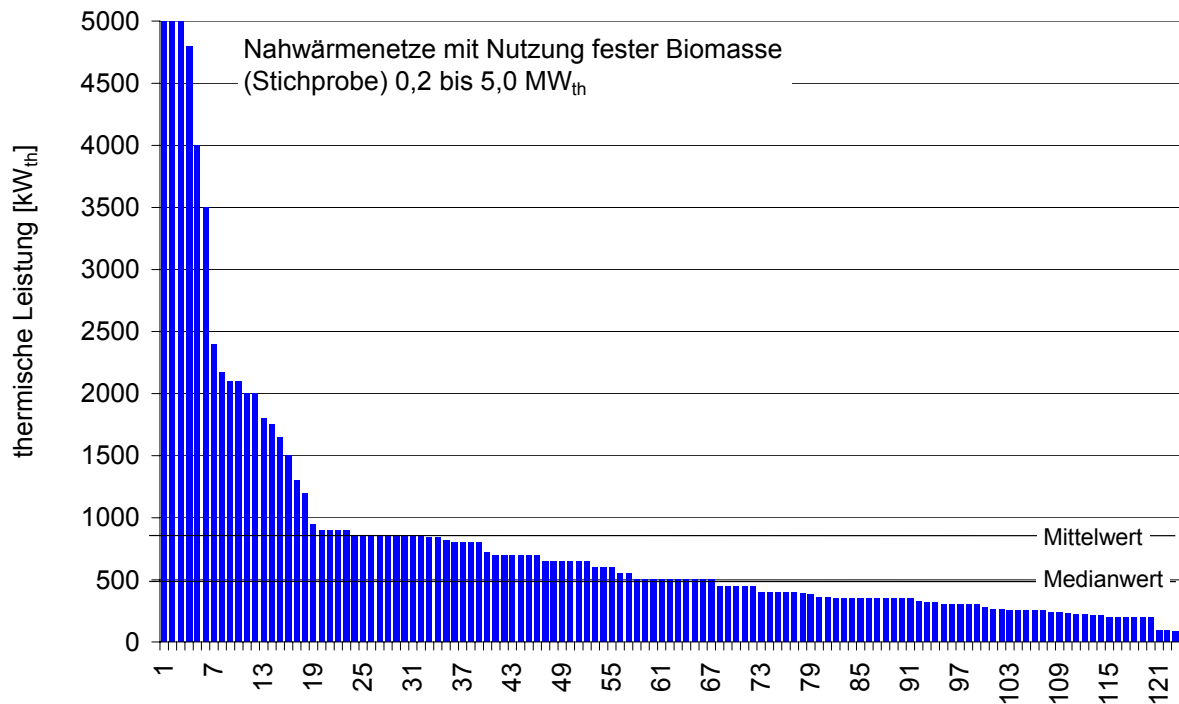


Abbildung 2-40: Thermische Leistung ausgewählter Nahwärmenetze mit Nutzung fester Biomasse in Deutschland

## 2.2 Objektversorgung

Als Beispiel für die Objektversorgung wurde als häufig anzutreffende öffentliche Einrichtung ein Schulzentrum für 600 Schüler untersucht. Hierbei handelt es sich um das Bildungszentrum Niederstetten (Grundlage: Energiekonzept für Bildungszentrum, Hallenbad und Sporthalle der Stadt Niederstetten, Gutachten von H. Böhnisch und T. Merkle, ZSW, Stuttgart 1998). Dieser Fall ist zudem in dem BHKW-Auslegungsprogramm BHKW-Plan (Version 1.05), ZEW als Beispiel enthalten.

Vorgenommene Abwandlungen von dem tatsächlich vorhandenen Ausgangszustand:

- Das Hallenbad ist ausgeklammert geblieben (störend nach Repräsentanzgesichtspunkten)
- Der Wärmeschutz der Gebäude ist vermindert worden, um typische Verbrauchskennwerte für den Ausgangszustand einzuhalten (in der Realität sind die im Jahre 1965 errichteten Gebäude des Bildungszentrums Niederstetten 1981 grundlegend renoviert worden), in Anlehnung an Verbrauchskennwerte 2000, Forschungsbericht der ages GmbH, Münster.

## 2.3 Industrieobjekte

### 2.3.1 Allgemeine Beschreibung

Der Wärmebedarf von industriellen Objekten ist geprägt von der Prozesswärmebereitstellung. Wärme für Heizzwecke spielt demgegenüber eine untergeordnete Rolle.

Die Betrachtung alternativer CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen konzentriert sich deshalb auf Effizienzsteigerungen im Bereich der Prozesse.

Die Versorgungsaufgaben im industriellen Bereich sind sehr unterschiedlich hinsichtlich Menge, zeitlicher Verfügbarkeit, Dampfparameter etc., so daß andererseits eine beispielhafte Betrachtung nur ansatzweise den industriellen Bereich repräsentieren kann. Wesentliche Unterschiede bei der Versorgung industrieller Objekte gegenüber der Versorgung von Haushalten und Dienstleistungsbetrieben ergeben sich aus den Anforderungen bezüglich der zeitlichen Verfügbarkeit von Strom und Wärme und der Art des Wärmebedarfs. Während der Energieverbrauch zur Gebäudeversorgung durch die Jahreszeit stark beeinflusst wird, verändert sich der Verbrauch für Produktionsprozesse über das Jahr gesehen meist nur geringfügig. Stärker wirken sich demgegenüber die Betriebszeiten aus, so daß sich deutliche Unterschiede bei ein-, zwei- bzw. dreischichtiger Betriebsweise ergeben.

Will man den Energiebedarf von industriellen Versorgungsobjekten in eine typische Struktur einordnen, so muß berücksichtigt werden, daß der Energieverbrauch eines industriellen Objektes in Abhängigkeit von der Branchenzugehörigkeit des Unternehmens stark schwanken kann. Das Verhältnis von Strom- zu Wärmebedarf kann für die verschiedenen Objekte dabei zwischen 1 zu 20, bis hin zu einem Verhältnis von 1,5 zu 1 reichen. Während im ersten Fall deutlich mehr Wärme als Strom verbraucht wird, kehrt sich das Verhältnis im zweiten Fall um, und es wird sogar mehr Strom als Wärme benötigt.

Zu berücksichtigen ist ferner, daß Prozeßwärme meist auf einem höheren Temperaturniveau gegenüber den Anforderungen für Raumwärme und Warmwasser benötigt wird. Die folgende Abbildung zeigt für verschiedene Branchen die Aufschlüsselung des Wärmebedarfs nach Temperaturniveaus. Deutlich zu erkennen ist, daß der Schwerpunkt des Wärmeverbrauchs in der Industrie (abgesehen von den Hochofenprozessen in der eisenschaffenden Industrie) im Temperaturbereich zwischen 100 °C und 200 °C liegt.

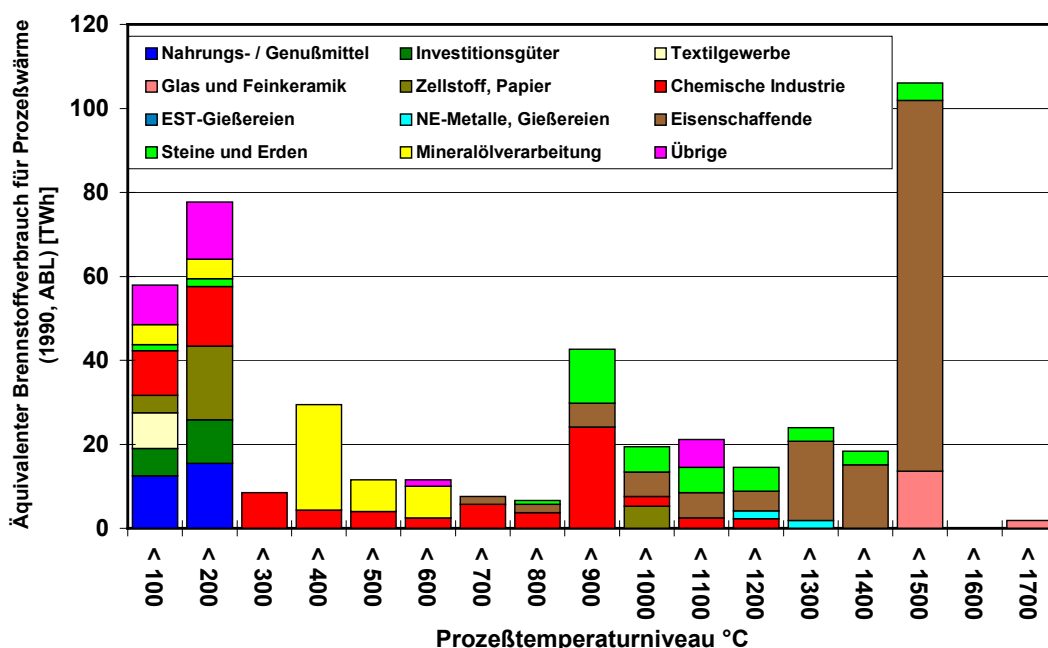


Abbildung 2-41: Temperaturniveau des Wärmebedarfs für unterschiedliche Branchen

### Wirtschaftlichkeit

Die Versorgung industrieller Objekte ist stark von der Frage der Wirtschaftlichkeit geprägt. Industrieunternehmen reagieren deutlich preissensibler als Haushalte auf die Kosten der Energieversorgung. Da allgemein gilt, daß der spezifische Preis pro Energieeinheit mit zunehmender Abnahmemenge zurückgeht, liegen die spezifischen Kosten der Energieversorgung meist niedriger als die der Haushalte. Eine Energieträgerumstellung kann im Bereich der Gebäudeversorgung meistens einfach erfolgen. Eine Energieträgerumstellung in einem Produktionsprozeß erfordert dagegen erfahrungsgemäß einen wesentlich höheren Investitionsaufwand.

Sofern Substitutionsmöglichkeiten bestehen, ist nur das Verhältnis der Energiekostenpreise zueinander, nicht aber deren absolute Höhe maßgeblich. Das Verhältnis von Strom- zu Brennstoffpreisen in der Industrie lag in der Vergangenheit meist im Bereich um 1 zu 5, d. h., eine Kilowattstunde Strom kostete etwa fünfmal so viel wie eine Kilowattstunde Brennstoff. Durch die Liberalisierung des deutschen Strommarktes in Verbindung mit dem starken Anstieg der Öl- und Gaspreise verschob sich dieses Verhältnis in den letzten Monaten zu einem Wert von ca. 1 zu 3. Dies führte u. a. dazu, daß die Eigenstromerzeugung häufig nicht mehr wirtschaftlich ist.

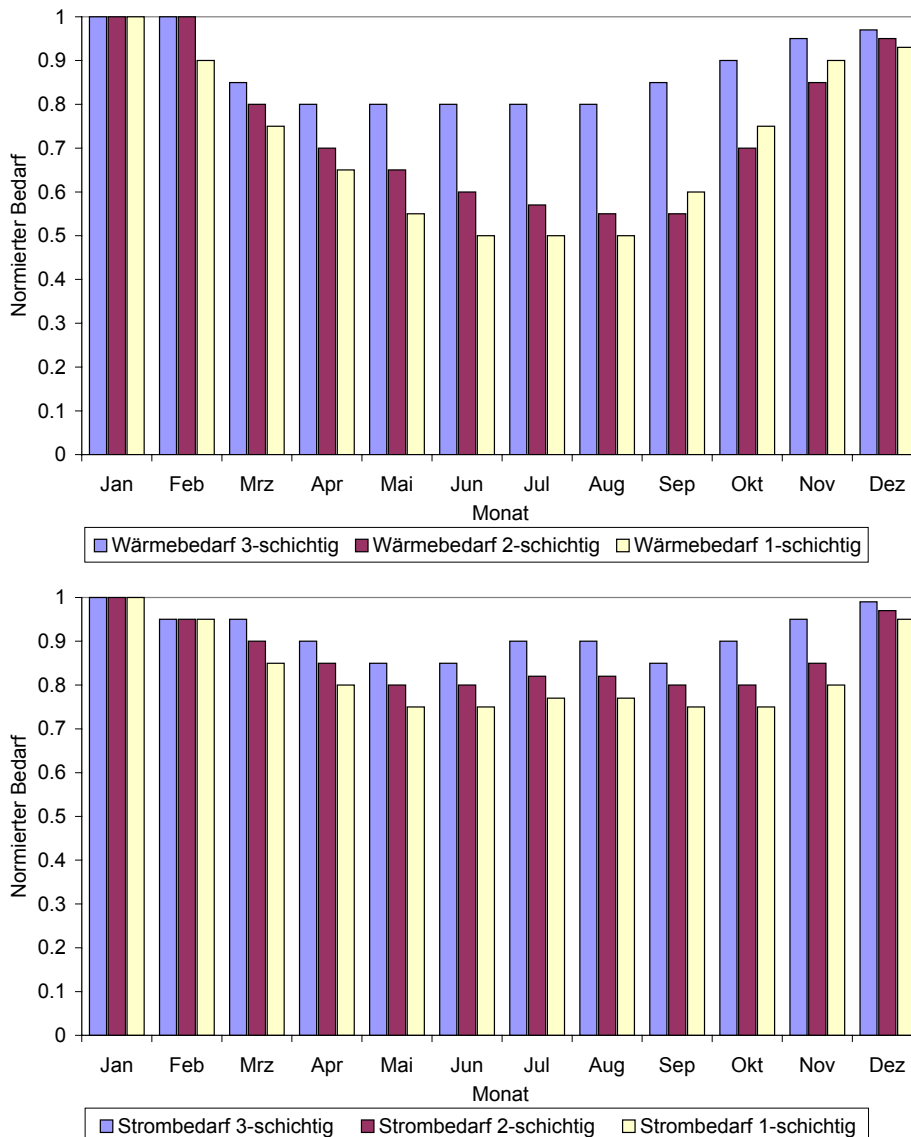


Abbildung 2-42: Jahresganglinie von Strom- und Wärmeverbrauch

### Ganglinien von Strom- und Wärmebedarf

Bei den Ganglinien für den Wärme- und Stromverbrauch eines Betriebes muß zwischen ein-, zwei- und dreischichtig arbeitenden Betrieben unterschieden werden, da die Veränderungen des Strom- und Wärmebedarfs über der Zeit sich für unterschiedliche Betriebszeitpunkte voneinander unterscheiden. In den folgenden Abbildung 2-42 und Abbildung 2-43 wurde die Veränderung der Verbrauchswerte über der Zeitachse dargestellt. Ein Wert von eins stellt eine 100%ige Leistungsaufnahme bzw. die maximale Leistungsaufnahme des Betriebes dar. Im Jahresverlauf wird dieser Maximalwert meist im Winter und im Wochenverlauf am Wochenanfang erreicht. Je nach Betrieb mag es in Sonderfällen jedoch auch zu Stromspitzen in den Sommermonaten kommen, die auf den hohen Bedarf für Klimatisierung in den Sommermonaten zurückzuführen sind. Je kontinuierlicher ein Betrieb arbeitet, um so geringer sind zudem die Schwankungen des Energiebedarfs. Dreischichtig arbeitende Betriebe weisen deshalb meist geringere Schwankungsbreiten auf. Eine Detaillierung des Energiebedarfs auf Tagesbasis erscheint für die Ermittlung der Wärmepotentiale industrieller Objekte und die Einbindung dieser Daten in Planungssysteme nicht sinnvoll und notwendig.

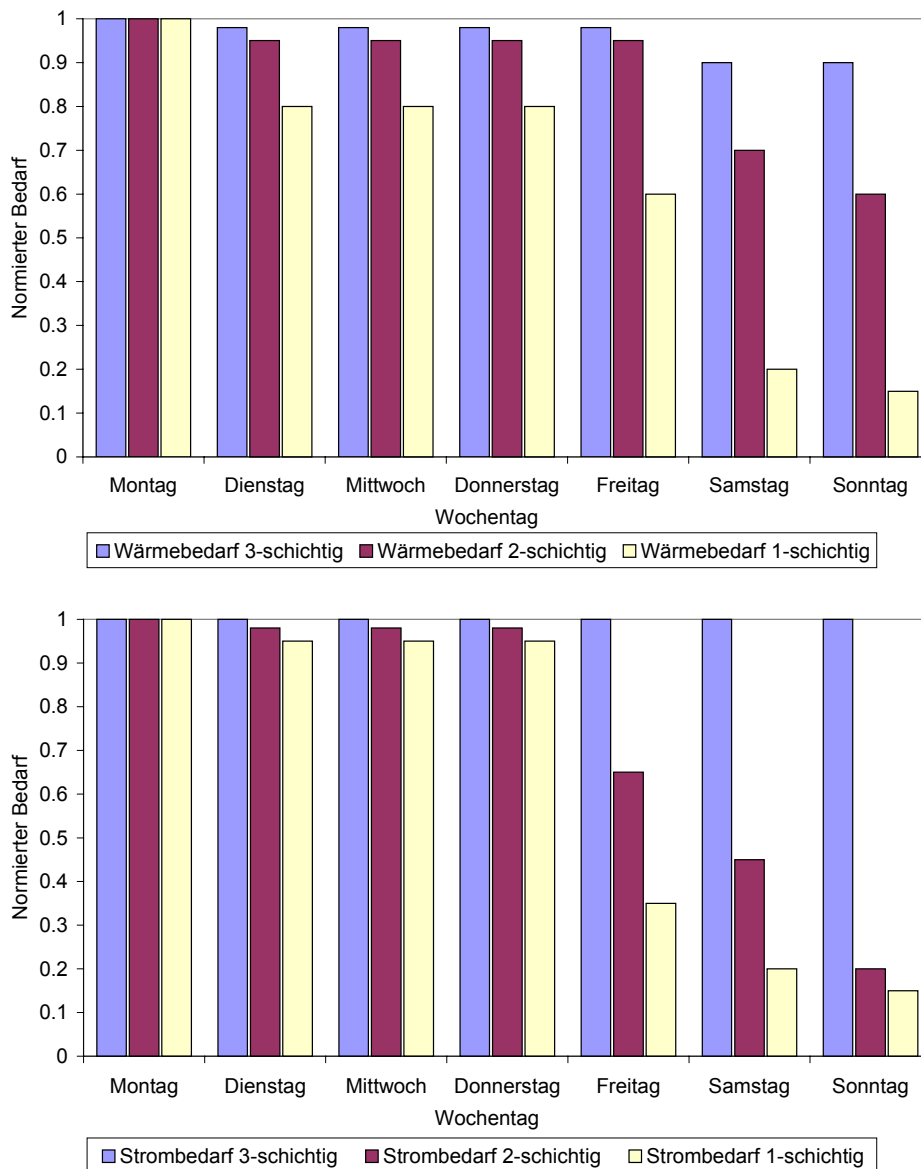


Abbildung 2-43: Wochenganglinie von Strom- und Wärmeverbrauch

## Energieeinsparung und Effizienzverbesserung bei industriellen Objekten

Typischerweise betragen die Energieeinsparpotentiale in der Industrie ca. 25 %. Dieser Wert variiert dabei in Abhängigkeit vom technischen Fortschritt und der Entwicklung bzw. der angenommenen Entwicklung der Energiepreise. Am einfachsten lassen sich im Industriebereich Einsparpotentiale im Bereich der Querschnittstechnologien Beleuchtung, Lüftung, Klimatisierung, Druckluft, Raumwärme und Warmwasser realisieren. Einsparungen im Prozeßbereich sind meist mit höheren Investitionen verbunden und erfordern einen Eingriff in den Kernprozeß, der andererseits mit zusätzlichen Mitnahmeeffekten, wie Verbesserung der Produktqualität oder der Bedienbarkeit, verbunden sein kann. Häufig wird allerdings das mögliche Risiko für die Qualität des Produktes höher bewertet als ein mögliches Energieeinsparpotentiale. Tabelle 2–24 faßt exemplarisch mögliche Einsparpotentiale zusammen.

Technologie	Einsparpotential
Beleuchtung	15 %
Lüftung	25 %
Klimatisierung	30 %
Druckluft	35 %
Kälteerzeugung	25 %
sonstige Elektromotoren	20 %
Raumwärme	40 %
Warmwasser	25 %

Tabelle 2–24: Energieeinsparpotentiale bei Querschnittstechnologien in industriellen Objekten

Von besonderer Bedeutung ist dabei, daß die Energieeinsparpotentiale in den meisten Betrieben wirtschaftlich sind. So ist das für den Bereich Druckluftherzeugung angegebene Einsparpotential meist mit Amortisationszeiten unterhalb von zwei Jahren umzusetzen. Der Bereich eröffnet Möglichkeiten für externe Energiedienstleister, sofern das Unternehmen trotz der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen nicht selber investieren möchte.

Im Bereich der Prozesse lassen sich solche generellen Aussagen nicht in dieser Einfachheit treffen. Der Prozeßenergieverbrauch eines Betriebes kann nicht standardisiert werden, vielmehr ist hier für jeden einzelnen Betrieb eine individuelle Analyse erforderlich. Es gilt jedoch auch für diesen Bereich, daß meist erhebliche Einsparpotentiale existieren.

### 2.3.2 Beispiel Papierindustrie

Als Beispiel zur industriellen Objektversorgung wurde ein Unternehmen der Papierindustrie herangezogen. Die Papierindustrie ist nach der chemischen Industrie die Branche mit dem höchsten KWK-Nutzungsanteil, daher repräsentiert das Beispiel einen verbreiteten Anwendungsfall. Die zugrundeliegenden Daten und Versorgungs-

fälle lehnen sich jedoch an generellem Branchenwissen an und repräsentieren kein reales Unternehmen.

Bei der Papierherstellung wird Dampf neben der Aufheizung der Prozeßströme vor allem zur Beheizung der Trockenzylinder zur Trocknung der feuchten Papierbahnen benötigt. Die Unternehmen arbeiten üblicherweise im Dreischichtbetrieb rund um die Uhr und der Betrieb ruht meist nur an wenigen Tagen im Jahr für Reparatur- und Instandsetzungsarbeiten, so daß eine Dampfversorgung während ca. 8.600 Stunden pro Jahr gewährleistet sein muß. Der Dampf wird im allgemeinen bei einer Temperatur von ca. 150 °C und einem Druck von 3 bar benötigt. Bei einer jährlichen Papierproduktion von 100.000 Tonnen ergibt sich ein jährlicher Wärmebedarf von 220 GWh bei den angegebenen Betriebsdaten und ein jährlicher Strombedarf von 67 GWh, der sich konstant über das ganze Jahr verteilt (Tabelle 2–25). Der monatliche Wärmebedarf liegt in den Sommermonaten nur geringfügig niedriger als in den Wintermonaten.

**Produktionsdaten**

<b>Produktion</b>	<b>to Papier</b>	<b>100 000</b>
Spez. Stromverbrauch	kWh_el/t	670
Spez. Wärmeverbrauch	kWh_th/t	2.200
Stromverbrauch pro Jahr	MWh/a	67.000
Wärmeverbrauch pro Jahr	MWh/a	220.000
Betriebsstunden	h/a	8.600

Tabelle 2–25: Energiebedarf und Produktionskennwerte

Für die Versorgung mit Strom, Dampf und Warmwasser wird eine GuD-Anlage mit einer gesamten elektrischen Nennleistung von 10 MW projiziert (Tabelle 2–26). In einer Gasturbine, die zur Variation der Wärmebereitstellung mit einem zusatzgefeuerten Abhitzeessel kombiniert ist, wird überhitzter Dampf mit einem Druck von 64 bar und einer Temperatur von 470 °C erzeugt. Der im Abhitzeessel erzeugte Dampf wird vollständig einer Entnahmekondensationsturbine zugeführt. Unabhängig vom Dampfbedarf muß ein Teilmassenstrom stets über den Kondensationsteil der Turbine gefahren werden. Als Brennstoff wird ausschließlich Erdgas eingesetzt, Heizöl steht prinzipiell als Alternativbrennstoff zur Verfügung, häufig werden in der Papierindustrie auch Restbrennstoffe eingesetzt. Diese Anwendungsfälle werden in diesem Fall nicht berücksichtigt.

**Komplette Eigenversorgung durch GuD-Anlage in KWK, Einspeisung ins Netz**

el. Leistung	MW	10
therm. Leistung	MW	36
el. Nutzungsgrad	%	22 %
therm. Nutzungsgrad	%	58 %
Ges. Nutzungsgrad	%	80 %
Erzeugung Strom	MWh	83.000
Rückspeisung ins Netz	MWh	16.000
Erzeugung Wärme	MWh	220.000
Erdgas-Input	MWh	379.000
CO2-Emissionen gesamt	t	75.990
Primärenergie ohne Stromrückspeisung	MWh	359.000
CO2-Emissionen ohne Stromrückspeisung	t	71.980
<i>Kostenermittlung</i>		
spez. Investitionskosten	DM/kW	1,200
Investitionen gesamt	TDM	12,000
Zinssatz	%/a	10%
Nutzungsdauer	a	10
Annuität	%/a	16,275%
Wartung	%/a der IK	1%
Bedienung	%/a der IK	0,5%
Verwalt./Versicherung	%/a der IK	1%
Erdgaspreis	DM/kWh	0,030
Kapitalkosten	TDM/a	1,953
Wartungskosten	TDM/a	120
Bedienung	TDM/a	60
Verwaltung/Versicherung	TDM/a	120
Brennstoffkosten	TDM/a	11,370
Summe jährliche Kosten	TDM/a	13,623
Strompreis Einspeisung	DM/kWh	0,06
Erlös aus Stromeinspeisung	TDM/a	-960
vergleichbarer Strompreis	DM/kWh	0,07
Stromgutschrift	TDM/a	-4.690
Differenz	TDM/a	7.973
<b>Wärmeerzeugungskosten KWK</b>	<b>DM/MWh<sub>th</sub></b>	<b>36,24</b>

Tabelle 2–26: Bestehende Objektversorgung mit KWK



Der elektrische Gesamtwirkungsgrad der Anlage liegt bei ca. 22 %, der Wärmenutzungsgrad für die Dampferzeugung bei ca. 58 %. Da der Wirkungsgrad für die Dampferzeugung mit steigender Zufeuerung im Abhitzeessel zunimmt, ergibt sich in den Wintermonaten mit größerem Dampfbedarf ein geringfügig erhöhter Dampferzeugungswirkungsgrad. Entsprechend liegt auch der Gesamtnutzungsgrad der GuD-Anlage in den Wintermonaten ca. 2 % über den Werten in den Sommermonaten, da in den Sommermonaten zusätzlich die Stromerzeugung in der Gasturbine geringer ist.

Die Stromerzeugung im Unternehmen teilt sich zu etwa gleichen Teilen auf die Dampf- und die Gasturbine auf, die pro Monat jeweils etwa 3,4 GWh erzeugen. Ein Fremdstrombezug ist vorgesehen, soll aber im betrachteten Fall nicht in Anspruch genommen werden. Hingegen wird die Anlage wärmegeführt betrieben und mehr Strom erzeugt als benötigt wird, so daß eine ständige Rückspeisung von Strom aus dem Unternehmen in das öffentliche Netz erfolgt. Die zurückgespeiste Strommenge entspricht ca. 19 % der eigenerzeugten Strommenge.

### 3 Energieeinsparung durch verstärkte Wärmedämmung

#### 3.1 Einsparpotentiale im Siedlungsbereich

Die Einsparpotentiale im Siedlungsbereich richten sich nach den Wärmemaßnahmen, die am Gebäudebestand bzw. an den Gebäudetypen des Bestandes durchgeführt werden. Im nachfolgenden Abschnitt wird kurz auf die untersuchten Wärmedämmmaßnahmen und die Reduktion des spezifischen Wärmeverbrauchs in den Gebäudetypen eingegangen, um im anschließenden Kapitel 3.1.2 die Auswirkungen auf die untersuchten Siedlungstypen zu analysieren.

##### 3.1.1 Wärmedämmung an typischen Gebäudetypen

Für jedes der in Kap. 2.1.4 aufgeführten IKARUS-Typgebäude werden, ausgehend von dem wärmetechnischen IST-Zustand, die in Kap. 1.2.2 definierten Varianten der wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich der Kosten und des **Heizwärmebedarfs** dargestellt.

Die Typgebäude unterscheiden sich hinsichtlich der bauphysikalischen und geometrischen Rahmendaten. Somit haben die gleichen Sanierungsmaßnahmen verschiedene Auswirkungen hinsichtlich der Kosten und des Einspareffekts im Heizwärmebedarf. Am deutlichsten ist dies bei der Dachdämmung, hinter dieser verbirgt sich je nach Gebäude eine Aufsparrendämmung des Steildachs (EFH), eine Dämmung der obersten Geschoßdecke (KMH, GMH) oder eine zusätzliche Dämmung eines Flachdachs (KMH 1969-78, GMH 1958-68).

Die Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen auf den **Heizenergiebedarf** (Heizwärmebedarf + Verteilsystem-/Speicherverluste + Umwandlungsverluste + Energiebedarf für Warmwasserbereitung) werden im Kapitel 4 ("Energetischer und ökonomischer Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten") untersucht.

Tabelle 3–1 enthält die Ergebnisse der wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen der zehn Typgebäude. Mit einem Austausch der Fenster gegen Fenster mit Wärmeschutzverglasung (Variante 1) können bei den ausgewählten Typgebäuden zwischen 9 und 18 % des Heizwärmebedarfs eingespart werden. Die Unterschiede rühren zum Teil von dem unterschiedlichen Ausgangszustand der Fenster her, großen Einfluß hat aber auch der Anteil der Fensterflächen.

Mit einer zusätzlichen Dachdämmung (Variante 2) können bereits zwischen 17 und 26 % des Heizwärmebedarfs eingespart werden. In der Regel sind die Einsparungen bei großen Gebäuden wegen der im Verhältnis zur gesamten Außenfläche kleineren Dachfläche geringer. Für das Typgebäude "KMH 1979-83" bewirkt die Variante 2 gegenüber der Variante 1 keine weitere Verminderung des Heizwärmebedarfs. Für dieses Gebäude ist der wärmetechnische Ausgangszustand des Daches bereits so gut, daß die Dämmmaßnahme am Dach bereits beinhaltet ist.

Die größten Einsparmöglichkeiten bringt eine Dämmung der Außenwand mit sich. Diese Maßnahme alleine bewirkt in der Regel zwischen 30 und 40 % Heizwärmeeinsparung. Im Extremfall kann sogar über die Hälfte des Heizwärmebedarfs eingespart werden. Insgesamt beträgt die mit Sanierungsvariante 3 erreichbare Reduktion des Heizwärmebedarfs zwischen 40 und 70 %.

Die mit der Dämmung der Kellerdecke erreichbaren Einsparungen liegen zwischen 1 % und 12 %. Im Vergleich zu anderen Maßnahmen ist der Effekt der Keller-

dämmung in der Regel gering. Insgesamt kann durch die Dämmung der gesamten Außenhülle des Gebäudes (Variante 4) der Heizwärmebedarf um bis zu 71 % gesenkt werden, in den meisten Fällen kann mit Sanierungsvariante 4 weit über die Hälfte des Heizwärmebedarfs eingespart werden.

Gebäudetyp	Baualterklasse	Ist-Zustand	Wärmetechnische Verbesserung							
			Variante 1			Variante 2		Variante 3		Variante 4
		Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Einsparung	Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Einsparung	Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Einsparung	Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Einsparung
EFH	1958-68	169,8	154,9	8,8 %	132,8	21,8 %	83,7	50,7 %	68,4	59,7 %
	1969-78	135,7	117,9	13,1 %	106,9	21,2 %	80,2	40,9 %	70,1	48,3 %
KMH	1949-57	183,1	165,9	9,4 %	148,2	19,1 %	85,0	53,6 %	63,9	65,1 %
	1958-68	186,4	163,7	12,2 %	138,3	25,8 %	68,9	63,1 %	63,4	66,0 %
	1969-78	130,0	112,4	13,5 %	97,6	24,9 %	51,1	60,7 %	45,5	65,0 %
	1979-83	99,5	86,6	12,9 %	86,6	12,9 %	54,0	45,7 %	50,8	48,9 %
GMH	Bis 1918	126,4	104,3	17,5 %	98,6	22,0 %	63,3	49,9 %	57,8	54,3 %
	1919-48	180,9	158,2	12,6 %	149,0	17,6 %	76,0	58,0 %	69,8	61,4 %
	1949-57	145,4	125,4	13,8 %	118,3	18,6 %	60,3	58,5 %	55,5	61,9 %
	1958-68	165,1	140,7	14,8 %	136,8	17,1 %	50,1	69,6 %	48,0	70,9 %

Tabelle 3–1: Verminderung des spezifischen Heizwärmebedarfs durch wärmetechnische Verbesserungsmaßnahmen

Die Tabelle 3–2 bis Tabelle 3–4 beschreiben Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesserungsmaßnahmen für die untersuchten Typgebäude. Zusatzinvestitionen sind hier die Mehrkosten einer Wärmedämmmaßnahme gegenüber einer reinen Instandsetzungsmaßnahme des entsprechenden Bauteils ohne Wärmedämmung. Bei einem Fensteraustausch sind die Mehrkosten der Fenster mit  $U_w$ -Wert 1,4 W/(m<sup>2</sup>K) gegenüber Fenstern mit einem mit  $U_w$ -Wert von 1,8 W/(m<sup>2</sup>K) angegeben. Von den Einzelmaßnahmen fallen, bezogen auf die Wohnfläche für die Außenwanddämmung, in der Regel die höchsten Kosten an. Bei Einfamilienhäusern können jedoch die Kosten für die Dachdämmung diese noch übersteigen (Aufsparrendämmung). Ein Maß für die Effizienz der wärmetechnischen Maßnahme sind die Kosten der Maßnahme pro jährlich eingesparter Heizwärme (Aufwendungen für Zinsen und dergleichen sind nicht berücksichtigt). Welche Maßnahme dabei am effizientesten ist, ist von Gebäude zu Gebäude verschieden. Nur Variante 1 (Fensteraustausch) ist, bezogen auf die Zusatzinvestitionen, bei allen Gebäuden am günstigsten. Aufgrund der unterschiedlichen Dachdämmmaßnahmen differieren sowohl die Kosten als auch die Effizienz für Sanierungsvariante 2 am stärksten.

Gebäude- typ	Baualter- klasse	Ist-Zustand	Wärmetechnische Verbesserung, Variante 1				
			Einsparung des Heizwär- mebedarfs in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Gesamtinvestitions- kosten		Zusatzinvestitionen	
		Heizwärme- bedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)		in DM/m <sup>2</sup> <sub>Woff.</sub>	DM je eingesp. kWh/a	in DM/m <sup>2</sup> <sub>Woff.</sub>	DM je eingesp. kWh/a
EFH	1958-68	169,8	15,0	64,3	4,3	6,41	0,43
	1969-78	135,7	17,8	83,6	4,7	8,75	0,49
KMH	1949-57	183,1	17,2	60,1	3,5	4,75	0,28
	1958-68	186,4	22,7	74,3	3,3	5,09	0,22
	1969-78	130,0	17,6	61,3	3,5	4,62	0,26
	1979-83	99,5	12,8	52,1	4,1	5,00	0,39
GMH	bis 1918	126,4	22,1	72,9	3,3	5,05	0,23
	1919-48	180,9	22,7	79,1	3,5	5,96	0,26
	1949-57	145,4	20,0	72,6	3,6	5,77	0,29
	1958-68	165,1	24,4	80,9	3,3	5,55	0,23

Tabelle 3–2: Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesserungsmaßnahme Variante 1 (Fenster austausch)

Gebäude- typ	Baualter- klasse	Ist-Zustand	Wärmetechnische Verbesserung, Variante 2				
			Einsparung des Heiz- wärmebedarfs in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Gesamtinvestitions- kosten		Zusatzinvestitionen	
		Heizwärme- bedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)		in DM/m <sup>2</sup> <sub>Woff.</sub>	DM je ein- gesp. kWh/a	in DM/m <sup>2</sup> <sub>Woff.</sub>	DM je eingesp. kWh/a
EFH	1958-68	169,8	37,1	308,7	8,33	99,3	2,68
	1969-78	135,7	28,7	461,0	16,04	152,2	5,30
KMH	1949-57	183,1	34,9	113,9	3,27	58,6	1,68
	1958-68	186,4	48,2	104,9	2,18	35,7	0,74
	1969-78	130,0	32,4	150,8	4,65	20,4	0,63
	1979-83	99,5	12,8 <sup>a)</sup>	52,1 <sup>a)</sup>	4,06	5,0	0,39
GMH	Bis 1918	126,4	27,8	95,8	3,45	27,9	1,01
	1919-48	180,9	31,9	104,7	3,29	31,6	0,99
	1949-57	145,4	27,1	137,4	5,07	17,2	0,64
	1958-68	165,1	28,2	116,3	4,12	11,8	0,42

<sup>a)</sup> Der Ausgangszustand des Gebäudes beinhaltet bereits die in Variante 2 vorgesehene Dachdämmung.

Tabelle 3–3: Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesserungsmaßnahme Variante 2 (Fenster und Dach)

Gebäude- typ	Bau- al- ters- klasse	Ist-Zustand	Wärmetechnische Verbesserung, Variante 3				
			Einsparung des Heiz- wärmebe- darfs in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Gesamtinvestitionsko- sten		Zusatzinvestitionen	
		Heizwärme- bedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)		in DM/m <sup>2</sup> <sub>Woff.</sub>	DM je eingesp. kWh/a	in DM/m <sup>2</sup> <sub>Woff.</sub>	DM je eingesp. kWh/a
EFH	1958-68	169,8	86,1	476,4	5,53	161,9	1,88
	1969-78	135,7	55,4	710,6	12,82	245,5	4,43
KMH	1949-57	183,1	98,1	286,4	2,92	107,4	1,10
	1958-68	186,4	117,6	263,0	2,24	80,4	0,68
	1969-78	130,0	78,9	302,1	3,83	63,3	0,80
	1979-83	99,5	45,4	218,4	4,81	52,1	1,15
GMH	Bis 1918	126,4	63,1	256,5	4,06	73,4	1,16
	1919-48	180,9	105,0	308,3	2,94	89,2	0,85
	1949-57	145,4	85,1	345,8	4,06	76,2	0,90
	1958-68	165,1	115,0	319,0	2,77	69,2	0,60

Tabelle 3–4: Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesserungsmaßnahme Variante 3 (Fenster, Dach und Außenwand)

Gebäude- typ	Bau- al- ters- klasse	Ist-Zustand	Wärmetechnische Verbesserung, Variante 4				
			Einsparung des Heiz- wärmebe- darfs in kWh/(m <sup>2</sup> a)	Gesamtinvestitions- kosten		Zusatzinvestitionen	
		Heizwärme- bedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)		in DM/m <sup>2</sup> <sub>Woff.</sub>	DM je eingesp. kWh/a	in DM/m <sup>2</sup> <sub>Woff.</sub>	DM je eingesp. kWh/a
EFH	1958-68	68,4	101,4	525,3	5,18	210,9	2,08
	1969-78	70,1	65,6	768,9	11,73	303,7	4,63
KMH	1949-57	63,9	119,2	325	2,73	146	1,22
	1958-68	63,4	123,1	285	2,32	102,5	0,83
	1969-78	45,5	84,5	323,6	3,83	84,8	1,00
	1979-83	50,8	48,6	245,4	5,05	79	1,62
GMH	Bis 1918	57,8	68,6	272,8	3,97	89,7	1,31
	1919-48	69,8	111,1	327,2	2,95	108,1	0,97
	1949-57	55,5	90,0	361,5	4,02	91,9	1,02
	1958-68	48,0	117,1	327,4	2,80	77,5	0,66

Tabelle 3–5: Investitionskosten und Effizienz der wärmetechnischen Verbesserungsmaßnahme Variante 4 (Fenster, Dach, Außenwand und Keller)

### 3.1.2 Wärmebedarfs- und Verbrauchsentwicklung in den Siedlungstypen

Basierend auf den Gebäudetypdaten kann die Wärmeverbrauchsdichte bzw. die Wärmehöchstlastdichte für die unterschiedlichen Siedlungstypen bestimmt werden. Hierfür ist es notwendig, in Abhängigkeit von der Gebäudeanzahl der Siedlungstypen pro km<sup>2</sup> (vgl. Tabelle 2–21) und dem Anteil der Gebäudetypen (vgl. Tabelle 2–22 und Tabelle 2–23) die Anzahl der Gebäudetypen pro km<sup>2</sup> zu bestimmen. Unter Berücksichtigung des spezifischen Heizwärmebedarfs der Gebäudetypen und deren Gebäudewohnfläche kann beispielsweise die Wärmeverbrauchsdichte bestimmt werden. In Abbildung 3-1 sind entsprechende Werte für die untersuchten Siedlungstypen zusammengestellt. Hierbei wird deutlich, daß zwischen der Wärmeverbrauchsdichte des Siedlungstyps 2 (Einfamilienhaus- und Doppelhaussiedlung) und dem Siedlungstyp 8 (Citybebauung) der Faktor 2,75 ist. Dementsprechend ist der Siedlungstyp 8 eher für die Fernwärmeversorgung geeignet als der Siedlungstyp 2. Der Unterschied zwischen der Wärmeverbrauchsdichte des Siedlungstyps 8 und Siedlungstyps 7b und 7a beträgt dagegen nur ca. 16 bis 18 %.

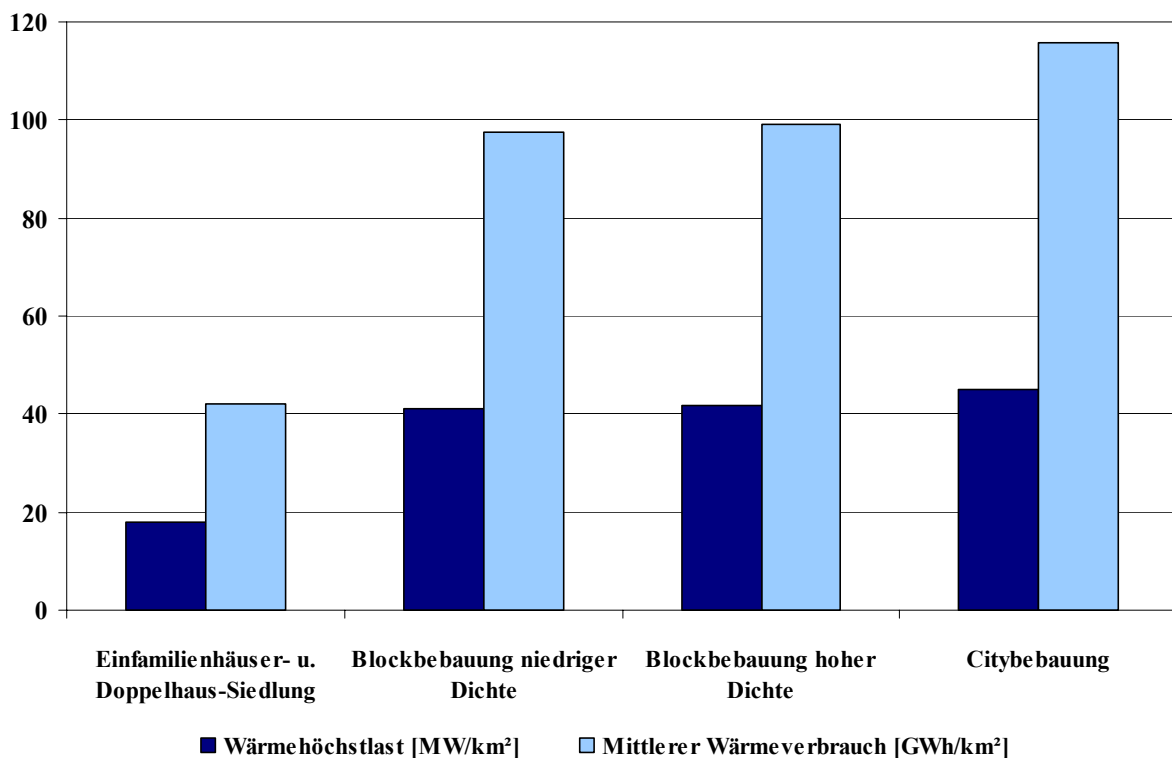


Abbildung 3-1: Wärmehöchstlast- und Wärmeverbrauchsdichte für die untersuchten Siedlungstypen ST 2, ST 7a, ST 7b und ST 8

In Abhängigkeit der unterschiedlichen prozentualen Zusammensetzung eines Siedlungstyps aus den verschiedenen Gebäudetypen haben die Sanierungs- oder Wärmedämmmaßnahmen an den Gebäudetypen unterschiedliche Auswirkungen auf die einzelnen Siedlungstypen. In Tabelle 3–6 sind für die unterschiedlichen Varianten der Sanierungsmaßnahmen die Wärmeverbrauchsdichte und in Tabelle 3–7 die Wärmehöchstlastdichten für die verschiedenen Siedlungstypen zusammengestellt. Die Varianten der Sanierungsvarianten entsprechen hierbei den Sanierungsmaßnahmen der Gebäudetypen.

Durch die Verknüpfung von Gebäudetypen und Siedlungstypen können somit sowohl die ökonomischen als auch ökologischen Auswirkungen von unterschiedlichen Einspartechnologien, als auch leitungsgebundene und leitungsungebundene Versorgungssysteme analysiert werden.

Siedlungstyp	Ist-Zustand	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4	
	Mittlere Wärmeverbrauchs-dichte in GWh/(km <sup>2</sup> a)	Mittlere Wärmeverbrauchs-dichte in GWh/(km <sup>2</sup> a)	Ein-sparung	Mittlere Wärmeverbrauchs-dichte in GWh/(km <sup>2</sup> a)	Ein-sparung	Mittlere Wärmeverbrauchs-dichte in GWh/(km <sup>2</sup> a)	Ein-sparung	Mittlere Wärmeverbrauchs-dichte in GWh/(km <sup>2</sup> a)	Ein-sparung
ST 2	42,1	37,3	11,3 %	32,8	22,2 %	23,9	43,1 %	19,6	53,4 %
ST 7a	97,6	83,8	14,2 %	78,6	18,9 %	39,3	59,7 %	35,9	63,2 %
ST 7b	99,2	85,0	14,2 %	79,6	19,7 %	40,2	59,5 %	36,6	63,1 %
ST 8	115,9	103,4	10,7 %	92,7	20,0 %	56,3	51,4 %	48,7	57,9 %

Tabelle 3–6: Wärmeverbrauchs-dichte für die untersuchten Siedlungstypen in Abhängigkeit der Sanierungsvariante

Siedlungs-typ	Ist-Zustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
	Mittlere Wärme-höchstlastdichte in MW/(km <sup>2</sup> a)	Mittlere Wärme-höchstlastdichte in MW/(km <sup>2</sup> a)	Mittlere Wärme-höchstlastdichte in MW/(km <sup>2</sup> a)	Mittlere Wärme-höchstlastdichte in MW/(km <sup>2</sup> a)	Mittlere Wärme-höchstlastdichte in MW/(km <sup>2</sup> a)
ST2	17,9	15,9	13,9	10,2	8,3
ST 7a	41,1	35,3	33,1	16,6	15,1
ST 7b	41,8	35,8	33,5	16,9	15,4
ST 8	45,1	40,2	36,1	21,9	19,0

Tabelle 3–7: Wärmehöchstlastdichte für die untersuchten Siedlungstypen in Abhängigkeit der Sanierungsvariante

### 3.2 Einsparpotentiale bei der kommunalen Objektversorgung

Tabelle 3–8 enthält die zugrunde gelegten Kosteneinschätzungen für die Wärmeschutzmaßnahmen, die zu einer Erfüllung der Bauteilanforderungen der EVO und die bei NEH-Standard anfallen würden. Dabei ist davon ausgegangen worden, daß ohnehin anfallende Sanierungen den Kostenumfang mindern, der den eigentlichen Wärmeschutzmaßnahmen zuzuordnen ist. In Tabelle 4 sind, basierend auf Investiti-

## Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

onskosten für das gesamte Schulzentrum in Höhe von 1,155 Mio. DM (EVO) bzw. 1,627 Mio. DM (NEH), Jahreskosten ermittelt worden.

Schulzentrum	Schule			Sporthalle			Umkleidebereich		
	Ausgangszustand	EVO	NEH	Ausgangszustand	EVO	NEH	Ausgangszustand	EVO	NEH
Nutzfläche (m2)	4750	4750	4750	1086	1086	1086	526	526	526
spez. Wärmeverbrauch (kWh/(m2*a))	168	87	56	245	100	64	234	164	123
maximaler Wärmebedarf (kW)	688	387	273	205	96	66	86	58	46
Wärmeverbrauch (MWh/a)	797	412	268	266	109	69	123	87	65
Bauart	leicht	leicht	leicht	schwer	schwer	schwer	schwer	schwer	schwer
Raumhöhe (m)	3,1	3,1	3,1	8	8	8	3	3	3
Interne Wärmegewinne (W)	45900	45900	45900	8750	8750	8750	8750	8750	8750
Fensterdurchlassgrad (-)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Flächen:									
Fensterfläche Nord (m2)	655	655	655	220,6	220,6	220,6	48	48	48
Fensterfläche Süd (m2)	838	838	838	5,5	5,5	5,5	0	0	0
Fensterfläche Ost und West (m2)	220	220	220	363,7	363,7	363,7	87	87	87
Dachfläche (m2)	1887	1887	1887	1474,2	1474,2	1474,2	561,6	561,6	561,6
Grundfläche (m2)	1887	1887	1887	1215	1215	1215	566	566	566
Fläche Außenwand (m2)	2730	2730	2730	197,6	197,6	197,6	200	200	200
Sonstige Flächen (m2)	23	23	23	292,5	292,5	292,5	2,2	2,2	2,2
u-Werte (W/(m2*K)):									
Außenwand	1,55	0,35	0,18	1,98	0,35	0,19	2,9	0,35	0,19
Fenster	3	1,7	1,1	3	1,7	1,4	3	1,7	1,1
Dachfläche	0,8	0,25	0,14	0,8	0,25	0,15	0,8	0,25	0,15
Grundfläche	0,9	0,5	0,25	0,9	0,5	0,3	0,9	0,46	0,3
Sonstiges	0,9	0,5	0,5	0,99	0,5	0,3	5	0,46	0
Raumtemperaturen (°C)									
Soll am Tag:	19	19	19	19	19	19	24	24	24
Nachtabsenkung auf:	16	16	16	16	16	16	18	18	18
Maximalraumtemperatur:	23	23	23	23	23	23	28	28	28
Wochenendabsenkung:	15	15	15	19	19	19	24	24	24
Soll in den Ferien:	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Wärmebrückenverlustkoeffizienten (W/(m*K))									
Fenster-Wand	0,26	0,26	0,04	0,23	0,23	0,04	0,23	0,23	0,04
Wand-Dach	0,28	0,28	0,1	0,28	0,2	0,1	0,14	0,14	0,1
Außenwand-Keller	0,6	0,2	0,05	0,6	0,2	0,05	0,6	0,2	0,05
Abmessung Anschluss (m)									
Fenster-Wand	2722	2722	2722	956,3	956,3	956,3	282	282	282
Wand-Dach	1350	1350	1350	149,5	149,5	149,5	107	107	107
Außenwand-Keller	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 3–8: Energiebedarf bestimmende Kennwerte der Gebäude (Teil 1)

Schulzentrum	Schule			Sporthalle			Umkleidebereich		
	Ausgangszustand	EVO	NEH	Ausgangszustand	EVO	NEH	Ausgangszustand	EVO	NEH
Luftwechselrate (1/h)	1,2	1,2	1,2	0,25	0,25	0,25	0,25	1,5	1,5
Nutzer	656	656	656	125	125	125	125	125	125
Warmwasserbedarf (kWh/a)/Nutzer	48	48	48	0	0	0	96	96	96
Warmwasserbedarf (MWh/a)	31,5	31,5	31,5	0	0	0	12	12	12
Vollbenutzungsstunden (h/a)	1158	1065	982	1298	1135	1045	1430	1491	1404

Tabelle 3–9: Energiebedarf bestimmende Kennwerte der Gebäude (Teil 2)



Schulzentrum	Schule		Sporthalle		Umkleidebereich	
	EVO	NEH	EVO	NEH	EVO	NEH
<b>spez. Inv.-Kosten für Wärmeschutzmaßnahmen (DM/m<sup>2</sup> Bauteil)</b>						
Außenwand	140	170	140	170	140	170
Fenster	30	100	30	100	30	100
Dachfläche	100	130	100	130	100	130
Grundfläche	60	80	60	80	60	80
Sonstiges	100	150	100	150	100	150
<b>Inv.-Kosten für Wärmeschutzmaßnahmen (TDM)</b>						
Außenwand	382	464	28	34	28	34
Fenster	51	171	18	59	4	14
Dachfläche	189	245	147	192	56	73
Grundfläche	113	151	73	97	34	45
Sonstiges	2	3	29	44	0	0
<b>Summe</b>	<b>738</b>	<b>1035</b>	<b>295</b>	<b>425</b>	<b>122</b>	<b>166</b>

Tabelle 3–10: Kostenabschätzung für Wärmeschutzmaßnahmen

Schulzentrum	alle Gebäude		
	Ausgangszustand	EVO	NEH
Jahreskosten für Wärmeschutzmaßnahmen (DM/a)			
Instandhaltung/a	0,5%	5776	8133
Kapitalzins	4%	53771	75715
Lebensdauer (J.)	50		
<b>Summe</b>		<b>59547</b>	<b>83848</b>

Tabelle 3–11: Kosten der Wärmeschutzmaßnahmen für das gesamte Schulzentrum

Ferien	
Winter von:	24. Dez
Winter bis:	05. Jan
Ostern von:	02. Apr
Ostern bis:	17. Apr
Sommer von:	28. Jun
Sommer bis:	08. Aug
Herbst von:	01. Okt
Herbst bis:	13. Okt

Tabelle 3–12: Annahmen zu den Ferienzeiten zur Einschätzung des Jahresganges des Wärmebedarfs

## 4 Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten

In diesem Kapitel wird exemplarisch ein energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich unterschiedlicher Versorgungsvarianten im Bereich Siedlungs-KWK, Objektversorgung und Industrie durchgeführt.

### 4.1 Siedlungsbereich

Prinzipiell kann die Strom- und Wärmenachfrage im Siedlungsbereich mit einer Vielzahl unterschiedlicher getrennter und gekoppelter Erzeugungssysteme gedeckt werden. Für den energetischen und ökonomischen Vergleich werden hierbei für die getrennte Wärmeerzeugung die Varianten Heizöl-Niedertemperaturheizung (HEL-NT), Erdgas-Brennwertkessel (EG-BW) oder elektrischer Wärmepumpe (WP-el.) und für die getrennte Stromerzeugung der Stromerzeugungsmix Deutschland (MIX), der fossile Stromerzeugungsmix Deutschland (MIX) oder das GuD-Kondensationskraftwerk (GuD) untersucht. In Tabelle 4–1 sind die verwendeten Wirkungsgrade für die getrennte Stromerzeugung zusammengestellt.

	Wirkungsgrad in % (netto)	Spezifische CO <sub>2</sub> - Emissionen in kg CO <sub>2</sub> /MWh
Fossiler Stromerzeugungsmix	42	780
Stromerzeugungsmix Deutschland	36,8	609,6
GuD (Neu)	58	346,6

Tabelle 4–1: Wirkungsgrad und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der betrachteten getrennten Stromerzeugungssysteme

Als Alternativen der gekoppelten Erzeugung wird eine GuD-KWK-Anlage (FW-GuD), ein Steinkohle-Heizkraftwerk (FW-SK-KWK) und ein BHKW (BHKW-NW) betrachtet (vgl. Tabelle 1–1).

Ein energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten wird immer davon beeinflusst, inwieweit es möglich ist, Techniken effizient der Versorgungsaufgabe anzupassen. Die Bewertung von KWK-Anlagen wird durch die Stromkennzahl der Versorgungsaufgabe beeinflusst. In Tabelle 4–2 sind die Annahmen für die Stromkennzahlen der Siedlungstypen, d. h. der Versorgungsaufgaben, zusammengestellt. Darüber hinaus ist ein Gleichzeitigkeitsfaktor zwischen der Wärme- und Stromnachfrage zu berücksichtigen. Aufgrund saisonaler und tageszeitlicher Schwankungen ist daher nur ein Teil der Stromnachfrage in KWK-Anlagen zu erzeugen.

Siedlungstyp	Ist-Zustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
ST2	0,100	0,113	0,129	0,176	0,214
	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
ST 7a	0,100	0,113	0,129	0,176	0,214
	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
ST 7b	0,200	0,224	0,250	0,412	0,475
	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ST 8	0,200	0,224	0,250	0,412	0,475
	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabelle 4–2: Stromkennzahl und Gleichzeitigkeitsfaktoren der Siedlungstypen

Da die Stromkennzahl der betrachteten KWK-Anlagen größer ist als das Verhältnis der Strom- zur Wärmenachfrage der Versorgungsaufgabe Siedlungstyp, kann nur ein Teil der Wärme in KWK-Anlagen erzeugt werden.

Die Bereitstellung von Nah- und Fernwärme allein in Heizkesseln ist aufgrund der Erzeugungs-, Verteilungs- und hausinternen Verluste primärenergetisch ungünstiger als die dezentrale Wärmeerzeugung. Daher wird im Fall des Einsatzes von KWK-Anlagen nur ein Teil des Siedlungsgebietes mit Nah- oder Fernwärme versorgt und der Rest dezentral mit Erdgas-Brennwertkesseln. Für die Verteilungsverluste der Fernwärmeversorgung werden pauschal 10 % und für die Nahwärmeversorgung 8,5 % in allen Siedlungstypen berücksichtigt.

Beim Vergleich der verschiedenen Versorgungsvarianten sind neben der Variation der Heizungs- und Stromerzeugungssysteme auch unterschiedliche Sanierungszustände am Gebäudebestand zu berücksichtigen. Hierbei werden die in Kapitel 3 beschriebenen Sanierungsvarianten 1 bis 4 verwendet.

Entsprechend der energetischen Effizienz der unterschiedlichen Heizungs- und Stromerzeugungssysteme und aufgrund der mit den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen verbundenen Reduktion der Energienachfrage variiert der Primärenergieeinsatz zwischen den verschiedenen Versorgungssystemen. In Tabelle 4–1 ist der prozentuale Vergleich des Primärenergieeinsatzes für die unterschiedlichen Versorgungsvarianten und die Sanierungszustände IST-Zustand, Variante 2 und Variante 4 für den Siedlungstyp ST 7a graphisch dargestellt. Als Vergleichsgröße wurde hierbei die Versorgungsvariante Wärmeerzeugung mittels Heizöl-Niedertemperaturheizung, Stromerzeugung im Stromerzeugungsmix Deutschland und Wärmeverbrauch im Ausgangszustand betrachtet.

Der Vergleich zwischen dem IST-Zustand, der Variante 2 und Variante 4 zeigt auf, daß entsprechend der geringeren Wärmenachfrage auch der notwendige Primärenergieeinsatz abnimmt. Die Heizöl-Niedertemperaturheizung führt im Vergleich zum Einsatz von Erdgas-Brennwertkesseln zum höheren Primärenergieeinsatz. Die Variation des getrennten Stromerzeugungssystems führt dazu, daß entsprechend des steigenden elektrischen Wirkungsgrades des fossilen Mixes und des Erdgas-

GuD-Kraftwerks der Primärenergieeinsatz geringer ist als beim Strommix Deutschland. Wird ein Teil der Wärmeversorgung und Stromerzeugung mit KWK-Anlagen erzeugt, so sinkt der Primärenergieeinsatz im Vergleich zur Wärmeerzeugung mit Heizöl-Niedertemperaturheizung und dem Stromerzeugungsmix Deutschland erheblich. Da die betrachteten KWK-Anlagen unterschiedliche Stromkennzahlen aufweisen, sind hierbei jedoch die fernwärmeversorgten Gebiete jeweils unterschiedlich groß. Da die Gesamteffizienz der verschiedenen KWK-Anlagen nahezu identisch ist, ergeben sich kaum Unterschiede beim Vergleich des Primärenergieeinsatzes der KWK untereinander. Im Fall des Einsatzes der elektrischen Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung hat das gewählte getrennte Stromerzeugungssystem in doppelter Hinsicht Auswirkungen auf den Primärenergieeinsatz, da damit einerseits die Stromnachfrage und andererseits Strom als Endenergieträger für die Wärmeerzeugung bereitgestellt wird.

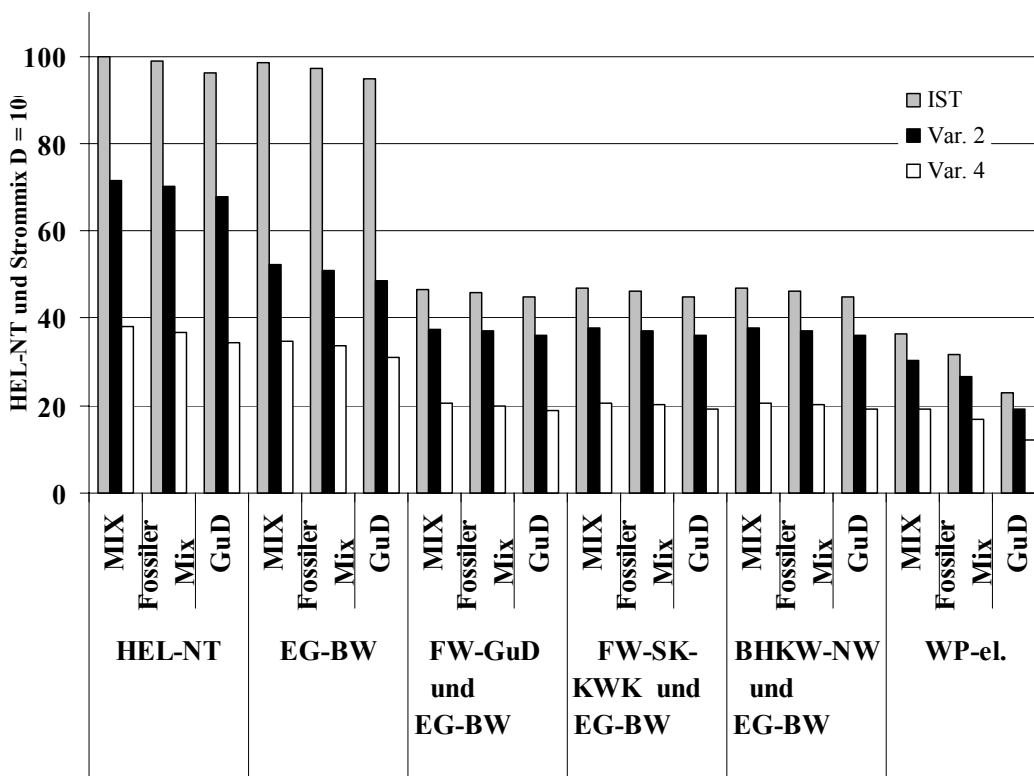


Abbildung 4-1: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den verschiedenen Versorgungsvarianten des Siedlungstyps 7a

In Tabelle 4–4 bis Tabelle 4–6 ist ein prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes der unterschiedlichen Versorgungsvarianten zusammengestellt. Der Vergleich bezieht sich hierbei immer auf die Versorgung des Siedlungsgebietes im IST-Zustand mit Hilfe der Heizöl-Niedertemperaturkessel und des Stromerzeugungsmixes Deutschland. Da der Wärmeverbrauch der Siedlungstypen vom IST-Zustand bis zur Variante 4 stetig abnimmt, reduziert sich wiederum entsprechend der notwendige Primärenergieeinsatz bei allen Varianten im Vergleich zum IST-Zustand des Wärmeverbrauchs. Trotz der unterschiedlichen Wärmenachfrage in den Siedlungstypen und den verschiedenen Stromkennzahlen der Versorgungsaufgaben können die gleichen Effekte bei den Siedlungstypen ST 2, ST 7b und ST 8 beobachtet werden.

		IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
<b>HEL-NT</b>	MIX	100,00	75,45	71,44	40,85	38,19
	Fossiler Mix	98,74	74,19	70,19	39,60	36,93
	GuD	96,29	71,74	67,73	37,14	34,48
<b>EG-BW</b>	MIX	98,53	53,08	52,24	37,23	34,88
	Fossiler Mix	97,27	51,82	50,98	35,97	33,62
	GuD	94,82	49,37	48,53	33,52	31,17
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	MIX	46,67	41,71	37,45	24,49	20,49
	Fossiler Mix	46,04	41,21	36,95	23,99	19,99
	GuD	44,82	40,23	35,97	23,01	19,01
<b>FW-SK-KWK und EG-BW</b>	MIX	46,88	41,96	37,71	24,75	20,74
	Fossiler Mix	46,25	41,46	37,20	24,24	20,24
	GuD	45,02	40,48	36,22	23,26	19,26
<b>BHKW-NW und EG-BW</b>	MIX	46,86	41,94	37,69	24,73	20,72
	Fossiler Mix	46,24	41,44	37,18	24,22	20,22
	GuD	45,01	40,46	36,20	23,24	19,24
<b>WP-el.</b>	MIX	36,31	33,34	30,50	21,84	19,17
	Fossiler Mix	31,81	29,22	26,72	19,14	16,79
	GuD	23,04	21,16	19,35	13,86	12,16

Tabelle 4–3: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 7a)

		IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
<b>HEL-NT</b>	MIX	100,00	86,90	78,87	54,42	46,87
	Fossiler Mix	97,35	84,25	76,22	51,77	44,22
	GuD	92,18	79,07	71,05	46,59	39,05
<b>EG-BW</b>	MIX	94,89	76,55	71,39	51,06	44,26
	Fossiler Mix	92,24	73,90	68,74	48,41	41,61
	GuD	87,07	68,73	63,56	43,23	36,43
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	MIX	98,39	87,94	78,96	51,64	43,20
	Fossiler Mix	97,07	86,88	77,90	50,58	42,14
	GuD	94,48	84,81	75,83	48,51	40,07
<b>FW-SK-KWK und EG-BW</b>	MIX	98,84	88,47	79,49	52,17	43,73
	Fossiler Mix	97,51	87,41	78,43	51,11	42,67
	GuD	94,92	85,34	76,36	49,04	40,60
<b>BHKW-NW und EG-BW</b>	MIX	98,80	88,43	79,45	52,13	43,69
	Fossiler Mix	97,48	87,37	78,39	51,07	42,63
	GuD	94,89	85,30	76,32	49,00	40,56
<b>WP-el.</b>	MIX	76,55	70,30	64,30	46,05	40,41
	Fossiler Mix	67,07	61,60	56,34	40,35	35,41
	GuD	48,57	44,60	40,80	29,22	25,64

Tabelle 4–4: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 2)

		IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
<b>HEL-NT</b>	MIX	100,00	82,24	79,39	58,71	56,83
	Fossiler Mix	95,34	77,58	74,74	54,05	52,17
	GuD	86,25	68,49	65,65	44,97	43,08
<b>EG-BW</b>	MIX	99,43	66,27	65,91	56,15	54,50
	Fossiler Mix	94,77	61,62	61,25	51,49	49,84
	GuD	85,68	52,53	52,16	42,40	40,75
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	MIX	94,52	86,73	80,03	57,25	52,52
	Fossiler Mix	93,59	85,80	79,10	56,32	51,59
	GuD	91,77	83,98	77,28	54,50	49,77
<b>FW-SK-KWK und EG-BW</b>	MIX	95,76	87,97	81,27	58,49	53,76
	Fossiler Mix	94,83	87,04	80,34	57,56	52,83
	GuD	93,01	85,23	78,52	55,74	51,01
<b>BHKW-NW und EG-BW</b>	MIX	95,66	87,88	81,17	58,39	53,66
	Fossiler Mix	94,73	86,95	80,24	57,46	52,73
	GuD	92,91	85,13	78,43	55,64	50,92
<b>WP-el.</b>	MIX	77,49	75,49	74,60	68,92	68,35
	Fossiler Mix	67,90	66,14	65,36	60,39	59,89
	GuD	49,17	47,90	47,33	43,73	43,37

Tabelle 4–5: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 7b)

		IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
<b>HEL-NT</b>	MIX	100,00	93,52	92,26	84,30	83,50
	Fossiler Mix	95,10	88,62	87,37	79,41	78,60
	GuD	85,55	79,06	77,81	69,85	69,04
<b>EG-BW</b>	MIX	95,67	83,29	83,08	83,30	78,59
	Fossiler Mix	90,77	78,39	78,19	78,41	73,69
	GuD	81,21	68,84	68,63	68,85	64,13
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	MIX	99,40	91,21	84,16	60,20	55,23
	Fossiler Mix	98,42	90,23	83,18	59,22	54,25
	GuD	96,51	88,32	81,27	57,31	52,34
<b>FW-SK-KWK und EG-BW</b>	MIX	100,71	92,52	85,47	61,51	56,54
	Fossiler Mix	99,73	91,54	84,49	60,53	55,56
	GuD	97,81	89,63	82,58	58,62	53,65
<b>BHKW-NW und EG-BW</b>	MIX	100,60	92,41	85,36	61,41	56,44
	Fossiler Mix	99,62	91,43	84,39	60,43	55,46
	GuD	97,71	89,52	82,47	58,52	53,54
<b>WP-el.</b>	MIX	81,49	79,39	78,45	72,48	71,88
	Fossiler Mix	71,40	69,56	68,73	63,50	62,98
	GuD	51,70	50,37	49,77	45,98	45,60

Tabelle 4–6: Prozentualer Vergleich des Primärenergieeinsatzes bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 8)

Bei dem bisherigen energetischen Vergleich der verschiedenen Versorgungsvarianten wurde die Effizienz verschiedener Neuanlagen miteinander verglichen. Entsprechend sind bei einem ökonomischen Vergleich der Versorgungsvarianten die Vollkosten der Wärmeerzeugungssysteme zu berücksichtigen. Da die Wärmedämmmaßnahmen im Sanierungszyklus (gekoppelt) oder außerhalb des Sanierungszyklus (ungekoppelt) durchgeführt werden können, sind entsprechend nur die Zusatzinvestitionen oder die Gesamtinvestitionen beim ökonomischen Vergleich der verschiedenen Versorgungsvarianten zu berücksichtigen. Es wird daher im folgenden zwischen diesen beiden Kostenvarianten der Sanierungsmaßnahmen unterschieden. Für die Bewertung der getrennten Stromerzeugung wurden ebenfalls zwei unterschiedliche Erzeugungskostenvarianten untersucht. Hierbei wurden 8,5 Pf/kWh<sub>el</sub> (Variante 1) und 6,0 Pf/kWh<sub>el</sub> (Variante 2) als Kostenvariante angesetzt. Diese Kostenvarianten wurden jeweils einheitlich für die monetäre Bewertung der spezifischen Kosten der getrennten Stromerzeugung verwendet, d. h., es wurde keine Differenzierung zwischen unterschiedlichen Stromerzeugungssystemen vorgenommen. Es wird somit keine Unterscheidung zwischen abgeschriebenen und Neuanlagen gemacht.

Bei Versorgungsvarianten, in denen Fernwärme- oder Nahwärmeverteilungssysteme eingesetzt werden, sind für deren Kostenanteil für den Siedlungstyp ST 2 5,15 Pf/kWh, für ST 7a 3,28 Pf/kWh, für ST 7b 3,01 Pf/kWh und für ST 8 3,02 Pf/kWh angesetzt worden.

In Abbildung 4-2 sind exemplarisch die Vollkosten der verschiedenen Versorgungsvarianten für den Siedlungstyp 7b und die Stromerzeugungskosten Variante 2 miteinander verglichen worden. Da hierbei von einer ungekoppelten Durchführung der Sanierungsvarianten ausgegangen wird, sind die Vollkosten der Varianten 1 bis 4 prozentual höher als im Fall der gekoppelten Sanierung (vgl. Abbildung 4-3). Der maximale Kostenanstieg im Fall der ungekoppelten Sanierung beträgt bis zu 62 % im Vergleich zur Ausgangsvariante Heizöl-Niedertemperaturkessel und Stromerzeugungsmix Deutschland bei Wärmedämmung im IST-Zustand.

Bei gleichem Wärmedämmstandard sind alle Versorgungsvarianten bis auf die Kombination mit elektrischer Wärmepumpe kostengünstiger als die Bezugsvariante. Die Versorgungsvariante mit Steinkohle-Heizkraftwerk ist aufgrund des niedrigen Energieträgerpreises für Steinkohle die günstigste Variante. Der Vergleich zwischen den Versorgungsvarianten mit KWK-Anlagen zeigt, daß die Fernwärmeversorgung aufgrund der geringeren spezifischen Wärmeerzeugungskosten Kostenvorteile gegenüber der Wärmeerzeugung in BHKW aufweist. Der maximale Kostenunterschied zwischen den verschiedenen Varianten bei gleichem Dämmstandard beträgt ca. 9 %. Dies hängt einerseits sicher davon ab, daß die verschiedenen eingesetzten Versorgungstechniken Teilaufgaben der Versorgungsaufgabe übernehmen und die Kosten der getrennten Stromerzeugung nicht extra zwischen Stromerzeugungsmix Deutschland und Neubau GuD-Kondensationskraftwerk variiert wurden. Andererseits wird dadurch auch deutlich, daß eine geringe Veränderung der Energieträgerpreisrelation die Kostenunterschiede umkehren kann.

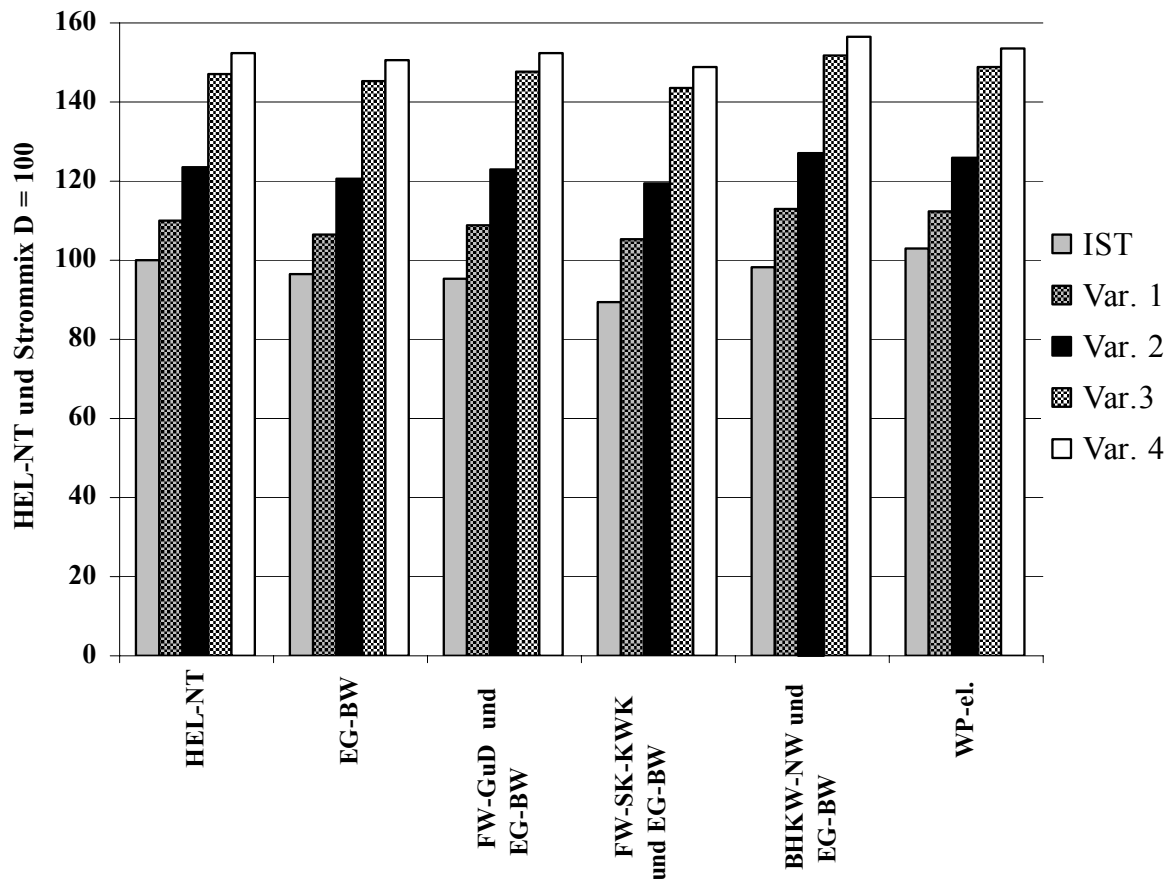


Abbildung 4-2: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der verschiedenen Versorgungsvarianten des Siedlungstyps 7a im Fall ungekoppelter Sanierungsvarianten und getr. Stromerzeugungskosten Variante 2

In Tabelle 4–7 bis Tabelle 4–14 sind die Ergebnisse des prozentualen Vergleichs der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten und Stromerzeugungskostenvariante 1 zusammengefasst. Im weiteren wurde zwischen gekoppelter Sanierung (vgl. Tabelle 4–7 bis Tabelle 4–10) und ungekoppelter Sanierungsmaßnahme (vgl. Tabelle 4–11 bis Tabelle 4–14) unterschieden. Für die Stromerzeugungskostenvariante 2 sind die entsprechenden Ergebnisse in Tabelle 4–15 bis Tabelle 4–22 dargestellt. Hierbei wurde ebenfalls in Tabelle 4–15 bis Tabelle 4–18 die Sanierungsvariante gekoppelt und in Tabelle 4–19 bis Tabelle 4–22 die Sanierungsvariante ungekoppelt für den Variantenvergleich berücksichtigt.



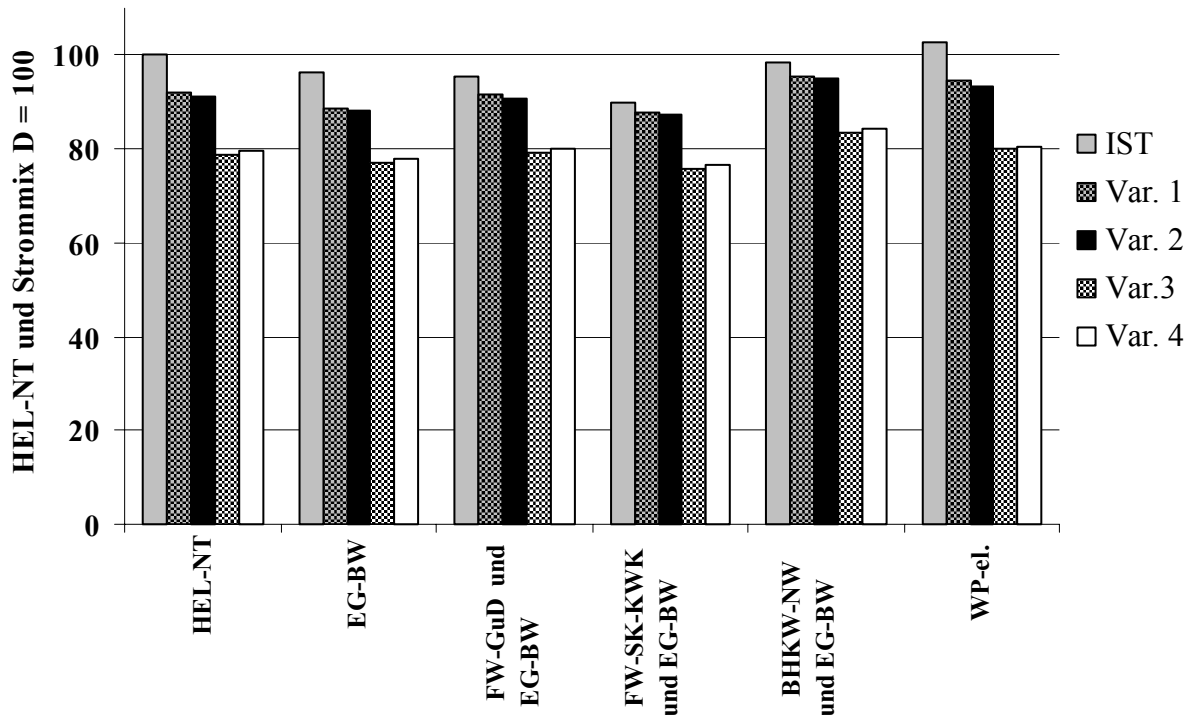


Abbildung 4-3: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der verschiedenen Versorgungsvarianten des Siedlungstyps 7a im Fall gekoppelter Sanierungsvarianten und getr. Stromerzeugungskosten Variante 2

	IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
HEL-NT	100,0	90,7	100,7	86,6	88,5
EG-BW	98,2	89,1	99,3	85,7	87,9
FW-GuD und EG-BW	106,4	96,4	105,7	89,5	90,8
FW-SK-KWK und	105,2	95,0	104,3	88,1	89,4
BHKW-NW und	106,9	97,1	106,4	90,2	91,5
WP-el.	103,5	93,8	103,4	88,1	89,7

Tabelle 4-7: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 2 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	89,0	84,4	61,5	56,7
<b>EG-BW</b>	98,2	88,4	82,9	60,7	56,1
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	105,7	94,6	88,3	63,4	58,0
<b>FW-SK-KWK und</b>	104,1	92,6	86,3	61,4	56,0
<b>BHKW-NW und</b>	106,0	94,9	88,6	63,7	58,3
<b>WP-el.</b>	103,5	93,1	87,1	63,1	57,9

Tabelle 4–8: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7a (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	91,8	90,8	78,0	78,7
<b>EG-BW</b>	96,0	88,3	87,6	76,0	77,0
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	98,7	94,5	93,7	81,7	82,6
<b>FW-SK-KWK und</b>	93,0	90,8	90,1	78,1	79,0
<b>BHKW-NW und</b>	101,9	98,9	98,1	86,1	87,0
<b>WP-el.</b>	102,8	94,3	93,0	79,3	79,8

Tabelle 4–9: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7b (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	91,9	89,9	75,5	77,2
<b>EG-BW</b>	96,0	88,3	86,7	73,6	75,5
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	98,5	94,3	92,6	79,1	80,9
<b>FW-SK-KWK und</b>	92,6	90,5	88,8	75,3	77,1
<b>BHKW-NW und</b>	101,6	98,6	96,9	83,4	85,2
<b>WP-el.</b>	102,8	94,4	92,2	76,9	78,4

Tabelle 4–10: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 8 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	105,7	147,1	164,0	166,4
<b>EG-BW</b>	98,2	104,1	145,7	163,2	165,8
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	106,4	111,4	152,1	166,9	168,7
<b>FW-SK-KWK und</b>	105,2	110,0	150,7	165,5	167,3
<b>BHKW-NW und</b>	106,9	112,1	152,8	167,6	169,4
<b>WP-el.</b>	103,5	108,9	149,9	165,6	167,6

Tabelle 4–11: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 2 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	101,5	107,6	107,9	108,6
<b>EG-BW</b>	98,2	99,9	106,2	107,1	108,0
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	105,7	106,2	111,6	109,8	109,8
<b>FW-SK-KWK und</b>	104,1	104,1	109,6	107,8	107,8
<b>BHKW-NW und</b>	106,0	106,5	111,9	110,1	110,2
<b>WP-el.</b>	103,5	104,7	110,4	109,5	109,8

Tabelle 4–12: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7a (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	110,4	124,8	149,4	154,5
<b>EG-BW</b>	96,0	106,8	121,6	147,4	152,9
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	98,7	113,0	127,7	153,1	158,5
<b>FW-SK-KWK und</b>	93,0	109,4	124,1	149,5	154,9
<b>BHKW-NW und</b>	101,9	117,4	132,1	157,5	162,9
<b>WP-el.</b>	102,8	112,9	127,1	150,7	155,7

Tabelle 4–13: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7b (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	110,2	124,5	142,1	147,0
<b>EG-BW</b>	96,0	106,6	121,3	140,2	145,3
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	98,5	112,6	127,2	145,6	150,7
<b>FW-SK-KWK und</b>	92,6	108,8	123,4	141,9	146,9
<b>BHKW-NW und</b>	101,6	116,9	131,5	150,0	155,0
<b>WP-el.</b>	102,8	112,7	126,8	143,5	148,1

Tabelle 4–14: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 8 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	90,8	100,7	86,7	88,7
<b>EG-BW</b>	98,2	89,3	99,3	85,9	88,1
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	105,6	95,7	104,8	88,9	90,2
<b>FW-SK-KWK und</b>	104,5	94,3	103,4	87,5	88,8
<b>BHKW-NW und</b>	106,2	96,3	105,5	89,5	90,8
<b>WP-el.</b>	103,5	93,9	103,4	88,3	89,9

Tabelle 4–15: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 2 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	90,1	84,6	62,0	57,3
<b>EG-BW</b>	98,2	88,5	83,2	61,2	56,6
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	105,0	93,9	87,7	63,1	57,7
<b>FW-SK-KWK und</b>	103,4	91,9	85,7	61,1	55,7
<b>BHKW-NW und</b>	105,3	94,2	88,0	63,4	58,1
<b>WP-el.</b>	103,5	93,2	87,3	63,6	58,5

Tabelle 4–16: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7a (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	92,2	91,2	78,9	79,6
<b>EG-BW</b>	96,2	88,8	88,1	77,0	78,0
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	95,4	91,4	90,7	79,2	80,0
<b>FW-SK-KWK und</b>	90,0	87,9	87,2	75,7	76,6
<b>BHKW-NW und</b>	98,5	95,6	94,9	83,4	84,3
<b>WP-el.</b>	102,7	94,6	93,3	80,2	80,7

Tabelle 4–17: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7b (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	92,2	90,3	76,5	78,1
<b>EG-BW</b>	96,2	88,8	87,3	74,7	76,5
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	95,2	91,2	89,6	76,6	78,4
<b>FW-SK-KWK und</b>	89,6	87,6	86,0	73,0	74,8
<b>BHKW-NW und</b>	98,2	95,4	93,7	80,8	82,6
<b>WP-el.</b>	102,77	94,6	92,5	77,8	79,3

Tabelle 4–18: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 8 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und gekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	105,7	146,5	163,1	165,5
<b>EG-BW</b>	98,2	104,1	145,1	162,3	164,9
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	105,6	110,5	150,6	165,3	167,0
<b>FW-SK-KWK und</b>	104,5	109,1	149,2	163,9	165,6
<b>BHKW-NW und</b>	106,2	111,2	151,3	165,9	167,7
<b>WP-el.</b>	103,5	108,7	149,2	164,7	166,7

Tabelle 4–19: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 2 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	101,5	107,5	107,8	108,5
<b>EG-BW</b>	98,2	99,9	106,1	107,0	107,9
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	105,0	105,3	110,6	108,9	108,9
<b>FW-SK-KWK und</b>	103,4	103,3	108,6	106,9	106,9
<b>BHKW-NW und</b>	105,3	105,6	111,0	109,2	109,3
<b>WP-el.</b>	103,5	104,6	110,2	109,3	109,7

Tabelle 4–20: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7a (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	109,9	123,8	147,3	152,3
<b>EG-BW</b>	96,2	106,5	120,8	145,5	150,7
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	95,4	109,2	123,3	147,6	152,8
<b>FW-SK-KWK und</b>	90,0	105,7	119,8	144,2	149,3
<b>BHKW-NW und</b>	98,0	113,4	127,5	151,9	157,0
<b>WP-el.</b>	102,7	112,3	125,9	148,6	153,4

Tabelle 4–21: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 7b (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

	<b>IST</b>	<b>Var. 1</b>	<b>Var. 2</b>	<b>Var.3</b>	<b>Var. 4</b>
<b>HEL-NT</b>	100,0	93,5	95,7	110,2	109,8
<b>EG-BW</b>	96,2	83,3	81,9	106,6	106,4
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	95,2	91,2	56,3	112,6	108,8
<b>FW-SK-KWK und</b>	89,6	92,5	69,7	108,8	105,2
<b>BHKW-NW und</b>	98,2	92,4	56,5	116,9	112,9
<b>WP-el.</b>	102,7	79,4	82,2	112,7	112,2

Tabelle 4–22: Prozentualer Vergleich der Vollkosten der unterschiedlichen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp 8 (Stromerzeugungskosten Variante 1 und ungekoppelte Sanierungsmaßnahmen) (HEL-NT-Heizung/Strommix Deutschland = 100)

In Abhängigkeit des Primärenergieverbrauchs und des eingesetzten Energieträgers ergeben sich für die untersuchten Versorgungsvarianten unterschiedlich hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen (vgl. Abbildung 4-4). Ebenso wie bei der Analyse des Primärenergieeinsatzes haben die Sanierungsmaßnahmen Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Einfluß der CO<sub>2</sub>-Intensität des eingesetzten Primärenergieträgers wird am deutlichsten beim Vergleich der getrennten Stromerzeugung mittels Strommix Deutschland und dem fossilen Mix Deutschland bzw. indirekt bei der elektrischen Wärmepumpe.

Obwohl der Primärenergieeinsatz bei der getrennten Stromerzeugung im Strommix Deutschland höher ist als im fossilen Mix, sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Strommix Deutschland niedriger. Im weiteren ist der prozentuale Unterschied zwischen der Variante Heizöl-Niedertemperaturheizung und elektrische Wärmepumpe bei gleichem getrennten Stromerzeugungssystem wesentlich geringer beim CO<sub>2</sub>-Emissionsvergleich als beim Vergleich des Primärenergieeinsatzes. Diese Unterschiede ergeben sich, da der eingesetzte Strom in der elektrischen Wärmepumpe aus dem Strommix Deutschland ca. das 2,3fache der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Heizöl aufweist. Ein ähnlicher Effekt ist beim Vergleich der Varianten mit EG-BW-Kessel und Steinkohle-Heizkraftwerk zu beobachten. Obwohl der Primärenergievorteil der KWK-Variante erheblich ist, sind die CO<sub>2</sub>-Emissionsvorteile relativ gering. Insgesamt wird deutlich, daß der eingesetzte Primärenergieträger somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen im stärkeren Maße beeinflusst als die Primärenergieeinsparung.

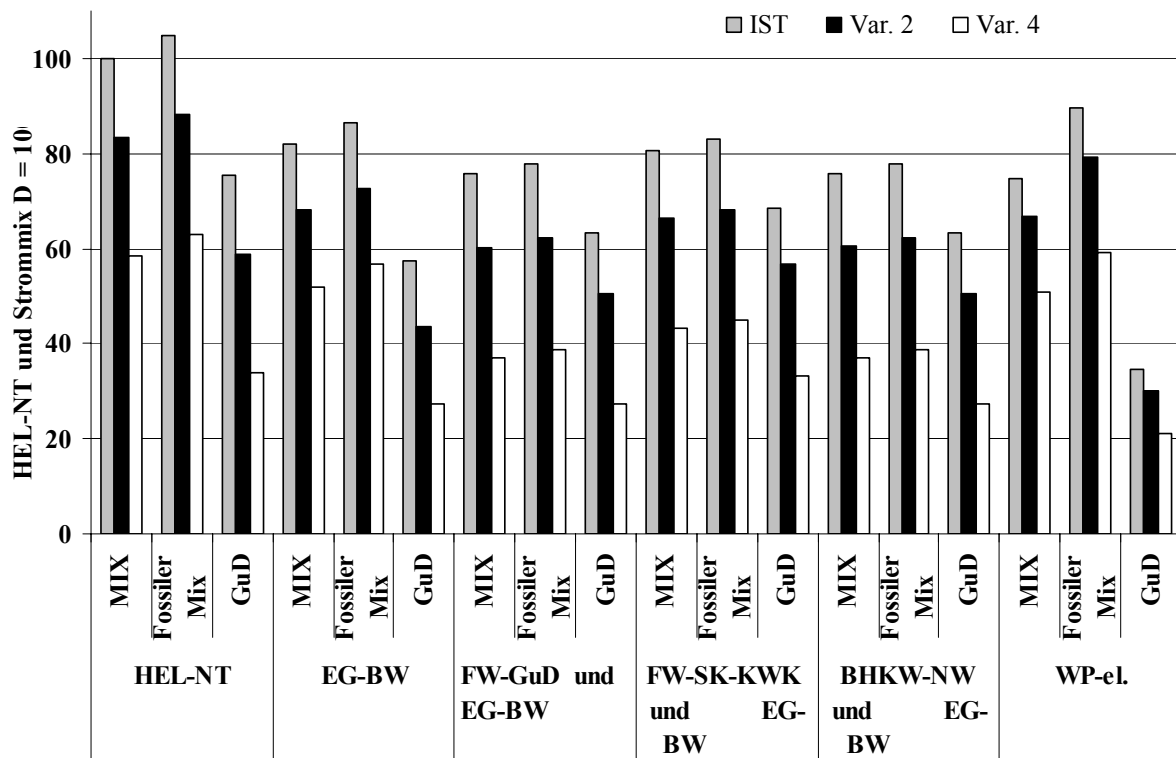


Abbildung 4-4: Prozentualer CO<sub>2</sub>-Emissionsvergleich der verschiedenen Versorgungsvarianten im Siedlungstyp ST 2 (Heizöl-Niedertemperaturheizung und Stromerzeugungsmix Deutschland = 100 )

In Abbildung 4-5 werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Siedlungstyps ST 2 und ST 8 im IST-Zustand für die unterschiedlichen Versorgungsvarianten verglichen. Aufgrund des höheren anteiligen Stromverbrauchs im Siedlungstyp 8 sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der getrennten Erzeugung im fossilen Mix höher und in GuD-Kondensationskraftwerken niedriger.

Der geringere Anteil der Wärmeversorgung an der Gesamtversorgung im ST 8 bewirkt, daß der CO<sub>2</sub>-Vorteil der elektrischen Wärmepumpe im Vergleich zum Versorgungsfall ST 2 geringer ausfällt.

Der verhältnismäßig höhere Stromverbrauch im Siedlungstyp ST 8 als im Siedlungstyp ST 2 hat Auswirkungen auf die Einsatzmöglichkeiten von KWK-Anlagen. Dadurch leisten die KWK-Anlagen im Vergleich zur getrennten Stromerzeugung im Strommix Deutschland und zum fossilen Mix bei der Versorgungsaufgabe ST 8 einen höheren Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparung als bei der Versorgungsaufgabe ST 2. Im Fall des Steinkohle-Heizkraftwerkes und des Bezugs des Reststromes aus einem Erdgas-GuD-Kondensationskraftwerk ergibt sich jedoch für die KWK-Anlage eine ungünstigere Rangfolge im Fall des Siedlungstyps ST 8 als im Fall des Siedlungstyps ST 2. Dadurch wird wiederum der Einfluß der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des eingesetzten Energieträgers im CO<sub>2</sub>-Vergleich deutlich.

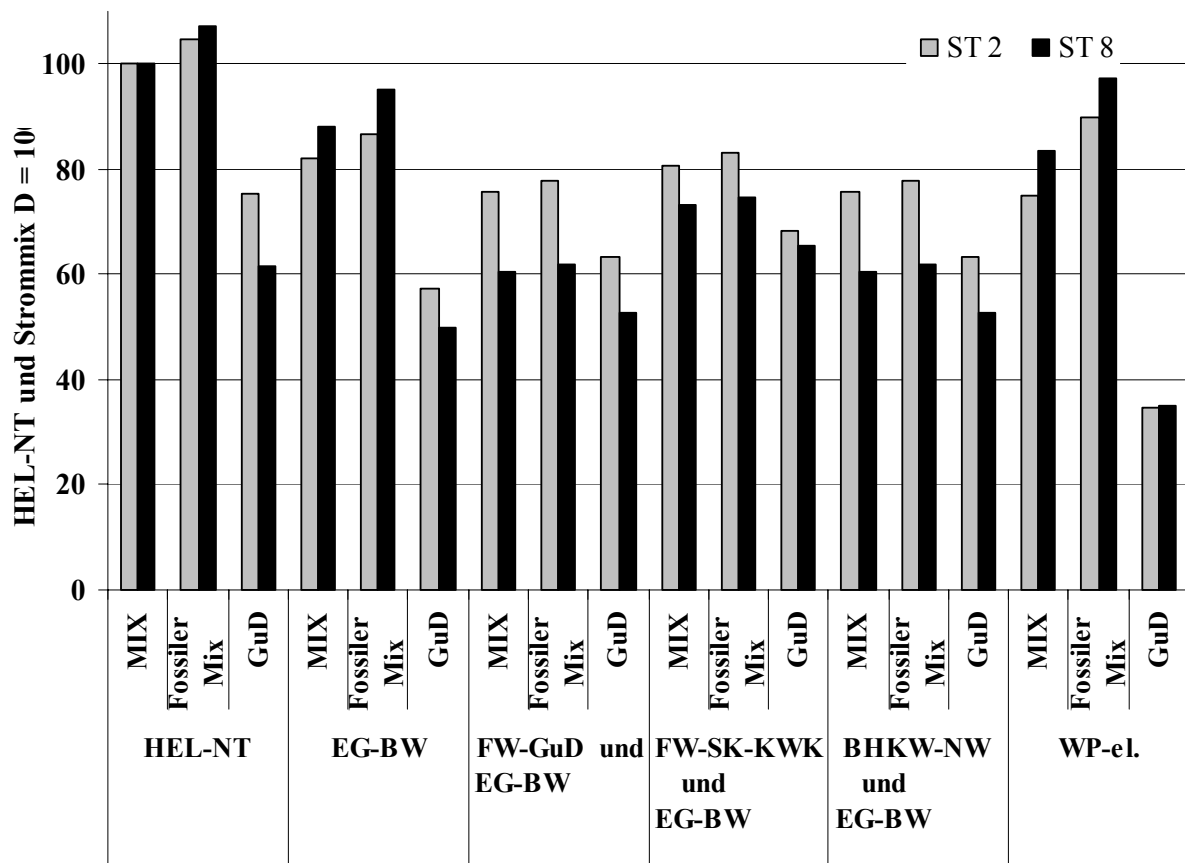


Abbildung 4-5: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen im IST-Zustand ST 2 und ST 8 (Heizöl-Niedertemperaturheizung und Stromerzeugungsmix Deutschland = 100 )



Wie bereits der Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen der verschiedenen Versorgungsvarianten und der Siedlungstypen ST 2 und ST 8 aufgezeigt hat, kann sich die CO<sub>2</sub>-Emissions-Rangfolge der unterschiedlichen Versorgungstechniken in Abhängigkeit des Verhältnisses von Strom- zu Wärmeverbrauch verändern. Das Verhältnis von Strom- zu Wärmeverbrauch einer Versorgungsaufgabe kann durch die Wärmedämmmaßnahmen beeinflusst werden. Vergleicht man beispielsweise für den Siedlungstyp ST 8 in Abbildung 4-6 die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Variante Heizöl-Niedertemperaturheizung/Stromerzeugung Erdgas-GuD-Kondensationskraftwerk mit der Variante Steinkohle-Heizkraftwerk Reststromerzeugung mit GuD-Kondensationskraftwerk so stellt man fest, daß sich durch verstärkte Wärmedämmung die CO<sub>2</sub>-Emissions-Rangfolge zwischen den beiden Varianten verändert. Derselbe Effekt kann auch bei dem Vergleich der Varianten elektrische Wärmepumpe/Stromerzeugung mit GuD-Kondensationskraftwerk und BHKW und Reststromerzeugung mit GuD-Kondensationskraftwerk beobachtet werden.

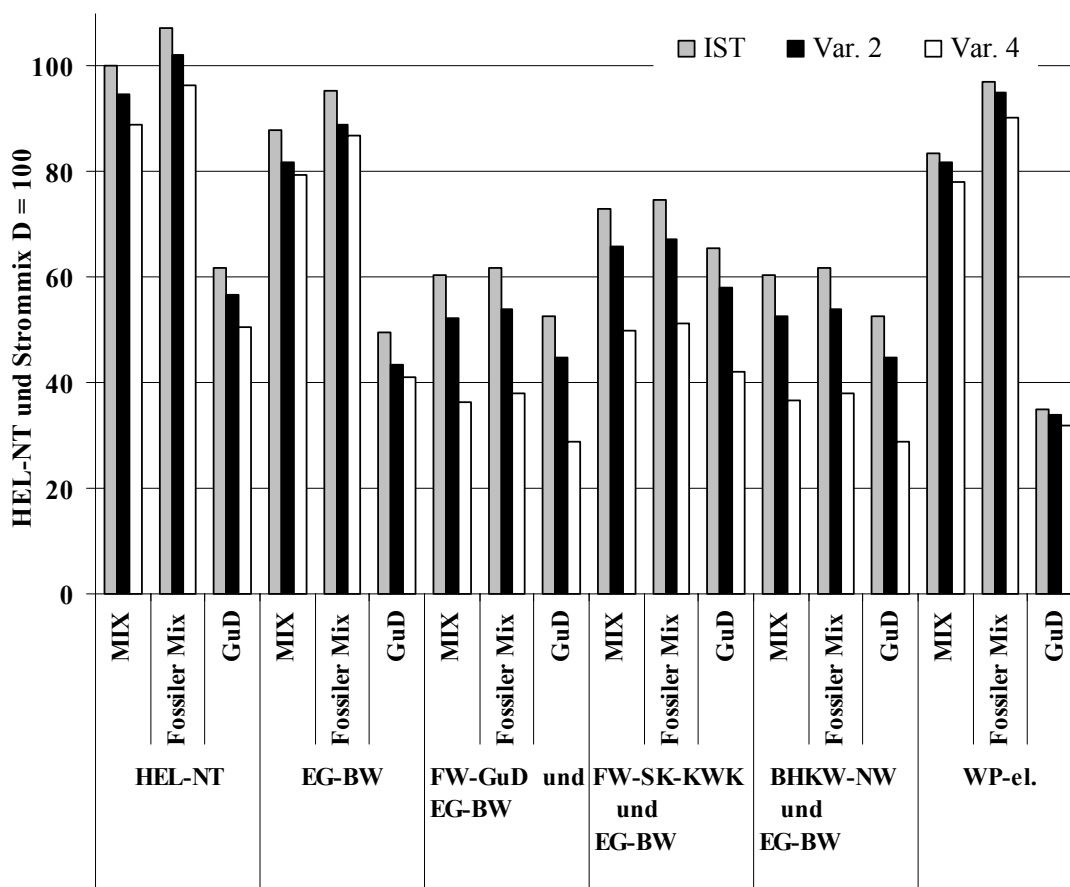


Abbildung 4-6: Prozentualer Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen ST 8 (Heizöl-Niedertemperaturheizung und Stromerzeugungsmix Deutschland = 100 )

In Tabelle 4–23 bis Tabelle 4–26 sind die Ergebnisse des CO<sub>2</sub>-Emissionsvergleichs für die Siedlungstypen ST 2, ST 7a, und ST 7b zusammengefaßt.

		IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
<b>HEL-NT</b>	MIX	100,0	89,7	83,5	64,3	58,4
	Fossiler Mix	104,7	94,4	88,1	69,0	63,1
	GuD	75,4	65,2	58,9	39,7	33,8
<b>EG-BW</b>	MIX	81,9	71,1	68,0	56,0	52,0
	Fossiler Mix	86,6	75,7	72,7	60,6	56,6
	GuD	57,4	46,5	43,5	31,4	27,4
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	MIX	75,6	66,2	60,3	49,1	43,5
	Fossiler Mix	78,0	68,1	62,2	50,9	45,4
	GuD	63,3	56,4	50,5	39,2	33,7
<b>FW-SK-KWK und EG-BW</b>	MIX	80,7	72,3	66,4	55,2	49,6
	Fossiler Mix	83,1	74,2	68,3	57,0	51,5
	GuD	68,4	62,5	56,6	45,3	39,8
<b>BHKW-NW und EG-BW</b>	MIX	75,7	66,2	60,4	49,1	43,6
	Fossiler Mix	78,0	68,1	62,3	51,0	45,5
	GuD	63,4	56,4	50,5	39,3	33,7
<b>WP-el.</b>	MIX	74,9	70,7	66,8	54,7	51,0
	Fossiler Mix	89,7	84,4	79,4	63,9	59,2
	GuD	34,6	32,2	30,0	23,1	21,0

Tabelle 4–23: Prozentualer Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 2)

		IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
<b>HEL-NT</b>	MIX	100,0	78,3	74,8	47,7	45,4
	Fossiler Mix	102,5	80,8	77,2	50,2	47,9
	GuD	86,9	65,2	61,6	34,6	32,2
<b>EG-BW</b>	MIX	79,6	49,3	48,7	38,7	37,1
	Fossiler Mix	82,1	51,8	51,2	41,2	39,6
	GuD	66,5	36,1	35,5	25,5	23,9
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	MIX	40,5	35,4	32,3	26,3	23,3
	Fossiler Mix	41,7	36,4	33,3	27,3	24,3
	GuD	33,9	30,2	27,0	21,0	18,1
<b>FW-SK-KWK und EG-BW</b>	MIX	43,2	38,7	35,6	29,5	26,6
	Fossiler Mix	44,5	39,7	36,6	30,5	27,6
	GuD	36,6	33,4	30,3	24,3	21,3
<b>BHKW-NW und EG-BW</b>	MIX	40,5	35,5	32,3	26,3	23,3
	Fossiler Mix	41,8	36,5	33,3	27,3	24,3
	GuD	33,9	30,2	27,1	21,0	18,1
<b>WP-el.</b>	MIX	40,1	37,9	35,7	29,3	27,3
	Fossiler Mix	48,0	45,2	42,8	34,2	31,7
	GuD	18,5	17,3	16,0	12,4	11,2

Tabelle 4–24: Prozentualer Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 7a)

		IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
<b>HEL-NT</b>	MIX	100,0	88,0	86,1	72,2	70,9
	Fossiler Mix	107,0	95,1	93,2	79,2	77,9
	GuD	62,9	51,0	49,1	35,1	33,9
<b>EG-BW</b>	MIX	89,5	72,6	72,4	67,4	66,6
	Fossiler Mix	96,5	79,6	79,4	74,5	73,6
	GuD	52,4	35,5	35,3	30,4	29,5
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	MIX	58,4	54,5	50,7	37,9	35,3
	Fossiler Mix	59,8	55,9	52,1	39,3	36,7
	GuD	51,0	47,0	43,3	30,5	27,8
<b>FW-SK-KWK und EG-BW</b>	MIX	70,7	67,4	63,7	50,9	48,2
	Fossiler Mix	72,1	68,8	65,1	52,3	49,6
	GuD	63,3	60,0	56,2	43,5	40,8
<b>BHKW-NW und EG-BW</b>	MIX	58,5	54,6	50,8	38,1	35,4
	Fossiler Mix	59,9	56,0	52,2	39,5	36,8
	GuD	51,0	47,2	43,4	30,6	28,0
<b>WP-el.</b>	MIX	80,6	79,5	79,0	75,8	75,5
	Fossiler Mix	94,0	92,6	91,9	87,8	87,4
	GuD	33,8	33,2	32,9	31,0	30,8

Tabelle 4–25: Prozentualer Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 7b)

		IST	Var. 1	Var. 2	Var.3	Var. 4
<b>HEL-NT</b>	MIX	100,0	95,7	94,9	89,6	89,1
	Fossiler Mix	107,3	103,0	102,1	96,9	96,3
	GuD	61,7	57,4	56,5	51,3	50,7
<b>EG-BW</b>	MIX	88,1	81,9	81,8	81,9	79,5
	Fossiler Mix	95,3	89,1	89,0	89,1	86,8
	GuD	49,7	43,5	43,4	43,5	41,2
<b>FW-GuD und EG-BW</b>	MIX	60,4	56,3	52,4	39,2	36,5
	Fossiler Mix	61,8	57,8	53,9	40,7	37,9
	GuD	52,7	48,6	44,8	31,5	28,8
<b>FW-SK-KWK und EG-BW</b>	MIX	73,1	69,7	65,8	52,6	49,9
	Fossiler Mix	74,5	71,2	67,3	54,1	51,3
	GuD	65,4	62,1	58,2	44,9	42,2
<b>BHKW-NW und EG-BW</b>	MIX	60,5	56,5	52,6	39,3	36,6
	Fossiler Mix	61,9	57,9	54,0	40,8	38,1
	GuD	52,8	48,8	44,9	31,7	28,9
<b>WP-el.</b>	MIX	83,4	82,2	81,7	78,4	78,0
	Fossiler Mix	97,2	95,7	95,0	90,8	90,3
	GuD	35,0	34,3	34,0	32,1	31,9

Tabelle 4–26: Prozentualer Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei den unterschiedlichen Versorgungsvarianten (Siedlungstyp 8)

## 4.2 Objektversorgung

Für das untersuchte Beispielobjekt Schulzentrum werden die drei betrachteten Wärmeschutzstandards BHKW- und Gasheizkessel-Lösungen miteinander verglichen. Als Ausgangsfall wird ein Heizkessel mit einem Jahresnutzungsgrad von 80 % angenommen, der idealisiert mit Brennstoffen des bundesdeutschen Wärmemixes befeuert wird (300 g CO<sub>2</sub>/kWh). Im folgenden sind die Erzeugungskosten und energetischen Datengerüste für die Fälle

- Gebäude im Ausgangszustand,
- Standard gemäß Energieeinsparverordnung (gemäß Anforderungen des Bauteilnachweises),
- Niedrigenergiestandard (d. h. mit etwas höheren Anforderungen als entsprechend der Energieeinsparverordnung für Neubauten bei Kesselheizungen) und
- schließlich der Wärmeversorgung im Ausgangsfall

nacheinander aufgelistet (wobei die Listen jeweils in acht Gliederungspunkte aufgeteilt sind, mit der Ausnahme, daß es sich bei der Wärmeversorgung im Ausgangsfall um drei Untergliederungen handelt).

Die Wärmeversorgung des Ausgangsfall es ist mit in die Betrachtung einbezogen worden, um einen Bezug hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Minderungskosten herzustellen.

**Wärmeversorgungsfall**

volkswirtschaftliche Rechnung

Gebäude im Ausgangszustand

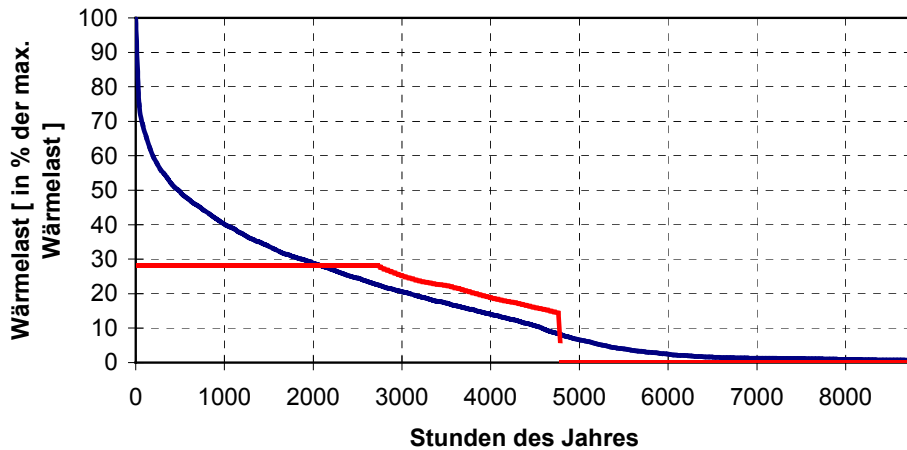
**1 Objektbeschreibung:**

Schulzentrum Klimagebiet Hannover
--------------------------------------

**2 Objektdaten:**

Bestimmungsgrößen des Wärmeverbrauchs:	
<b>5 Schulgebäude:</b>	
beheizte Fläche (qm)	4750
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	168
Anzahl Nutzer	655
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0,05
Heizenergiebedarf (MWh/a)	797
Norm-Leistung (kW)	688
<b>Sporthalle:</b>	
beheizte Fläche (qm)	1086
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	245
Anzahl Nutzer	125
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0
Heizenergiebedarf (MWh/a)	266
Norm-Leistung (kW)	205
Turnhalle, Umkleidebereich:	
beheizte Fläche (qm)	526
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	234
Anzahl Nutzer	125
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0,1
Heizenergiebedarf (MWh/a)	123
Norm-Leistung (kW)	86
<b>Gesamt:</b>	
beheizte Fläche (qm)	6362
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	186
Wärmebedarf (MWh/a)	1186
davon Energiebed. f. Warmwasser (MWh/a)	44
Summe Norm-Leistungen (kW)	979
Netzverluste (MWh/a)	33
Gesamtbedarf (MWh/a)	1219
Netzhöchstlast (kW)	835
Vollbenutzungsstunden (h/a)	1459

**Jahresdauerlinie mit BHKW-Laufzeiten**  
**Schule Ausgangsfall max. Wärmelast: 835 kW**



3 Wärmeerzeugung auf der Basis eines BHKW:

Auslegung:	
Anzahl der Moduln	1
elektrische Leistung (kW)	153
thermische Leistung (kW)	236
Leistungsanteil bez. auf die Höchstlast:	28%
therm. Wirkungsgrad	55%
elektr. Wirkungsgrad	35%
Jahresnutzungsgrad (Hu) BHKW-Moduln	90%
wärmegeführte Fahrweise	
Wärmespeicher-Volumen (cbm)	8
Wärmespeicher-Kapazität (kWh)	186
Jahresnutzungsdauer BHKW-Moduln (h/a): (gemäß Jahresdauerlinie)	4232
Jahreswärmearbeit BHKW-Moduln (MWh/a)	999
Anteil an d. gesamt. Wärmebed.-Deckung	82%

## Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

### 4 Wärmeerzeugung durch Spitzenkessel:

Gesamtleistung Spitzenkessel (kW), mit Reserve	760
Jahresnutzungsgrad (Hu) Spitzenkessel als Gasheizkessel	90%
Jahresarbeit (MWh/a)	220
Jahresnutzungsdauer Spitzenkessel (h/a)	290

### 5 Kostenermittlung:

Zinssatz	4,0%		
Investitionskosten BHKW (TDM):		<i>technische Lebensdauer</i>	<i>Kapital- kosten</i>
BHKW-Moduln		<i>Jahre</i>	<i>TDM/a</i>
spezifisch (DM/kWel)	1600		
absolut (TDM)	245	15	22
Heizungstechn. Einbind., Abgasanl., Speicher	55	25	4
Spitzenkessel (Kesseleratz, Schornst. vorh.)	84	20	6
Heizungsraum vorh.			
Gesamt (TDM)	383,4		32
spezifisch (DM/kWel)	2506		207
Betriebskosten BHKW (DM/a):			
Vollwartung BHKW			
Basis ( DPf/kWhel):	3,0		
Jahreskosten	19400		
Sonst. Betriebsk., Versicherung	5300		
Personalkosten (DM/h)	0		
Summe Betriebsk. (o. Kapital-u. Brennst.-K.)	24700		
Brennstoffkosten BHKW:			
Brennstoffeinsatz (MWhHu/a)	2074	100%	
Module	1829	88%	
Kessel	245	12%	
Erdgaskosten			
bei Stromerzeugung (DPf/kWhHu):	3,50		
bei Einsatz im Heizkessel (DPf/kWhHu):	4,25		
Jahreskosten (DM/a):	74422		

## Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

### 6 Erlös aus der Stromerzeugung des BHKW:

Arbeitsgutschrift:	
spezifisch (DPf/kWh)	7,00
jährlich (DM/a)	45325
Leistungsgutschrift:	
spezifisch (DM/kW)	90,00
jährlich (DM/a)	13770
Gesamterlös aus der Stromerzeugung (DM/a):	59095

### 7 Wärmeerzeugungskosten:

Kapitalkosten (DM/a)	31690
Brennstoffkosten (DM/a)	74422
sonstige Betriebskosten (DM/a)	24700
Erlös aus Stromerzeugung (DM/a)	59095
Saldo (DM/a)	71717
bezogen auf einen Wärmeabsatz (MWh/a):	1187
Wärmeerzeugungskosten BHKW (DM/MWh)	<b>60,44</b>

### 8 Kostenermittlung bei Erzeugung nur mit Heizkessel:

		<i>technische Lebensdauer</i>	<i>Kapital- kosten</i>
		<i>Jahre</i>	<i>TDM/a</i>
Heizleistung (kW)	840		
Investitionskosten (TDM):			
Gasheizkessel (Kesslersatz, Schornst. vorh.)	92	20	7
Kellerraum vorh.			
Gesamt (TDM)	92		7
(DM/kWth)	110		
Betriebskosten (DM/a)			
spez. fixe Betriebskosten (DM/(kW*a))	5		
fixe Betriebskosten (DM/a)	4200		
spez. variable sonst. Betriebskosten (DM/MWh)	0,25		
variable sonst. Betriebskosten (DM/a)	300		
Brennstoffeinsatz (MWh/a)	1318		
spez. Brennstoffkosten(DM/MWh)	42,50		
Brennstoffkosten (DM/a)	56029		
Gesamt (DM/a)	67328		
Wärmeerzeugungskosten Heizwerk (DM/MWh)	<b>56,75</b>		



**Wärmeversorgungsfall**

(volkswirtschaftliche Rechnung)

Standard gemäß EVO

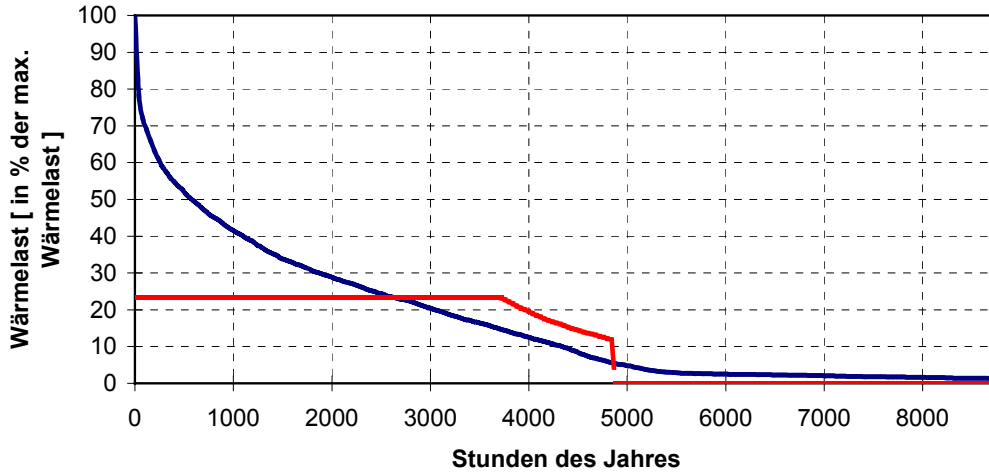
**1 Objektbeschreibung:**

Schulzentrum Klimagebiet Hannover
--------------------------------------

**2 Objektdaten:**

Bestimmungsgrößen des Wärmeverbrauchs:	
<b>5 Schulgebäude:</b>	
beheizte Fläche (qm)	4750
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	87
Anzahl Nutzer	655
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0,05
Heizenergiebedarf (MWh/a)	412
Norm-Leistung (kW)	387
<b>Sporthalle:</b>	
beheizte Fläche (qm)	1086
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	100
Anzahl Nutzer	125
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0
Heizenergiebedarf (MWh/a)	109
Norm-Leistung (kW)	96
Turnhalle, Umkleidebereich:	
beheizte Fläche (qm)	526
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	164
Anzahl Nutzer	125
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0,1
Heizenergiebedarf (MWh/a)	87
Norm-Leistung (kW)	58
<b>Gesamt:</b>	
beheizte Fläche (qm)	6362
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	95
Wärmebedarf (MWh/a)	608
davon Energiebed. f. Warmwasser (MWh/a)	44
Summe Norm-Leistungen (kW)	541
Netzverluste (MWh/a)	33
Gesamtbedarf (MWh/a)	640
Netzhöchstlast (kW)	436
Vollbenutzungsstunden (h/a)	1468

**Jahresdauerlinie mit BHKW-Laufzeiten  
Schule Standard EVO max. Wärmelast: 435 kW**



3 Wärmeerzeugung auf der Basis eines BHKW:

Auslegung:	
Anzahl der Moduln	1
elektrische Leistung (kW)	52
thermische Leistung (kW)	101
Leistungsanteil bez. auf die Höchstlast:	23%
therm. Wirkungsgrad	60%
elektr. Wirkungsgrad	31%
Jahresnutzungsgrad (Hu) BHKW-Moduln	91%
wärmegeführte Fahrweise	
Wärmespeicher-Volumen (cbm)	5
Wärmespeicher-Kapazität (kWh)	116
Jahresnutzungsdauer BHKW-Moduln (h/a): (gemäß Jahresdauerlinie)	4548
Jahreswärmearbeit BHKW-Moduln (MWh/a)	459
Anteil an d. gesamt. Wärmebed.-Deckung	72%

## Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

### 4 Wärmeerzeugung durch Spitzenkessel:

Gesamtleistung Spitzenkessel (kW), mit Reserve	400
Jahresnutzungsgrad (Hu) Spitzenkessel als Gasheizkessel	90%
Jahresarbeit (MWh/a)	181
Jahresnutzungsdauer Spitzenkessel (h/a)	452

### 5 Kostenermittlung:

Zinssatz	4,0%		
Investitionskosten BHKW (TDM):		<i>technische Lebensdauer</i>	<i>Kapital- kosten</i>
BHKW-Moduln		<i>Jahre</i>	<i>TDM/a</i>
spezifisch (DM/kWel)	1900		
absolut (TDM)	99	15	9
Heizungstechn. Einbind., Abgasanl., Speicher	45	25	3
Spitzenkessel (Kesseleratz, Schornst. vorh.)	64	20	5
Heizungsraum vorh.			
Gesamt (TDM)	207,8		16
spezifisch (DM/kWel)	3996		317
Betriebskosten BHKW (DM/a):			
Vollwartung BHKW			
Basis ( DPf/kWhel):	4,0		
Jahreskosten	9500		
Sonst. Betriebsk., Versicherung	2300		
Personalkosten (DM/h)	0		
Summe Betriebsk. (o. Kapital-u. Brennst.-K.)	11800		
Brennstoffkosten BHKW:			
Brennstoffeinsatz (MWhHu/a)	964	100%	
Module	764	79%	
Kessel	201	21%	
Erdgaskosten			
bei Stromerzeugung (DPf/kWhHu):	3,50		
bei Einsatz im Heizkessel (DPf/kWhHu):	4,25		
Jahreskosten (DM/a):	35262		

## Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

### 6 Erlös aus der Stromerzeugung des BHKW:

Arbeitsgutschrift:	
spezifisch (DPf/kWh)	7,00
jährlich (DM/a)	16555
Leistungsgutschrift:	
spezifisch (DM/kWh)	90,00
jährlich (DM/a)	4680
Gesamterlös aus der Stromerzeugung (DM/a):	21235

### 7 Wärmeerzeugungskosten:

Kapitalkosten (DM/a)	16476
Brennstoffkosten (DM/a)	35262
sonstige Betriebskosten (DM/a)	11800
Erlös aus Stromerzeugung (DM/a)	21235
Saldo (DM/a)	42303
bezogen auf einen Wärmeabsatz (MWh/a):	608
Wärmeerzeugungskosten BHKW (DM/MWh)	<b>69,63</b>

### 8 Kostenermittlung bei Erzeugung nur mit Heizkessel:

		<i>technische Lebensdauer Jahre</i>	<i>Kapital- kosten TDM/a</i>
Heizleistung (kW)	440		
Investitionskosten (TDM):			
Gasbrennw.-Kessel (Kesseleratz, Schornst. vorh.)	70	20	5
Kellerraum vorh.			
Gesamt (TDM)	70		5
(DM/kWh)	160		
Betriebskosten (DM/a)			
spez. fixe Betriebskosten (DM/(kW*a))	5		
fixe Betriebskosten (DM/a)	2200		
spez. variable sonst. Betriebskosten (DM/MWh)	0,25		
variable sonst. Betriebskosten (DM/a)	200		
Brennstoffeinsatz (MWh/a)	675		
spez. Brennstoffkosten(DM/MWh)	42,50		
Brennstoffkosten (DM/a)	28688		
Gesamt (DM/a)	36268		
Wärmeerzeugungskosten Heizwerk (DM/MWh)	<b>59,70</b>		

**Wärmeversorgungsfall**

(volkswirtschaftliche Rechnung)

NEH-Standard

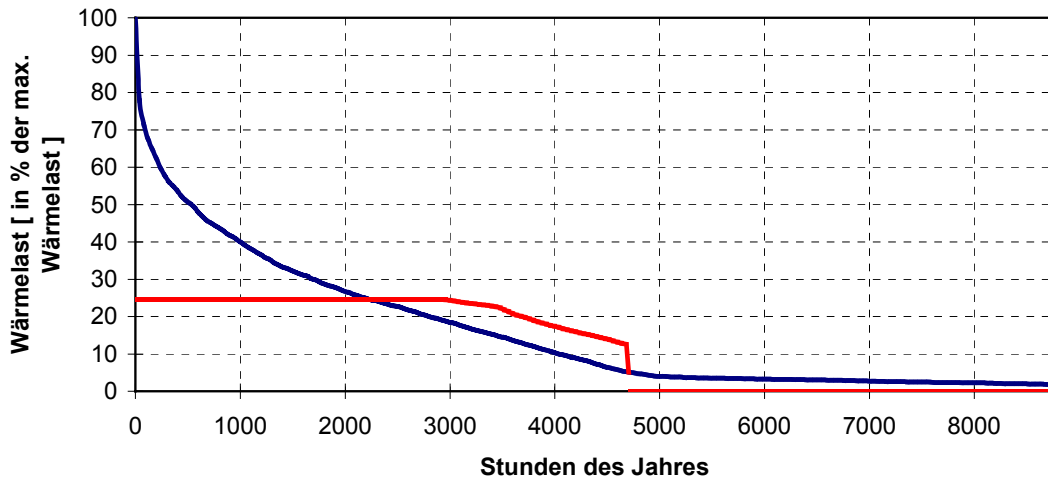
**1 Objektbeschreibung:**

Schulzentrum Klimagebiet Hannover
--------------------------------------

**2 Objektdaten:**

Bestimmungsgrößen des Wärmeverbrauchs:	
<b>5 Schulgebäude:</b>	
beheizte Fläche (qm)	4750
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	56
Anzahl Nutzer	655
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0,05
Heizenergiebedarf (MWh/a)	268
Norm-Leistung (kW)	273
<b>Sporthalle:</b>	
beheizte Fläche (qm)	1086
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	64
Anzahl Nutzer	125
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0
Heizenergiebedarf (MWh/a)	69
Norm-Leistung (kW)	66
Turnhalle, Umkleidebereich:	
beheizte Fläche (qm)	526
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	123
Anzahl Nutzer	125
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0,1
Heizenergiebedarf (MWh/a)	65
Norm-Leistung (kW)	46
<b>Gesamt:</b>	
beheizte Fläche (qm)	6362
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	63
Wärmebedarf (MWh/a)	402
davon Energiebed. f. Warmwasser (MWh/a)	44
Summe Norm-Leistungen (kW)	385
Netzverluste (MWh/a)	33
Gesamtbedarf (MWh/a)	434
Netzhöchstlast (kW)	310
Vollbenutzungsstunden (h/a)	1400

**Jahresdauerlinie mit BHKW-Laufzeiten**  
**Schule NEH-Standard max. Wärmelast: 309 kW**



3 Wärmeerzeugung auf der Basis eines BHKW:

Auslegung:	
Anzahl der Moduln	1
elektrische Leistung (kW)	40
thermische Leistung (kW)	76
Leistungsanteil bez. auf die Höchstlast:	25%
therm. Wirkungsgrad	58%
elektr. Wirkungsgrad	31%
Jahresnutzungsgrad (Hu) BHKW-Moduln	89%
wärmegeführte Fahrweise	
Wärmespeicher-Volumen (cbm)	3
Wärmespeicher-Kapazität (kWh)	70
Jahresnutzungsdauer BHKW-Moduln (h/a): (gemäß Jahresdauerlinie)	4302
Jahreswärmearbeit BHKW-Moduln (MWh/a)	327
Anteil an d. gesamt. Wärmebed.-Deckung	75%

## Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

### 4 Wärmeerzeugung durch Spitzenkessel:

Gesamtleistung Spitzenkessel (kW), mit Reserve	280
Jahresnutzungsgrad (Hu) Spitzenkessel als Gasheizkessel	90%
Jahresarbeit (MWh/a)	107
Jahresnutzungsdauer Spitzenkessel (h/a)	382

### 5 Kostenermittlung:

Zinssatz	4,0%		
Investitionskosten BHKW (TDM):		<i>technische Lebensdauer</i>	<i>Kapital- kosten</i>
BHKW-Moduln		<i>Jahre</i>	<i>TDM/a</i>
spezifisch (DM/kWel)	2200		
absolut (TDM)	88	15	8
Heizungstechn. Einbind., Abgasanl., Speicher	40	25	3
Spitzenkessel (Kesseleratz, Schornst. vorh.)	56	20	4
Heizungsraum vorh.			
Gesamt (TDM)	184		15
spezifisch (DM/kWel)	4600		365
Betriebskosten BHKW (DM/a):			
Vollwartung BHKW			
Basis ( DPf/kWhel):	4,2		
Jahreskosten	7200		
Sonst. Betriebsk., Versicherung	2000		
Personalkosten (DM/h)	0		
Summe Betriebsk. (o. Kapital-u. Brennst.-K.)	9200		
Brennstoffkosten BHKW:			
Brennstoffeinsatz (MWhHu/a)	680	100%	
Module	561	83%	
Kessel	119	17%	
Erdgaskosten			
bei Stromerzeugung (DPf/kWhHu):	3,50		
bei Einsatz im Heizkessel (DPf/kWhHu):	4,25		
Jahreskosten (DM/a):	24705		

## Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

### 6 Erlös aus der Stromerzeugung des BHKW:

Arbeitsgutschrift:	
spezifisch (DPf/kWh)	7,00
jährlich (DM/a)	12046
Leistungsgutschrift:	
spezifisch (DM/kW)	90,00
jährlich (DM/a)	3600
Gesamterlös aus der Stromerzeugung (DM/a):	15646

### 7 Wärmeerzeugungskosten:

Kapitalkosten (DM/a)	14596
Brennstoffkosten (DM/a)	24705
sonstige Betriebskosten (DM/a)	9200
Erlös aus Stromerzeugung (DM/a)	15646
Saldo (DM/a)	32855
bezogen auf einen Wärmeabsatz (MWh/a):	402
Wärmeerzeugungskosten BHKW (DM/MWh)	<b>81,83</b>

### 8 Kostenermittlung bei Erzeugung nur mit Heizkessel:

		<i>technische Lebensdauer Jahre</i>	<i>Kapital- kosten TDM/a</i>
Heizleistung (kW)	310		
Investitionskosten (TDM):			
Gasheizkessel (Kesslersatz, Schornst. vorh.)	59	20	4
Kellerraum vorh.			
Gesamt (TDM)	59		4
(DM/kWth)	190		
Betriebskosten (DM/a)			
spez. fixe Betriebskosten (DM/(kW*a))	5		
fixe Betriebskosten (DM/a)	1600		
spez. variable sonst. Betriebskosten (DM/MWh)	0,25		
variable sonst. Betriebskosten (DM/a)	100		
Brennstoffeinsatz (MWh/a)	446		
spez. Brennstoffkosten(DM/MWh)	42,50		
Brennstoffkosten (DM/a)	18960		
Gesamt (DM/a)	24994		
Wärmeerzeugungskosten Heizwerk (DM/MWh)	<b>62,25</b>		



**Wärmeversorgungsfall**

volkswirtschaftliche Rechnung

Gebäude und Wärmeversorgung im Ausgangszustand

**1 Objektbeschreibung:**

Schulzentrum Klimagebiet Hannover
--------------------------------------

**2 Objektdaten:**

Bestimmungsgrößen des Wärmeverbrauchs:	
<b>5 Schulgebäude:</b>	
beheizte Fläche (qm)	4750
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	168
Anzahl Nutzer	655
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0,05
Heizenergiebedarf (MWh/a)	797
Norm-Leistung (kW)	688
<b>Sporthalle:</b>	
beheizte Fläche (qm)	1086
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	245
Anzahl Nutzer	125
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0
Heizenergiebedarf (MWh/a)	266
Norm-Leistung (kW)	205
Turnhalle, Umkleidebereich:	
beheizte Fläche (qm)	526
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	234
Anzahl Nutzer	125
Spez. Energiebed. f. Warmwasser (MWh/(E*a))	0,1
Heizenergiebedarf (MWh/a)	123
Norm-Leistung (kW)	86
<b>Gesamt:</b>	
beheizte Fläche (qm)	6362
Spez. Raumwärmebedarf (kWh/(qm*a))	186
Wärmebedarf (MWh/a)	1186
davon Energiebed. f. Warmwasser (MWh/a)	44
Summe Norm-Leistungen (kW)	979
Netzverluste (MWh/a)	33
Gesamtbedarf (MWh/a)	1219
Netzhöchstlast (kW)	835
Vollbenutzungsstunden (h/a)	1459

3 Kostenermittlung bei Erzeugung nur mit Heizkessel:

		<i>technische Lebensdauer Jahre</i>	<i>Kapital- kosten TDM/a</i>
Heizleistung (kW)	1000		
Investitionskosten (TDM):			
Gasbrennw.-Kessel (Kesslersatz, Schornst. vorh.) Kellerraum vorh.	100	20	7
Gesamt (TDM)	100		7
(DM/kWth)	100		
Betriebskosten (DM/a)			
spez. fixe Betriebskosten (DM/(kW*a))	5		
fixe Betriebskosten (DM/a)	3400		
spez. variable sonst. Betriebskosten (DM/MWh)	0,25		
variable sonst. Betriebskosten (DM/a)	300		
Brennstoffeinsatz (MWh/a)	1524		
spez. Brennstoffkosten(DM/MWh)	42,5		
Brennstoffkosten (DM/a)	64759		
Gesamt (DM/a)	75818		
Wärmeerzeugungskosten Heizwerk (DM/MWh)	<b>63,90</b>		

In Tabelle 4–27 sind die in den vorstehenden Listen enthaltenen Energieeinsätze auf Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen umgerechnet worden. Als Referenzsysteme der Stromerzeugung sind berücksichtigt worden:

- a) Strom auf Basis eines neuen GuD-Kraftwerkes (57,5 %),
- b) Strom auf Basis eines neuen Braunkohlekraftwerkes (44,5 %),
- c) Strom auf Basis des Kraftwerksmixes 1999 (36,8 %).

Dabei ist berücksichtigt worden, daß die Stromerzeugung in BHKW Netzverluste vermeidet und entsprechend um einen Faktor von 1,025 höher zu bewerten ist.

Die strombezogenen CO<sub>2</sub>-Faktoren sind folgendermaßen berücksichtigt:

- a) Strom auf Basis eines neuen GuD-Kraftwerkes: 350,6 g CO<sub>2</sub>/kWh ,
- b) Strom auf Basis eines neuen Braunkohlekraftwerkes: 906,1 g CO<sub>2</sub>/kWh,
- c) Strom auf Basis des Kraftwerksmixes: 609,1 g CO<sub>2</sub>/kWh,

wobei b) hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen etwa vergleichbar mit einem bestandsdurchschnittlichen Steinkohlekraftwerk ist.

Der Wärmemix für 1999 ist zu 300 g CO<sub>2</sub>/kWh und der endenergiebezogene Faktor für Erdgas ist zu 197 g CO<sub>2</sub>/kWh angesetzt worden. Der Nutzungsgrad des Wärmemixes ist zu 85 % berücksichtigt worden (der in Tabelle 4–27 in der Zeile „Primärenergieeinsatz Heizkessel“ genannte Faktor 1,06 gilt einer Umrechnung von  $\zeta = 90\%$ , die hier für neue Niedertemperaturkessel berücksichtigt sind, auf  $\zeta = 85\%$ ).

**Vergleich des Primärenergieeinsatzes und der CO<sub>2</sub>--Minderung zwischen gekoppelter und getrennter Erzeugung**

Schulzentrum	BHKW (mit Spitzenkessel)			Heizkessel			
	Faktor	Ausgang 153 kW <sub>e</sub> 236 kW <sub>th</sub>	EVO 52 kW <sub>e</sub> 101 kW <sub>th</sub>	NEH 40 kW <sub>e</sub> 76 kW <sub>th</sub>	Ausgang 835 kW <sub>th</sub>	EVO 436 kW <sub>th</sub>	NEH 310 kW <sub>th</sub>
<b>Zwischenergebnisse:</b>							
Jahresnutzungsgrad Heizkessel		90%	90%	90%	90%	90%	90%
Wärmebedarf (MWh/a)		1.219	640	434			
Brennstoffeinsatz (MWh/a)		2074	964	680	1318	675	446
Netto-Stromproduktion BHKW (MWh/a)		647	236	172			
Jahreskosten bei Stromgutschrift							
a) entspr. GuD-KW (57%) (TDM/a)		60,4	69,6	81,8	56,7	59,7	62,3
<b>bei ident. Energiebereitstellung vor Ort:</b>							
<b>Primärenergieeinsatz BHKW (MWh/a)</b>	1	2074	964	680			
Primärenergieeinsatz Heizkessel (MWh/a)(85%)	1,06				1318	675	446
Primärenergieeinsatz extern (MWh/a)							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>	1,78				1154	422	307
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>	2,30				1491	545	396
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>	2,79				1803	659	479
Primärenergieaufwand gesamt (MWh/a)							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>					2473	1097	753
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>					2810	1220	842
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>					3122	1334	925
<i>Relation des Primärenergieaufwandes</i>							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>					119	114	111
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>					135	126	124
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>					151	138	136
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen BHKW (kt CO<sub>2</sub>/a)</b>	0,197	409	190	134			
CO <sub>2</sub> -Emissionen Heizkessel (kt CO <sub>2</sub> /a)	0,3				396	203	134
CO <sub>2</sub> -Emissionen extern (kt CO <sub>2</sub> /a)							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>	0,351				227	83	60
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>	0,93				601	220	160
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>	0,62				404	148	107
CO <sub>2</sub> -Emissionen gesamt (kt CO <sub>2</sub> /a)							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>					623	286	194
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>					997	422	294
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>					800	350	241
<i>Relation der CO<sub>2</sub>-Emissionen</i>							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>					152	150	145
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>					244	222	219
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>					196	184	180

<sup>1)</sup> bei externer Stromerzeugung sind 2,5% Übertragungsverluste berücksichtigt

Tabelle 4–27: Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen der Versorgungsfälle

In Tabelle 4–28 sind die Primärenergieeinsparungen und CO<sub>2</sub>-Minderungen sowie die Minderungskosten gegenüber dem Ausgangsfall (kein zusätzlicher Wärmeschutz, alte Heizung) ermittelt worden.

Hinsichtlich der Primärenergieeinsparung ergibt sich demnach folgendes Bild:

- Während der Ersatz des vorhandenen Kessels durch einen neuen Kessel bei unverändertem Gebäudewärmeschutz nur einen geringen Effekt aufweist, kann die BHKW-Lösung vor dem Hintergrund des Referenzfalles der Stromerzeugung c) (Mix) sogar zu einer maximalen Primärenergieeinsparung führen.
- Vor dem Hintergrund des Referenzfalles der Stromerzeugung a) (GuD-Kraftwerk) wird ein annähernd gleichwertiges Niveau an Primärenergieeinsparung nur erreicht, wenn Wärmeschutzmaßnahmen hinzukommen.

## Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

Schulzentrum	Faktor	BHKW (mit Spitzenkessel)			Heizkessel		
		153 kW <sub>e</sub> 236 kW <sub>th</sub>	52 kW <sub>e</sub> 101 kW <sub>th</sub>	40 kW <sub>e</sub> 76 kW <sub>th</sub>	835 kW <sub>th</sub>	436 kW <sub>th</sub>	310 kW <sub>th</sub>
<b>Primärenergieeinsatz f. Ausgangszustand</b>							
Primärenergieeinsatz Heizkessel (MWh/a)(80%)					1524	800	543
Primärenergieeinsparung des BHKW							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>		604	257	169			
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>		941	380	258			
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>		1253	494	341			
Primärenergieeinsparung des neuen Heizkessels							
	MWh/a				205	125	96
Wärmeschutzmaßnahmen (MWh/a)		0	643	872	0	643	872
Primärenergieeinsparung Gesamt (MWh/a)							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>		604	900	1041			
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>		941	1024	1131			
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>		1253	1138	1214			
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen f. Ausgangszustand</b>							
CO <sub>2</sub> -Emissionen Heizkessel (kt CO <sub>2</sub> /a)	0,3				457	240	163
CO <sub>2</sub> -Minderung des BHKW							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>		276	133	89			
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>		650	270	189			
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>		453	198	136			
CO <sub>2</sub> -Minderung des neuen Heizkessels							
	(kt CO <sub>2</sub> /a)				197	107	75
Wärmeschutzmaßnahmen (kt CO <sub>2</sub> /a)		0	127	172	0	127	172
CO <sub>2</sub> -Minderung Gesamt (kt CO <sub>2</sub> /a)							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57,5%) <sup>1)</sup>		276	260	261			
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>		650	396	360			
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>		453	324	308			
<b>Kosten</b>							
Jahreskosten BHKW (DM/a)		71717	42303	32855			
Jahreskosten neuer Heizkessel (DM/a)					67328	36268	24994
Jahreskosten alter Heizkessel (DM/a)					<b>75818</b>		
Jahreskosten Wärmeschutz (DM/a)			59547	83848		59547	83848
Jahreskosten Summe (DM/a)		71717	101850	116703	67328	95815	108842
Mehrkosten gegenüber vorh. Situation (DM/a)		-4100	26033	40886	-8489	19997	33024
<b>Kosten der CO<sub>2</sub>-Minderung (DM/kt CO<sub>2</sub>)</b>							
CO <sub>2</sub> -Minderung durch BHKW							
a) Strom auf Basis von GuD-KW (57%) <sup>1)</sup>		Minderk.	100	157			
b) Strom auf Basis von Braunk.-KW (44,5%) <sup>1)</sup>		Minderk.	66	113			
c) Strom auf Basis des Kraftwerkmixes 1999 <sup>1)</sup>		Minderk.	80	133			
CO <sub>2</sub> -Minderung durch neuen Heizkessel							
					Minderk.	86	134

Tabelle 4–28: Primärenergieeinsparung, CO<sub>2</sub>-Minderung und Kosten der CO<sub>2</sub>-Minderung gegenüber der ursprünglichen Situation

### 4.3 Industrieobjekt

Als Vergleichssystem zur Objektversorgung mit Strom und Dampf wird angenommen, daß der Strom alternativ aus dem Netz bezogen und der Dampf in einem konventionellen Dampfkessel am Standort erzeugt wird (Tabelle 4–29). Als Referenzsystem wird daher

- zur Stromversorgung der bundesdeutsche Kraftwerksmix 1999 mit einem Nutzungsgrad von 36,8 % und spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 609,1 g CO<sub>2</sub>/ kWh<sub>el</sub>,
- zur Dampferzeugung ein erdgasbetriebener Dampfkessel mit einem Nutzungsgrad von 90 % und spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 223 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>therm</sub> verwendet.

Die Strom- und Dampferzeugung in der GuD-Anlage weist jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen von 76 kt CO<sub>2</sub> auf. Abzüglich dem Emissionsanteil, der der rückgespeisten und nicht dem Betrieb zuzuordnenden Strommenge entspricht, ergeben sich Emissionen von 72 kt. Demgegenüber würden bei einer Erzeugung der im Betrieb benötigten Wärme- und Strommengen gemäß dem Referenzsystem CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Höhe von 90 kt CO<sub>2</sub> erzeugt, d.h. 25 % mehr. Gegenüber den 379 GWh Erdgaseinsatz in der GuD-Anlage (bzw. rechnerisch 359 GWh ohne den rückgespeisten Strom) ergäbe sich mit dem Alternativsystem ein Primärenergiebedarf von 427 GWh.

### ***Wirtschaftlichkeit***

Die jährlichen Kosten zum Betrieb der GuD-Anlage werden hauptsächlich von der Annuität und den Brennstoffkosten bestimmt. Bei einem angenommenen Erdgaspreis von 3 Pf/kWh und einer Stromgutschrift von 7 Pf/kWh ergibt sich daraus ein anlegbarer Wärmepreis von 36 DM je MWh erzeugter Wärme, wenn alle Anlagerestkosten der Wärmeerzeugung zugeschlagen werden. Im Alternativszenario ergeben sich die Kosten aus den Stromkosten, die an das liefernde EVU zu zahlen sind, und den Kosten für den Betrieb des Dampfkessels zur Wärmeerzeugung. Die Wärmeerzeugungskosten berechnen sich für diesen Versorgungsfall zu 34 DM/kWh, die sich für die reine Dampferzeugung ergeben.

### ***Effizienzverbesserungen***

Der spezifische Strom- und Wärmeverbrauch entspricht mit 670 bzw. 2.200 kWh je erzeugter Tonne Papier einer durchschnittlichen Papierfabrik. Strom wird hauptsächlich für Motoren und motorenbetriebene Systeme wie Pumpen, Verdichter und zum Papiertransport benötigt. Effizienzverbesserungen dafür liegen im Durchschnitt bei 10 bis 20 % und lassen sich vor allem durch drehzahlgeregelte Antriebe und optimierte Systemabstimmung erreichen. Der erzeugte Dampf wird ganz überwiegend in der Trockenpartie der Papiermaschine benötigt. Energieeinsparungen können dabei durch eine Reduzierung des Feuchtegehalts durch erhöhten Druck in der Anpressung, durch Kontrolle der Feuchteparameter, durch Wärmerückgewinnung oder durch neue Trocknungsverfahren, beispielsweise Impulstrocknung, erreicht werden. Für die Energieeinsparung im Prozeß wurden zwei Stufen angenommen (Tabelle 4–30):

- Moderate Verbesserungen um jeweils 10 %. Diese Einsparungen können im allgemeinen ohne größeren Aufwand durch Optimierung des bestehenden Produktionsprozesses erzielt werden. Die Maßnahmen weisen meist Amortisationszeiten von zwei Jahren und weniger auf. Im vorliegenden Fall entspräche dies Investitionskosten in der Größenordnung von 2,5 Mio. DM, die wirtschaftlich getätigt werden könnten.
- Verstärkte Anstrengungen mit Verbesserungen im Strombereich von 15 % und im Wärmebereich von 30 %. Dabei wird angenommen, daß neue Trocknungsverfahren zum Einsatz kommen, die den Wärmebedarf deutlich senken, jedoch Investitionen im Kernbereich der Produktion erfordern und längere Amortisationszeiten gefordert sind.

Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

therm. Leistung Kessel	MW	26
el. Nutzungsgrad (Strommix Dtl.)	%	36,8%
therm. Nutzungsgrad	%	90%
Primärenergie	MWh	426 510
Primärenergie Differenz	%	+18,8%
CO <sub>2</sub> -Emissionen	t	89 821
CO <sub>2</sub> -Emissionen Differenz	%	+24,8%
<i>Kostenermittlung</i>		
Strompreis	DM/kWh	0,07
Stromkosten	TDM/a	4 690
<i>Dampfkessel</i>		
Spez. Investitionskosten	DM/kW	50
Investitionen gesamt	TDM	1 279
Zinssatz	%/a	10%
Nutzungsdauer	a	20
Annuität	%/a	11,746%
Wartung	%/a der IK	1%
Bedienung	%/a der IK	0,5%
Erdgaspreis	DM/kWh	0,030
Kapitalkosten	TDM/a	150
Wartungskosten	TDM/a	13
Bedienung	TDM/a	6
Brennstoffkosten	TDM/a	7 333
Summe jährliche Kosten	TDM/a	7 503
<b>Wärmeerzeugungskosten Dampfkessel</b>	<b>DM/MWh<sub>th</sub></b>	<b>34,10</b>

Tabelle 4–29: Alternative Objektversorgung ohne KWK

Produktionsdaten		Moderate Effizienz- verbesserungen	Einsatz von besten verfügbaren Tech- nologien (BVT)
Produktion	to Papier	100 000	100 000
Spez. Stromverbrauch	kWh_el/t	603	570
Spez. Wärmeverbrauch	kWh_th/t	1 980	1 540
Stromverbrauch pro Jahr	MWh/a	60 300	56 950
Wärmeverbrauch pro Jahr	MWh/a	198 000	154 000
Betriebsstunden	h/a	8 600	8 600
Effizienzverbesserung Strom	%	10%	15%
Effizienzverbesserung Wärme	%	10%	30%

Tabelle 4–30: Energiebedarf bei angenommenen Effizienzverbesserungen

Der erste Fall entspricht einer wahrscheinlichen Entwicklung über die nächsten Jahre. Bei einer konstanten Produktion verringert sich der Wärme- und Strombedarf entsprechend. Die Fahrweise der vorhandenen GuD-Anlage wird dahingehend angepaßt, daß ein größerer Teil des Dampfes im Kondensationsteil der Dampfturbine entspannt wird. Damit steigt der elektrische Wirkungsgrad der Anlage, der Gesamtwirkungsgrad sinkt auf 75 %, und mehr als die Hälfte des erzeugten Stroms wird in das Netz rückgespeist. Die Kosten, die sich aus dem Betrieb der GuD-Anlage ergeben, bleiben dabei etwa konstant, da die Erlöse aus der Rückspeisung steigen. Durch die verminderte Wärmeproduktion steigen die Kosten je erzeugter Wärme auf 41 DM/kWh (Tabelle 4–31). Eine alternative Versorgung über einen Dampfkessel ergäbe Wärmeerzeugungskosten von 34 DM/kWh (Tabelle 4–32).

Der zweite Fall ergibt einen deutlich niedrigeren Wärmebedarf bzw. ein höheres Strom-Wärme-Verhältnis von 0,6 (gegenüber 0,38 im Ausgangsfall). Zur Versorgung mit Strom und Wärme wird wiederum eine GuD-Anlage mit zugefeuerten Abhitze-kessel eingesetzt sowie ein Spitzenkessel zur zusätzlichen Wärmeerzeugung, die Stromrückspeisung ins Netz entfällt. Die Kosten der Wärmeerzeugung bleiben damit gegenüber dem Ausgangsfall etwa konstant (Tabelle 4–33), während sich bei der alternativen Versorgung etwas höhere Wärmekosten von 35 DM/kWh ergeben (Tabelle 4–34).

**Komplette Eigenversorgung durch GuD-Anlage in KWK, Einspeisung ins Netz**

el. Leistung	MW	15
therm. Leistung	MW	38
el. Nutzungsgrad	%	30%
therm. Nutzungsgrad	%	45%
Ges. Nutzungsgrad	%	75%
Erzeugung Strom	MWh	132 000
Rückspeisung ins Netz	MWh	71 700
Erzeugung Wärme	MWh	198 000
Erdgas-Input	MWh	440 000
CO <sub>2</sub> -Emissionen gesamt	t	88 220
Primärenergie ohne Stromrückspeisung	MWh	344 400
CO <sub>2</sub> -Emissionen ohne Stromrückspeisung	t	69 052
<i>Kostenermittlung</i>		
spez. Investitionskosten	DM/kW	1 200
Investitionen gesamt	TDM	18 000
Zinssatz	%/a	10%
Nutzungsdauer	a	10
Annuität	%/a	16,275%
Wartung	%/a der IK	1%
Bedienung	%/a der IK	0,5%
Verwalt./Versicherung	%/a der IK	1%
Erdgaspreis	DM/kWh	0,030
Kapitalkosten	TDM/a	2 929
Wartungskosten	TDM/a	180
Bedienung	TDM/a	90
Verwaltung/Versicherung	TDM/a	180
Brennstoffkosten	TDM/a	13 200
Summe jährliche Kosten	TDM/a	16 579
Strompreis Einspeisung	DM/kWh	0,06
Erlös aus Stromeinspeisung	TDM/a	-4 302
vergleichbarer Strompreis	DM/kWh	0,07
Stromgutschrift	TDM/a	-4 221
Differenz	TDM/a	8 056
<b>Wärmeerzeugungskosten KWK</b>	<b>DM/MWh<sub>th</sub></b>	<b>40,69</b>

Tabelle 4–31: Objektversorgung mit KWK im Fall "Moderate Effizienzsteigerungen"



Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

therm. Leistung Kessel	MW	23
el. Nutzungsgrad (Strommix Dtl.)	%	36,8%
therm. Nutzungsgrad	%	90%
Primärenergie	MWh	383 859
Primärenergie Differenz	%	+11,5%
CO <sub>2</sub> -Emissionen	t	80 839
CO <sub>2</sub> -Emissionen Differenz	%	+17,1%
<i>Kostenermittlung</i>		
Strompreis	DM/kWh	0,07
Stromkosten	TDM/a	4 221
<i>Dampfkessel</i>		
spez. Investitionskosten	DM/kW	60
Investitionen gesamt	TDM	1 381
Zinssatz	%/a	10%
Nutzungsdauer	a	20
Annuität	%/a	11,746%
Wartung	%/a der IK	1%
Bedienung	%/a der IK	0,5%
Erdgaspreis	DM/kWh	0,030
Kapitalkosten	TDM/a	162
Wartungskosten	TDM/a	14
Bedienung	TDM/a	7
Brennstoffkosten	TDM/a	6 600
Summe jährliche Kosten	TDM/a	6 783
<b>Wärmeerzeugungskosten Dampfkessel</b>	<b>DM/MWh<sub>th</sub></b>	<b>34,26</b>

Tabelle 4–32: Alternative Objektversorgung ohne KWK im Fall "Moderate Effizienzsteigerung"

**Komplette Eigenversorgung durch Gasturbine in KWK und Spitzenkessel**

		Gasturbine	Dampfkessel
el. Leistung	MW	7	
therm. Leistung	MW	18	7
el. Nutzungsgrad	%	30%	
therm. Nutzungsgrad	%	50%	90%
Ges. Nutzungsgrad	%	80%	
Erzeugung Strom	MWh	56 950	
Rückspeisung ins Netz	MWh	0	
Erzeugung Wärme	MWh	94 917	59 083
Erdgas-Input	MWh	189 833	65 648
CO2-Emissionen gesamt	t	38 062	13 162
Primärenergie gesamt	MWh	255 481	
CO2-Emissionen gesamt	t	51 224	
<b>Kostenermittlung</b>			
spez. Investitionskosten	DM/kW	1 400	80
Investitionen gesamt	TDM	9 800	560
Zinssatz	%/a	10%	10%
Nutzungsdauer	a	10	10
Annuität	%/a	16,275%	16,275%
Wartung	%/a der IK	1%	1%
Bedienung	%/a der IK	0,5%	0,5%
Verwalt./Versicherung	%/a der IK	1%	
Erdgaspreis	DM/kWh	0,030	0,030
Kapitalkosten	TDM/a	1 595	91
Wartungskosten	TDM/a	98	6
Bedienung	TDM/a	49	3
Verwaltung/Versicherung	TDM/a	98	
Brennstoffkosten	TDM/a	5 695	1 969
Summe jährliche Kosten	TDM/a	7 535	2 069
Strompreis Einspeisung	DM/kWh		
Erlös aus Stromeinspeisung	TDM/a		
vergleichbarer Strompreis	DM/kWh	0,07	
Stromgutschrift	TDM/a	-3 987	
Differenz	TDM/a	3 548	2 069
<b>Wärmeerzeugungskosten KWK</b>	<b>DM/MWh_th</b>	<b>36,48</b>	

Tabelle 4–33: Objektversorgung mit KWK im Fall "BVT"

Energetischer, ökonomischer und ökologischer Vergleich

therm. Leistung Kessel	MW	18
el. Nutzungsgrad (Strommix D)	%	36,8%
therm. Nutzungsgrad	%	90%
Primärenergie	MWh	325 867
Primärenergie Differenz	%	+27,5%
CO <sub>2</sub> -Emissionen	t	68 996
CO <sub>2</sub> -Emissionen Differenz	%	+34,7%
<i>Kostenermittlung</i>		
Strompreis	DM/kWh	0,07
Stromkosten	TDM/a	3 987
<i>Dampfkessel</i>		
spez. Investitionskosten	DM/kW	80
Investitionen gesamt	TDM	1 433
Zinssatz	%/a	10%
Nutzungsdauer	a	20
Annuität	%/a	11,746%
Wartung	%/a der IK	1%
Bedienung	%/a der IK	0,5%
Erdgaspreis	DM/kWh	0,030
Kapitalkosten	TDM/a	168
Wartungskosten	TDM/a	14
Bedienung	TDM/a	7
Brennstoffkosten	TDM/a	5 133
Summe jährliche Kosten	TDM/a	5 323
<b>Wärmeerzeugungskosten Dampfkessel</b>	<b>DM/MWh<sub>th</sub></b>	<b>34,57</b>

Tabelle 4–34: Alternative Objektversorgung ohne KWK im Fall "BVT"

## 5 Bewertung der verschiedenen Versorgungsvarianten

In Anbetracht der begrenzten Ressourcen bzw. Aufwendungen, die zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Verfügung stehen und um möglichst schnell wirksam werdende Minderungsziele zu erreichen, kommt Kosten-Nutzen-Überlegungen eine besondere Bedeutung zu, auch um die Volkswirtschaft und damit die Energieversorgungsunternehmen nicht unvertretbar zu belasten.

Eine CO<sub>2</sub>-Minderung ist entweder durch den Übergang von CO<sub>2</sub>-reichen zu CO<sub>2</sub>-ärmeren Energieträgern oder durch die Reduzierung des Energiebedarfs zu erzielen. Die Reduzierung des Energiebedarfs wiederum kann durch eine abnehmende Nachfrage nach Energiedienstleistungen (d. h. Energiesparen) oder durch eine Erhöhung von Energieumwandlungs- und –anwendungswirkungsgraden erreicht werden. Insgesamt steht für die CO<sub>2</sub>-Minderung eine Vielzahl von Maßnahmen zur Verfügung, deren ökologische und ökonomische Effizienz von der Versorgungsaufgabe und dem Vergleichssystem abhängt.

Wichtiges Kriterium für den volkswirtschaftlichen zweckmäßigen Beitrag einzelner Maßnahmen sind neben dem angegebenen Potential vor allem ihre Kosten. Zur Bewertung von Maßnahmen werden deshalb häufig Kennzahlen gebildet, mit Hilfe derer die Effizienz, d. h. das Kosten-Nutzen-Verhältnis, von CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen beurteilt werden. Eine häufig verwendete Kenngröße sind die spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten in DM pro t CO<sub>2</sub>. Sie gibt den monetären Aufwand an, um eine Tonne CO<sub>2</sub> zu vermeiden. Diese Kenngröße wird bestimmt, indem der Quotient aus der Differenz zwischen den Kosten einer zu analysierenden Technologie und einer Referenztechnologie und der Differenz der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Referenz und der zu analysierenden Technologie gebildet wird.

Bei der Interpretation von CO<sub>2</sub>-Minderungskosten ist bei negativen spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten zwischen additiven und konkurrierenden CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen zu unterscheiden. Allgemein bringen negative CO<sub>2</sub>-Minderungskosten zum Ausdruck, daß neben der Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen eine Verminderung des volkswirtschaftlichen Aufwandes erreicht werden kann. Bei additiven Maßnahmen (z. B. Wärmedämmung am Gebäude und Umstieg auf einen CO<sub>2</sub>-ärmeren Energieträger für die Raumheizung) spielt somit die Rangfolge der spezifischen (negativen) Minderungskosten keine Rolle. Bei alternativen (konkurrierenden) CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen sollte unter der Zielsetzung einer möglichst großen CO<sub>2</sub>-Minderung die Maßnahme mit den geringsten Minderungskosten und dem größten Minderungspotential verwirklicht werden. Da im Rahmen dieser Analyse nicht die CO<sub>2</sub>-Potentiale bzw. der Endenergieverbrauch der Versorgungsaufgabe in Deutschland bestimmt wurde, werden die negativen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten nicht zahlenmäßig ausgewiesen, sondern nur dargestellt, daß hier negative Werte auftreten.

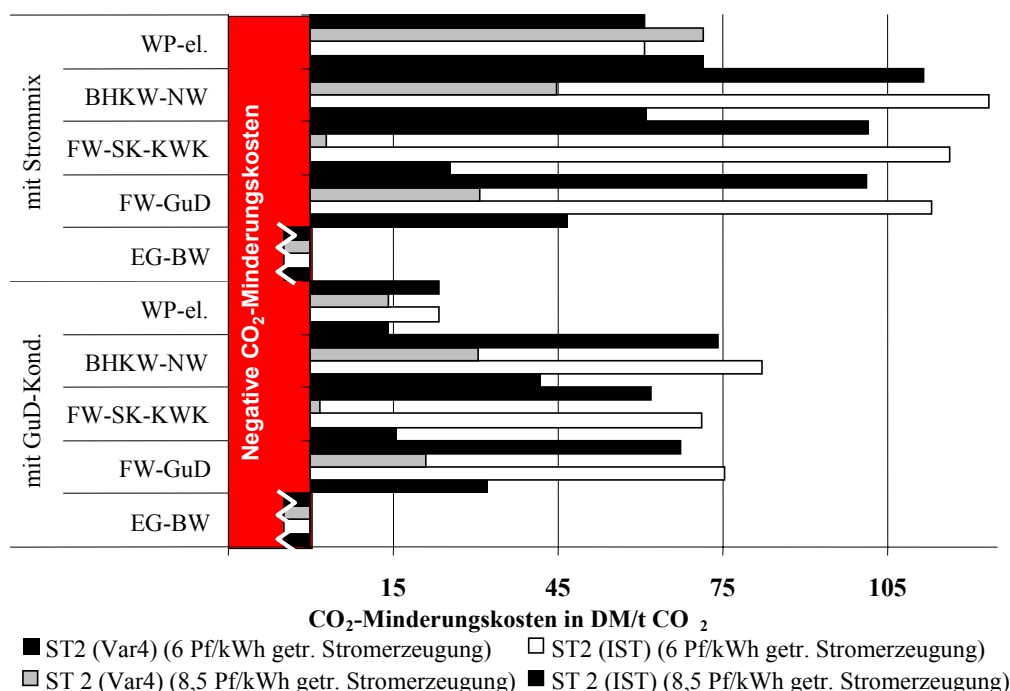
Es ist weiter zu beachten, daß sich Emissionsminderungen im Umwandlungssektor und jene in den nachfolgenden Anwendungsbereichen gegenseitig beeinflussen, wobei Art und Grad der Wechselwirkung in starkem Maße von der Tiefe der Gesamtziele der Reduktion abhängen. Je „weiter hinten“ in der Energienutzungskette z. B. durch eine Energieeinsparung eine Verminderung von direkten Emissionen erfolgt, in desto stärkerem Maße entfallen hierdurch auch vorgelagerte Emissionen. Umgekehrt relativieren Emissionsminderungsmaßnahmen im Umwandlungssektor den Minderungseffekt derartiger „nachgelagerter“ Maßnahmen.

### 5.1 Siedlungsbereich

In Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 werden exemplarisch die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten der verschiedenen Versorgungsvarianten für die Versorgungsaufgabe ST 2 bzw. ST 8 ausgewiesen. Prinzipiell ist zu erkennen, daß die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten der KWK-Anlagen im Versorgungsfall ST 8 günstiger (d. h. negativ) sind als im Versorgungsfall ST 2. Dies liegt daran, daß im Siedlungstyp ST 8 KWK-Anlagen aufgrund der höheren Stromkennzahl verstärkt zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden können. Vergleicht man weiter die Versorgungsvarianten, in denen Teile oder die gesamte getrennte Stromerzeugung mit Erdgas-GuD-Kondensationskraftwerken erfolgt, mit den Teilen, in denen die getrennte Erzeugung im Stromerzeugungsmix Deutschland bereitgestellt wird, so ist festzustellen, daß die Varianten mit Erdgas-GuD-Kondensationskraftwerk günstigere CO<sub>2</sub>-Minderungskosten aufweisen. Der Vergleich der maximalen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten in Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 zeigt weiter auf, daß die Höhe der CO<sub>2</sub>-Minderungskosten bei gleicher Versorgungstechnik abhängig ist von der Versorgungsaufgabe.

Aufgrund der geringeren CO<sub>2</sub>-Intensität des Energieträgers Erdgas im Vergleich zum Energieträger Heizöl des Referenzsystems HEL-NT-Heizung und des Kostenvorteils des EG-BW-Kessels ergeben sich bei dieser Versorgungsvariante in allen Fällen negative CO<sub>2</sub>-Minderungskosten.

Anhand der Versorgungsvariante mit elektrischer Wärmepumpe wird ersichtlich, daß die unterschiedlichen Stromvergütungen keinen Einfluß auf die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten der getrennten Erzeugungssysteme haben. Dagegen werden die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten der KWK-Anlagen bei höheren Stromerzeugungskosten der getrennten Erzeugung geringer, da damit indirekt die Stromgutschrift der KWK-Anlagen ansteigt.



**Abbildung 5-1:** CO<sub>2</sub>-Minderungskosten der Versorgungsvarianten gegenüber HEL-NT-Heizung Stromerzeugungsmix Deutschland des Siedlungstyps 2

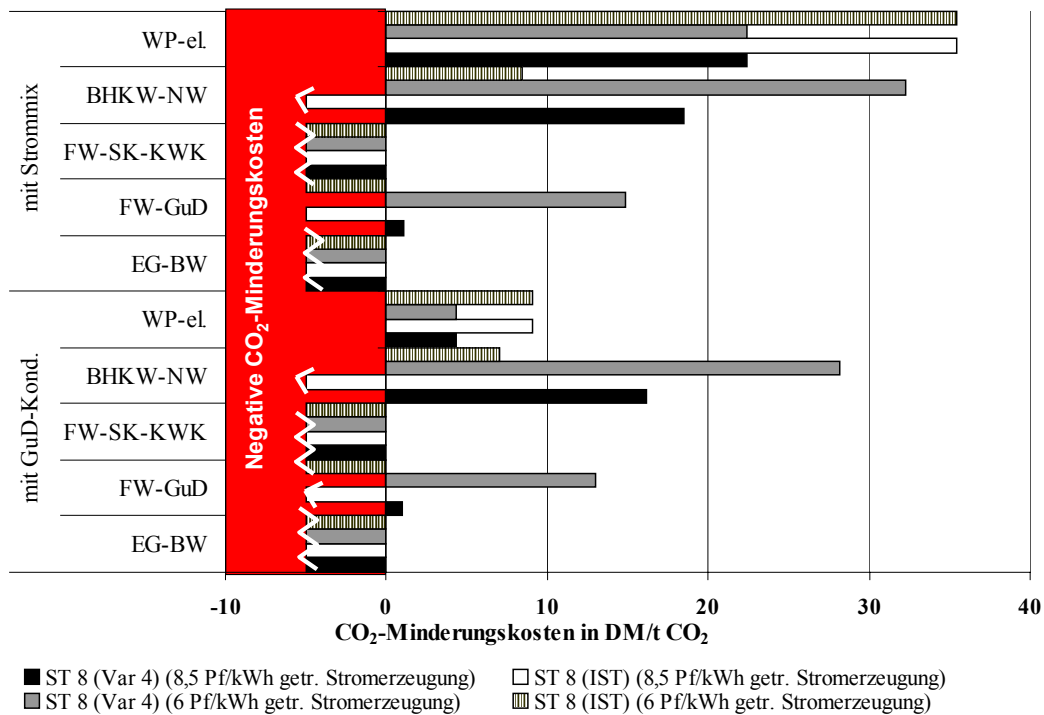


Abbildung 5-2: CO<sub>2</sub>-Minderungskosten der Versorgungsvarianten gegenüber HEL-NT-Heizung Stromerzeugungsmix Deutschland des Siedlungstyps 8

Die Durchführung ungekoppelter Sanierungsmaßnahmen ist mit einem Anstieg der Kosten verbunden, im Fall des Einsatzes von KWK-Anlagen bewirken diese bei der Versorgungsaufgabe ST 8 einen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Minderungskosten.

Die Ausführung von Sanierungsmaßnahmen im Sanierungszyklus ist einerseits mit einer Emissionsminderung und andererseits mit einer gleichzeitigen Kostenersparnis verbunden, sie bewirken daher geringere oder gar negative CO<sub>2</sub>-Minderungskosten.

Aufgrund der geringeren Erzeugungskosten bei der Versorgungsvariante mit Einsatz des Steinkohle-Heizkraftwerkes und den im Vergleich zur Variante Heizöl-Niedertemperaturheizung geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen sind die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten in diesem Fall negativ.

Der hier durchgeführte Vergleich unterschiedlicher Versorgungsvarianten ist begrenzt und beschränkt sich auf den Vergleich mit der getrennten Wärmeerzeugung in Heizöl-Niedertemperaturheizungen und dem Strommix Deutschland. Eine weitere interessante Versorgungsvariante wäre beispielsweise die Kombination zwischen Wärmepumpe und KWK-Anlage, da in diesem Fall der primärenergetische Vorteil sowohl der KWK-Anlage als auch der Wärmepumpe kombiniert werden. Allgemein wird aus dem Vergleich der Versorgungsvarianten deutlich, daß die Kombination unterschiedlicher, den Versorgungsvarianten angepaßten Versorgungstechniken erst eine energetische, ökologische und ökonomische optimierte Versorgung ermöglicht.

## 5.2 Objektversorgung

Bei der Untersuchung des kommunalen Objektes treten in bezug auf CO<sub>2</sub>-Minderung und CO<sub>2</sub>-Minderungskosten gegenüber dem Ausgangsfall folgende Besonderheiten hervor:

- Die absolute CO<sub>2</sub>-Minderung fällt am höchsten aus, wenn der Wärmeschutzstandard der Gebäude unverändert bleibt und die Versorgung mit Hilfe einer BHKW-Anlage 153 kW<sub>e</sub>/236 kW<sub>th</sub> erfolgt.
- Diese Variante führt unter Berücksichtigung der bislang eingesetzten Stromvergütung und Brennstoffpreise zu Minderkosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung.
- Im Stromerzeugungsreferenzfall a) ergeben sich sehr geringe absolute Unterschiede hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Minderung vor dem Hintergrund von BHKW-Lösungen und unterschiedlichen Wärmeschutzstandards, d. h. das BHKW in Verbindung mit einem Verzicht auf zusätzliche Wärmeschutzmaßnahmen ist einer BHKW-Lösung in Verbindung mit Niedrigenergiestandard gleichwertig.
- Die Vermeidungskosten sind indes bei der Variante BHKW + Verzicht auf zusätzlichen Wärmeschutz erheblich günstiger als bei den beiden BHKW-Varianten mit zusätzlicher Dämmung.
- Bei einem Austausch des Heizkessels als einzige Maßnahme treten ebenfalls geringere Jahreskosten als im Ausgangszustand auf, d. h. Minderkosten der CO<sub>2</sub>-Vermeidung, jedoch ist das Maß der CO<sub>2</sub>-Minderung deutlich herabgesetzt.

## 5.3 Industrieobjekt

Der ökologische Vergleich fällt in allen Fällen bei dem untersuchten Industrieobjekt zugunsten der KWK-Lösung aus. Insgesamt ergibt sich aber in allen Fällen, daß die KWK-Nutzung gegenüber der getrennten Bereitstellung von Strom und Wärme unwirtschaftlich ist. Die Annahmen bezüglich der alternativen Stromkosten sowie der Brennstoffpreise haben dabei maßgeblichen Einfluß. Bei einem Strombezugspreis von 8 Pf/kWh erzielt die KWK-Nutzung im Standardfall sowie im Fall "BVT" wirtschaftliche Vorteile. Dieses Ergebnis ließe sich auch durch eine Senkung des Erdgasbezugspreises auf 2,6 Pf/kWh erzielen. Die Sensitivitätsanalysen zeigen jedoch auch, daß im ungünstigen Fall Verbesserungen bei der rationellen Energienutzung im Betrieb negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlage haben können und eine vormals wirtschaftliche Anlage durch ein geändertes Strom-Wärme-Verhältnis oder geänderte Bezugs- oder Einspeisebedingungen dann gegenüber der getrennten Erzeugung schlechter abschneidet, insbesondere, wenn bei einer Kostenbetrachtung auch die Investitionskosten der REN-Maßnahmen aufgenommen werden.

## 5.4 Zusammenfassung

Der erste Teil des zweiten Berichtsbandes der Studie „Pluralistische Wärmeversorgung“ mit dem Titel „Ökologischer und ökonomischer Vergleich verschiedener CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen anhand unterschiedlicher Versorgungsaufgaben“ knüpft einerseits an den Technologievergleich der Vorstudie an, andererseits stellt er den ersten Schritt auf dem Weg dar, mit einer neuen Methode den zukünftigen Wärme-

markt zu untersuchen, die wirtschaftlichen Erfolg versprechenden und ökologisch vorteilhaften Ausbaupotentiale der KWK und der Nah-/Fernwärme auszuweisen.

Die Vorstudie hat die Techniken „Photovoltaik“, „Wind“, „Solarthermie“, „Wärmedämmung“ und „Kraft-Wärme-Kopplung“ hinsichtlich ihrer CO<sub>2</sub>-Minderungskosten verglichen. Sie war dabei zu dem Ergebnis gekommen, daß die Kraft-Wärme-Kopplung mit einem unteren Grenzwert von -230 DM/(t CO<sub>2</sub>) und einem oberen Grenzwert von 250 DM/(t CO<sub>2</sub>) sowie die Wärmedämmung mit einem unteren Grenzwert von -130 DM/(t CO<sub>2</sub>) und einem oberen Grenzwert von 790 DM/(t CO<sub>2</sub>) bei sorgfältiger Nutzung mit die günstigsten Verfahren zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen darstellen.

Der generelle Vergleich der Vorstudie war jedoch nicht darauf ausgelegt, die Frage zu beantworten, in welchem konkreten Anwendungsgebiet die kostengünstigsten Minderungsmaßnahmen einzusetzen und welche Minderungspotentiale im jeweiligen Anwendungsgebiet insgesamt zu erschließen seien. Es war auch nicht aus dem generellen Vergleich zu ersehen, ob die beiden kostengünstigen CO<sub>2</sub>-Minderungstechniken konkurrierend auf das gleiche Anwendungsgebiet abzielen oder ob sie sich in unterschiedlichen Anwendungsgebieten ergänzen. Weiter war ungeklärt, ob und wie eine kombinierte Anwendung beider Techniken, wie es dem Ansatz der Energieeinsparverordnung entspricht, sinnvoll und zielführend ist. Konkret ist dabei auch die Frage zu klären, in welchen Bereichen des Gebäudebestandes zweckmäßig die KWK/leitungsgebundene Wärmeverteilung, die Wärmedämmung oder eine kombinierte Lösung einzusetzen sei.

Weiter ist zu überlegen, wie die Problematik der für die KWK schlecht verwendbaren Bilanzgrenzen der Energieeinsparverordnung durch einen neuen Ansatz überwunden werden kann, indem z. B. alle CO<sub>2</sub>-Minderungsanteile und deren Kosten auf Flächeneinheiten bezogen werden. Da sich die Energieeinsparverordnung in ihrer Zielsetzung direkt auf die CO<sub>2</sub>-Minderung ausrichtet, wäre ein solcher Bezug logisch konsequent.

Die Bestimmung der geometrischen Verteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Bundesrepublik und die Analyse und Zuordnung von Techniken zu deren Minderung setzt jedoch ein Denken in neuen/neuartigen Modellen voraus.

Bei der Behandlung von Technologierangfolgefragen unter Verwendung von Bilanzierungsmodellen werden unterschiedliche technische Systeme der Strom- und Wärmeerzeugung gegenübergestellt. Dabei wird deutlich, daß die ökonomische und ökologische Rangfolge der verschiedenen Technologien von der Versorgungsaufgabe und einem gewählten Referenzsystem abhängt. Mit der Wahl eines Referenzsystems für einen bewertenden Vergleich wird neben der Effizienz der getrennten Erzeugung auch zusätzlich deren eingesetzter Energieträger festgelegt. Hierbei sollte das Referenzsystem für den Vergleich einerseits das Ziel (z. B. Klimaschutz), andererseits aber auch die in der Vergangenheit und zukünftig geplanten Effizienzverbesserungen konkurrierender ungekoppelter Systeme berücksichtigen. So nahmen beispielsweise die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Kraftwerkssektor je Einheit Nettostrom von 0,67 kg/kWh im Jahr 1990 auf 0,57 kg/kWh im Jahr 1999 /VDEW 2001/ ab. Gleichzeitig gelten Mindesteffizienzanforderungen an Neubaukraftwerke und die Selbstverpflichtung der Stromerzeuger, die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der nicht-nuklearen Stromproduktion bis 2012 um 30 % im Vergleich zu 1990 zu mindern.

Referenzsysteme können an unterschiedlichen Merkmalen ausgerichtet werden, z. B. kann zwischen industrieller und allgemeiner Versorgung unterschieden werden, da unterschiedliche Anforderungen an die alternativen getrennten Erzeugungssy-



steme gesetzt werden. Bei den im Rahmen dieser Studie bisher durchgeführten Betrachtungen wurde hierauf verzichtet, jedoch wurde durch die Variation der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der getrennten Stromerzeugung eine Spannweite für den Bewertungsvergleich aufgezeigt. In Abhängigkeit von der Höhe der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der getrennten Stromerzeugung fällt ein Vergleich der KWK-Anlagen mit der getrennten Stromerzeugung des fossilen Stromerzeugungsmix günstiger aus als im Fall der Kondensationsstromerzeugung in Erdgas-GuD-Anlagen. Die Sensitivität der Ergebnisse im Bezug auf konkrete Anforderungen der Versorgungsaufgabe wird insbesondere deutlich, wenn man die Ergebnisse im Bereich Siedlungs-KWK für die Siedlungstypen ST 2 und ST 8 miteinander vergleicht.

Insgesamt wird heute und im Jahr 2020 in Deutschland mehr Wärme als Strom nachgefragt (vgl. Tabelle 5–1). Das Verhältnis der gleichzeitigen Strom- und Wärmenachfrage in den Sektoren ist aufgrund der jahreszeitlich unterschiedlichen Nachfrage nach Raumwärme jedoch niedriger. Hier ergibt sich die Frage, wie KWK-Anlagen mit hoher Stromkennzahl zur Deckung des sinkenden Wärmebedarfs eingesetzt werden können.

	1998	2020
Haushalte	0,09	0,14
Industrie	0,63	0,73
<i>Kleinverbraucher</i>	<i>0,29</i>	<i>0,35</i>

Tabelle 5–1: Verhältnis zwischen Strom- und Wärmenachfrage (< 400°C) 1998 und 2020 /Prognos/Ewi 2000, Geiger 2000/

Dazu sind die Standorte zukünftiger KWK-Anlagen unter Berücksichtigung einer möglichst effizienten ökonomischen und ökologischen Integration in die Versorgungsaufgaben zu bestimmen. Dabei ist auch zu fragen, welche Aufgaben der Wärmeversorgung durch KWK-Anlagen zu realisieren sind und wie eine gegebenenfalls überschüssige Stromproduktion anderweitig zu verwenden ist.

Die Vergleichsergebnisse werden durch die technische Entwicklung bei der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung bestimmt. Im Vergleich zur getrennten Stromerzeugung (heutiger Mix) und der Wärmeversorgung mit Heizöl-Niedertemperaturheizungen ergeben sich primärenergetische Vorteile und CO<sub>2</sub>-Einsparungen.

Bei der Bewertung der industriellen KWK und der Objektversorgung wurde hingegen von einer Gutschrift der zuviel produzierten Strommenge ausgegangen. Dieser Ansatz ist so lange gültig, bis die KWK-Stromerzeugung Auswirkungen auf die Fahrweise öffentlicher Kondensationskraftwerke hat. Die Auswirkungen eines verstärkten KWK-Einsatzes werden in Kapitel 6 näher untersucht. Die untersuchten Vergleichsvarianten zeigten einen Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Emissionsvorteil der eingesetzten KWK-Anlagen bei der Objektversorgung und in der Industrie auf.

Die Einschränkung des Wärmeverbrauchs erhöht tendenziell die Stromkennzahl der Versorgungsaufgabe. Die ökologische Bewertung einer KWK-Anlage anhand von Referenzsystemen wird verbessert, da der im Vergleich zur Wärme mit höheren CO<sub>2</sub>-Gutschriften bewertete Stromanteil der KWK-Anlage zunimmt.

Das nachträgliche Erschließen von Energieeinsparpotentialen (z. B. durch Wärmedämmung von Altbauten im Gebäudebestand oder Effizienzverbesserungen von Produktionsprozessen) ist wirtschaftlich, wenn die vermiedenen Brennstoffkosten höher sind als die Kosten für die Sanierungsmaßnahme. Die Kosten der Wärmedämmmaßnahmen im Gebäudebestand hängen ganz wesentlich von der Konstruktion der Gebäude und vom Zeitpunkt der Durchführung ab. Ein Großteil der Maßnahmen außerhalb des Sanierungszyklus ist zumeist unwirtschaftlich und belastet damit zusätzlich den wirtschaftlichen Betrieb von KWK-Anlagen. Im industriellen Bereich können Maßnahmen zur rationellen Energienutzung die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen negativ beeinflussen.

Klimaschutzziele verfolgen das Ziel, die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen zu begrenzen. Werden in Zukunft keine CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechniken eingesetzt, so ist der Einsatz fossiler Energieträger beschränkt. Aufgrund der Versorgungssicherheit, aber auch aus beschäftigungspolitischen Gründen werden im Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland auch weiterhin Kohlen eingesetzt. Die Analyse im Siedlungs-KWK-Bereich hat gezeigt, daß der Einsatz von Steinkohle-KWK-Anlagen mit negativen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten verbunden ist.

Um die Rangfolge der unterschiedlichen Techniken bzw. der Einsatzpotentiale näher zu analysieren, wird in den folgenden Phasen der AGFW-Hauptstudie die Nah- und Fernwärmeversorgung detaillierter im Energiesystemmodell abgebildet und deren Einordnung in Abhängigkeit der räumlichen und zeitlichen Potentiale bis 2020 bestimmt.

Im Gegensatz zu der bisherigen Betrachtungsweise in Energiesystemmodellen werden für die Nah- und Fernwärmeversorgung Kostenpotentialkurven in die Modellbetrachtung integriert. Zusätzlich wird die Wechselwirkung zwischen realen Erzeugungsanlagen und Versorgungsgebieten, inklusive möglicher Wärmeeinsparmaßnahmen, berücksichtigt. Dadurch wird die Entscheidung für oder gegen eine Wärmeversorgungstechnik bzw. –sparmaßnahme im Energiesystemmodell nicht mehr als „Wenn-Dann“-Entscheidung, sondern als Entscheidungsschar abgebildet. Die in Energiesystemmodellen modellierte Versorgungsvariantenvielfalt wird dadurch insgesamt realitätsnäher und die Transparenz der Modellergebnisse nimmt durch die Vergleichbarkeit mit repräsentativen Versorgungsaufgaben zu.

Um Kostenpotentialkurven in Energiesystemmodelle zu integrieren, ist es notwendig, die Datenbasis für die Modellbildung zu verbessern. Hierfür sind einerseits repräsentative Wärmeversorgungsleistungen zu bestimmen und andererseits sind für deren Verknüpfung die Vollkosten zu ermitteln.

Im Rahmen dieser Phase der AGFW-Hauptstudie wurde ein entsprechend modifizierter Siedlungstypenkatalog erarbeitet. Durch die Verknüpfung zwischen Siedlungstypenmethode und Gebäudetypenmethode ist eine detaillierte Analyse leitungsgebundener und leitungsungebundener Wärmeversorgungssysteme und deren Konkurrenz zu Wärmedämmmaßnahmen möglich. Die Zerlegung von städtischen Gebieten in Gebiete unterschiedlicher Siedlungstypen und die Erfassung der Verknüpfung der Siedlungstypen ermöglicht beispielsweise die Bestimmung der kostenoptimalen Ausdehnung der Fernwärmeversorgung unter Berücksichtigung des Neubaus, der Verdichtung und der peripheren Erweiterung der Fernwärmeverteilung. Das hierfür notwendige Stadtmodell wird im Rahmen der Hauptstudie entwickelt. Es knüpft dabei an die Erfahrungen aus den Arbeiten des BMBF zu den Versorgungskonzepten an. Im Stadtmodell wird das längenabhängige wirtschaftliche Ausbaupotential leitungsgebundener Energieversorgungsnetze und deren Konkurrenzsy-

steme als gemischt ganzzahliges Optimierungsproblem (Fixkostenproblem) abgebildet. Damit können Kostenpotentialkurven für eine Vielzahl unterschiedlicher Wärmeversorgungsalternativen und Versorgungsgebiete ermittelt werden.

In Energiesystemmodellen wird, im Gegensatz zur Bilanzierung oder Simulation, aus der Vielzahl der möglichen Versorgungsvarianten die kostenoptimale Versorgungsvariante bestimmt. Sie beinhalten im Gegensatz zu Strommodellen alle Sektoren des Energiesystems (d. h. beispielsweise auch die Energiegewinnung, die Energieanwendung oder den Verkehrssektor) und sind daher geeignet, die Auswirkungen von nationalen Klimaschutzziele zu analysieren. Da bereits heute eine Vielzahl unterschiedlicher Versorgungsvarianten in Energiesystemmodellen integriert ist, werden bei der Berechnung von kosteneffizienten Klimaschutzmaßnahmen die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten der Einzelmaßnahmen automatisch erfaßt. Durch die Weiterentwicklung des Energiesystemmodells TIMES in der weiteren Phase der AGFW-Hauptstudie wird der Wärmemarkt in Deutschland weiter regionalisiert abgebildet. Der Datensatz setzt sich additiv aus dem Gebäudebestand (Gebäudetypen), den Siedlungstypen und den regional unterschiedlichen existierenden und möglichen Versorgungsstrukturen zusammen. Dadurch können klimaeffiziente Ausbaupotentiale der Fern- und Nahwärmeversorgung bzw. die Vorteile der gekoppelten gegenüber der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung regional quantifiziert werden. Nationale energiepolitische Ziele, wie wirtschaftliche Energieversorgung, Versorgungssicherheit, Einsatz heimischer Stein- und Braunkohle u. a., werden automatisch mitberücksichtigt.

## **6 Rückwirkungen der verstärkten KWK-Stromerzeugung auf das Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland**

Um die Auswirkungen eines verstärkten Zubaus von KWK-Anlagen und damit eingehend einer verstärkten KWK-Stromerzeugung auf die übrige Stromerzeugung sowie auf das gesamte Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland zu analysieren, wurde das am IER Stuttgart entwickelte Energiesystemmodell TIMES-D verwendet. TIMES-D unterscheidet sich von dem im Rahmen der AGFW-Vorstudie verwendeten Energiesystemmodell E<sup>3</sup>Net unter anderem dadurch, daß einige der im Rahmen der Vorstudie formulierten Anforderungen an ein neuartiges Energiesystemmodell umgesetzt worden sind. Hierzu gehören z. B. die Berücksichtigung der zeitlich variablen Erzeugung und Nachfrage nach Wärme und Strom (zeitliche Auflösung), die integrierte Betrachtung der Energieversorgungs- und –einsparoptionen in den unterschiedlichen Sektoren (Modelltopologie), die Implementierung güterspezifischer und prozeßspezifischer Wirkungsgrade, die Berücksichtigung der Altersstruktur im Anlagenbestand und die Möglichkeit altersbedingter Änderungen des Wirkungsgrades (SHAPE-Funktion) sowie die detaillierte zeitliche Beschreibung der Investitions- bzw. Stilllegungsvorgänge in der Zielfunktion. Zusätzlich wurde eine Routine implementiert, die es erlaubt, die KWK-Stromerzeugung entsprechend dem AGFW-Verfahren (FW 308) für die Modellanwendung und die Auswertung der Modellergebnisse zu ermitteln.

Der Modelldatensatz entspricht im wesentlichen den Modelldaten für das deutsche Energiesystem aus der AGFW-Vorstudie. Das heißt, die für die AGFW-Vorstudie unterstellte ökonomische Entwicklung (Bruttoinlandsprodukt, Nettoproduktionswerte) und demographische Entwicklung (Bevölkerung, Wohnflächen) wurden beibehalten. Ebenso wurden die ökonomischen und ökologischen Parameter der KWK-Neuanlagen und deren ungekoppelten zentralen Alternativen nicht verändert. Da sich zwischenzeitlich jedoch die Energieträgerpreise erhöht haben und hierbei nicht mehr von einer kurzfristigen Erscheinung auszugehen ist, wurden diese entsprechend der zwischenzeitlichen Entwicklung (vgl. Abschnitt 1.2.1) angepaßt. Des Weiteren wurden Informationen zum KWK-Anlagenbestand in den Modelldatensatz eingearbeitet, die im Rahmen des Bausteins 1 der AGFW-Hauptstudie erhoben worden sind. Dadurch ist der KWK-Anlagenbestand nochmals detaillierter im Modell abgebildet.

Ausgangspunkt der Betrachtungen ist ein Referenzszenario, das in den Grundzügen dem Referenzszenario der AGFW-Vorstudie entspricht. Die Nettostromerzeugung beträgt in Deutschland im Referenzfall rund 510 TWh im Jahr 2005. Davon werden im Referenzfall rund 81,5 TWh in KWK-Anlagen erzeugt. Hierbei wurde jedoch noch keine Abgrenzung nach dem AGFW-Verfahren vorgenommen. Würde diese Abgrenzung durchgeführt, so ergeben sich rund 55 TWh an KWK-Strom in 2005.

Mit Hilfe des Energiesystemmodells wurden auf der Basis des Referenzszenarios unterschiedliche Szenarien berechnet, in denen die Gesamtmenge an erzeugtem KWK-Strom erhöht wurde. Hierbei wurde schrittweise vorgegangen. In Tabelle 6–1 sind die zusätzlich erzeugten KWK-Strommengen aufgelistet. Da ein möglicher Ausbau der KWK-Anlagen aufgrund des Planungsverfahrens und der Bauzeit der Anlagen einen gewissen Zeitraum erfordert, wurden auch hier – wie in der AGFW-Vorstudie – die Auswirkungen für das Jahr 2005 analysiert.

	<b>Szenario 2</b>	<b>Szenario 6</b>	<b>Szenario 13</b>	<b>Szenario 22</b>	<b>Szenario 35</b>
Zusätzlicher KWK-Strom	2 TWh	6 TWh	13 TWh	22 TWh	35 TWh

Tabelle 6–1: Zusätzliche KWK-Stromerzeugung in den verschiedenen Szenarien

Für die Analyse des Zubaus an KWK-Anlagen wurde die Endenergienachfrage nach Strom konstant gehalten. Durch diese Festlegung verdrängt der in KWK-Anlagen erzeugte Strom ausschließlich Strom aus Kondensationskraftwerken. Im Gegensatz dazu könnte bei einer vorher festgelegten Quote für die KWK-Stromerzeugung aufgrund geringerer oder gesteigerter Stromnachfrage die Nettostromerzeugung insgesamt variieren. Das heißt, einerseits könnte der Anteil der KWK Stromerzeugung ohne Zubau oder aufgrund einer verbesserten Ausnutzung bestehender KWK-Anlagen oder als Folge erhöhter Strompreise einer geringeren Stromnachfrage gegenüberstehen. Andererseits könnte eine gesteigerte Stromnachfrage ausschließlich durch KWK-Neuanlagen gedeckt werden. Ohne Begrenzung der Stromnachfrage würden in diesen beiden Fällen nicht die Verdrängungseffekte des KWK-Stroms, sondern Misch- und Kompensationseffekte untersucht werden. Um diesen Sekundäreffekten und der Problematik der Zuordnung des Gesamteffektes zu Einzeleffekten zu entgehen, wurde die Endenergienachfrage nach Strom in den KWK-Stromausbauszenarien auf das Niveau des Referenzszenarios begrenzt.

Damit gleicht sich innerhalb eines Szenarios auch die Variation der Nettostromerzeugung insgesamt aus. Jedoch variiert, wie in Abbildung 6-1 dargestellt, die Nettostromerzeugung nach Energieträgern in den unterschiedlichen Szenarien. Die Nettostromerzeugung der erneuerbaren Energieträger, inkl. der Wasserkraft, und der Kernenergie bleibt im Vergleich zum Referenzfall konstant. Dagegen nimmt die Nettostromerzeugung in älteren Braunkohlekraftwerken um bis zu 6,7 TWh ab. Auch die Stromerzeugung aus Mineralölen verliert netto betrachtet an Bedeutung. Der Nettoeffekt weist aus, daß die Erzeugung in Steinkohlekraftwerken und bei höherer KWK-Stromerzeugung auch in Erdgaskraftwerken ansteigt. Dabei zeigt sich, daß, im Detail betrachtet, auch ältere Steinkohle- und Erdgas-(Kondensations)-Kraftwerke in der Erzeugung zurückgefahren werden und die zusätzliche KWK-Stromerzeugung in Steinkohle- und Erdgasheizkraftwerken höher ausfällt, als dies die Nettobetrachtung der Abbildung 6-1 zum Ausdruck bringt.

Der verstärkte Einsatz der KWK-Anlagen führt dazu, daß der Primärenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland insgesamt entsprechend in den Szenarien 2 bis 35 abnimmt. Die Abnahme des Primärenergieverbrauchs ist in Abbildung 6-2 dargestellt. Sie beträgt im Szenario 35 ca. 31,5 PJ. Über die Szenarien betrachtet, ist dabei der Quotient aus der eingesparten Primärenergie und der zusätzlichen KWK-Stromerzeugung nahezu konstant. In dem hier vorgenommenen Betrachtungsbereich werden je zusätzlicher kWh KWK-Strom zwischen 0,7 (Szenario 13) und 1,1 (Szenario 6) MJ Primärenergie eingespart.

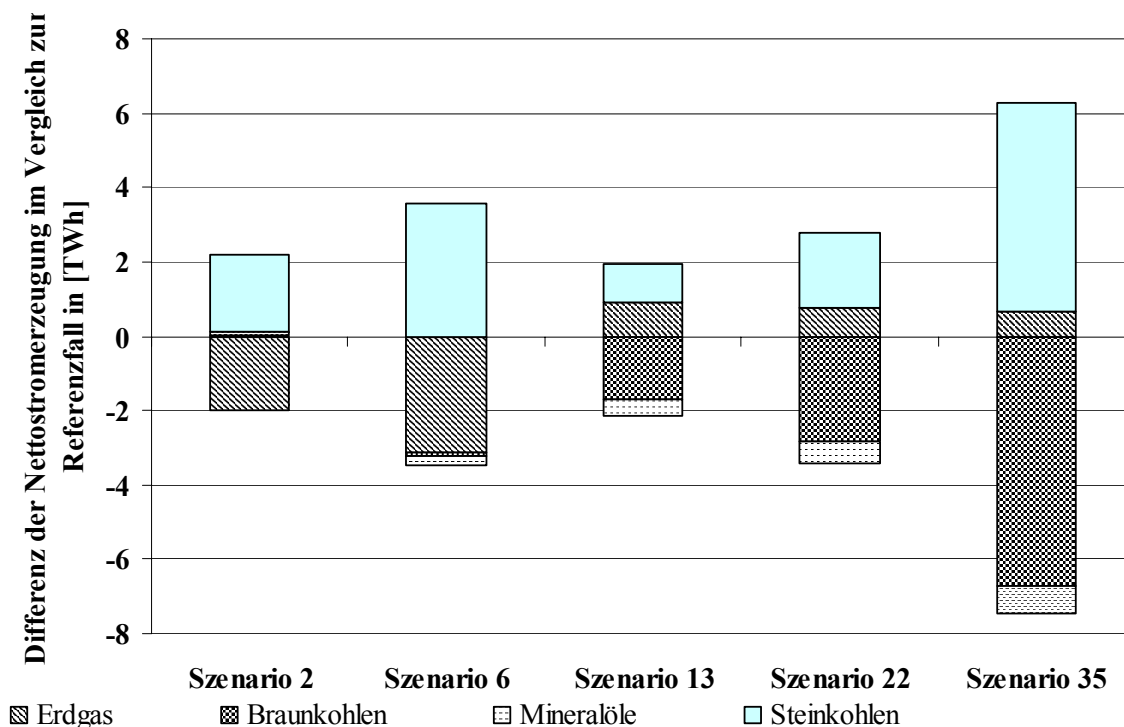


Abbildung 6-1: Differenz der Nettostromerzeugung im Vergleich zum Referenzszenario nach Energieträgern

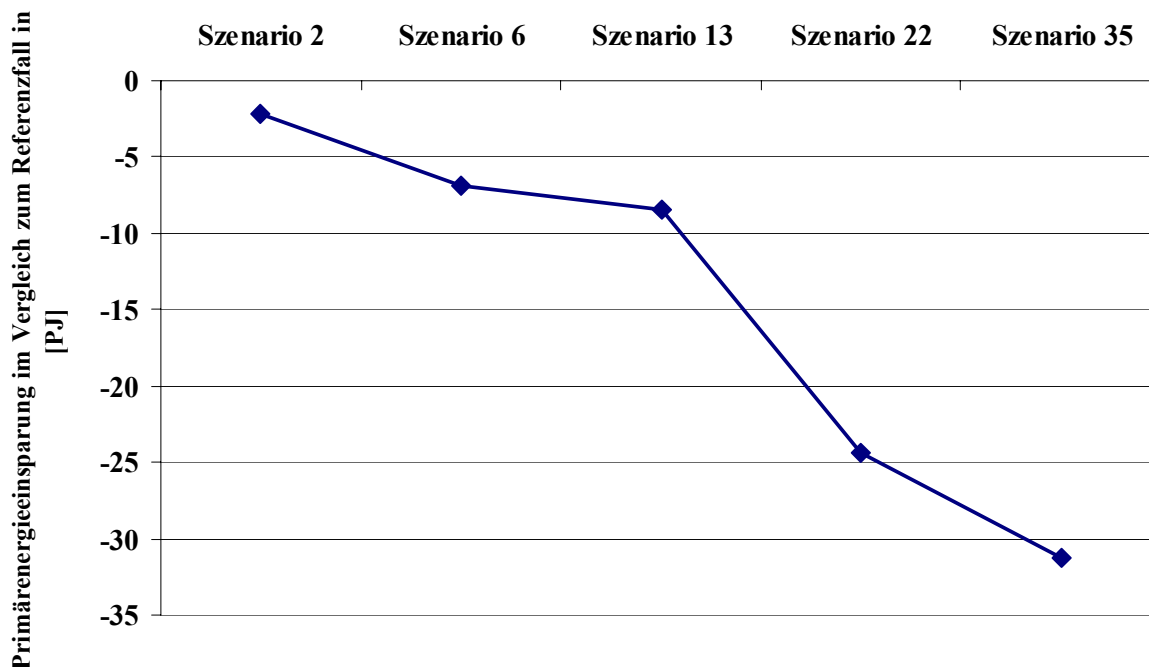


Abbildung 6-2: Primärenergieeinsparung der verschiedenen Szenarien im Vergleich zum Referenzfall

Die Primärenergieeinsparung in den verschiedenen Szenarien verteilt sich unterschiedlich auf die verschiedenen Energieträger. Hierbei kommt es zu einem Wechselspiel zwischen der Erzeugung einerseits und der Endenergienachfrage andererseits. In Abbildung 6-3 ist die Differenz der Primärenergienachfrage nach Energieträgern für die unterschiedlichen Szenarien zusammengestellt.

Der Primärenergieverbrauch an Steinkohle nimmt tendenziell zu. Dies liegt darin begründet, daß aufgrund der unterstellten Energieträgerpreise für Steinkohle und deren Preisrelation zum Erdgas zur Erzeugung des zusätzlich benötigten KWK-Stroms vor allem Steinkohle-Heizkraftwerke zum Einsatz kommen. Dagegen nimmt mit zunehmender KWK-Stromerzeugung der Primärenergieverbrauch an Mineralölen und Erdgas ab. Die zusätzlich in KWK-Anlagen erzeugte Fern- und Nahwärme bzw. industrielle Wärme verdrängt auf der einen Seite in der Industrie Erdgas und auf der anderen Seite im Raumwärmemarkt Erdgas und Heizöl. Die in Abbildung 6-3 nicht dargestellten Primärenergieträger Kernenergie und Wasserkraft bleiben innerhalb der verschiedenen Szenarien unverändert. Es kommt zu einem geringfügig höheren Einsatz von Biomasse in KWK-Anlagen. Dies wird in Abbildung 6-3 unter den sonstigen Erneuerbaren berücksichtigt.

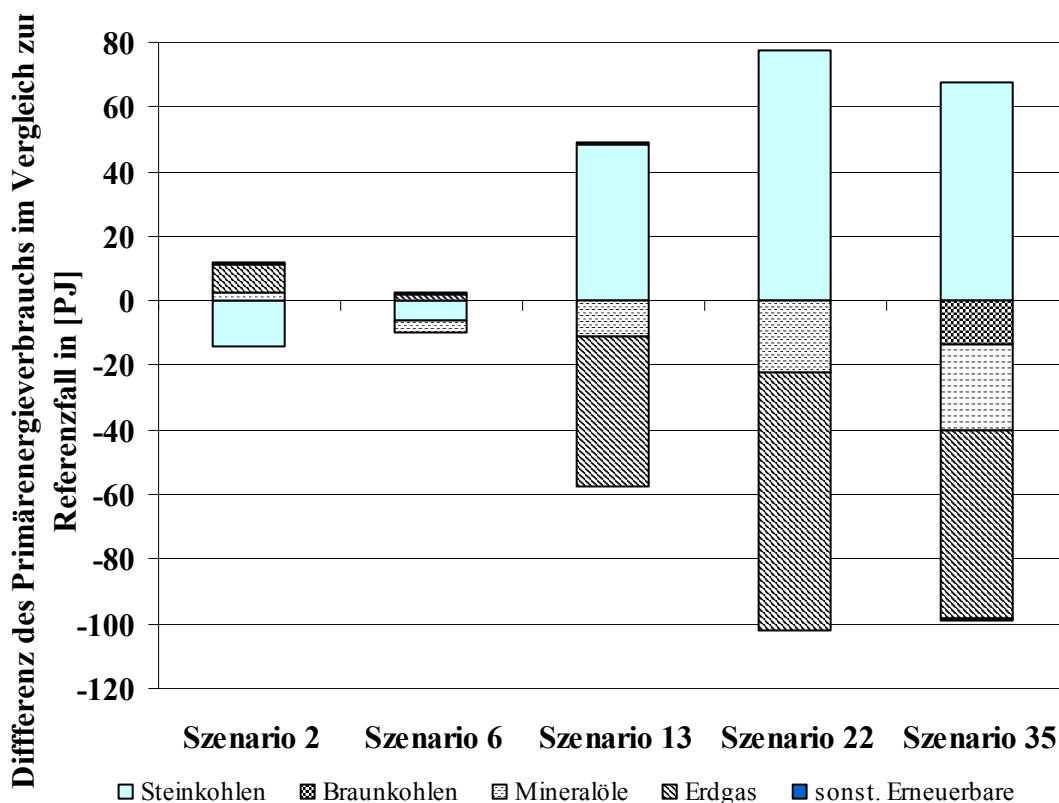


Abbildung 6-3: Differenz des Primärenergieverbrauchs der unterschiedlichen Primärenergieträger im Vergleich zum Primärenergieverbrauch im Referenzfall

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen insgesamt des Energiesystems der Bundesrepublik Deutschland bleiben in den KWK-Stromausbauszenarien im Vergleich zum Referenzfall nahezu konstant. Trotz des insgesamt sinkenden Primärenergieverbrauchs gleicht hier

der verstärkte Einsatz von Steinkohle anstatt von Heizöl und Erdgas die CO<sub>2</sub>-Bilanz aus.

Würden anstelle der Steinkohle-Heizkraftwerke ausschließlich Erdgas-KWK-Anlagen genutzt werden, die im Rahmen des unterstellten Energiepreispfades jedoch nicht wirtschaftlich sind, so würden die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Referenzszenario sinken.

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kondensationsstromerzeugung sinken mit zunehmender KWK-Stromerzeugung von 493 g CO<sub>2</sub> je kWh auf 473 g CO<sub>2</sub> je kWh (vgl. Abbildung 6-4). Die Reduktion ist darauf zurückzuführen, daß die Stromerzeugungsmenge mit Hilfe von CO<sub>2</sub>-neutralen Energieträgern konstant bleibt, jedoch der Anteil fossiler Energieträger an der Kondensationsstromerzeugung abnimmt. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung insgesamt – inkl. der KWK-Anlagen – sinken von 558 g CO<sub>2</sub> je kWh auf 513 g CO<sub>2</sub> je kWh.

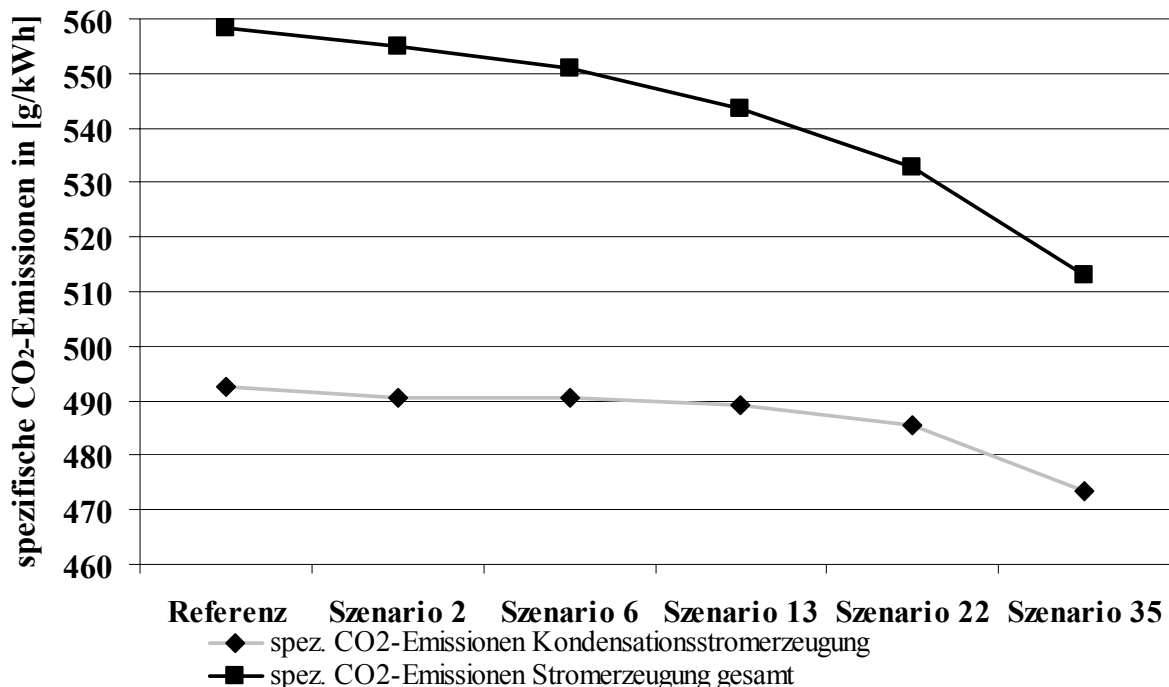


Abbildung 6-4: Vergleich der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kondensationsstromerzeugung und der gesamten Stromerzeugung in den verschiedenen Szenarien

Die Analyse der Rückwirkungen einer verstärkten KWK-Stromerzeugung auf das Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland zeigt anhand der exemplarischen Betrachtung für das Jahr 2005, daß

1. eine partielle Betrachtung der Stromerzeugung dem gesamtsystemaren Ansatz der Kraft-Wärme-Kopplung nicht gerecht wird, da die Auswirkungen auf den Wärmemarkt adäquat zu berücksichtigen sind, differenziert für industrielle und Siedlungs-KWK-Fälle;
2. die KWK-Nutzung eine Möglichkeit darstellt, eine höhere Menge an Steinkohle zu nutzen, ohne einen zusätzlichen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erhalten;



3. eine pauschale Angabe einer stromseitigen CO<sub>2</sub>-Gutschrift für KWK-Strom nicht möglich ist, da dies vom Ausbaugrad der KWK abhängt sowie durch die jeweils vorzufindende Situation im Kraftwerkspark geprägt wird;
4. im betrachteten Falle des Jahres 2005 eine Verdrängung älterer fossiler Kraftwerke auf der Basis von Braunkohle und Steinkohle, aber auch von Mineralölen und Erdgas mit niedrigeren Nutzungsgraden erfolgt, die in einem wettbewerblich orientierten Strommarkt mit den höchsten variablen Betriebskosten verbunden sind. Damit sind diese Anlagen bei noch reichlich vorhandenen Kapazitäten von einer zusätzlichen KWK-Stromerzeugung am stärksten betroffen.

## Literaturverzeichnis Teil A

/Geiger 2000/

Geiger, B; Lindhorst, H.: Energieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland; in Jahrbuch 2000; VDI GET; Düsseldorf 2000

/Gülec et al. 1994/

Gülec, T.; Kolmetz, S.; Rouvel; L.: Energieeinsparpotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle; IKARUS Teilprojekt 5, Band 5-22, Jülich 1994

/Ebel et al. 1990/

Ebel, W.; Eike, W.; Feist, W. u. a.: Energieeinsparpotential im Gebäudebestand; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1990

/Ebel et al. 1995/

Ebel, W.; Eike-Hennig, W.; Feist, W.: Einsparungen beim Heizwärmebedarf – ein Schlüssel zum Klimaproblem; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995

/Leven 2001/

Leven, B.; Neubarth, J.; Weber, C.: Ökonomische und ökologische Bewertung der elektrischen Wärmepumpe im Vergleich zu anderen; Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Forschungsbericht Band 81, Stuttgart 2001

/Prognos/Ewi 2000/

Prognos/Ewi: Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt; Studie für das BMWi, Basel 2000

/Roth 1980/

Roth, U. et al.: Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen; Schriftreihe „Raumordnung“ des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau 06.044, Bonn 1980

/Schulz 1995/

Schulz, W. u. a.: Ermittlung und Verifikation des Potentials und der Kosten der Treibhausgasminderung durch Kraft-Wärme-Kopplung zur Fern- und Nahwärmeversorgung (ABL und NBL) im Bereich Siedlungs-KWK; in: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Studienprogramm Band 3 (Energie) Teilband, Economica Verlag, Bonn 1995

/VDEW 2001/

VDEW: Bericht 2000 zur Erklärung des VDEW zum Klimaschutz; VDEW Argumente A-06/2001; Frankfurt 2001

/Winkens 1985/

Winkens, H. P. (Hrsg.): Energiekonzept Rhein-Neckar, Untersuchung einer zum Heizöl alternativen Energiedeckung für den Rhein-Neckar-Raum; Örtliche und regionale Energieversorgungskonzepte Band 4, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn 1985