

*Endbericht*

**Wärmeatlas  
Baden-Württemberg**

–

**Erstellung eines  
Leitfadens und  
Umsetzung für  
Modellregionen**

Blesl, M., Kempe, S., Ohl, M., Fahl, U.,  
König, A., Jenssen, T., Eltrop, L.



Programm Lebensgrundlage Umwelt  
und ihre Sicherung (BWPLUS)

Endbericht

## Wärmeatlas Baden-Württemberg

# **Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen**

Blesl, M.; Kempe, S.; Ohl, M.; Fahl, U.; König, A.; Jenssen, T.; Eltrop, L.  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)  
Universität Stuttgart

Förderkennzeichen: BWK 25007

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage und ihre Sicherung werden mit  
Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

# **Wärmeatlas Baden-Württemberg**

## **Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen**

Blesl, M.; Kempe, S.; Ohl, M.; Fahl, U.; König, A.; Jossen, T.; Eltrop, L.  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)  
Universität Stuttgart

### **Zusammenfassung**

Ziel des Vorhabens ist die Erstellung eines Wärmeatlanten für Baden-Württemberg zur Darstellung der räumlichen und zeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs auf lokaler Ebene. Zur Visualisierung des räumlichen Wärmebedarfs als auch der Bereitstellungspotenziale unterschiedlicher Energieträger, insbesondere der leitungsgebundenen Energieträger (Fernwärme, Gas), dient ein Geographisches Informationssystem (GIS).

In einem ersten Schritt der Forschungsarbeit wird zunächst ein Leitfaden erarbeitet, der die notwendigen Datengrundlagen, die prinzipielle Vorgehensweise bei der Erstellung, die Aufbereitung der Daten in Geographischen Informationssystemen und die Nutzungsmöglichkeiten eines Wärmeatlas darstellt. Neben den Wärmepotenzialen im Siedlungsbereich werden auch die entsprechenden Bedarfswerte der industriellen und kommunalen Objektversorgung erfasst. Zudem werden auch Informationen zum Angebot an Energieträgern, z. B. Biomasse, Geothermie oder Solarthermie, bereitgestellt, so dass auch energieträgerbezogene Potenziale ermittelt werden können. Außerdem wird die Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von konkurrierenden Wärmeerzeugungsanlagen erläutert. Damit wird den Entscheidungsträgern eine Basis für die Beurteilung lokaler Versorgungskonzepte zur Verfügung gestellt.

Im zweiten Arbeitsschritt wird auf der Basis des erarbeiteten Leitfadens für Modellregionen in Baden-Württemberg ein Wärmeatlas erstellt. Basierend auf diesen Ergebnissen werden notwendige Parameter für einen Ausbau oder Neubau der Nah-/Fernwärmeversorgung festgelegt und in den GIS-Karten kenntlich gemacht. Dadurch sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, Versorgungsgebiete zu identifizieren, für die eine leitungsgebundene Wärmeversorgung, möglichst auf KWK-Basis, sinnvoll erscheint.

Die Ergebnisse für die Modellregionen dienen als Grundlage für die näherungsweise Hochskalierung des Wärmebedarfs und der Potenziale auf Baden-Württemberg insgesamt. Auch hier werden GIS-Darstellungen genutzt, um die räumliche Verteilung über die Landesfläche anschaulich präsentieren zu können.

# Baden Württemberg Heat Atlas

## Preparation of the Guidelines and Their Implementation for Exemplary Regions

Blesl, M.; Kempe, S.; Ohl, M.; Fahl, U.; König, A.; Jenssen, T.; Eltrop, L.  
Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy (IER)  
University of Stuttgart

### **Abstract**

The objective of the project is to build up a heat map for Baden-Wuerttemberg to illustrate the spatial and temporal distribution of the heat demand on a local scale. A geographic information system (GIS) is used to visualize the spatial heat demand and also the potential to allocate any heat for different energy carriers, particular of those which are pipeline-bound, as district heat and gas.

In the first work package a guidebook will be created, wherein the necessary data bases, the proceeding in principle with the generation, the presentation of the data in geographical information systems, and the possible usage of a heat map will be represented. Besides the heat potential within the settlement area, the appropriate demand values will be seized also for the industrial and the local object supply. Also information about the existing potentials of biomass, geothermal or solar energy will be made available, so that energy carrier related potentials can be determined.

The second stage of the project comprises the construction of a heat map for selected exemplary regions of Baden-Württemberg, according to the guidelines set up in the first stage. Based upon these results the parameters necessary for an expansion or installation of district heat supply systems are fixed and marked within the GIS system. This shall enable the identification of areas that might be suitable for a pipeline-based heat supply, ideally with a CHP backbone.

The results for the exemplary regions serve as basis for the high scaling of the potentials on Baden-Wuerttemberg altogether. GIS representations are used also here, in order to be able to present the spatial distribution over the landscape.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Erstellung eines Leitfadens: Bestimmung, Erfassung und Vernetzung der Rahmendaten.....</b>	<b>10</b>
2.1 Flächenbezogene Daten .....	10
2.2 Bevölkerungsstrukturbezogene Daten .....	10
2.3 Wirtschaftsstrukturbezogene Daten .....	10
<b>3 Charakterisierung des Wärmebedarfs nach Temperaturniveau und Nutzerkategorien .....</b>	<b>11</b>
3.1 Wärmebedarf und –angebot in Abhängigkeit des Temperaturniveaus.....	11
3.2 Charakterisierung des Wärmebedarfs nach Nutzerkategorien .....	12
3.3 Eignung von Industriebranchen als potenzielle Wärmequellen und Nutzung industrieller Abwärmemengen .....	13
3.4 Bestimmung des vorhandenen KWK-Bestands .....	14
<b>4 Bestimmung des Wärmebedarfs in Industrie, GHD- und kommunalem Sektor .....</b>	<b>16</b>
4.1 Wärmebedarf der Betriebe aus dem Industriesektor .....	16
4.2 Wärmebedarf im Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) .....	20
4.3 Wärmebedarf von kommunalen Objekten .....	23
<b>5 Bestimmung des Wärmebedarfs im Siedlungsbereich.....</b>	<b>28</b>
5.1 Methode zur Bestimmung des Wärmebedarfs für Gemeinden mittels pauschaler Aufteilung des Siedlungsgebietes - Verfahren geringer bis mittlerer Genauigkeit.....	29
5.2 Methode zur Bestimmung des Wärmebedarfs auf Basis einer Siedlungstypbetrachtung - Verfahren mittlerer Genauigkeit .....	30
5.3 Bestimmung des Wärmebedarfs auf Basis einer Gebäudetypbetrachtung - Verfahren mittlerer bis hoher Genauigkeit .....	33
<b>6 Bestimmung des Gesamtjahreswärmebedarfs aller betrachteten Verbraucherkategorien und Dimensionierung zentraler Wärmeerzeugungsanlagen .</b>	<b>35</b>
6.1 Zeitliche Auflösung des Wärmebedarfs der Einzelverbraucher mit Hilfe von Lastgängen und Dauerlinien .....	35
6.2 Zeitliche Auflösung des Wärmebedarfs mittels Ersatzverfahren .....	38
6.2.1 Zeitliche Auflösung des Wärmebedarfs mit dem Hellwig-Verfahren.....	38
6.2.2 Erstellung von Jahresdauerlinien nach Sochinsky.....	43
6.2.3 Vergleich der Verfahren .....	44
6.3 Zusammenschaltung mehrerer Verbraucher aus Haushalten und GHD .....	44
<b>7 Potenzialerhebung für erneuerbare Energieträger .....</b>	<b>47</b>
7.1 Vorgehensweise .....	47
7.1.1 Potenzialbegriff.....	47
7.1.2 Bereits genutztes Potenzial .....	48
7.1.3 Datenbeschaffung und -qualität .....	49
7.2 Holzpotenzial.....	49
7.2.1 Wald- und Waldrestholz .....	50
7.2.2 Landschaftspflegeholz .....	52
7.2.3 Industrie- und Sägerestholz .....	54
7.2.4 Altholz (Abfall- und Gebrauchholz) .....	55
7.3 Potenzial der Solarthermie .....	56
7.4 Potenzial der Geothermie .....	60
7.5 Versorgungssicherheit bei der Nutzung regenerativer Energieträger.....	62
7.6 Bewertung der erhobenen Potenziale .....	63
<b>8 Optionen der Wärmeversorgung .....</b>	<b>64</b>
8.1 Wärmeversorgungsoptionen für Wohngebäude .....	64
8.2 Wärmeversorgungsoptionen für Nichtwohngebäude bzw. für die Nah- und Fernwärmeerzeugung .....	68

8.2.1	Wärmeversorgung der Industrie.....	69
8.2.2	Wärmeversorgung des GHD-Sektors .....	73
8.2.3	Wärmeversorgung des kommunalen Sektors .....	74
<b>9</b>	<b>Kosten der Wärmeversorgung.....</b>	<b>76</b>
9.1	Kostenstruktur der Fernwärmeversorgung .....	76
9.1.1	Kosten der Wärmeerzeugung .....	76
9.1.2	Nah- bzw. Fernwärmeverteilungskosten für verschiedene Siedlungstypen .....	77
9.2	Wohngebäude .....	79
9.3	Nichtwohngebäude.....	83
9.3.1	Industrielle Prozesswärme .....	83
9.3.2	GHD .....	85
9.3.3	Kommunale Objekte.....	86
9.4	Anlegbarer Wärmepreis .....	88
9.4.1	Anlegbarer Wärmepreis für Wohngebäude und GHD .....	89
9.4.2	Anlegbarer Wärmepreis für industrielle Wärmeverbraucher.....	90
<b>10</b>	<b>Umsetzung des erarbeiteten Leitfadens für Modellregionen .....</b>	<b>93</b>
10.1	Rahmendaten der Modellregionen.....	93
10.2	Ermittlung des Wärmebedarfs und des Abwärmeangebots des Nichtwohnbereichs .....	93
10.2.1	Wärmebedarf der Industrie in den Mustergemeinden.....	94
10.2.2	Abwärmeaufkommen der Industrie in den Mustergemeinden .....	97
10.2.3	Wärmebedarf des GHD-Sektors in den Mustergemeinden .....	98
10.2.4	Wärmebedarf des kommunalen Sektors in den Mustergemeinden.....	101
10.3	Wärmebedarfsermittlung des Wohnbereichs .....	104
10.4	Potenzial erneuerbarer Energieträger in den Modellgemeinden .....	105
10.5	Ermittlung des Wärmegesamtbedarfs und seiner zeitlichen Auflösung.....	108
<b>11</b>	<b>Übertragung der Ergebnisse auf Baden-Württemberg .....</b>	<b>110</b>
<b>12</b>	<b>Schlussbetrachtung und Ausblick.....</b>	<b>116</b>
<b>13</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>118</b>
<b>A</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>122</b>

## Abkürzungsverzeichnis

A	Fläche
atro	absolut trocken (Wassergehalt 0 %)
BHKW	Blockheizkraftwerk
$c_p$	spezifische Wärmekapazität in kJ/kgK
EEX	European Energy Exchange, europäische Energiebörse Leipzig
EFH	Einfamilienhaus
el	elektrisch
FM	Frischmasse
GHD	Gewebe, Handel, Dienstleistungen
GIS	Geographisches Informationssystem
GMH	großes Mehrfamilienhaus
GZF	Gleichzeitigkeitsfaktor
HH	Hochhaus
HT	Hochtemperatur (>500 °C)
JDL	Jahresdauerlinie
k	Kennzahl
KKWK	kooperative Kraft-Wärme-Kopplung
KMH	kleines Mehrfamilienhaus
KMR	Kunststoffmantelrohr
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
$\dot{m}_w$	Prozessmassenstrom
MT	Mitteltemperatur (100-500 °C)
NAP	Nationaler Allokationsplan
NT	Niedertemperatur (bis 100 °C)
ORC	Organic Rankine Cycle
P	Leistung
$\hat{P}$	Spitzenleistung bzw. Spitzenlast
PE	Polyethylen
q	spezifischer Wärmebedarf
$Q_{ges}$	Gesamtwärmebedarf
$q_w$	prozessspezifischer Wärmebedarf
RDH	Reihen-/Doppelhaus
ST	Siedlungstyp
th	thermisch
$T_o$	obere Prozesstemperatur in °C
$T_u$	untere Prozesstemperatur in °C
WB	Wärmebedarf
WE	Wohneinheit
WKZ	Wärmebedarfskennzahl
ZFH	Zweifamilienhaus
$\Delta T_w$	prozessinterne Temperaturdifferenz



## 1 Einleitung

Ein Ergebnis der wissenschaftlichen Begleitung der Erstellung des Klimaschutzkonzeptes Baden-Württemberg 2010 /UMBW 2005/ ist die Feststellung, dass die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) einen entscheidenden Beitrag zur Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Baden-Württemberg leisten kann. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass bestehende Fernwärmeversorgungssysteme bestmöglich genutzt bzw. kostenoptimal neue Versorgungsgebiete erschlossen werden, damit entsprechende Wärmesenken für die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zur Verfügung stehen. Innerhalb des Wärmemarktes stellt sich jedoch derzeit die wirtschaftliche Situation der Fern-/Nahwärme besonders schwierig dar. Im Gegensatz zur Erdgasverteilung, bei der die Erdgasversorgungsunternehmen mit Erfolg in ganz Baden-Württemberg aktive Werbung für den Energieträgerwechsel im Gebäudebestand betreiben, findet der Fernwärmeausbau nur in einigen wenigen aktiven Gemeinden in Baden-Württemberg, beispielsweise in Sindelfingen, statt. Gründe hierfür sind u. a. das höhere notwendige Investitionsvolumen, die Unsicherheiten im liberalisierten Strommarkt hinsichtlich der Entwicklung der Energiepreise sowie im Übergang zum Emissionshandel. Im Weiteren werden mögliche Klimagasreduktionseffekte der Nah- und Fernwärmeversorgung auch in den bisherigen Fassungen des Nationalen Allokationsplans (NAP) zum Emissionshandel nicht adäquat erfasst.

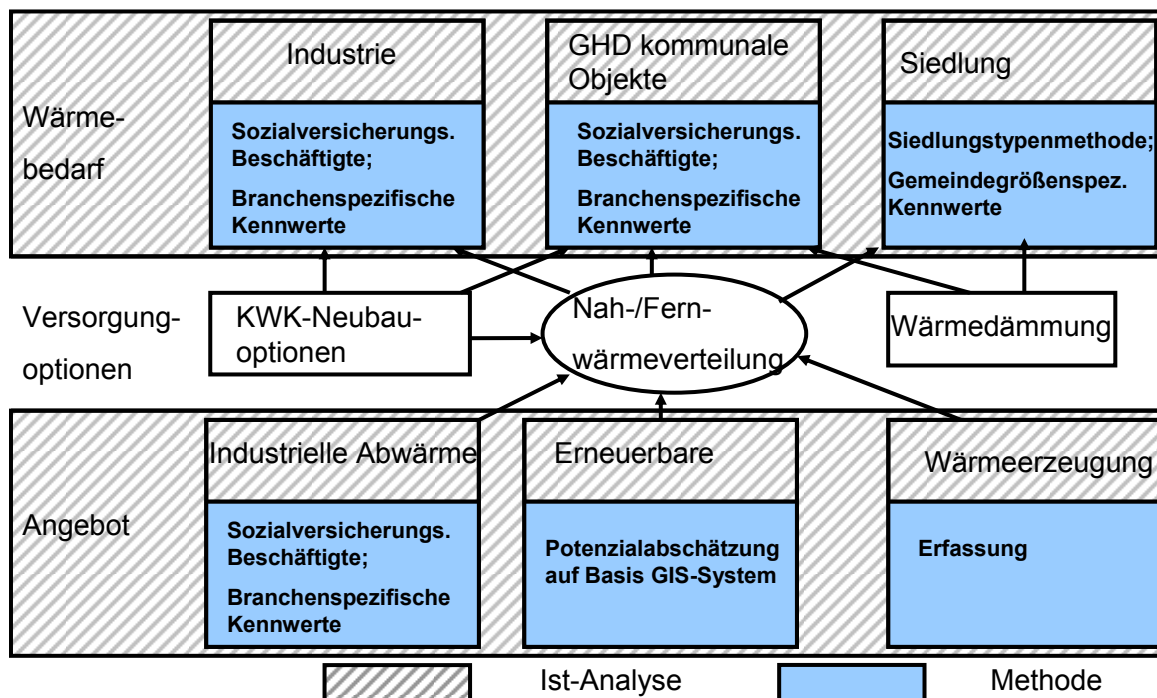
Als Handlungsalternative für die weitere Entwicklung der Nah- und Fernwärme kommt zum einen die mögliche Ausweitung durch eine periphere Erweiterung oder die Verdichtung von Netzen in Frage. Zum anderen stellt ein Neubau einer Fern-/Nahwärmeversorgung, wenn überhaupt, nur in Gebieten mit hoher Wärmedichte oder Neubaugebieten, bei denen ein rascher Anschluss der Verbraucher gewährleistet ist, eine Option dar. Die Wärmebedarfsdichte in Baden-Württemberg ist jedoch nicht gleichmäßig über das Bundesland verteilt, sondern hängt stark von der Siedlungsdichte und der Industrieansiedlung ab. Zudem basiert die Wärmeerzeugungsstruktur innerhalb der Siedlungsgebiete auf einer Vielzahl unterschiedlicher Energieträger, die miteinander und gegen Energieeinsparmaßnahmen konkurrieren. Somit hängt die Wirtschaftlichkeit bestehender, aber auch neuer Wärmeversorgungssysteme stark von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten ab. Die möglichst genaue Kenntnis des Wärmebedarfs im Versorgungsgebiet ist im Vorfeld für die Planung eines leitungsgebundenen Wärmeversorgungskonzeptes eine wichtige Voraussetzung. Fehlabschätzungen können zu Überdimensionierung der Netze oder Erzeugungsanlagen führen. Eine bezüglich der weiteren Entwicklung der Nah- und Fernwärmeversorgung notwendige räumlich detaillierte Analyse des Wärmemarktes wurde bisher jedoch für Baden-Württemberg noch nicht vorgenommen. Hier besteht ein enormes Informationsdefizit und somit ein wesentliches Hemmnis für die Ausweitung und den Erhalt der Fern- und Nahwärmeversorgung in Baden-Württemberg.

Vor diesem Hintergrund ist es Ziel des Projektes, einen Wärmeatlas für Baden-Württemberg zu erstellen. Dieser soll eine fundierte Informationsgrundlage zur räumlichen und zeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs in Baden-Württemberg generieren. Dadurch sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, Versorgungsgebiete zu identifizieren, für die eine leitungsgebundene Versorgung, möglichst auf KWK-Basis, sinnvoll erscheint. Werden zudem Informationen zum Angebot an Energieträgern, wie z. B. Biomasse, Geothermie oder Solarenergie, bereitgestellt, so können auch energieträgerbezogene Potenziale ermittelt werden. Bei zusätzlicher Berücksichtigung des energetischen Sanierungszustands der Gebäude können in zeitlicher Rangfolge Maßnahmenbündel abgeleitet werden, wie z. B. die weitere energetische Sanierung des Gebäudebestandes eines Gebietes, die logistische Erschließung des Biomasserestholzpotenzials oder der Aufbau einer Nahwärmeversorgung mit einem Holzackschnitzel-Heizkraftwerk.

In einem ersten Schritt der Forschungsarbeit wird zunächst ein Leitfaden erarbeitet, der das Verfahren zur Erhebung der Datengrundlagen enthält und die Vorgehensweise bei der Erstellung, die Aufbereitung der Daten in Geographischen Informationssystemen und die Nutzungsmöglichkeiten eines Wär-

meatlas darstellt. Außerdem wird die Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Versorgungssysteme erläutert. Damit wird den Entscheidungsträgern eine Basis für die Beurteilung lokaler Versorgungskonzepte zur Verfügung gestellt. Im zweiten Arbeitsschritt wird dann auf der Basis des Leitfadens für ausgewählte Modellregionen in Baden-Württemberg ein Wärmeatlas erstellt. Basierend auf diesen Ergebnissen werden notwendige Parameter für einen Ausbau oder Neubau der Nah-/Fernwärmeversorgung festgelegt und in Karten aus Geographischen Informationssystemen (GIS) kenntlich gemacht.

Im vorliegenden Endbericht werden im ersten Teil zunächst die Forschungsarbeiten aus dem ersten Projektabschnitt, der Erstellung eines Leitfadens, dokumentiert (vgl. Abbildung 1-1). Die für die Untersuchung benötigten Rahmendaten der jeweils betrachteten Gebiete werden in Kapitel 2 erläutert. Für die Erstellung eines Wärmeversorgungskonzeptes für eine Modellregion ist es zudem notwendig zu identifizieren, welche Wärmenachfrage für die einzelnen betrachteten Sektoren auf welchem Temperaturniveau in Abhängigkeit der Nachfrageprozesse anfällt (vgl. Kapitel 3). Eine entsprechende Eingruppierung dient zur Abschätzung, ob die Möglichkeit einer Abwärmenutzung besteht oder ob eine Integration in eine mögliche neue, netzgebundene Wärmeversorgungsstruktur unter sinnvollen Rahmenbedingungen erfolgen kann. Durch die näherungsweise Bestimmung der Wärmebedarfsleistung und des Wärmeverbrauchs einzelner Objekte kann die gesamte Dimension des Versorgungsgebietes aggregiert betrachtet werden. Hierfür werden in Kapitel 4 bzw. Kapitel 5 eindeutige Indikatoren für die Bestimmung des Wärmebedarfs von Wohngebäuden, kommunalen Objekten sowie in verschiedenen Bereichen der Gewerbe-, Handel-, Dienstleistungs- (GHD-) und Industriesektoren erarbeitet.



**Abbildung 1-1:** Vorgehensweise bei der Erstellung eines Wärmeatlanten

Die zeitliche Analyse des Wärmebedarfs wird mit Hilfe unterschiedlicher Lastganglinien bzw. Jahresdauerlinien (JDL) beschrieben; die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes (Kapitel 6) liefern die Rahmendaten für die Auslegung von Wärmeversorgungssystemen. Danach werden in Kapitel 7 die Methoden zur Ermittlung der im Betrachtungsgebiet vorhandenen Potenziale der Erneuerbaren Energieträger vorgestellt.

Die sich für den ermittelten Wärme- und Leistungsbedarf sowie die ermittelten Potenziale der Erneuerbaren Energien anbietenden technischen Optionen werden in Kapitel 8 thematisiert. Die Vorgehensweise bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Wärmeerzeugung und der Wärmebereitstellung wird, zum Abschluss des ersten Projektabschnitts, in Kapitel 9 behandelt.

Der zweite Teil des Endberichts umfasst die Anwendung der im ersten Teil beschriebenen Erkenntnisse auf ausgewählte Modellregionen in Baden-Württemberg, wie in Kapitel 10 beschrieben. Hierbei werden anhand der Modellräume beispielhaft die Stadt Heilbronn, die Stadt Rottweil, die Gemeinde Schwendi und der Ortsteil Mauenheim der Gemeinde Immendingen betrachtet. Mit der getroffenen Auswahl der Modellgemeinden sollen v. a. unterschiedliche Einwohnerzahlen, Siedlungsstrukturen sowie der Einfluss der jeweils unterschiedlichen wirtschaftliche Strukturen auf Wärmebedarf und Potenziale der Erneuerbaren Energien wiedergespiegelt werden.

Die Ergebnisse für die Modellregionen dienen als Grundlage für die näherungsweise Hochskalierung des Wärmebedarfs und der Potenziale auf Baden-Württemberg insgesamt (vgl. Kapitel 11). Auch hier werden GIS-Darstellungen genutzt, um die räumliche Verteilung über die Landesfläche anschaulich präsentieren zu können.

## **2 Erstellung eines Leitfadens: Bestimmung, Erfassung und Vernetzung der Rahmendaten**

Den ersten Schritt bei der Erstellung eines Wärmeatlanten stellt die Definition des Betrachtungsraums dar. Hierzu müssen die relevanten Daten bezüglich der Lage und der Größe der untersuchten Fläche, der zugehörigen Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur ermittelt werden. Die jeweils benötigten Daten für die einzelnen Bereiche werden nachfolgend erläutert.

### **2.1 Flächenbezogene Daten**

Die benötigten flächenbezogenen Angaben umfassen den Namen des Untersuchungsgebiets, den Namen des zugehörigen Landkreises mit Landkreisschlüssel sowie den Namen der zugehörigen Gemeinde mit der entsprechenden Regionalkennziffer. Werden nur Teile von Gemeinden oder Städten betrachtet, so sind zusätzlich die Gemarkung und die Gemarkungsnummer zu bestimmen. Des Weiteren ist die Größe der betrachteten Fläche in ha zu ermitteln.

### **2.2 Bevölkerungsstrukturbezogene Daten**

Der Bereich der bevölkerungsstrukturbezogenen Daten beschränkt sich auf die Einwohnerzahl des Betrachtungsraums. Als mögliche Datenquelle bieten sich die Daten der Einwohnermeldeämter an; werden ganze Gemeinden betrachtet, kann auch auf die Einwohnerstatistik des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg zurückgegriffen werden.

Für die Ermittlung des Wärmebedarfs des Wohnungsbereichs werden zudem siedlungsspezifische Daten benötigt. Das weitere Vorgehen für diesen Bereich ist in Kapitel 5 näher beschrieben.

### **2.3 Wirtschaftsstrukturbezogene Daten**

Zur Erfassung des gewerblichen Wärmebedarfs bzw. –angebots ist die Kenntnis der Wirtschaftsstruktur des Betrachtungsraums unumgänglich. Da sich insbesondere für größere Betrachtungsräume ein großer organisatorischer Aufwand für die Datenermittlung auf Einzelfallbasis ergibt, werden, wie im Leitfaden nachfolgend noch beschrieben, überschlägige Methoden eingesetzt. Hierzu können u. a. Daten der Beschäftigungsstruktur genutzt werden. Unbedingt erforderlich ist die Kenntnis der Gesamtzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Betrachtungsraum. Wünschenswert sind weiterhin Daten über die Aufteilung der Beschäftigtenzahl auf die Sektoren Landwirtschaft, Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und öffentlicher Dienst. Liegen entsprechende Werte nicht vor, kann mit Hilfe statistischer Kenngrößen, die sich an der Einwohnerzahl des Betrachtungsraums orientieren, eine entsprechende Abschätzung getroffen werden.

### 3 Charakterisierung des Wärmebedarfs nach Temperaturniveau und Nutzerkategorien

Eine entscheidende Rolle für die technische Integrierbarkeit eines Einzelobjekts in ein Verbraucherkollektiv, wie sie etwa Nah- oder Fernwärmesysteme darstellen, spielt das Temperaturniveau seines Wärmebedarfs. Dieser Aspekt ist unabhängig davon, ob ein Anschluss als Wärmenutzer oder als Wärmequelle vorgesehen ist. Insbesondere für die mit einer netzbasierten Versorgung verbundenen wirtschaftlichen Fragestellungen ist dagegen die Einteilung von einzelnen Nutzerobjekten in verschiedene Kategorien von Bedeutung. Beide Aspekte werden in den folgenden Abschnitten beleuchtet.

#### 3.1 Wärmebedarf und –angebot in Abhängigkeit des Temperaturniveaus

Jeder Wärmebedarf fällt auf einem unterschiedlichen Temperaturniveau an. In Abhängigkeit des Temperaturniveaus können die betrachteten Objekte (z. B. die verschiedenen Typen von Wohngebäuden oder Industriebetriebe unterschiedlicher Größen und Branchen) somit in temperaturabhängige Anwendungsgebiete eingruppiert werden. Damit kann einerseits die prinzipielle Eignung unterschiedlicher Technologien der Wärmeerzeugung für den Einsatz im Rahmen einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung ermittelt werden. Zur Kategorisierung kann die Spannbreite des Temperaturniveaus, in der Wärme nachgefragt wird, in die Bereiche Nieder (NT)- (<100 °C), Mittel (MT)- (100-500 °C) und Hochtemperatur (HT) (>500 °C) unterteilt werden. In den NT-Bereich fallen sowohl die gesamten Wärmemengen für die Raumheizung als auch die Warmwasserbereitung. Zusätzlich gehören die Anwendungen der NT-Prozesswärme zum NT-Bereich.

Für die weitere Einordnung von Wärmeanwendungen in die Kategorien potenzieller Wärmenutzer und potenzielle Wärmequelle eines Wärmenetzes kann die Temperaturgrenze von 200 °C, welche die maximale Betriebstemperatur von Fernwärmenetzen /Blesl 2003/ darstellt, als Trennkriterium angesehen werden. Verbraucher mit einem Temperaturniveau über 200 °C (Grenztemperatur) kommen prinzipiell als Wärmequellen in Frage, wohingegen Verbraucher mit einem maximalen Temperaturniveau kleiner als 200 °C für den Anschluss an ein Wärmenetz als Nutzer in Frage kommen. Daraus ergibt sich, dass lediglich Industriebetriebe als Wärmequellen der leitungsgebundenen Wärmeversorgung in Frage kommen, da i. a. nur diese einen Wärmebedarf aufweisen, der die 200 °C-Grenze überschreitet (vgl. Kapitel 4). Dagegen besteht für alle anderen Verbraucherkategorien nur ein Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser, die beide dem NT-Sektor zugeordnet sind.

Im Gegensatz zum HT- und MT-Bereich kann aus dem NT-Bereich keine Wärme ausgekoppelt werden. Der NT-Bereich ist das Temperatursegment, welches in der Regel durch Nah- oder Fernwärme auf der Basis von Heißwassernetzen versorgt werden kann. Somit können bereits aus der Betrachtung des Temperaturniveaus erste Rückschlüsse gezogen werden, ob eventuell Möglichkeiten für eine Einspeisung von Überschusswärme aus bereits vorhandenen industriellen Wärmeerzeugungssystemen in bestehende Fernwärmenetze existieren. Diese Art der Wärmeversorgung ist auch als „kooperative KWK“ (KKWK) bekannt. Für das Zustandekommen einer KKWK müssen daher in einem Betrachtungsraum stets NT-Verbraucher sowie MT- oder HT-Produzenten vorhanden sein.

Für den Neu- oder Ausbau eines Fernwärmenetzes ist nur das Vorhandensein einer technisch und wirtschaftlich bedienbaren NT-Nachfrage notwendig.

Nach der prinzipiellen Klärung der Integrierbarkeit eines Betriebs in ein Wärmenetz, als Wärmequelle oder als Wärmenutzer, kann dann in weiteren Schritten die erforderliche thermische Anschlussleistung und die zu erwartende Wärmeabnahme abgeschätzt werden.

### 3.2 Charakterisierung des Wärmebedarfs nach Nutzerkategorien

Die Ermittlung des kumulierten Wärmebedarfs zahlenmäßig umfangreicher Verbraucherkollektive, wie sie bei der Betrachtung auf Gemeinde- oder Gemeindeteilebene zu erwarten sind, erfolgt nach Verbrauchersektoren getrennt. Auf diese Weise können sowohl verschiedene Anforderungen an die Wärmeversorgung berücksichtigt werden, als auch unterschiedliche Methoden zur Bestimmung des Wärme- und Leistungsbedarfs in seiner Höhe und in seinen zeitlichen Verlauf genutzt werden.

Die wesentlichen Verbrauchersektoren sind nachfolgend charakterisiert.

#### Wohngebäude

Die Gruppe der Wohngebäude zeichnet sich durch einen saisonabhängigen Heizwärmebedarf und einen ganzjährig quasi konstanten Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung aus. Beide Verbrauchssektoren weisen ein erforderliches Temperaturniveau von etwa 35-90 °C auf (in Abhängigkeit von der Art der verwendeten Heizkörper) und bewegen sich somit im Niedertemperatursektor.

Als Kennwert für die Höhe des Wärmebedarfs gilt der spezifische Verbrauch pro Flächeneinheit (bspw. kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>). Dieser hängt vom jeweiligen Gebäudetyp ab, wobei zwischen verschiedenen Typ-, Größen- und Altersklassen von Wohngebäuden unterschieden wird. Zur einfacheren Bestimmung des Wärmebedarfs einer großen Anzahl von Wohngebäuden können Wohngebiete in verschiedene Siedlungstypen eingeteilt werden. Näheres zur Wärmebedarfsermittlung im Wohngebäudesektor und den einzelnen Siedlungstypen findet sich in Kapitel 5.

#### Industrie

Industrielle Wärmeverbraucher zeichnen sich durch einen Prozesswärmeverbrauch aus, d. h., die Wärme wird zur Produktion von Gütern sowie auch zur Instandhaltung von Produktionsanlagen genutzt. Hierbei werden prozessspezifische Temperaturniveaus benötigt, die von der jeweiligen Branche (z. B. Lebensmittel) und der jeweiligen Betriebsart (z. B. Zuckerfabrik oder Molkerei) abhängt (vgl. Kapitel 4). Der Prozesswärmebedarf innerhalb von Industriebetrieben kann sich über die drei Temperatursektoren (NT, MT, HT) erstrecken. Die Höhe des industriellen Prozesswärmebedarfs ist in der Regel nicht saisonabhängig, sondern nahezu ganzjährig konstant.

Zusätzlich besteht bei industriellen Verbrauchern auch ein Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitung, für welche prinzipiell dieselben Anforderungen gelten wie für den Wohngebäudebereich.

#### Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)

Der Sektor GHD umfasst alle Betriebe, die keine materiellen Güter bzw. Güter nicht unter industriellen Bedingungen produzieren. Diese werden durch den nahezu vollständig fehlenden Prozesswärmebedarf charakterisiert. Der Wärmebedarf des GHD wird von Heizungs- und Warmwasserbedarf dominiert.

Die verschiedenen Betriebe innerhalb des GHD-Sektors sind i. a. in spezifischen Gebäudetypen untergebracht, die jeweils einen eigenen spezifischen Wärmebedarf aufweisen. Somit wird der Wärmebedarf des GHD-Sektors von den vorhandenen Gebäudetypen (bspw. Kaufhäuser oder Hotels), deren Fläche und Altersklasse bestimmt (vgl. Kapitel 4).

#### Kommunaler Sektor

Eine weitere relevante Nachfragerkategorie auf dem Wärmemarkt stellen die kommunalen Verbraucher dar. Hierunter sind alle betrieblichen Wärmeverbraucher mit nichtkommerziellem Hintergrund zu verstehen (v. a. Gebäude der öffentlichen Verwaltung, aber auch Schwimmbäder, Krankenhäuser oder Schulen). Analog zum GHD-Sektor sind die kommunalen Objekte in nutzungsspezifischen Ge-

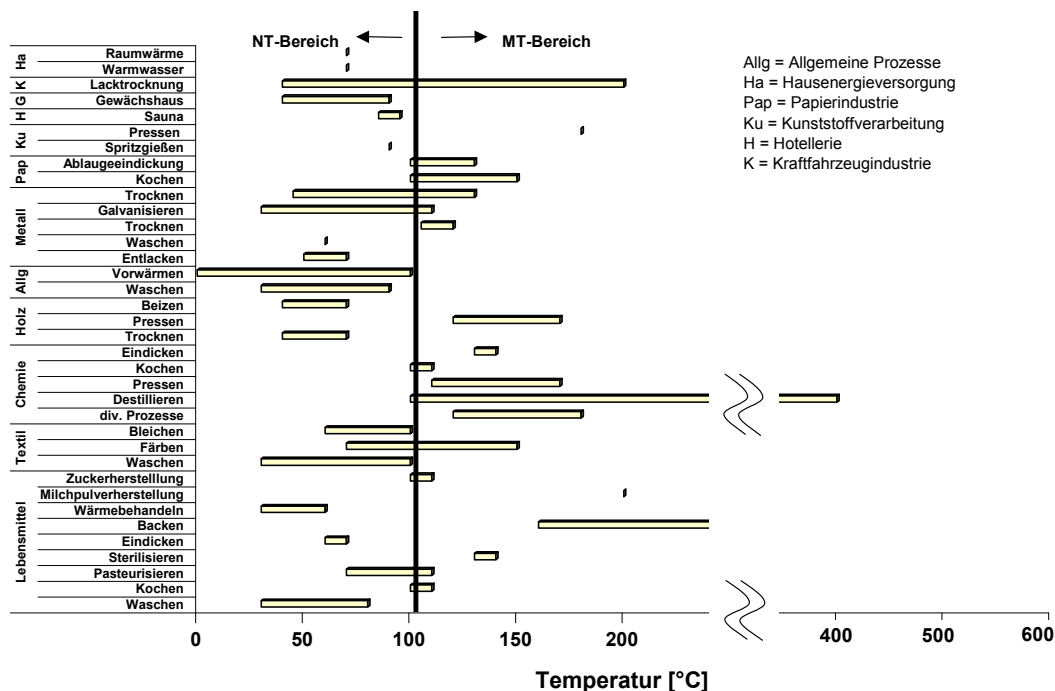
bäudetypen untergebracht, womit auch deren Wärmebedarf vom Gebäudetyp, der Größe und der Fläche abhängt.

Auch der Wärmeverbrauch kommunaler Objekte besteht überwiegend aus Heizwärme und Brauchwarmwasserbedarf, wobei der Heizwärmebedarf in aller Regel saisonal anfällt. Das erforderliche Temperaturniveau beschränkt sich auf den Niedertemperaturbereich (vgl. Kapitel 4).

Der Raumwärmebedarf der Bereiche Industrie, GHD und kommunaler Sektor wird für die weitere Betrachtung in der Verbrauchergruppe der Nichtwohngebäude zusammengefasst.

### 3.3 Eignung von Industriebranchen als potenzielle Wärmequellen und Nutzung industrieller Abwärmemengen

Nachdem sich gezeigt hat, dass von Seiten des zur Verfügung stehenden Temperaturniveaus nur Industriebetriebe als Wärmequellen im Rahmen einer KKWK in Frage kommen, wird im Folgenden näher definiert, welche Branchen dies konkret betreffen kann. Hierzu wird mit Hilfe einer Prozessanalyse das in den jeweiligen Betrieben eingesetzte Temperaturniveau ermittelt. Neben industriellen Prozessen werden auch einige Wärmeanwendungen aus den Bereichen GHD und Gebäudeheizung betrachtet. Die Ergebnisse dieser Analyse sind beispielhaft in Abbildung 3-1 dargestellt.



**Abbildung 3-1:** Prozessspezifische Temperaturbereiche ausgewählter Branchen (NT/MT)

Die sich daraus ergebende Aufteilung der Industriebetriebe in potenzielle Wärmequellen und –nutzer auf Basis der Einzelprozessbetrachtung ist in Tabelle 3-1 vorgenommen.

Als weitere Kriterien für eine sinnvolle Auskopplung von Abwärme gelten der ganzjährige Betrieb und das Vorhandensein von Mindestabwärmemengen, die u. a. von der typischen Betriebsgröße und der Höhe des maximal auftretenden Temperaturniveaus abhängig ist. Aus diesen Gründen fallen in der Praxis Betriebe wie etwa Bäckereien, Futtertrocknungsanlagen, Druckereien, Raffinerien, Chemieanlagen, Kunststoffverarbeiter etc. oftmals aus der Liste der zu betrachtenden Wärmequellen heraus. In der Übersicht in Tabelle 3-1 sind sie mit Klammern versehen.

**Tabelle 3-1:** Kategorisierung der betrachteten Industriebranchen und -betriebe in potenzielle Wärmequellen und –nutzer in Abhängigkeit der vorhandenen Temperaturniveaus

Wärmequelle	Wärmenutzer
Feuerfestindustrie	Papierindustrie
Ziegelherstellung	Mälzerei
Keramikindustrie	Brauerei
Glasindustrie	Kalksandsteinherstellung
Zementindustrie	Fleischerei
(Bäckerei)	Molkerei
(Futtertrocknung)	Futtertrocknung
(Druckereien)	Chemie
Gießereien	Fahrzeugbau
Metallschmelzen	Zuckerfabriken
Stahlwerk	Galvanikbetriebe
Metallerzeugung	Kunststoffherzeuger
Warmwalzwerk	Holzverarbeitung
(Chemie)	
(Raffinerie)	
(Kunststoffverarbeitung)	
(Fahrzeugbau)	

Da innerhalb eines Industriebetriebs mehrere Prozesse eingesetzt werden können, die auf unterschiedlichen Temperaturniveaus betrieben werden, kann ein Industriebetrieb sowohl als Wärmequelle als auch als Wärmenutzer auftreten, wie bspw. Betriebe aus der Chemiebranche. In den meisten Anwendungsfällen kommt es jedoch zu einer internen Nutzung der Abwärmequellen, wenn es die räumlichen Gegebenheiten zulassen.

### 3.4 Bestimmung des vorhandenen KWK-Bestands

Aufgrund der Temperaturanforderungen kommen für ein leitungsgebundenes Wärmeversorgungssystem unter Einbindung bereits bestehender Wärmeerzeugungsanlagen nur Wärmequellen aus dem Sektor Industrie in Frage (vgl. Kapitel 3.3). Hierfür ist als erstes zu prüfen, ob im Untersuchungsgebiet industrielle Wärmenutzer vorhanden sind. Falls entsprechende Objekte existieren, sind diese nach ihrer in jedem Temperatursegment (NT/MT/HT) und Einsatzgebiet (Prozesswärme, Raumheizung, Warmwasserbereitung) benötigten Wärmemenge zu erfassen. Gleichzeitig werden für die einzelnen Betriebe der thermische Leistungsbedarf und damit die jeweils installierten Wärmeerzeugungskapazitäten ermittelt. Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Höhe und der zeitlichen Verteilung des Wärme- und Leistungsbedarfs der Verbraucher aus dem Nichtwohnbereich ist im nachfolgenden Kapitel 4 beschrieben. Dabei werden verschiedenen Methoden vorgestellt, die mit unterschiedlichem Aufwand Ergebnisse mit unterschiedlichem Genauigkeitsgrad zulassen. Die Ermittlung der entsprechenden Werte des Wohnbereichs wird in Kapitel 5 behandelt.

Für die wirtschaftliche Betrachtung ist zu beachten, dass die kumulierte Nutzerleistung und die kumulierte Wärmeverbrauchsmenge eine technologie- und wirtschaftlichkeitsabhängige Untergrenze nicht unterschreiten darf. Die entsprechende Methodik zur Bestimmung der erforderlichen Mindestgröße ist in Kapitel 9 dargestellt.

Die relevanten Einflussfaktoren für die Bestimmung der Abwärmemengen sind die definierten oberen und unteren Temperaturen der eingesetzten Prozesse, das erreichbare Temperaturniveau und der Wirkungsgrad der eingesetzten Erzeugungstechnik, der spezifische und absolute Wärmemengenbe-



darf nach den einzelnen Prozessstufen, der zeitliche Verlauf des Wärmebedarfs sowie die Art der Wärmeübertragung und die bestehenden Möglichkeiten der internen Abwärmenutzung.

Bei der Ermittlung des Abwärmeaufkommens wird zunächst der Prozess auf der höchsten Temperaturstufe analysiert. Die zu seiner Versorgung erforderliche Wärmemenge ist zu bestimmen. Von dieser Menge kann nun der jeweilige Wärmebedarf der weiteren Verbrauchsstellen (bspw. Warmwasser- und Raumwärmebedarf) abgezogen werden. Die verbleibende, nicht weiter nutzbare Restwärmemenge fällt als Abwärme an und kann anderen Nutzern zur Verfügung gestellt werden.

Die in den jeweiligen Betrieben anfallenden Prozessschritte und ihre energetischen Kennwerte sind in Tabelle A-1 des Anhangs aufgeführt. Das Vorgehen bei der Abwärmemengenbestimmung ist anhand eines Beispiels aus der Metallerzeugung (Aluminiumgießerei) dargestellt.

### **Beispiel Aluminiumgießerei**

Es wird eine Aluminiumgießerei mit einem jährlichen Produktionsvolumen von 100.000 t und einer jährlichen Auslastung von 5.000 Vollbenutzungsstunden betrachtet. Die höchste Temperatur tritt mit 950 °C beim Schmelzen auf, der entsprechende Prozess hat einen spezifischen Wärmebedarf von 1.469 kWh<sub>th</sub>/t<sub>Al</sub>. Der Jahreswärmebedarf der Schmelze beträgt somit 146,9 GWh<sub>th</sub>/a. Die Wärme wird mit Gasbrennern erzeugt und hat eine Temperatur von 1.000 °C. Die Abgastemperatur beträgt durchschnittlich 350 °C. Die gesamte erzeugte Wärmemenge steht theoretisch zur Abwärmenutzung zur Verfügung. Von dieser Prozessabwärme werden 0,122 GWh<sub>th</sub>/a für den Eigenbedarf der Gießerei an Raumwärme und Warmwasser abgegeben. Die verbleibende Abwärmemenge von 146,8 GWh<sub>th</sub>/a kann über Wärmetauscher in ein Wärmenetz abgegeben werden. Die maximal für die Auskopplung in eine netzgebundene Wärmeversorgung zur Verfügung stehende thermische Leistung des Abwärmeaufkommens beträgt 29,4 MW<sub>th</sub>, die sich aus der Division von Abwärmemenge und Vollbenutzungsstundenzahl (5000 h/a) ergibt.

Da sich bei der betrieblichen Abwärmenutzung i. d. R. auch konkurrierende Nutzungsalternativen anbieten bzw. bereits installiert sein können (bspw. Dampfturbinen zur Stromerzeugung), empfiehlt es sich für die meist wenigen Fällen, die als potenzielle Abwärmequellen spezifiziert sind, eine Einzelfallbetrachtung durchzuführen.

#### 4 Bestimmung des Wärmebedarfs in Industrie, GHD- und kommunalem Sektor

Der Wärmebedarf für die verschiedenen Arten von Industriebetrieben, des GHD-Sektors sowie von kommunalen Gebäuden wird anhand unterschiedlicher Verfahren mit unterschiedlichen Genauigkeitsstufen ermittelt. Hierfür werden nachfolgend je eine Methode mit geringer, mittlerer und hoher Genauigkeit vorgestellt. Diese Methoden können durchgehend für alle Betriebe des Betrachtungsraums angewandt oder in Abhängigkeit des jeweiligen betriebsspezifischen Kenntnisstands kombiniert eingesetzt werden. Anhand der bestimmten Bedarfswerte können für die einzelnen Verbraucherkategorien Rückschlüsse auf den jeweiligen thermischen Leistungsbedarf gezogen werden.

##### 4.1 Wärmebedarf der Betriebe aus dem Industriesektor

Industriebetriebe stellen wegen ihres ganzjährig bestehenden und meist hohen Prozesswärmebedarfs prinzipiell eine attraktive Abnehmerkategorie für KWK-Anlagen dar. Neben dem charakteristischen Prozesswärmebedarf weisen auch Industriebetriebe einen Raumwärme- und Warmwasserbedarf auf, die in der Regel allerdings deutlich geringer ausfallen als die Prozesswärmenachfrage. Durch die ganzjährige Wärmenachfrage können bei industriellen Verbrauchern die mit hohen Investitionen verbundenen Anlagen des Wärmeversorgungssystems (insbesondere die eingesetzten Wärmeerzeugungseinheiten und das Verteilnetz) besser ausgelastet werden, als bspw. durch den nur saisonal auftretenden Heizwärmebedarf von Wohngebäuden. Durch die höhere Nutzung der Anlagen lassen sich günstigere Wärmebereitstellungskosten erzielen, wodurch u. a. auch die Attraktivität eines Wärmenetzes für weitere Interessenten steigt.

Zur Bestimmung der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit müssen eine Reihe wärmeverbrauchsrelevanter Daten erhoben werden. Diese umfassen die Anzahl und Art der im Betrachtungsraum vorhandenen Betriebe, die Nachfrage nach Wärmeleistung und Wärmemenge sowie das jeweils benötigte Temperaturniveau.

##### Grobmethode zur Abschätzung der installierten Wärmeleistung und des Wärmebedarfs von Industriebetrieben verschiedener Größenklassen und Branchen – geringe Genauigkeit

Für die Abschätzung des jährlichen Wärmebedarfs eines Industriebetriebs sind bei der Anwendung der Grobmethode zwei Angaben notwendig: die Art des Betriebes und die Zahl seiner Mitarbeiter. Die Abschätzung des Wärmebedarfs erfolgt dann über die in Tabelle A-2 hinterlegten mitarbeiterspezifischen Wärmeverbrauchskennzahlen für die einzelnen Betriebe nach den Bedarfskomponenten (RW, WW, NT, MT, HT), abhängig von deren Branchenzugehörigkeit und der Größenklasse, die betriebspezifisch nach der Zahl der Mitarbeiter ( $B_{\text{Betr}}$ ) in die Kategorien „klein“, „mittel“ und „groß“ erfolgt. Das Vorgehen ist beispielhaft für die Ermittlung des Raumwärmebedarfs (RW) eines Betriebs (Betr) in Gleichung (4-1) dargestellt.

$$Q_{\text{Betr},RW} = B_{\text{Betr}} \cdot q_{\text{mitarb},RW} \quad (4-1)$$

Die erforderliche thermische Leistung wird in Gleichung (4-2) aus dem Wärmebedarf ( $Q_{\text{Betr},RW}$ ) durch Division der jeweiligen Vollbenutzungstundenzahl ( $t_{\text{Vbh}}$ ) (vgl. Tabelle A-2) berechnet.

$$P_{\text{Betr},RW} = \frac{Q_{\text{Betr},RW}}{t_{\text{Vbh},\text{Betr},RW}} \quad (4-2)$$

Die Anwendung der Grobmethode wird im Folgenden anhand des Beispiels einer Mälzerei vorgestellt.

### Beispiel Mälzerei

In einer Mälzerei wird aus Getreide Malz produziert. Der für den Wärmebedarf entscheidende Prozess ist das sogenannte „Darren“, bei dem das Getreide bei etwa 85 °C entwässert wird. Für das folgende Beispiel wird von einer Mitarbeiterstärke des Betriebs von 10 ausgegangen. Nach Tabelle A-2 beträgt der mitarbeiterspezifische Wärmebedarf für Betriebsgrößen bis 10 Mitarbeitern 1.030 MWh<sub>th</sub>/ (Mitarbeiter a) für NT-Prozesswärme, 122,5 MWh<sub>th</sub>/ (Mitarbeiter a) für Raumwärme und 60 MWh<sub>th</sub>/ (Mitarbeiter a) für Warmwasser. Für die gegebene Betriebsgröße errechnet sich der Prozesswärmebedarf zu 10.300 MWh<sub>th</sub>/a, der Raumwärmebedarf zu 1.225 MWh<sub>th</sub>/a und der Warmwasserbedarf zu 600 MWh<sub>th</sub>/a. In der Summe ergibt sich ein Jahreswärmebedarf von 12.125 MWh<sub>th</sub>/a. Für die entsprechende Betriebsgrößenklasse „klein“ werden 6.000 Vollbenutzungsstunden (Vbh) für die Prozesswärme sowie 2.000 h/a für die Raumwärme (RW) und 1.000 h/a für das Warmwasser (WW) zu Grunde gelegt. Die Vollbenutzungsstundenzahlen für die Raumwärme und den Warmwasserbedarf werden näherungsweise einheitlich für alle betrachteten Betriebe verwendet. Die sich durch Division von Wärmebedarf und zugehöriger Vollbenutzungsstundenzahl ergebenden jeweiligen Leistungswerte betragen 1,72 MW<sub>th</sub> für die Prozesswärme, 0,61 MW<sub>th</sub> für die Raumheizung und 0,6 MW<sub>th</sub> für die Warmwasserbereitung. Die Summe des Leistungsbedarfs beträgt somit 2,93 MW<sub>th</sub>.

### Methode zur detaillierteren Abschätzung der installierten Wärmeleistung und des Wärmebedarfs von Industriebetrieben verschiedener Größen und Branchen – mittlere Genauigkeit

Eine präzisere Abschätzung des Wärmebedarfs und der installierten Wärmeleistung von Industriebetrieben, als die im vorhergehenden Abschnitt vorgestellte Grobmethode, bietet die prozessbasierte Methode. Hierzu sind Angaben über die in den einzelnen Prozessschritten auftretenden Massenströme, die materialspezifischen Wärmekapazitäten und Temperaturniveaus notwendig. Zudem bedarf es zur Ermittlung des Prozesswärmebedarfs eines Kennwertes, der die Effizienz und die Relevanz des eingesetzten Verfahrens beschreibt.

Bei der prozessbasierten Wärmebedarfsanalyse werden die in den betrachteten Industriebetrieben jeweils eingesetzten Prozesse bezüglich ihres spezifischen Wärmebedarfs und ihres charakteristischen Temperaturniveaus analysiert. Aus diesen Daten kann dann über das zugrunde gelegte mitarbeiterspezifische Produktionsvolumen und die ermittelte Mitarbeiterzahl der gesamte Wärmebedarf des Industriebetriebs, aufgeteilt in Temperaturbereiche, abgeschätzt werden.

Hierfür wird der absolute vorhandene Prozesswärmebedarf eines Betriebes aus der Summe der Wärmebedarfe  $Q$  aller Einzelprozesse  $w$  (bspw. Trocknen oder Eindicken) bestimmt (vgl. Gleichung (4-3)).

$$Q_{ges, PW} = \sum_{w=1}^W Q_w \quad (4-3)$$

Der Wärmebedarf der Einzelprozesse  $Q_{w, PW}$  beträgt gemäß Gleichung (4-4)

$$Q_{w, PW} = \dot{m}_w \cdot q_w \quad (4-4)$$

Dabei entspricht  $m_w$  dem im jeweiligen Prozess relevanten Massenstrom (i. d. R. die jährlich erzeugte Produktmenge) und  $q_w$  dem prozessspezifischen Wärmebedarf des Prozesses  $w$ . Der spezifische Wärmebedarf  $q_w$  ergibt sich hierbei nach Gleichung (4-5) aus

$$q_w = x_w \cdot c_{P, w} \cdot \Delta T_w \quad (4-5)$$

mit Gleichung (4-6)

$$\Delta T_w = T_o - T_u \quad (4-6)$$

wobei  $T_o$  für die obere Prozesstemperatur (Ausgangstemperatur) und  $T_u$  für die untere Prozesstemperatur (Eingangstemperatur), die nicht notwendigerweise die Umgebungstemperatur sein muss, steht. Das erforderliche Temperaturniveau und die zu überbrückende Temperaturdifferenz geht schließlich in Form des Faktors  $\Delta T_w$  in die Gleichung (4-5) ein.

Weiter stellt  $x_w$  einen prozessspezifischen Parameter dar, der den spezifischen Wärmeverbrauch des gewählten Prozesses über den physikalisch minimal möglichen Wärmebedarf hinaus kennzeichnet und einer prozessspezifischen Aufwandszahl von eingesetztem Verfahren und eingesetzter Anlagentechnik entspricht. Dagegen charakterisiert die jeweilige spezifische Wärmekapazität  $c_{p,w}$  den materialspezifischen Anteil des Wärmebedarfs. Somit kann anhand weniger Parameter die Bestimmung des realen prozessspezifischen Wärmebedarfs erfolgen.

Analog zum Prozesswärmebedarf der einzelnen Verarbeitungsschritte lässt sich mit dieser Methode auch ein produktmengenspezifischer Bedarf an Raumwärme und Wärme zur Warmwasserbereitstellung bestimmen.

Die entsprechenden Kennwerte des prozessspezifischen Wärmebedarfs sind für zahlreiche Prozesse im Anhang unter Tabelle A-2 aufgeführt. Mit Hilfe dieser Daten kann der jeweilige spezifische Wärmeverbrauch  $q_w$ , bezogen auf die Produktmenge, berechnet werden. Für die Bestimmung der absoluten Wärmebedarfe  $Q_w$  können dann u. a. die Produktionsmengen aus Tabelle A-1 genutzt werden.

### Beispiel Mälzerei

Die Mälzerei aus dem vorigen Beispiel weist mit dem Prozess „Darren“ nur einen einzigen Prozess mit relevantem Prozesswärmebedarf auf. Das Trockengut mit einer spezifischen Wärmekapazität von 4,19 kJ/kgK tritt mit  $T_u=20$  °C in die Darre ein und wird während des Prozesses auf  $T_o=85$  °C erwärmt, die Temperaturdifferenz  $\Delta T_{\text{Darren}}$  beträgt somit 65 K. Mit dem prozessspezifischen Parameter  $x_{\text{Darren}}=5,45$  aus Tabelle A-1 lässt sich gemäß Gleichung (4-5) der spezifische Prozesswärmebedarf  $q_{\text{Darren}}$  errechnen. Die jeweiligen Werte für die Temperaturen, die spezifischen Wärmekapazitäten und die Aufwandszahl  $x$  können für alle einzelnen Prozesse eines Unternehmens aus Tabelle A1 entnommen werden.

Es ergibt sich ein Wert des spezifischen Wärmebedarfs von

$$q_{\text{Darren}}=5,45 \cdot 4,19 \text{ kJ/kgK} \cdot 65 \text{ K}=1.484 \text{ kJ/kg}=412 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{t} \quad (4-7)$$

Analog lässt sich der Raumwärmebedarf (RW) der Mälzerei mit einer einheitlichen Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf von 20 K und den Werten aus der Tabelle A-2 bestimmen mit

$$q_{\text{RW}}=2,11 \cdot 4,19 \text{ kJ/kgK} \cdot 20 \text{ K}=177 \text{ kJ/kg}=49 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{t} \quad (4-8)$$

sowie analog der Warmwasserbedarf (WW) mit einer Temperaturdifferenz von einheitlich 50 K zu

$$q_{\text{WW}}=0,41 \cdot 4,19 \text{ kJ/kgK} \cdot 50 \text{ K}=86 \text{ kJ/kg}=24 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{t} \quad (4-9)$$

Damit ergibt sich der spezifische Gesamtwärmebedarf der Mälzerei durch Summierung der einzelnen Segmente zu 485 kWh<sub>th</sub>/t<sub>Mälz.</sub>. Bei einer angenommenen Jahresproduktion von 25.000 t errechnet sich ein Jahreswärmebedarf des Betriebes von 12,1 GWh<sub>th</sub>/a. Dabei entfallen auf die Produktion

10,3 GWh<sub>th</sub>/a, die Raumwärme 1,23 GWh<sub>th</sub>/a und die Warmwasserversorgung 0,6 GWh<sub>th</sub>/a. Da der Darrprozess eine maximale Temperatur von 85 °C aufweist, liegt der Wärmebedarf der Mälzereien ausschließlich im NT-Bereich, wodurch sich die einzelnen Wärmemengen einfach addieren lassen. Aus den Werten der einzelnen Wärmeverbrauchssegmente lässt sich mit Hilfe der jeweiligen Vollbenutzungsstundenzahlen (Vbh) für Prozesswärme (vgl. Tabelle A-1), Raumwärme und Warmwasser die jeweilige thermische Leistung gemäß den Gleichungen (4-10), (4-11) und (4-12) berechnen.

$$P_{th,PW} = \frac{q_{Darren} \cdot \dot{m}_W}{t_{VbhPW}} = \frac{412kWh_{th} \cdot 25000t/a}{6000h/a} = 1,72MW_{th} \quad (4-10)$$

Für die Raumwärme ergibt sich dann gemäß (4-11)

$$P_{th,RW} = \frac{q_{RW} \cdot \dot{m}_{Produktionsmenge}}{t_{VbhRW}} = \frac{49kWh_{th} \cdot 25000t/a}{2000h/a} = 0,6MW_{th} \quad (4-11)$$

Ebenso gilt für die thermische Leistung der Warmwasserbereitung, wie in (4-12) dargestellt

$$P_{th,WW} = \frac{q_{WW} \cdot \dot{m}_W}{t_{VbhWW}} = \frac{24kWh_{th} \cdot 25000t/a}{1000h/a} = 0,6MW_{th} \quad (4-12)$$

Aus den Daten der einzelnen Bereiche der Wärmeversorgung ergibt sich für die beispielhaft betrachtete Mälzerei eine erforderliche thermische Gesamtleistung von 2,93 MW<sub>th</sub>.

### **Methode der Einzeldatenerhebung der installierten Wärmeversorgungsanlagen– hohe Genauigkeit**

Bei dieser Methode werden durch die Datenerhebung alle Daten für die Ermittlung des Wärmebedarfs der einzelnen Betriebe erfasst. Allerdings ist diese Methode, insbesondere bei großen Betrachtungsräumen, wie etwa ganzen Großstädten, mit einem enormen zeitlichen, personellen und organisatorischen Aufwand verbunden.

### **Beispiel Mälzerei**

Aus Messdaten werden für eine Mälzerei ein Prozesswärmebedarf von 31,4 GWh<sub>th</sub>/a, ein Raumwärmebedarf von 3,8 GWh<sub>th</sub>/a und ein Warmwasserbedarf von 1,6 GWh<sub>th</sub>/a ermittelt. Der Jahreswärmebedarf beträgt somit 36,8 GWh<sub>th</sub>/a. Die zugehörigen installierten Leistungen betragen 7.850 kW<sub>th</sub> für die Prozesswärme, 1.900 kW<sub>th</sub> für die Raumheizung und 1.600 kW<sub>th</sub> für die Warmwasserbereitung. Es ergibt sich eine installierte Gesamtleistung des Betriebs von 11,4 MW<sub>th</sub>.

#### 4.2 Wärmebedarf im Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)

Beim Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung handelt es sich um einen Wirtschaftsbereich, indem alle nicht in der Güterproduktion tätigen, privatwirtschaftlich organisierten Unternehmen sowie die Betriebe des Handwerks zusammengefasst sind (z. B. Versicherungsunternehmen, Läden oder Malerbetriebe)<sup>1</sup>. Als ein Kennzeichen dieses Wirtschaftssektors bezüglich des Wärmebedarfs gilt der Verzicht auf Prozesswärmebedarf in nennenswertem Umfang. Stattdessen wird i. d. R. lediglich Raumwärme und Warmwasserbereitung benötigt.

Da i. a. keine Relation des Wärmebedarfs zur Outputmenge eines jeweils betrachteten GHD-Betriebs darstellbar ist, wird ein raumbezogener Wärmebedarf ermittelt, der wiederum von einer Reihe weiterer Faktoren abhängig ist (Mitarbeiterzahl, Gebäudetyp, Gebäudegröße und Gebäudealter). Für die einzelnen Typgemeindegrößen wird eine charakteristische Verteilung der Beschäftigtenanteile auf die einzelnen Gebäudetypen und –altersklassen ermittelt, auf deren Basis mittels der Beschäftigtenzahl des GHD-Sektors innerhalb des Betrachtungsraums der zugehörige Jahreswärmebedarf und die erforderliche Wärmeleistung ermittelt werden kann. Ein Beispiel für die Eckdaten des Wärmebedarfs eines Gebäudetyps ist in Tabelle 4-1 dargestellt.

**Tabelle 4-1:** Kennziffern des Wärmebedarfs für den Gebäudetyp Stadthaus des GHD-Sektors /eigene Berechnungen/

Gebäudetyp	Baujahr	Größe	Spez. Verbrauch Heizung	Volllaststunden Heizung	Spez. Verbrauch Warmwasser	Volllaststunden Warmwasser
	[-]	[-]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants etc.	bis 1951	klein	254	1.500	8	800
		mittel	254	1.500	8	800
		groß	254	1.500	8	800
	1952-1977	klein	280	1.500	8	800
		mittel	280	1.500	8	800
		groß	280	1.500	8	800
	1978-1995	klein	158	1.500	8	800
		mittel	158	1.500	8	800
		groß	158	1.500	8	800
	nach 1995	klein	120	1.500	8	800
		mittel	120	1.500	8	800
		groß	120	1.500	8	800

Der vollständige Satz der gebäudetypspezifischen Kennziffern des Wärmebedarfs des GHD-Sektors ist in Tabelle A-3 des Anhangs aufgeführt.

#### Methode mit statistisch abgeleitetem Schätzwert – geringe Genauigkeit

Die Ermittlung des GHD-Wärmebedarfs erfolgt gebäudetypspezifisch auf Basis der Mitarbeiterzahl des Sektors GHD innerhalb des Untersuchungsraums. Der Wärmebedarf wird zunächst separat für die Verbrauchsstellen Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) ermittelt, aus deren Addition sich dann der Gesamtwärmebedarf ergibt.

Dabei wird zunächst, etwa aus Statistikdaten, wie bspw. die gemeindespezifische Beschäftigungsstatistik aus der Veröffentlichungsreihe „Statistik lokal“ der /Statistischen Ämter des Bundes und der Länder/, die Zahl der GHD-Beschäftigten ( $B_{\text{GHD}}$ ) bestimmt. Mittels eines gemeindegrößen-spezifischen Verteilungsschlüssels ( $k_{\text{Obj\_KI}}$ ) und einer charakteristischen mitarbeiterspezifischen Gebäudefläche ( $A_{\text{mitarb}}$ ) wird die zu beheizende Fläche des GHD-Bereichs bestimmt. Mit Hilfe flächenspezifischer

<sup>1</sup> Auch der kommunale Sektor ist oft im GHD mit enthalten.

Verbrauchskennwerte ( $q_{\text{fläch}}$ ) kann dann aus diesen Daten der absolute Wärmebedarf der einzelnen Gebäudetypen des GHD-Sektors im Untersuchungsgebiet bestimmt werden (vgl. Gleichung (4-13)).

$$Q_{\text{Obj\_Kl,RW}} = B_{\text{GHD}} \cdot k_{\text{Obj\_Kl}} \cdot A_{\text{mitarb}} \cdot q_{\text{fläch,RW}} \quad (4-13)$$

Die Berechnung der jeweiligen thermischen Leistungen erfolgt wiederum zunächst separat für Heizung und Warmwasser gemäß Gleichung (4-14), nachfolgend werden beide Werte addiert.

$$P_{\text{th,Obj\_Kl,RW}} = \frac{Q_{\text{Obj\_Kl,RW}}}{t_{\text{Vbh,Obj\_Kl,RW}}} \quad (4-14)$$

Die für die Berechnung nach der vorgestellten Methode zusätzlich benötigten Daten des mitarbeiter-spezifischen Flächenbedarfs wird pauschal mit 10 m<sup>2</sup>/Mitarbeiter angenommen, da keine statischen Werte möglicher Schwankungen bzgl. Gebäudetyp, von der Gemeinde- und der Gebäudegröße sowie Gebäudealter vorliegen. Die Liste der verfügbaren Gebäudetypen nach Art, Größe, Alter und flächen-spezifischem Wärmebedarf ist im Anhang in Tabelle A-3 enthalten.

**Tabelle 4-2:** Gemeindegroßenabhängiger Beschäftigungsschlüssel für den Gebäudetyp „Stadthaus...“ des GHD-Sektors /eigene Berechnungen/

		Großstadt	Klein-stadt	große Ge-meinde	mittlere Gemeinde	kleine Ge-meinde
		Einwohner-zahl	> 50.000	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000
Gebäudetyp GHD		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Bau-jahr bis 1951	klein	1	1	1	4	10
	mittel	3	2	2	5	0
	groß	1	0	0	0	0
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Bau-jahr 1952-1977	klein	3,5	4	5	3	14
	mittel	5	6	4	4	0
	groß	3	1	0	0	0
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Bau-jahr 1978-1995	klein	3	4	5	5	18
	mittel	4	5	4	6	0
	groß	3	2	0	0	0
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Bau-jahr nach 1995	klein	2	3	1	4	11
	mittel	2	2	2	4	0
	groß	2	1	0	0	0

Die vollständige Aufstellung des mitarbeiterspezifischen Flächenbedarfs für alle Typgebäude findet sich in Tabelle A-4. Der zusätzlich benötigte Verteilungsschlüssel ist beispielhaft für den Gebäudetyp „Stadthaus....“ in Tabelle 4-2 dargestellt. Die Gesamtübersicht der Verteilungsschlüssel aller Gebäudetypen des GHD-Sektors ist in Tabelle A-5 enthalten.

#### Beispiel Gebäudetyp Stadthaus in der Großstadt

Einer Großstadt mit 121.320 Einwohnern werden von der Statistik 37.097 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte ( $B_{\text{GHD}}$ ) im Bereich GHD zugewiesen, wovon 1,0 % ( $k_{\text{Obj\_Kl}}$ ) entsprechend 371 Mitarbeitern im Gebäudetyp „Stadthaus mit Läden, Büros,..., Baujahr bis 1951, groß“ mit einem mitarbeiterspezifischen Flächenbedarf von 10 m<sup>2</sup>/Mitarbeiter ( $A_{\text{mitarb}}$ ) und einem spezifischen Heizwärmebedarf von 255 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a ( $q_{\text{fläch}}$ ) sowie einem spezifischen Warmwasserbedarf von 8 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a arbeiten. Dar-

aus ergeben sich Wärmebedarfe von 945 MWh<sub>th</sub>/a ( $Q_{Obj\_Kl,RW}$ ) für die Beheizung und 30 MWh<sub>th</sub>/a ( $Q_{Obj\_Kl,WW}$ ) für die Warmwasserversorgung dieses Gebäudetyps. Der gesamte Jahreswärmebedarf ergibt sich durch Addition von Heizwärme- und Warmwasserbedarf zu 975 MWh<sub>th</sub>/a ( $Q_{Obj\_Kl,ges}$ ). Mit den zugehörigen Vollbenutzungsstundenzahlen von 1.500 ( $t_{Vbh,Obj\_Kl,RW}$ ) für die Heizung bzw. 800 h/a ( $t_{Vbh,Obj\_Kl,WW}$ ) für die Warmwasserbereitung ergeben sich durch die Division die entsprechenden Leistungsbedarfe von 630 kW<sub>th</sub> ( $P_{th,Obj\_Kl,RW}$ ) für die Heizung und 37 kW<sub>th</sub> ( $P_{th,Obj\_Kl,WW}$ ) für die Warmwasserversorgung, insgesamt also 667 kW<sub>th</sub> ( $P_{th,Obj\_Kl,ges}$ ). Die Ermittlung der Wärme- und Leistungsbedarfsdaten der übrigen Gebäudetypen erfolgt analog.

#### **Methode mit betrachtungsraumbezogenen Beschäftigtenzahlen – mittlere Genauigkeit**

Statt für den GHD-Sektor Beschäftigtenzahlen auf statistischer Basis zu verwenden, die nur einen gemeindegrößenklassenspezifischen Durchschnittswert liefern können, kann für die genauere Bestimmung des entsprechenden Wärmebedarfs mit für den konkreten Betrachtungsraum ermittelten Beschäftigtenzahlen, bspw. aus Daten der Wirtschaftsförderung oder durch konkrete Erhebung bei den einzelnen Betrieben, gerechnet werden. Das weitere Vorgehen entspricht dann dem oben erläuterten Schätzwertverfahren. Durch die eigens erforderliche Beschaffung der Daten zu den Beschäftigtenzahlen erhöht sich auch bei diesem Verfahren gegenüber der Schätzwertmethode der Aufwand.

#### **Beispiel Gebäudetyp Stadthaus in der Großstadt**

In diesem Fall ergibt sich im Rahmen der Einzeldatenerhebung, dass im Gebäudetyp „Stadthaus mit Läden, Büros,..., Baujahr bis 1951, groß“ 394 Mitarbeiter ( $B_{Obj\_Kl}$ ) beschäftigt sind. Da die sonstigen für die Berechnung erforderlichen Werte konstant bleiben, ergibt sich der Wärmebedarf durch Multiplikation der Mitarbeiterzahl mit dem mitarbeiterspezifischen Flächenbedarf von  $A_{Mitarbeiter}=10 \text{ m}^2/\text{Mitarbeiter}$  und dem flächenspezifischen Wärmebedarf  $q_{fläch,RW}$  von 255 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a zu 1.005 MWh<sub>th</sub>/a für die Raumwärme (vgl. Gleichung (4-15))

$$Q_{Obj\_Kl,RW} = B_{Obj\_Kl} \cdot A_{Mitarb} \cdot q_{fläch,RW} \quad (4-15)$$

Anlog kann der Warmwasserbedarf ( $q_{fläch,WW} = 8 \text{ kWh}_{th}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) zu 32 MWh<sub>th</sub>/a bestimmt werden. Der Gesamtwärmebedarf beträgt dann 1.037 MWh<sub>th</sub>/a.

Die Berechnung der jeweiligen thermischen Leistungen erfolgt wiederum zunächst separat für Heizung und Warmwasser gemäß Gleichung (4-16), nachfolgend werden beide Werte addiert.

$$P_{th,Obj\_Kl,RW} = \frac{Q_{Obj\_Kl,RW}}{t_{Vbh,Obj\_Kl,RW}} \quad (4-16)$$

Die zugehörigen Leistungen betragen (mit 1.500 Vollbenutzungsstunden pro Jahr für die Heizung und 800 Vollbenutzungsstunden pro Jahr für die Warmwasserbereitung) 670 kW<sub>th</sub> für die Raumwärme und 40 kW<sub>th</sub> für Warmwasser, insgesamt also 710 kW<sub>th</sub>.

#### **Methode der exakten Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet – hohe Genauigkeit**

Bei der Methode mit der höchsten Genauigkeit zur Bestimmung der Eckdaten des Wärmebedarfs des GHD-Sektors handelt es sich um die konkrete Abfrage der Leistungs- und Verbrauchsdaten der einzelnen Betriebe. In diesem Fall kann die Bestimmung der Mitarbeiter- und Flächendaten entfallen. Gegenüber den beiden vorangegangenen Methoden erhöht sich der Aufwand zur Datenerhebung allerdings weiter.



### Beispiel Gebäudetyp Stadthaus in der Großstadt

Für die betreffende Gemeinde wird für den Gebäudetyp „Stadthaus mit Läden, Büros,..., Baujahr bis 1951, groß“ durch Addition der für alle einzelnen Objekte jeweils erhaltenen Werte ein kumulierter Wärmebedarf von 986 MWh<sub>th</sub>/a für die Heizung und von 34 MWh<sub>th</sub>/a für Warmwasser errechnet. Der Gesamtwärmebedarf des betreffenden Gebäudetyps beträgt dann 1.020 MWh<sub>th</sub>/a. Die zugehörige Gesamtleistung können ebenfalls aus den Abfragedaten entnommen werden und beträgt im Beispiel 690 kW<sub>th</sub>. Eine separate Abfrage der Leistungen von Heizung und Warmwasser ist mit dieser Methode in der Regel nicht möglich.

### 4.3 Wärmebedarf von kommunalen Objekten

Im Sektor der kommunalen Objekte sind alle Wärmeverbraucher der öffentlichen Verwaltung, Schulen, Krankenhäuser, etc. sowie kirchliche und soziale Einrichtungen zusammengefasst. Wie bereits beim GHD-Sektor, ist auch der Wärmebedarf der kommunalen Objekte vorwiegend von Raumwärme und Warmwasser geprägt, einen nennenswerten Prozesswärmebedarf gibt es i. a. nicht. Bei der Bestimmung des Wärmebedarfs der kommunalen Objekte werden die Gebäude in zwei Kategorien getrennt betrachtet, der Gruppe der Verwaltungs- und Hallenbauten sowie die Gruppe der Funktionsgebäude. Beide Gruppen werden nachfolgend erläutert.

#### Verwaltungsgebäude, Hallenbauten und Heime

In der Gruppe der Verwaltungsgebäude sind alle öffentlichen Bürogebäude zusammengefasst. Die Hallenbauten umfassen die Stadt- und Sporthallen sowie die Kirchen und die oft kirchlichen Gemeindezentren.

Die Bestimmung des Wärmebedarfs der Verwaltungsgebäude, der Hallenbauten und der Heime erfolgt aus objekt- und gemeindegrößenklassenspezifischen Daten zum charakteristischem Flächenbedarf pro Beschäftigtem, dem flächenspezifischen Wärmebedarf und der gemeindegrößenklassenspezifischen Verteilung der Mitarbeiterzahlen auf die einzelnen Gebäudealters- und Größenklassen. Für den Gebäudetyp Verwaltungsgebäude sind beispielhaft die Eckwerte des Wärmebedarfs in Tabelle 4-3 dargestellt. Die entsprechenden Eckdaten aller Gebäudetypen sind in Tabelle A-6 aufgeführt.

**Tabelle 4-3:** Kennziffern des Wärmebedarfs für den Gebäudetypen Verwaltungsgebäude des kommunalen Sektors /eigene Berechnungen/

Gebäudetyp	Baujahr	Größe	Spez. Verbrauch Heizung	Vollaststunden Heizung	Spez. Verbrauch Warmwasser	Vollaststunden Warmwasser
		[-]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]
Verwaltungsgebäude	bis 1951	klein	147	1.500	8	800
		mittel	147	1.500	8	800
		groß	147	1.500	8	800
	1952-1977	klein	161	1.500	8	800
		mittel	161	1.500	8	800
		groß	161	1.500	8	800
	1978-1995	klein	91	1.500	8	800
		mittel	91	1.500	8	800
		groß	91	1.500	8	800
	nach 1995	klein	69	1.500	8	800
		mittel	69	1.500	8	800
		groß	69	1.500	8	800

#### Funktionsgebäude

Als „Funktionsgebäude“ werden diejenigen Gebäude des öffentlichen Sektors bezeichnet, deren Wärmebedarf im Wesentlichen nicht direkt von der überbauten Fläche abgeleitet wird. Zu den Funktionsgebäuden gehören die Krankenhäuser (relevante Größe: Bettenzahl), die Schulen bzw. Kindergärten

(Schülerzahl bzw. Plätzezahl) und die Schwimmbäder (Wasserfläche). Die Bestimmung des Wärmebedarfs erfolgt über eine Korrelation objektspezifischer Kennzahlen, aus denen dann durch die Korrelation mit gemeindegrößenspezifischen Kenngrößen (bspw. Schülerzahl pro 1.000 Einwohner) der absolute Wärmebedarf eines Gebäudetyps in einer bestimmten Gemeinde bestimmt wird. In Tabelle 4-4 sind beispielhaft die sich ergebenden Kennziffern des Typgebäudes Schule aufgeführt. Die entsprechenden Daten aller Typgebäude finden sich in Tabelle A-6 und Tabelle A-7.

**Tabelle 4-4:** Kennziffern des Wärmebedarfs für den Gebäudetyp Schule /eigene Berechnungen/

Gebäudetyp	Baujahr	Größe	Spez. Verbrauch Heizung	Volllaststunden Heizung	Spez. Verbrauch Warmwasser	Volllaststunden Warmwasser
		[-]	[kWh <sub>th</sub> /Schüler]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /Schüler]	[h/a]
Schule	vor 1978	klein	788	1.100	18	800
		mittel	788	1.100	18	800
		groß	788	1.100	18	800
	1978-1995	klein	445	1.100	18	800
		mittel	445	1.100	18	800
		groß	445	1.100	18	800
	nach 1995	klein	339	1.100	18	800
		mittel	339	1.100	18	800
		groß	339	1.100	18	800

#### Bestimmung des Gesamtwärmebedarfs des öffentlichen Sektors im Betrachtungsraum

Aus der Summe des Wärmebedarfs der einzelnen Gebäudetypen von Verwaltungs- und Funktionsgebäuden errechnet sich dann der gesamte Wärme- und, durch Korrelation mit typischen Vollbenutzungsstundenzahlen, auch der Leistungsbedarf des öffentlichen Sektors.

#### Methode mit statistisch abgeleitetem Schätzwert – geringe Genauigkeit:

Für diese Methode wird die Zahl der Beschäftigten des öffentlichen Sektors aus statistischen Daten nach Gemeindegröße abgeleitet, bspw. aus /Statistische Ämter des Bundes und der Länder/. Die Zahl der Beschäftigten wird, analog zum GHD-Sektor, nach einem Verteilungsschlüssel auf die einzelnen Typgebäudeklassen des öffentlichen Sektors verteilt. Dabei werden an dieser Stelle die Mitarbeiter, Schüler und Betten, Plätze und Schwimmflächen in Relation zur Einwohnerzahl gesetzt. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass der Wärmebedarf im kommunalen Sektor nicht für alle Gebäudetypen anhand mitarbeiterspezifischer Kennwerte ermittelt werden kann. Mit Hilfe mitarbeiterspezifischer Flächen und flächenbezogenem Wärmebedarf wird dann aus diesen Daten der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung bestimmt.

Die Kennziffern der einzelnen Gebäudetypen des öffentlichen Sektors sind ausführlich im Anhang unter Tabelle A6 aufgeführt. Für die Verwaltungsgebäude und Hallenbauten ergibt sich damit die Berechnung des Wärmebedarfs sowohl für die Raumwärme gemäß Gleichung (4-17)

$$Q_{Obj\_Kl,RW} = P_{kom,RW} \cdot k_{Obj\_Kl,RW} \cdot A_{mitarb} \cdot q_{fläch,RW} \quad (4-17)$$

Für die Funktionsbauten modifiziert sich der Rechenansatz gemäß Gleichung (4-18). Hier wird der Wärmebedarf aus einer festgelegten Kennziffer k (bspw. der Schülerzahl), der zugehörigen spezifischen Fläche (bspw. 7 m<sup>2</sup>/Schüler) und dem jeweiligen flächenspezifischen Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser (z. B. 175 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a) abgeschätzt.

$$Q_{Obj\_Kl,RW} = k_{kom} \cdot A_{spezi} \cdot q_{fläch,RW} \quad (4-18)$$

Für den Raumwärme- und Warmwasserbedarf der kommunalen Objekte berechnet sich die benötigte Leistung jeweils nach Gleichung (4-19)

$$P_{th,Obj\_Kl,RW} = \frac{Q_{Obj\_Kl,RW}}{t_{Vbh,Obj\_Kl,RW}} \quad (4-19)$$

Zur vollständigen Berechnung des Wärmebedarfs werden auch die mitarbeiterspezifischen Flächendaten ( $A_{mitarb}$ ) benötigt. Diese sind für das Typ Verwaltungsgebäude in Tabelle 4-5 aufgeführt. Für eine Vielzahl von Typgebäuden können die mitarbeiterspezifischen Flächendaten in Tabelle A-7 nachgeschlagen werden.

**Tabelle 4-5:** Gemeindegroßenklassenabhängige spezifische Flächenbedarfsdaten des Raumwärmebedarfs des öffentlichen Sektors nach Gebäudetypen /Pfeifer 1999/, /eigene Berechnungen/

		Großstadt	Kleinstadt	große Gemeinde	mittlere Gemeinde	kleine Gemeinde
Gebäudetypen kommunale Gebäude	Einwohnerzahl	> 50.000	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000	bis 1.000
		[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]
Verwaltungsgebäude Baujahr bis 1951	klein	10	10	10	10	10
	mittel	12	12	12	12	12
	groß	12	12	12	12	12
Verwaltungsgebäude Baujahr 1952-1977	klein	12	12	12	12	12
	mittel	14	14	14	14	14
	groß	14	14	14	14	14
Verwaltungsgebäude Baujahr 1978-1995	klein	13	13	13	13	13
	mittel	14	14	14	14	14
	groß	16	16	16	16	16
Verwaltungsgebäude Baujahr nach 1995	klein	15	15	15	15	15
	mittel	17	17	17	17	17
	groß	18	18	18	18	18

Zur Bestimmung des Wärmebedarfs fehlt nun noch der Verteilungsschlüssel  $k_{Obj\_KL}$ . Die vollständige Tabelle ist in Tabelle A-8 ausgeführt.

#### Beispiel Gebäudetyp Verwaltungsgebäude in einer Großstadt

Eine Großstadt mit 121.320 Einwohnern verfügt laut Statistik über 4.336 Mitarbeiter ( $B_{kom}$ ) im öffentlichen Bereich. Es ergibt sich ein Objektklassenbeiwert (vgl. Tabelle 4-6) von 0,08 ( $k_{Obj\_KL}$ ) in der Gebäudetypklasse „Verwaltungsgebäude Baujahr bis 1951, mittel“ mit einem mitarbeiterspez. Flächenbedarf von 12 m<sup>2</sup>/Mitarbeiter ( $A_{mitarb}$ ), einem spezifischen Heizwärmebedarf von 147 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a ( $q_{fläch,RW}$ ) (vgl. Tabelle 4-5) und einem Warmwasserbedarf von 8 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a ( $q_{fläch,WW}$ ). Daraus errechnet sich ein Jahreswärmebedarf dieses Gebäudetypen von 612,0 MWh<sub>th</sub>/a für die Raumwärme und von 22,2 MWh<sub>th</sub>/a für die Warmwasserbereitstellung. Mit den zugehörigen Vollbenutzungsstundenzahlen von 1.100 h/a für die Raumwärmeversorgung und 800 h/a für die Warmwasserversorgung ergibt sich ein Leistungsbedarf von insgesamt 584 kW<sub>th</sub> zur Versorgung dieses Gebäudetyps mit Heizung und Warmwasser. Der Anteil der Raumheizung an der Gesamtleistung beträgt 556 kW<sub>th</sub>, der der Warmwasserbereitung 28 kW<sub>th</sub>.

#### Methode mit betrachtungsraumbezogenen Beschäftigtenzahlen – mittlere Genauigkeit

Bei dieser Methode werden statt der auf die einzelnen Objektkassen herunter gebrochenen Statistikdaten die anhand der Personalstärken der einzelnen Sparten des öffentlichen Sektors des betrachteten Gebiets ermittelten Werte für die Mitarbeiterzahl eingefügt. Wahlweise können aus dem Gebäudekataster des Untersuchungsgebiets auch die Daten zu den Gebäudetypen übernommen werden. Aus diesen Werten kann dann analog zur vorangehenden Methode der Wärmebedarf des öffentlichen Sektors abgeschätzt werden.

Die Kennziffern der einzelnen Gebäudetypen des öffentlichen Sektors sind ausführlich im Anhang in der Tabelle A-8 aufgeführt.

**Tabelle 4-6:** Gemeindegroßenklassenabhängiger Mitarbeiterverteilungsschlüssel für kommunale Verwaltungsgebäude /eigene Berechnungen/

Gebäudetyp	Einwohner	Großstadt	Kleinstadt	große Gemeinde	mittlere Gemeinde	Kleine Gemeinde
		> 50.000	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000	bis 1.000
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
Verwaltungsgebäude Baujahr bis 1951	klein	0,014	0,1	0,5	0,35	0,4
	mittel	0,037	0,2	0	0,1	0
	groß	0	0	0	0	0
Verwaltungsgebäude Baujahr 1952-1977	klein	0,166	0,1	0,3	0,3	0,2
	mittel	0,166	0,3	0	0,1	0
	groß	0,166	0	0	0	0
Verwaltungsgebäude Baujahr 1978-1995	klein	0,05	0,1	0,1	0,1	0,35
	mittel	0,1	0,1	0	0	0
	groß	0,1	0	0	0	0
Verwaltungsgebäude Baujahr nach 1995	klein	0	0	0,1	0,05	0,05
	mittel	0,1	0,1	0	0	0
	groß	0,1	0	0	0	0

### Beispiel Gebäudetyp Verwaltungsgebäude in einer Großstadt

Dem Gebäudetyp „Verwaltungsgebäude mittel Baujahr bis 1951“ mit einem mitarbeiterspez. Flächenbedarf von 12 m<sup>2</sup>/Mitarbeiter ( $A_{spez}$ ), einem spezifischen Heizwärmebedarf von 147 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a ( $q_{fläch,RW}$ ) und einem spezifischen Warmwasserbedarf von 8 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>·a kann, bspw. aus Erhebungsdaten, für den Betrachtungsraum eine Mitarbeiterzahl von 365 ( $k_{kom}$ ) zugewiesen werden (vgl. Gleichung (4-20)).

$$Q_{Obj\_Kl\_RW} = k_{kom} \cdot A_{spez} \cdot q_{fläch,RW} \quad (4-20)$$

Daraus errechnen sich die Wärmebedarfe für Raumwärme zu 644 MWh<sub>th</sub>/a, für die Warmwasserbereitstellung von 23 MWh<sub>th</sub>/a sowie für den Jahresgesamtwärmebedarf von 667 MWh<sub>th</sub>/a. Die zugehörigen Leistungswerte betragen dann mit den Vollbenutzungsstundenzahlen  $t_{vbh}$  von 1.100 h/a (Raumwärme) bzw. 800 h/a (Warmwasser) 585 kW<sub>th</sub> für Heizung, 29 kW<sub>th</sub> für Warmwasser und 614 kW<sub>th</sub> für die Gesamtleistung (vgl. Gleichung (4-21)).

$$P_{th,Obj\_Kl,RW} = \frac{Q_{Obj\_Kl,RW}}{t_{Vbh,Obj\_Kl,RW}} \quad (4-21)$$

### Methode der exakten Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet – hohe Genauigkeit:

Die exakteste und gleichzeitig aufwendigste Methode ist auch im öffentlichen Sektor die konkrete Abfrage der vorhandenen Leistungen und des jeweiligen Wärmeverbrauchs. Bei den meisten Gemeinden existiert allerdings in der Zwischenzeit eine zentrale Datenverwaltung der Liegenschaften, in dem entsprechende Daten bereits für andere Zwecke (z. B. zum kostengünstigeren Einkauf von Energie-

dienstleitungen im Rahmen von Großkundenkontingenten) vorhanden sind. Bei der Wahl dieser Methode müssen nur noch die entsprechenden Leistungs- und Verbrauchszahlen in ein Datenblatt eingetragen werden.

#### **Beispiel Gebäudetyp Verwaltungsgebäude in einer Großstadt**

Es werden alle Gebäude des kommunalen Sektors vom Typ „Verwaltungsgebäude mittel Baujahr bis 1951“ lokalisiert und die entsprechenden Leistungs- und Verbrauchsdaten vor Ort ermittelt, bspw. aus Messprotokollen; Bestandslisten o. ä. Für den Betrachtungsraum ergibt sich dann bspw. ein kumulierter Wärmebedarf dieser Gebäudeklasse von 621 MWh<sub>th</sub>/a für die Raumwärme, von 37 MWh<sub>th</sub>/a für die Warmwasserbereitstellung und von 658 MWh<sub>th</sub>/a für den Gesamtwärmebedarf.

Als zugehöriger Gesamtleistungsbedarf ergibt sich durch Addition der in den jeweiligen Gebäuden vorhandenen Einzelleistungen ein Wert vom 570 kW<sub>th</sub>.

## 5 Bestimmung des Wärmebedarfs im Siedlungsbereich

Der Grundgedanke für die Bestimmung des Wärmebedarfs eines Siedlungsgebietes liegt darin begründet, dass in einer Errichtungsperiode der Baustil von Gebäuden ähnlich ist bzw. in Abhängigkeit der Funktion Städte einheitliche städteplanerische Elemente aufweisen. Digitalisierte kartographische Daten (z. B. AKTIS<sup>2</sup> und ALK<sup>3</sup>) sind in Geographischen Informationssystemen in der Zwischenzeit erfasst, nähere Informationen des Gebäudetyps (Gebäudeform und Gebäudebaualter) sind jedoch zu ergänzen, da diese Informationen für eine Abschätzung des Nutzwärmebedarfs wichtig sind. Das vollständige Erfassen der notwendigen Daten gestaltet sich häufig in Gebieten ohne leitungsgebundene Wärmeversorgung schwierig, da hierfür eine Befragung bzw. die Installation zusätzlicher Messeinrichtungen notwendig ist. Im Hinblick auf einen Ausbaus der Fernwärmeversorgung sind Siedlungsgebiete gesucht, die für eine Verdichtung einer bestehenden Fernwärmeversorgung oder für einen peripheren Fernwärmeausbau geeignet erscheinen. Diese Gebiete sind bislang nicht bzw. nur unzureichend in Wärmeatlanten erfasst. Zur Vermeidung von parallelen Versorgungsnetzen mit Erdgas erfolgt ein Neubau eines Fern- / bzw. Nahwärmeversorgungssystems meist in Gebieten, die derzeit kein leitungsgebundenes Wärmeversorgungssystem aufweisen, so dass auch für diese Gebiete keine oder nur eine unzureichende Datenbasis bezüglich des Nutzwärmebedarfs vorhanden ist.

Für bisher nicht mit leitungsgebundenen Wärmeversorgungssystemen erschlossene Gebiete sind Näherungsverfahren zur Ermittlung des Nutzwärmebedarfs möglich. Nachfolgend wird ein Verfahren zur Wärmebedarfsberechnung für Siedlungsgebiete vorgestellt. Das Näherungsverfahren basiert generell auf der Verwendung von Gebäudetypisierungen. Da die Wärmeversorgung stark an die örtlichen Gegebenheiten des jeweiligen Versorgungsgebietes gebunden ist, wird zur Erfassung der unterschiedlichen Siedlungsstruktur auf die modifizierte Siedlungstypmethode aufgesetzt /AGFW 2004/. Darin wird zwischen unterschiedlichen Versorgungsstrukturen in Städten, innerhalb von Kernregionen (z. B. ST7) und in ländlichen Regionen (z. B. ST3b) differenziert (vgl. Tabelle 5-1).

**Tabelle 5-1:** Beschreibung der Siedlungstypen

Siedlungstyp	Bezeichnung des Siedlungstyp	Merkmale
ST 0	Freistehende Gebäude	Einzelgebäude oder Gebäudekomplexe in Wald- oder landwirtschaftlicher Nutzfläche bzw. größerer Entfernung zu besiedeltem Gebiet $\geq 250\text{m}$
ST 1	Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	Lockere unregelmäßige Bebauung, vor allem an Stadträndern und lang gezogene Straßendörfer.
ST 2	Einfamilienhäuser- und Zweifamilienhäusersiedlung	Vorortgemeinde, häufig mit dichtem geometrisch angelegtem Erschließungsnetz.
ST 3a	Städtischer Dorfkern	Dorfkernstruktur ohne Zentrum, die in Mittelstädten oder in Teilorten von Großstädten erhalten sind.
ST 3b	Ländlicher Dorfkern	Dorfkern im ländlichen Raum oder in kleinen Eingemeindungen von Städten.
ST 4	Reihenhäuser	Reihenhausssiedlung, oft engmaschig geometrisch erschlossen, oft an Stadträndern und in Vororten.
ST 5a	Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	Kleine Mehrfamilienhäuser, häufig mit dichtem geometrisch angelegtem Erschließungsnetz, entstanden nach 1978.
ST 5b	Zeilenbebauung kleinen und großen Mehrfamilienhäuser	Überwiegend mittelgroße Wohnbebauung, relativ geringer Gebäudeabstand, Erschließungsnetz relativ

<sup>2</sup> Amtliches Topographisches-Kartographisches Informationssystem. Dieses besteht aus drei digitalen Landschaftsmodellen (DLM), welche die Landschaft in geometrischer Qualität der topographischen Karten im Maßstab 1:25000, 1:200000 und entsprechend der internationalen Weltkarte 1:1000000 beschreibt.

<sup>3</sup> Automatisierte Liegenschaftskarte. Diese besteht aus der Grunddatei (beinhaltet z. B. Flurstück, Gemarkung, politische Grenzen, Gebäude), Punktdaten und Datei der Messungselemente.

Siedlungstyp	Bezeichnung des Siedlungstyp	Merkmale
		grobmaschig, typische Nachkriegsbauten, vorwiegend an Stadträndern.
ST 6	Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern	Große Mehrfamilienhäuser / Hochhäuser gekennzeichnet durch große Gebäudeabstände.
ST 7a	Blockbebauung niedriger Dichte	Städtische Mehrfamilienhäuser meist nur in Großstädten, oft Stadtrandbebauung, regelmäßiges Straßennetz, <u>freie Innenhöfe</u> .
ST 7b	Blockbebauung hoher Dichte	Gebäude unterschiedlicher Nutzung, meist nur in Großstädten, oft Stadtrandbebauung, regelmäßiges Straßennetz mit <u>überbauten Innenhöfen</u> .
ST 8	Citybebauung	Citybebauung, meist aus der Zeit der Jahrhundertwende, mit überbauten Innenhöfen.
ST 9	Historische Altstadt	Mittelalterlicher Stadtkern, hohe Dichte, geschlossene Bebauung, verwinkelte Straßen.
ST 10a	Öffentliche Sonderbauten (groß)	Große Einzelbauten, ungewöhnliche Grundrissformen, meistens freistehend, oft in Großstädten (z. B. Krankenhäuser, Universität), Gebäudegrundfläche $\geq 2.500 \text{ m}^2$
ST 10b	Öffentliche Sonderbauten (klein)	Kleinere Einzelbauten (Schulen, Kindergärten, Stadtverwaltung), Gebäudegrundfläche $\leq 2.500 \text{ m}^2$
ST 11a	Industriebauten	Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen, <u>mit</u> Prozesswärmebedarf
ST 11b	Gewerbliche Sonderbauten/ Dienstleistungsbauten	Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen ohne Prozesswärmebedarf (Supermärkte, Hotels in Wohngebieten)
ST 12	Sonstige Versorgungsbäude	Meist Einzelgebäude in Stadtrandlage mit zugehöriger großer Sonderfläche (z. B. Sportgelände oder Gärtnerei)

### 5.1 Methode zur Bestimmung des Wärmebedarfs für Gemeinden mittels pauschaler Aufteilung des Siedlungsgebietes - Verfahren geringer bis mittlerer Genauigkeit

Die Bestimmung des Wärmebedarfs von Gemeinden unterschiedlicher Größe in Baden-Württemberg kann mit Hilfe von Tabelle 5-2 vorgenommen werden. Darin sind die prozentualen Anteile der Siedlungstypen von Gemeinden in Abhängigkeit deren Einwohnergrößen dargestellt. Für das Verfahren mit geringer bis mittlerer Genauigkeit können die Gemeinden in insgesamt fünf Größenklassen eingeteilt werden.

Für eine Gemeinde wird unter Zuhilfenahme der Anteile der Siedlungstypfläche an der Gesamtsiedlungsfläche (vgl. Tabelle 5-2) und der spezifischen Wärmebedarfswerte der Siedlungstypen (vgl. Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4 ) der Nutzwärmebedarf für Raumwärme und Brauchwarmwasser abgeleitet (vgl. Gleichung (5-1)).

$$\sum_{i=1}^{12} (\text{Siedlungsfläche der Gemeinde } [km^2] \cdot \text{Anteil der Siedlungstypfläche}_i [-]) \cdot$$

$$\text{Spezifischer Wärmebedarfskennwert des Siedlungstyp}_i [\text{GWh}/(\text{km}^2\text{a})] \quad (5-1)$$

$$= \text{Nutzwärmebedarf für Raumwärme und Brauchwarmwasser } [\text{GWh}/\text{a}]$$

**Tabelle 5-2:** Anteil der Siedlungstypflächen an der Gesamtfläche nach Gemeindegröße

		<b>Großstadt</b>	<b>Große Gemeinde</b>	<b>Mittelgroße Gemeinde</b>	<b>Kleine Gemeinde</b>	<b>Kleinst-gemeinde</b>
Ein- wohner		> 50 000	15 000 – 50 000	5 000 - 15 000	1 000 – 5 000	Bis 1 000
ST0	[%]	1.18	3.81	1.02	3.04	2.80
ST1	[%]	3.13	12.52	7.33	5.03	5.00
ST2	[%]	18.35	13.69	20.11	16.08	14.30
ST3a	[%]	7.49	0.00	3.26	19.18	10.10
ST3b	[%]	3.10	13.01	0.00	7.30	53.30
ST4	[%]	8.86	0,11	7.84	5.56	6.10
ST5a	[%]	4.46	10.98	0.00	4.90	0.00
ST5b	[%]	2.00	1.02			
ST 6	[%]	2.18	1.95	4.37	3.85	0.00
ST7a	[%]	6.30	0.00	5.40	3.80	0.00
ST7b	[%]	7.80	0.00	3.20		
ST8	[%]	10.35	4.50	8.80	6.30	0.00
ST9	[%]	6.70	22.48	16.69	8.10	0.00
ST10a	[%]	6.50	1.66	6.08	2.36	0.67
ST10b	[%]	3.20	1.27	7.80	8.60	2.88
ST11a	[%]	2.40	9.68	3.80	2.90	1.45
ST11b	[%]	1.40	1.86	2.00		
ST12	[%]	4.60	1.48	2.30	3.00	3.40

## 5.2 Methode zur Bestimmung des Wärmebedarfs auf Basis einer Siedlungstypbetrachtung - Verfahren mittlerer Genauigkeit

Die Methode zur Bestimmung des Wärmebedarfs auf Basis einer Siedlungstypbetrachtung setzt eine Analyse bzw. Aufteilung des Siedlungsgebietes mit den Siedlungstypanteilen voraus. Eine Zuordnung des Gebäudebestandes zu den Siedlungstypen kann mit mittlerer Genauigkeit unter Zuhilfenahme von Luftbildaufnahmen und topographischen Karten erfolgen. Für diese Auswertung geeignete Hilfsmittel sind:

- Luftbilder, z. B. aus Google Earth, bzw. aus anderen Softwareprogrammen
- topographische Karten 1:25.000 (LK 25) z. B. vom /Landesvermessungsamt Baden-Württemberg 1991-97/
- topographische Karten 1:50.000 (LK 50) / Landesvermessungsamt Baden-Württemberg 1995-96/
- Stadtpläne der Gemeinde
- Begehungen der Gebiete vor allem in der Anfangsphase der Bestandsaufnahme zur eigenen Kontrolle und Verbesserung der Auswertung

Eine Auswertung von Luftbildern zur Aufteilung des Siedlungsgebietes ist bei dieser Methode notwendig, da anhand der topographischen Karten der LK 25 eine Unterteilung nach Siedlungstypen nicht immer möglich ist. Insbesondere bei dichten Besiedlungsformen, wie Dorfkernen und Innenstadtbauungen, sind oft mehrere separate Gebäude zu einem Symbol in der topographischen Karte zu-



sammengefasst. Durch die hohe Auflösung der Luftbilder bzw. durch die geringe Befliegungstiefe während der Bildaufnahme sind Einzelgebäude für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in Google Earth gut erkennbar. Im Weiteren liefern die Luftbilder wesentliche Informationen zur Typisierung, so z. B. über die Gebäudetypen, über die Lage der Gebäude in Relation zu den Nachbargebäuden und über den Verlauf der Straßen. Oft können damit Aussagen über die Gebäudenutzung und vereinzelt über das ungefähre Baualter getroffen werden. Mit den in einigen Softwareprogrammen mitgelieferten elektronischen Vermessungswerkzeugen können Strecken als auch Flächen am Bildschirm abgemessen werden. Dies vereinfacht eine weitere Bearbeitung der Luftbildaufnahmen, bzw. ermöglicht erst eine weitere Analyse mit der geforderten Genauigkeit. Straßenlängen, Abstände zwischen den Straßen, Abstände zwischen den Gebäuden und den Straßen sowie Flächen von Gebieten, Grundstücken und einzelnen Gebäuden können bestimmt werden.

Bei der Methode mit mittlerer Genauigkeit werden mit Hilfe der Luftbildaufnahmen und der obig genannten Informationsquellen die Siedlungstypen innerhalb eines Gebietes erfasst. Neben der Aufnahme der Siedlungstypfläche wird zur besseren Identifizierung derselben eine fortlaufende Nummer vergeben.

**Tabelle 5-3:** Kenngrößen der Siedlungstypen für das Jahr 2005 (ST0 – ST5a)

<b>Siedlungstypen</b>		<b>ST0</b>	<b>ST1</b>	<b>ST2</b>	<b>ST3a</b>	<b>ST3b</b>	<b>ST4</b>	<b>ST5a</b>
Beschreibung der Gebäude								
Anzahl Gebäude pro km <sup>2</sup>	[GB/km <sup>2</sup> ]	5	766	1.257	1.559	1.555	1.914	1.524
Vollbenutzungsstunden	[h/a]	1.900	2.000	2.000	2.000	1.900	2000	1.900
Gleichzeitigkeitsfaktor	[-]	1,00	0,90	0,85	0,80	0,80	0,85	0,80
Höchstleistung der Wärmebedarfsdichte	[MW <sub>th</sub> /km <sup>2</sup> ]	0,2	8,6	11,0	15,0	20,4	14,6	30,1
Max. Wärmeverbrauchs-dichte	[GWh <sub>th</sub> /(km <sup>2</sup> a)]	0,31	19,1	25,9	37,5	48,4	34,3	71,5

**Tabelle 5-4:** Kenngrößen der Siedlungstypen für das Jahr 2005 (ST5b – ST9)

<b>Siedlungstypen</b>		<b>ST5b</b>	<b>ST6</b>	<b>ST7a</b>	<b>ST7b</b>	<b>ST8</b>	<b>ST9</b>
Beschreibung der Gebäude							
Anzahl Gebäude pro km <sup>2</sup>	[GB/km <sup>2</sup> ]	1.172	720	1.541	1.484	901	2.293
Vollbenutzungsstunden	[h/a]	1.900	1.900	1.900	1.900	1.800	2.000
Gleichzeitigkeitsfaktor	[-]	0,75	0,70	0,80	0,80	0,70	0,80
Höchstleistung der Wärmebedarfsdichte	[MW <sub>th</sub> /km <sup>2</sup> ]	33,8	42,5	46,1	49,3	55,9	48,8
Max. Wärmeverbrauchs-dichte	[GWh <sub>th</sub> /(km <sup>2</sup> a)]	85,5	115,3	109,5	117,0	143,7	121,9

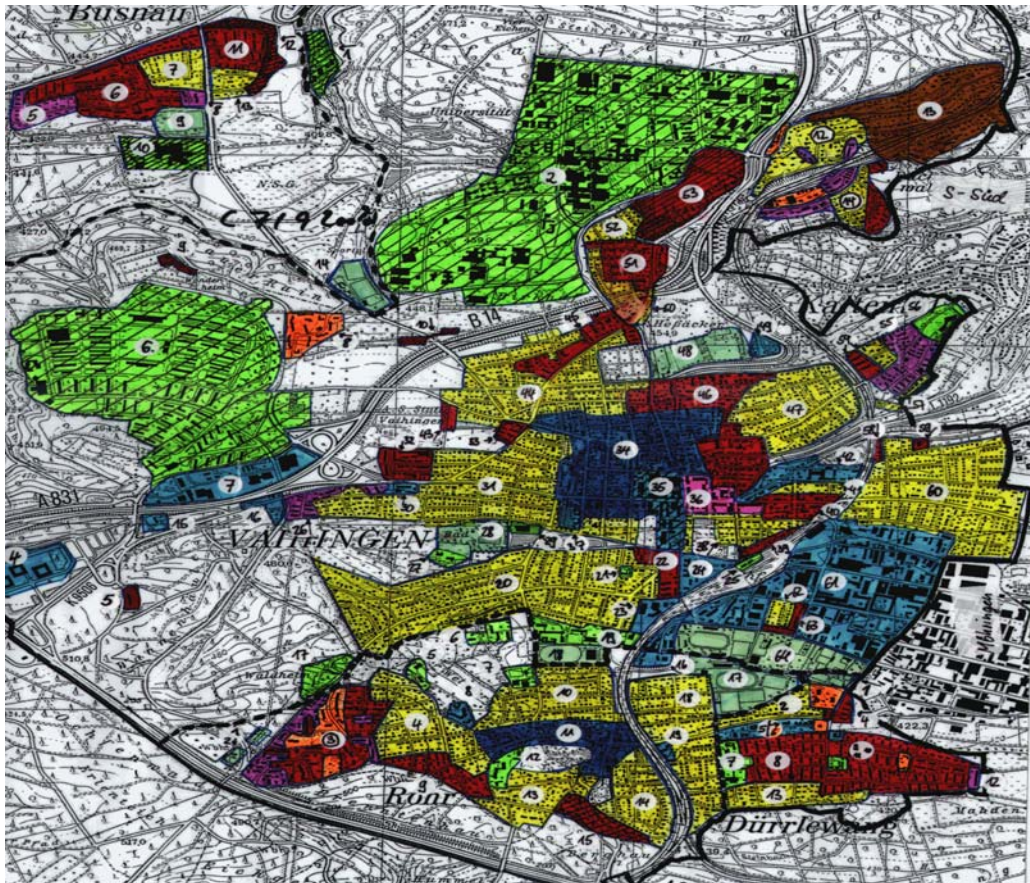
Basierend auf der gesamten Siedlungsfläche eines Siedlungstyps innerhalb des Betrachtungsgebietes wird durch Multiplikation der Fläche mit dem entsprechenden spezifischen Wärmebedarfswert (vgl.

Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4) der Nutzwärmebedarf für Raumwärme und Brauchwarmwasser bestimmt (vgl. Gleichung (5-2)).

$$\sum_{i=1}^{12} (\text{Siedlungsfläche des Siedlungstyp}_i \text{ im Betrachtungsgebiet } [km^2] \cdot$$

$$\text{Spezifischer Wärmebedarfskennwert des Siedlungstyp}_i [GWh/(km^2a)]) \quad (5-2)$$

$$= \text{Nutzwärmebedarf für Raumwärme und Brauchwarmwasser } [GWh/a]$$



**Abbildung 5-1:** Auswertung eines Mustergebietes mit der Siedlungstypmethode

In Abbildung 5-1 ist eine exemplarische Auswertung eines Versorgungsgebietes nach Siedlungsgebieten dargestellt. Hierfür wurden die Luftbilder einer Modellgemeinde ausgewertet, indem die Siedlungsfläche in Siedlungstypen unterteilt wurde. Die Abgrenzungen der Siedlungstypflächen, deren Flächen und der Siedlungstyp wurden in einer topographischen Karte vermerkt. Zusammen mit den spezifischen Wärmebedarfskennwerten wird für jedes Teilgebiet, bzw. für das Gesamtgebiet die Wärmehöchstlast und die Wärmeverbrauchsichte bestimmt. Gebiete, in denen eine Fernwärme- oder Gasversorgung existiert, können zusätzlich getrennt erfasst werden. Um die mit Erdgas bzw. Fernwärme versorgten Gebiete exakt abzugrenzen, kann es dabei nötig sein, Gebiete eines Siedlungstyps nochmals zu unterteilen.

### 5.3 Bestimmung des Wärmebedarfs auf Basis einer Gebäudetypbetrachtung - Verfahren mittlerer bis hoher Genauigkeit

Um den erheblichen Unterschieden des Gebäudebestandes gerecht zu werden, wird als Hilfsmittel zur Ermittlung des Wärmebedarfs auf die Gebäudetypologie zurückgegriffen. Sie beruht darauf, dass im Wohnungsbau verschiedene Baualtersklassen unterschieden werden können, die jeweils durch einheitliche Bauweisen (Auswahl der Materialien, Gestaltung der Gebäudehülle, Dimensionierung der Bauelemente) gekennzeichnet sind. Die Einteilung der Baualtersklassen orientiert sich dabei an den Zeitpunkten, zu denen für den Wohnungsbau wichtige Rahmenrichtlinien wirksam wurden. Aus der Kombination der Baualtersklassen mit verschiedenen Gebäudearten wie Einfamilien- (EFH), Reihendoppel- (RDH) oder Mehrfamilienhaus (kleine KMH, große GMH und Hochhäuser HH), ergibt sich eine Gebäudetypologie, die in Form einer Gebäudematrix dargestellt werden kann und in der für jeden Gebäudetyp jeweils eine mittlere Nutzwärme- /VDI 3807/, ein absoluter Heizwärmebedarf und eine spezifische Wärmebedarfskennzahl zugeordnet werden kann (vgl. Tabelle 5-5). Nutzwärme- /VDI 3807/ und Wärmebedarf sind gemittelte Werte und stellen eine Näherung der tatsächlichen Werte des derzeitigen Zustandes der Gebäude dar. Die Näherung ist umso besser, je größer die Anzahl der zu untersuchenden Gebäude ist.

**Tabelle 5-5:** Gebäudematrix mit spezifischen Parametern der Typgebäude

Baualtersklassen			bis 1918	1919- 1948	1949- 1957	1958- 1968	1969- 1978	1979- 1983	1984- 1995	1996- 2000	2001- 2005
EFH	Fl. <sup>1)</sup>	[m <sup>2</sup> ]	132	220	101	242	158	161	136	134	142
	WB <sup>2)</sup>	[MWh <sub>th</sub> /a]	22.0	33.0	17.8	36.3	26.1	26.6	21.3	13.6	10.3
	WKZ <sup>3)</sup>	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a]	167	150	176	150	165	165	156	101	72
RDH	Fl. <sup>1)</sup>	[m <sup>2</sup> ]	103	103	136	72	97	99	81	128	128
	WB <sup>2)</sup>	[MWh <sub>th</sub> /a]	15.6	14.5	23.8	11.7	18.6	17.0	10.5	11.4	9.0
	WKZ <sup>3)</sup>	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a]	152	141	175	162	192	171	129	89	70
KMH	Fl. <sup>1)</sup>	[m <sup>2</sup> ]	616	349	593	2845	1500	595	1263	351	351
	WB <sup>2)</sup>	[MWh <sub>th</sub> /a]	110.9	58.5	69.1	543.0	253.7	74.5	128.1	32.9	22.8
	WKZ <sup>3)</sup>	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a]	180	167	117	191	169	125	101	94	65
GMH	Fl. <sup>1)</sup>	[m <sup>2</sup> ]	649	1.349	1.457	3.534	3.020	595	2.075	2.075	2.075
	WB <sup>2)</sup>	[MWh <sub>th</sub> /a]	121	249.4	246.9	524.4	438.9	68.9	170.6	151.1	105.5
	WKZ <sup>3)</sup>	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a]	187	185	169	148	145	116	82	73	51
HH	Fl. <sup>1)</sup>	[m <sup>2</sup> ]				10.408	18.012				
	WB <sup>2)</sup>	[MWh <sub>th</sub> /a]				1.074	2.114				
	WKZ <sup>3)</sup>	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a]				103	117				

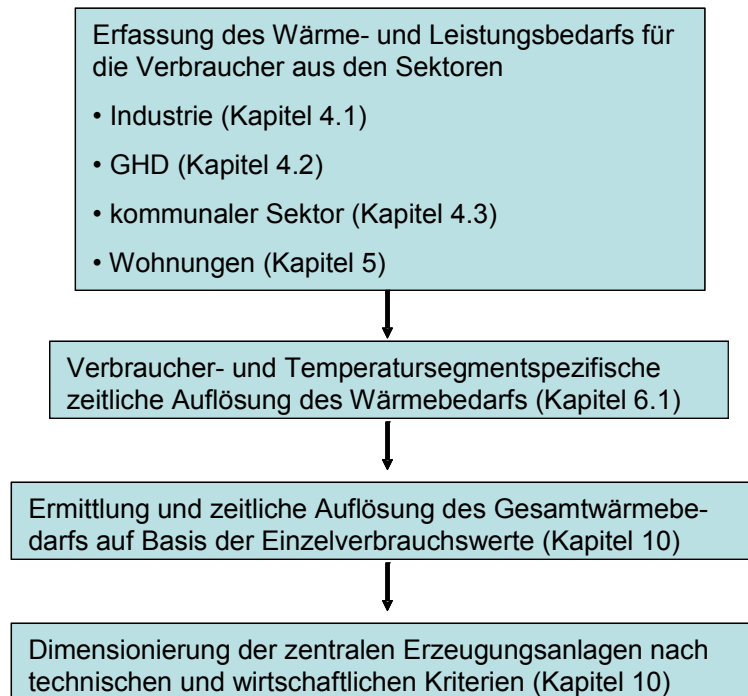
<sup>1)</sup> Nutzwärme- /VDI 3807/ <sup>2)</sup> Wärmebedarf <sup>3)</sup> spez. Wärmebedarfskennzahl

Um den Raumwärmebedarf mit einer höheren Genauigkeit zu bestimmen werden in einem ersten Schritt in dem betrachteten Gebiet die Gebäudeanzahl und die Siedlungsfläche der Gebäudetypen aufgenommen. Im zweiten Schritt werden die Daten mit den Kennwerten aus Tabelle 5-5 multipliziert. Zur Bestimmung des Energiebedarfs für die Bereitstellung von Brauchwarmwasser werden spezifische, auf eine Wohnungseinheit (WE) bezogene Kenngrößen herangezogen. Diese sind aufgrund der anzunehmenden unterschiedlichen Personenanzahl in Wohnungen von Ein- /Zweifamilienhäuser und in Mehrfamilienhäuser zu unterscheiden. Die der Berechnung zugrunde liegenden jährlichen spezifi-

schen Kennwerte /Blesl et al. 2004/ liegen bei 1.610 kWh pro Wohnungseinheit bei Ein- / Zweifamilienhäuser und bei 1.300 kWh pro Wohnungseinheit bei Mehrfamilienhäusern.

## 6 Bestimmung des Gesamtjahreswärmebedarfs aller betrachteten Verbraucherka- tegorien und Dimensionierung zentraler Wärmeerzeugungsanlagen

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Wärme- und Leistungsbedarfe der verschiedenen Verbrauchssektoren zu einem Gesamtbedarf zusammengefasst. Die anschließende Darstellung der zeitlichen Auflösung des Gesamtwärmebedarfs wird dann in Form einer Jahresdauerlinie vorgenommen. Den ersten Schritt dieser Zusammenfassung stellt die zeitliche Auflösung des Wärmebedarfs der Einzelverbraucher, der Einzelsektoren und der jeweiligen Temperatursegmente dar. Die zeitliche Abfolge des Vorgehens ist, inkl. den bereits vorgenommenen Erfassungen der Wärme- und Leistungsbedarfe der Verbraucher aus den verschiedenen Sektoren aus Abschnitt 4 und 5, in Abbildung 6-1 schematisiert.



**Abbildung 6-1:** Vorgehensweise zur Ermittlung der Bedarfsdaten für die Dimensionierung zentraler Wärmeerzeugungseinheiten

### 6.1 Zeitliche Auflösung des Wärmebedarfs der Einzelverbraucher mit Hilfe von Lastgängen und Dauerlinien

Für die folgende Bestimmung des Gesamtwärmebedarfs mehrerer zusammengeschalteter Verbraucher ist auch der zeitliche Verlauf des Wärmebedarfs zu berücksichtigen, um die Überdimensionierung zentraler Wärmeerzeugungsanlagen zu vermeiden. Überdimensionierungen können dann auftreten, wenn nur die Spitzenlastwerte der einzelnen Verbraucher addiert werden, ohne zu berücksichtigen, dass die einzelnen Spitzenlasten in der Regel zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten.

#### Definition Lastgang

Der Lastgang eines Verbrauchers gibt die Höhe des jeweiligen Bedarfs zu einem bestimmten Zeitpunkt an. Über den gesamten Betrachtungszeitraum ergibt sich aus den jeweiligen Werten für die einzelnen Zeitsegmente ein Lastverlauf. Aus diesem können die auftretende minimale und maximale Leistung sowie die vom Versorgungssystem aufzubringende Laständerungsgeschwindigkeit abgelesen werden. Durch Addition der Lastgangdaten der Einzelverbraucher ergibt sich der Lastgang des gesamten Wärmeverbundes. Typische Tageslastgänge verschiedener Verbrauchertypen sind exemplarisch in Abbildung 6-2 zusammengestellt.



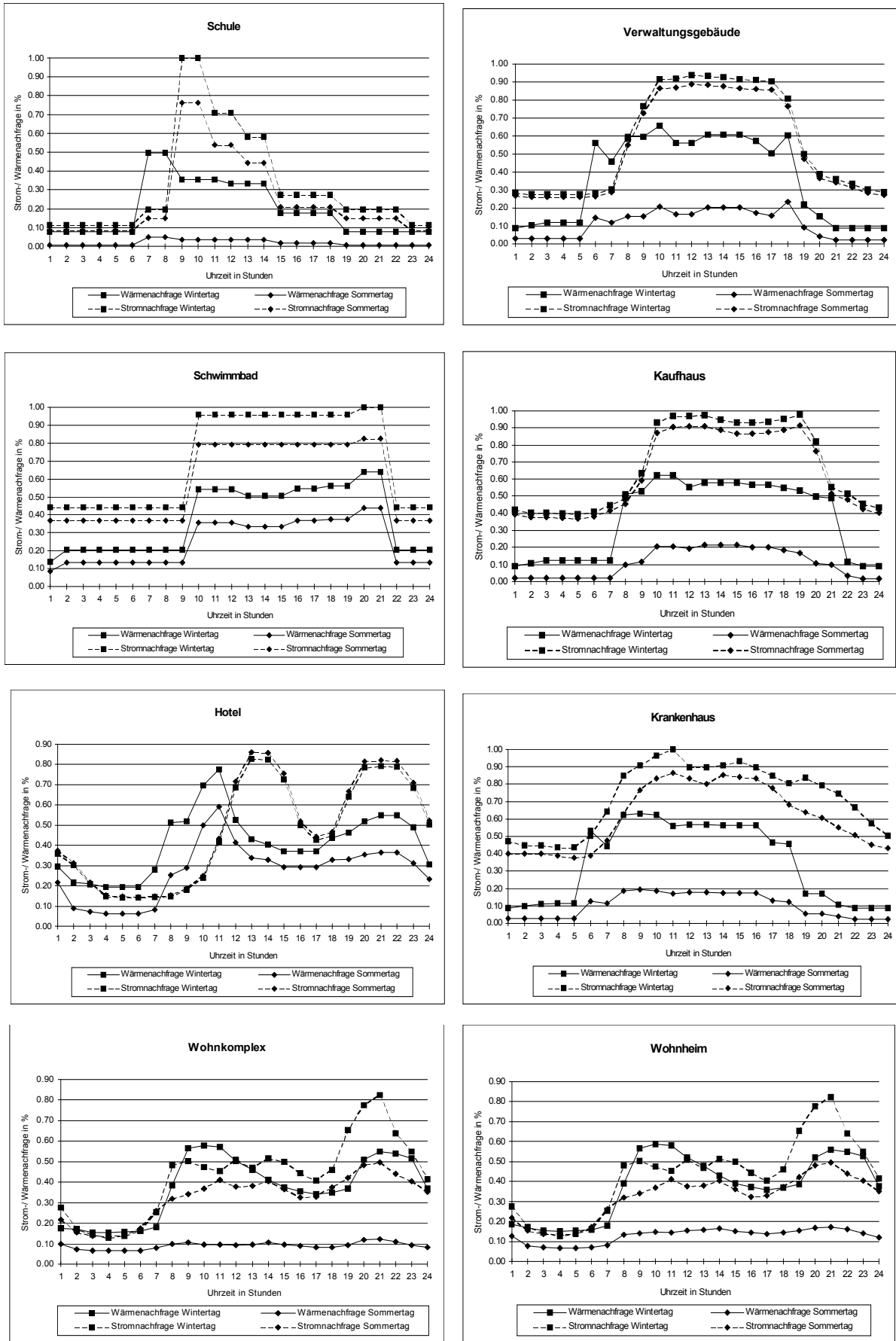
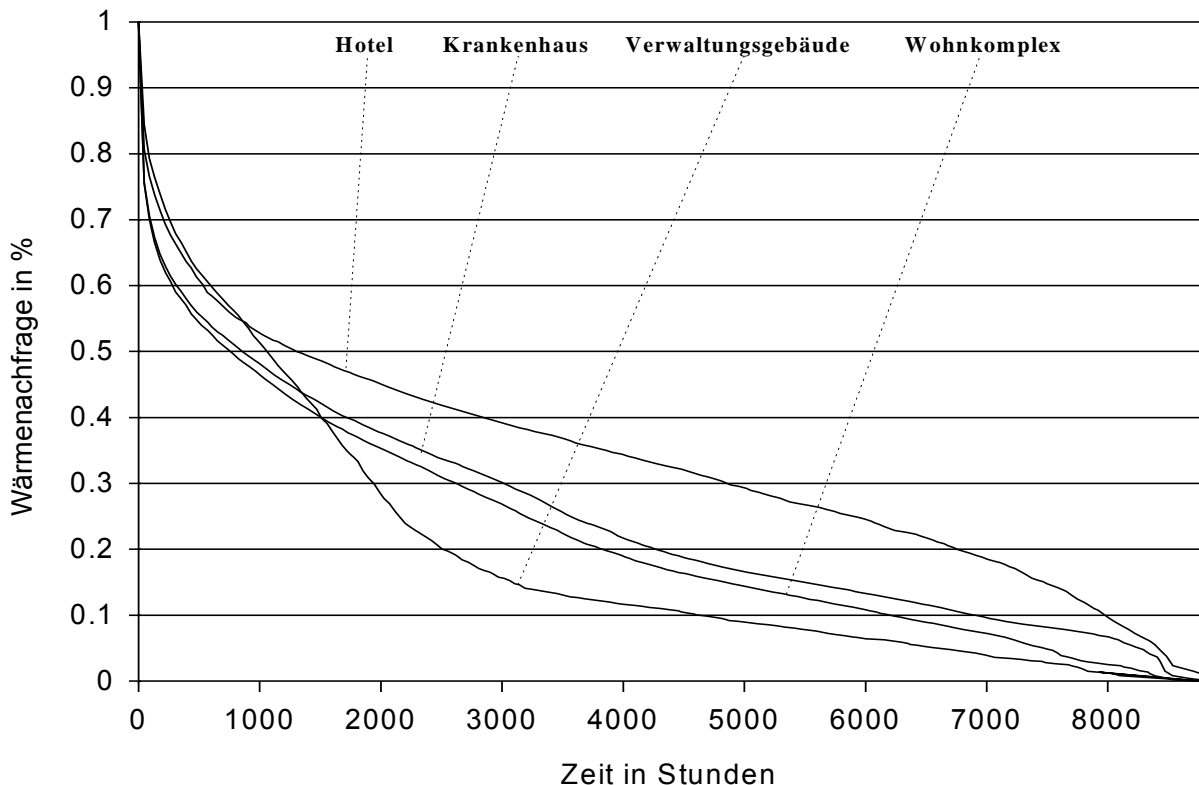


Abbildung 6-2: Typische Tageslastgänge untersuchter Versorgungstypen

### Definition Dauerlinie

Die Dauerlinie eines Verbrauchers stellt die Verbrauchswerte der einzelnen Zeitsegmente nach ihrer Größe in absteigender Reihenfolge dar. Die Dauerlinie gibt somit Aufschluss über die erforderliche maximale Leistung (Auslegungsleistung) und die jährliche Nutzungsdauer der Anlage. Aus der installierten Leistung und der Nutzungsdauer können Rückschlüsse über die Wirtschaftlichkeit der Anlage gezogen werden. Aus diesem Grund stellt die Dauerlinie ein wichtiges Instrument zur Dimensionierung von Anlagen dar. In diesem Fall wird die Dauerlinie i. a. über den Zeitraum von einem Jahr in Form der „Jahresdauerlinie“ ermittelt. Typische Jahresdauerlinien verschiedener Verbrauchertypen sind, normiert auf ihre jeweilige Höchstlast, grafisch in Abbildung 6-3 veranschaulicht.



**Abbildung 6-3:** Jahresdauerlinien der Wärmenachfrage für verschiedene Verbrauchertypen

## 6.2 Zeitliche Auflösung des Wärmebedarfs mittels Ersatzverfahren

Zur zeitlichen Auflösung des Wärmebedarfs in Form von Lastgang- oder Dauerlinien stehen mit dem Hellwig-Verfahren und der Sochinsky-Kurve zwei Ersatzverfahren zur Verfügung. Diese erlauben, aus wenigen bekannten Eckdaten unterschiedlicher Wärmeverbrauchertypen eine näherungsweise Bestimmung des zeitlichen Verlaufs des Wärmebedarfs. Beide Verfahren sind nachfolgend erläutert.

### 6.2.1 Zeitliche Auflösung des Wärmebedarfs mit dem Hellwig-Verfahren

Mit Hilfe des Hellwig-Verfahrens /Hellwig 2003/ können Ganglinien für bestimmte Nutzerprofile (Siedlungsbereich, GHD-Verbraucher, Industriebetriebe) innerhalb des NT-Wärmebedarfs konstruiert und deren absoluter Jahreswärmebedarf jeweils unterjährig dargestellt werden. Eingabegrößen sind der für die jeweiligen Verbraucher zuvor ermittelte absolute Jahreswärmebedarf (vgl. Kapitel 4 und 5) und der Jahresverlauf der Außenmitteltemperatur auf Tagesbasis, der für unterschiedliche Standorte, z. B. Stuttgart/Echterdingen, Karlsruhe, Konstanz vom Deutschen Wetterdienst (<http://www.dwd.de/>) /DWD 2006/ bereitgestellt wird. Verschiedene Parameter (Koeffizienten, Stundenfaktoren) zur Bestimmung der Ganglinien sind für unterschiedliche Nutzertypen in /Hellwig 2003/ gegeben. Als Ergebnis



können stündliche Werte des Wärmebedarfs berechnet werden. Stellt man diese im GIS über die ID-Schnittstelle der Gemeinden dar, können sowohl räumlich als auch zeitlich verteilte Wärmebedarfs-werte gemeindescharf für Baden-Württemberg aufgezeigt werden.

Mit Hilfe des Hellwig-Verfahrens können keine Aussagen für außentemperaturunabhängige Verbrauchertypen getroffen werden. Darunter fallen insbesondere auch industrielle Branchen, deren wesentlicher Prozesswärmebedarf im Hoch- und Mitteltemperaturbereich vorliegt, wie z. B. bei der Metallherzeugung oder der Baustoffindustrie, da in diesen Temperaturregionen kein maßgeblicher Außentemperatureinfluss mehr vorliegt. Weiterhin gehen unterschiedliche Auslastungen der Apparaturen für den Prozesswärmebedarf der einzelnen Branchen nicht in die Analyse mit ein. Des Weiteren werden die angegebenen Branchen pauschal betrachtet, weitere Unterteilungen innerhalb einer Kategorie (bspw. unterschiedliche Betriebsgrößen) schließt das Verfahren aus.

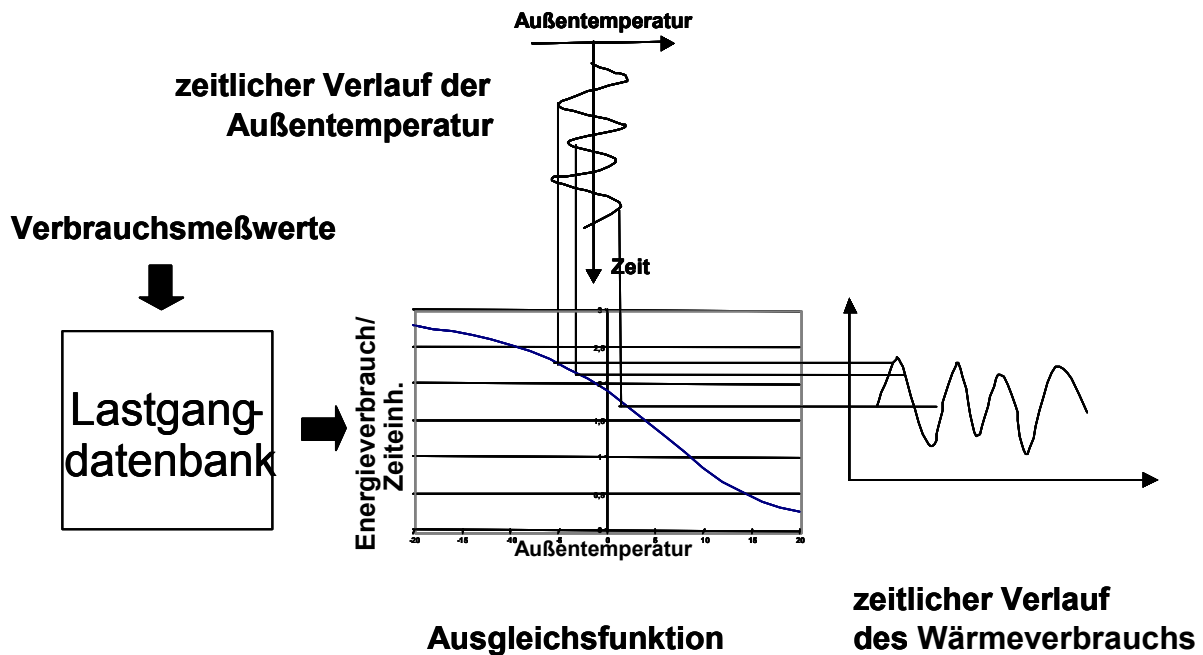
Aus /Hellwig 2003/ liegen für einige Verbraucherkategorien bereits die zur Berechnung der Stundenwerte erforderlichen, gebäudetypspezifischen Parameter vor. Diese Gebäudetypen umfassen aus dem Bereich Haushalte die Gebäudetypen EFH alt und EFH neu sowie MFH alt und MFH neu. Aus dem Bereich GHD/Industrie liegen die entsprechenden Werte für die Kategorien Metall & Kfz, Papier & Druck, Einzelhandel, Großhandel, sonstige betriebliche Dienstleistungen, Gebietskörperschaften und Sozialversicherungen, Kreditanstalten & Versicherungen, Beherbergung, Gaststätten, Bäckereien, Organisationen ohne Erwerbszweck & Heime sowie Gartenbau vor. Die entsprechenden Kennwerte dieser Verbrauchertypen sind über die Tabelle A-9 in den Leitfaden integriert

Für die weitere industrielle Wärmenutzung liegen zunächst keine Werte gemäß Hellwig vor, allerdings ergibt sich aus dem Vergleich mit Messwerten, dass das Hellwig-Verfahren für das NT-Temperaturniveau auch für industrielle Verbraucher anwendbar sein kann. Bei Vorhandensein weiterer Temperaturbereiche im Prozesswärmebereich sind die Verbräuche der einzelnen Temperaturklassen separat zu bilanzieren. Da MT- und HT-Wärme nicht zu Heizzwecken und damit prinzipiell außentemperaturunabhängig genutzt werden, kann zu deren Verbrauchsabschätzung eine Koppelung an die Arbeitszeiten gemäß /Sander 2004/ erfolgen.

### **Funktionsprinzip des Hellwig-Verfahrens**

Mit Hilfe des von /Hellwig 2003/ entwickelten Ansatzes können zunächst Lastprofile des Wärmebedarfs in zeitlicher Auflösung für kleinere und mittlere Verbraucher in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf der Außentemperatur erstellt werden. Die Erstellung parametrisierter Standard-Lastprofile wurde ursprünglich als Tool zur Abschätzung des Lastflusses in Erdgasnetzen entwickelt. Unter der Voraussetzung geringer Speicherverluste kann es auch für die Bestimmung der zeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs eingesetzt werden.

Bei der dargestellten Methode wurden die zeitlich variable Außentemperatur und der stündliche Wärmeverbrauch für verschiedene Gebäudetypen über ein Jahr gemessen und die Korrelation beider Größen in einer Ausgleichsfunktion beschrieben. Die Parameter der Ausgleichsfunktionen der einzelnen betrachteten Gebäudetypen sind in einer Lastdatenbank gespeichert (vgl. Tabelle A-9). Aus dem Inhalt der Lastdatenbank kann der zeitliche Verlauf des Wärmebedarfs für weitere Fälle (bspw. andere Zeiträume oder variable Objektgrößen) bestimmt werden. Das grundlegende Vorgehen des Ansatzes ist in Abbildung 6-4 aufgeführt.



**Abbildung 6-4:** Vorgehensweise bei der Erstellung und Anwendung parametrisierter Lastprofile zur Bestimmung des Wärmebedarfs in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf der Außentemperatur

Voraussetzung für eine Erstellung von Lastprofilen einer Versorgungsaufgabe sind Informationen über die Zugehörigkeit des betreffenden Verbrauchers zu einer der erfassten Objektgruppen, Daten zum Verlauf der Außentemperatur und die Kenntnis des gesamten Wärmebedarfs im betrachteten Zeitraum, bspw. aus Messungen oder Literaturquellen. Mit dem Jahresgesamtbedarf fließt auch die Größe des betrachteten Objekts in die Berechnung des Lastverlaufs ein. Weitere Faktoren, wie Wind oder Sonneneinstrahlung, werden wegen des festgestellten zu geringen Einflusses auf den Wärmeverbrauch nicht berücksichtigt. Als Basisdaten werden bei /Hellwig 2003/ der Außentemperaturverlauf des Jahres 1999 und die Verbrauchsdaten des entsprechenden Jahres herangezogen, allerdings können auch Temperaturkurven für andere Zeiträume wie auch für andere Orte eingesetzt werden. Die Ermittlung des täglichen Wärmebedarfs aus dem Jahresbedarf erfolgt über die transzendente Wachstumsfunktion der Form

$$y = \frac{A}{1 + \left( \left( \frac{B}{x} \right)^C \right)} \quad (6-1)$$

die aufgrund ihres s-förmigen Verlaufs (vgl. Abbildung 6-4) auch „Sigmoid-Funktion“ genannt wird. Für die Bestimmung der Lastprofile wird diese Gleichung als Ausgleichsfunktion modifiziert in der Form

$$h(\vartheta_A) = \frac{A}{1 + \left( \left( \frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A,0}} \right)^C \right)} + D \quad (6-2)$$

mit

h	normierter Tageswärmebedarf [-]
A,B,C	empirisch ermittelte, außentemperaturabhängige objektgruppenspezifische Parameter zur Bestimmung des Heizwärmeanteils [-]
D	empirisch ermittelter objektgruppenspezifischer Anteil des nicht außentemperaturabhängigen Wärmebedarfs zur Bestimmung des Warmwasser- und Prozesswärmeanteils [-]
$\vartheta_A$	gewichtete Tagesmitteltemperatur [°C]
$\vartheta_{A,0}$	Stetigkeitskonstante [°C]

Mit der Gleichung (6-2) lassen sich Abschätzungen der zeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs treffen, der in die Kategorien „außentemperaturabhängig“ (Heizwärmebedarf) und „nicht außentemperaturabhängig“ (Warmwasser- und Prozesswärmebedarf) unterteilt wird. Als relevante Außentemperatur wird dabei auf die mittlere Tagestemperatur, dem Mittel der Außentemperaturwerte von 7 h 30, 14 h 30 und 21 h 30 im Verhältnis 1:1:2, zurückgegriffen, die zur Steigerung der Genauigkeit mit den Werten der vergangenen drei Tage im Verhältnis 1:1/2:1/4:1/8 gewichtet wird. Der sich ergebende Wert geht dann als  $\vartheta_A$  des entsprechenden Tages in die Gleichung ein, womit ein tagesbasierter Zeitbezug in die Betrachtung des Wärmeverbrauchs integriert wird. Dabei spiegeln sich in den Werten von  $\vartheta_A$  im Verlauf über einen entsprechend langen Zeitraum auch jahreszeitliche Schwankungen wider, die somit in die Ermittlung und Auflösung des Wärmebedarfs eingehen. Die Konstante  $\vartheta_{A,0}$  garantiert die Stetigkeit der Funktion  $h(\vartheta_A)$  über den betrachteten Außentemperaturbereich und liegt objektgruppen-unabhängig bei 40 °C.

Die weiteren Parameter des normierten Tagesbedarfs h aus Gleichung (6-2), also A, B, C und D wurden für die von /Hellwig 2003/ untersuchten Objektgruppen aus Verbrauchsmessungen bestimmt. Dabei bestimmen die Parameter A und D die Ober- bzw. Untergrenze des normierten Wärmebedarfs. Der Wert des Parameters D definiert zusätzlich den nicht-außentemperaturabhängigen, d. h. auch bei sehr hohen Außentemperaturen auftretenden, Anteil des Wärmebedarfs, bspw. für Warmwasserbereitung oder Prozesswärme. Der (negative) Parameter B streckt den Graphen von h in x-Richtung nach links (Absinken von B) oder nach rechts (ansteigen). Der Wert für C bestimmt die Steilheit des Anstiegs des normierten Wärmebedarfs bei fallenden Außentemperaturen bzw. die Abflachung des Wärmebedarfs bei steigender Außentemperatur.

Die Lastkurven der einzelnen Objektgruppen werden zunächst in normierter Form modelliert, um auch Anlagen verschiedener Größen erfassen zu können. Die Bestimmung des zeitlichen Verlaufs des Verbrauchs ergibt sich aus der Entnormierung über den zum zugrunde gelegten Temperaturverlauf zugehörigen Gesamtjahresbedarf, der entweder aus Messungen, oder gemäß einer der weiteren, in den Kapiteln 4 und 5 aufgeführten Methoden unterschiedlicher Genauigkeit bestimmt wurde.

Zur Bestimmung des absoluten Tagesbedarfs der einzelnen Wochentage aus dem normierten Tagesbedarf  $h(\vartheta_A)$  dient

$$W_{\text{Wochentag}}(\vartheta_A) = F_{\text{Wochentag}} \cdot h(\vartheta_A) \cdot \frac{\bar{W}}{\bar{h}} \quad (6-3)$$

Dabei stellt der Entnormierungsfaktor  $\frac{\bar{W}}{\bar{h}}$  den auf den Gesamtverbrauch im betrachteten Zeitraum normierten Durchschnittswert des Tagesbedarfs dar, während  $\bar{W}$  den durchschnittlichen, absoluten Tagesbedarf während dieses Zeitraums bezeichnet. Für die einzelnen Wochentage werden ebenfalls

objektgruppenspezifische Konstanten  $F$  empirisch bestimmt, welche die unterschiedliche Gewichtung der Wochentage bzw. der Werkzeuge und des Wochenendes repräsentieren sollen. Da die Wochentage innerhalb eines Jahres mit nahezu identischer Häufigkeit auftreten, liegt der Durchschnitt aller sieben  $F$ -Werte einer Objektgruppe nahe 1.

Die Umrechnung der Tageswerte in Stundenwerte erfolgt durch Multiplikation des Tageswertes mit den einzelnen, in der Lastdatenbank in Form von Tabellen abgelegten Stundenanteilswerten, die für die einzelnen Objektgruppen ebenfalls empirisch ermittelt wurden. Die Tabelle der Stundenanteilswerte einer Objektgruppe ist in zehn verschiedene Temperaturklassen der Tagesmitteltemperatur weiter unterteilt. Aus dieser Tabelle entsteht für jeden Tag des betrachteten Zeitraums eine zeitliche Auflösung des Bedarfs in Form von Stundenwerten (Lastgang).

### **Nutzung des Hellwig-Verfahrens für bislang nicht erfasste Wärmenutzergruppen**

Für ein allgemeines Vorgehen bei der zeitlichen Auflösung des tagesspezifischen Wärmebedarfs von Betrieben sollten in einem ersten Schritt die absoluten jährlichen Wärmebedarfe der jeweiligen Temperaturstufen (HT, MT, NT) ermittelt werden. Da die HT- und MT-Wärmemengen in der Regel reine außentemperaturunabhängige Prozesswärmemengen darstellen, können diese gesondert betrachtet und bspw. über die Arbeitszeit auf konkrete Zeitsegmente verteilt werden (bspw. /Sander 2004/). Dabei besteht allerdings die Schwierigkeit, Schwankungen in der Kapazitätsauslastung wiederzugeben. Hierzu sind ggf. geeignete Annahmen zu treffen.

Für den NT-Bereich mit dem außentemperaturabhängigen Heizwärmeanteil können die entsprechenden Parameter A bis D abgeschätzt werden, wobei mit besonderen Schwierigkeiten für die Bestimmung des Parameters D zu rechnen ist, der sowohl für den Prozesswärme- als auch den Warmwasserwärmeanteil zuständig ist. Allgemein gilt, dass der Parameter D die Höhe des Wärmebedarfs an sehr heißen Tagen wiedergibt, an denen keine Heizwärme erzeugt werden muss.

Für den Parameter A kann ein Wert gewählt werden, der die Höhe der installierten Leistung widerspiegelt. Als Ausgangswert für die installierte Leistung kann eine begründete Annahme, bspw. auf Basis branchenüblicher Leistungsgrößen oder in Korrelation zur Beschäftigtenzahl, angenommen werden.

Die Parameter B und C können ohne vorliegende Messwerte nicht direkt bestimmt werden. Für alle bislang untersuchten Anwendungsfälle befinden sich die jeweiligen Werte allerdings in sehr engen Bereichen, so dass für konkrete Anwendungen eine Abschätzung auf Basis dieser ermittelten Werte erfolgen kann /Hellwig 2003/.

Die Wochentagsfaktoren  $F$  können, soweit nicht anders bekannt oder in Erfahrung zu bringen, einerseits aus der Arbeitszeitverteilung des untersuchten Betriebs abgeleitet werden, oder alternativ aus der in /Hellwig 2003/ enthaltenen Wertetabelle nach Branchenaffinität abgeschätzt werden. Für die weitere Auflösung der Tageswärmebedarfe in Stundenwerte können dann Typtage in Abhängigkeit von Außentemperaturklassen herangezogen werden. Die aus /Hellwig 2003/ bekannten Werte der einzelnen Parameter für die untersuchten Gebäudetypen sind in Tabelle A-9 aufgeführt.

Durch Ordnen der einzelnen Stundenwerte nach der Größe von Stunden mit hohem Wärmebedarf in Richtung von Stunden mit geringem Wärmebedarf lässt sich aus den mit dem Hellwig-Verfahren generierten Verbrauchsdaten die Jahresdauerlinie des Verbrauchers erzeugen. Diese kann für das weitere Vorgehen von Nutzen sein, wie im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

Eine mit Hilfe des Hellwig-Verfahrens erzeugte Jahresdauerlinie eines Mehrfamilienhauses ist beispielhaft in Abbildung 6-5 dargestellt. Dabei wurden die in Tabelle A-9 aufgeführten Parameterwerte für den Verbrauchertyp „neues Mehrfamilienhaus“ (MFH neu) in die Gleichungen (6-2) und (6-3) eingesetzt.

### 6.2.2 Erstellung von Jahresdauerlinien nach Sochinsky

Die Methode der Erstellung von Jahresdauerlinien (JDL) nach dem Sochinsky-Ansatz beruht auf der geometrischen Ähnlichkeit typischer JDL für unterschiedliche Verbraucher. Ziel des Sochinsky-Ansatzes ist eine einfache Abschätzung von Höhe und zeitlichem Verlauf des Energiebedarfs. Das Sochinsky-Verfahren wurde ursprünglich für die Lastberechnung von Stromnetzen und die Betriebsführung von Kraftwerken entwickelt /Sochinsky 1918/. Mittlerweile findet es auch in der Bestimmung des Wärmebedarfs Anwendung /Schulz 1933/, /Wolf 1959/.

Bei dieser Methode wird die Jahresdauerlinie  $P$  in Abhängigkeit der normierten Betriebsdauer  $t$  gemäß der Gleichung

$$P(t) = P_{\max} \cdot \left( 1 - (1 - m_0) \cdot t^{\frac{m-m_0}{1-m}} \right) \quad (6-4)$$

mit

$$m_0 = \frac{\dot{Q}_{\min}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (6-5)$$

und

$$m = \frac{\dot{Q}_{\text{gesamt}}}{P_{\max} \cdot t_{\text{Betrieb}}} \quad (6-6)$$

bestimmt. Dabei steht  $P_{\max}$  für den Maximalwert der thermischen Leistung,  $Q_{\min}$  bzw.  $Q_{\max}$  für die kleinste bzw. größte innerhalb einer Zeiteinheit nachgefragte Wärmemenge sowie  $Q_{\text{ges}}$  für den Jahresgesamtwärmebedarf und  $t_{\text{Betrieb}}$  für die Zahl der jährlichen Betriebsstunden.

#### Definition der Parameter der Sochinsky-Kurve

Der Parameter  $m$  beeinflusst den Verlauf der Dauerlinie bezüglich der Steigung der Kurve. Physikalisch definiert der Parameter  $m$  die Auslastung der Anlage zwischen den Extremen ca. 0 (ganzjähriger Stillstand) und 1 (Dauervolllast).

Der Parameter  $m_0$  passt die Lasthöhe am Punkt  $t_{\text{Betriebsende}}$  an und definiert damit den Verlauf der Dauerlinie im Bereich  $y(t=0; t_{\text{Betriebsende}})$  sowie die Dauer des Höchstlastanteils. Somit ist  $m_0$  der Indikator für die Grundlast bzw. den zeitunabhängigen Prozesswärmeanteil.

Der Faktor Zeit  $t$  wird als normierte Betriebszeit in die Gleichung integriert, ihre Werte bewegen sich somit zwischen 0 und 1. Zwischen dem Ende der Betriebszeit und dem Ende des betrachteten Zeitraums (in der Regel ein Jahr) sind die Funktionswerte der Zeit gleich 0.

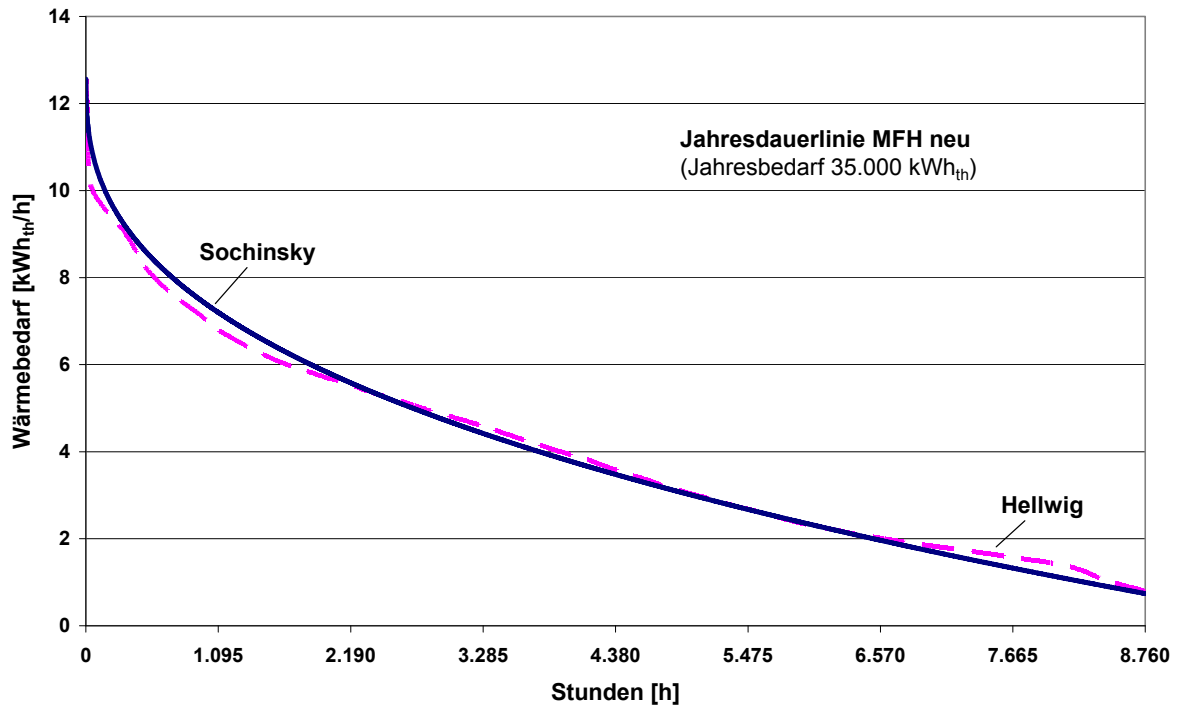
Der Jahresgesamtwärmebedarf ist die Fläche unterhalb der Sochinsky-Kurve. Der entsprechende Wert muss aber bereits vor der Berechnung bekannt sein. Grundlagen hierfür können Daten aus Messungen oder Schätzungen darstellen.

Der Sochinsky-Ansatz erlaubt somit mit wenigen erforderlichen Daten die Bestimmung der Jahresdauerlinie einer Versorgungsaufgabe.

Grundlegender Nachteil des Sochinsky-Ansatzes ist die fehlende Zuordnung eines bestimmten Bedarfs zu einem bestimmten Zeitsegment. Hierdurch wird die Auslegung des Versorgungssystems bei der Zusammenschaltung mehrerer Verbraucher aus verschiedenen Gebäudetypen erschwert. Außerdem kann das Sochinsky-Verfahren unvorhergesehene äußere Einflüsse (z. B. Temperaturstürze) nicht abbilden und berücksichtigt auch nicht das Temperaturniveau des Wärmebedarfs. Stattdessen muss für jedes Temperatursegment eine eigene JDL erzeugt werden.

### 6.2.3 Vergleich der Verfahren

In der Abbildung 6-5 sind die mit den beiden dargestellten Verfahren erstellten Jahresdauerlinien eines Mehrfamilienhauses mit einem Jahreswärmebedarf von  $35 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$  einander gegenübergestellt. Für beide Kurven ergeben sich Spitzenlastwerte um  $12 \text{ kW}_{\text{th}}$ , der Mindestwärmebedarf beträgt jeweils  $0,8 \text{ kW}_{\text{th}}$ . Letzterer Wert stellt die Grundlast dar und wird durch den Warmwasserbedarf im Sommer definiert, d. h., es besteht dann kein zusätzlicher Heizwärmebedarf.



**Abbildung 6-5:** Jahresdauerlinien eines neuen Mehrfamilienhauses mit einem Wärmebedarf von  $35.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$  nach Hellwig (gestrichelt) und Sochinsky

Der Verlauf beider Kurven weist auch zwischen den für die Anlagenauslegung bedeutsamen Endpunkten keine nennenswerten Abweichungen auf. Somit können für die Anlagenauslegung beide Methoden eingesetzt werden. Mit Hilfe der Hellwig-Kurve können allerdings die Bedarfsverläufe auch für (beliebig lange) Zeiträume mit extremen Temperaturverhältnissen betrachtet werden.

### 6.3 Zusammenschaltung mehrerer Verbraucher aus Haushalten und GHD

Beim Zusammenschalten mehrerer Verbraucher werden zur Ermittlung des zeitlich aufgelösten Gesamtwärmebedarfs, unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Temperaturniveaus, die einzelnen Lastganglinien addiert. Werden statt der Lastganglinien Dauerlinien zur zeitlichen Auflösung der einzelnen Wärmebedarfe verwendet, so sind die Summen mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor zu versehen. Der Gleichzeitigkeitsfaktor ist das Verhältnis der tatsächlichen Höchstlast innerhalb eines Zeitraums zur Summe der individuellen Höchstlasten der einzelnen Wärmeabnehmer. Damit wird die Tatsache berücksichtigt, dass die Spitzenlasten der einzelnen Abnehmer nicht gleichzeitig auftreten und ihre Summe die tatsächliche Spitzenlast übersteigt. Somit kann das Versorgungssystem kleiner dimensioniert und die Kosten für Investitionen und Betrieb geringer gehalten werden. Der Gleichzeitigkeitsfaktor hängt von der Zusammensetzung und der Zahl der angeschlossenen Verbraucher ab und wird empirisch bestimmt.

### Näherungsweise Addition verschiedener Lastgangkennwerte

In der Praxis zeigt sich, dass, speziell bei einer Vielzahl zu erfassender Einzelverbraucher, oftmals weder die entsprechenden Lastgangkurven noch die Dauerlinien vorliegen. In diesem Fall kann mit Hilfe typischer Lastgangkennwerte eine Ersatzdauerlinie erstellt werden.

Hierzu werden für jeden Verbraucher 24 typische Verbrauchswerte synthetisiert, welche für jeden Monat des Jahres je einen typischen Tages- und Nachtwert repräsentieren. Die Stundenwerte der Einzelverbraucher können aus dem jeweiligen Bedarf für NT-Prozesswärme, Heizung und Warmwasser addiert werden. Die jeweiligen Werte der Verbraucher werden für jedes dieser 24 Zeitsegmente addiert. Die entstehenden 24 Summenwerte werden nach ihrer Größe absteigend geordnet, wobei jedem Wert eine Zeitspanne von  $8760 \text{ h}/24 \text{ Werte}=365 \text{ h/Wert}$  zugeordnet wird. Aus dieser Zuordnung wird dann die Ersatz-Dauerlinie erstellt, aus der sich die erforderliche maximale thermische Leistung eines möglichen Wärmeverbunds ablesen lässt. .

Dieser Wert kann als Schlüsselgröße für die technisch- wirtschaftliche Auslegung eines zentralen Wärmeerzeugungssystems genutzt werden (vgl. Kapitel 10).

### Näherungsweise Addition verschiedener Lastgänge unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren

Analog zur Lastganglinie können auch die Dauerlinien verschiedener Verbraucher addiert werden. Da allerdings die Werte lediglich für Zeiträume, jedoch nicht für konkrete Zeitpunkte erfasst werden, muss der sich additiv ergebende Wert für die Spitzenleistung des Gesamtsystems durch den Einsatz von Gleichzeitigkeitsfaktoren (GZF) modifiziert werden. Hierdurch soll dem Effekt Rechnung getragen werden, dass die Spitzenleistung nicht von allen Verbrauchern gleichzeitig nachgefragt wird. Der Maximalwert des Gleichzeitigkeitsfaktors beträgt 1, d. h., alle Verbraucher werden gleichzeitig bei maximaler Last betrieben. Durch die Integration des Gleichzeitigkeitsfaktors lassen sich Überdimensionierungen von Erzeugungsanlagen vermeiden, die andernfalls zu wirtschaftlichen Nachteilen führen würden.

Für den Prozesswärmeverbrauch kann mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor von etwa 1 gerechnet werden ( $GZF_{\text{Prozesswärme}}$ ), da dieser Wärmebedarf vom Industriebereich dominiert wird und v. a. mit der Arbeitszeit korreliert: Die Arbeitszeit ist für die meisten Industriebetriebe identisch, Ausnahmen bilden v. a. die saisonabhängigen Betriebe der Lebensmittelindustrie, bspw. Zuckerfabriken, welche allerdings einen geringen Anteil am Gesamtwärmebedarf aufweisen.

Ebenso kann für sämtliche Raumheizungsanwendungen in allen Bereichen (Wohnungssektor, Industrie, GHD, kommunale Objekte) ein Gleichzeitigkeitsfaktor ( $GZF_{\text{Raumwärme}}$ ) nahe 1 angenommen werden, da sich der Bedarf an Raumheizung v. a. an der für alle Verbraucher identischen Außentemperatur orientiert.

Lediglich bei der Warmwasserbereitung ist ein deutlich geringerer Gleichzeitigkeitsfaktor ( $GZF_{\text{Warmwasser}}$ ) zu erwarten, da der Warmwasserbedarf für nahezu jeden Verbraucher, unabhängig von seiner Sektorzugehörigkeit, zeitlich individuell anfällt. Für die zu erwartenden Betrachtungsräume mit einer Vielzahl von Verbrauchern kann für den Gleichzeitigkeitsfaktor der Minimalwert der Literatur angenommen werden, dessen Wert bei 0,25 /Recknagel 2005/ liegt. Der Anteil des Warmwasserbedarfs am Gesamtwärmebedarf fällt jedoch sehr gering aus.

Mit diesen Angaben berechnet sich der Spitzenleistungswert des Gesamtbedarfs aus den Spitzenwerten der Einzelbedarfe gemäß Gleichung (6-7)

$$\hat{P}_{\text{gesamt}} = \sum \hat{P}_{\text{Raumwärme}} \cdot GZF_{\text{Raumwärme}} + \sum \hat{P}_{\text{Warmwasser}} \cdot GZF_{\text{Warmwasser}} + \sum \hat{P}_{\text{Prozesswärme}} \cdot GZF_{\text{Prozesswärme}} \quad (6-7)$$

mit Gleichung (6-8)

$$\sum \hat{P}_{\text{Raumwärme}} = \hat{P}_{\text{Raumwärme,Industrie}} + \hat{P}_{\text{Raumwärme,GHD}} + \hat{P}_{\text{Raumwärme,kommunal}} + \hat{P}_{\text{Raumwärme,Wohnung}} \quad (6-8)$$

Die entsprechenden Spitzenleistungswerte für Warmwasser und Prozesswärme berechnen sich analog zu Gleichung (6-8). Die einfache Ermittlung der benötigten Werte für Gleichzeitigkeitsfaktoren ist in Kapitel 10.5 in Tabelle 10-18 dargestellt.

Mit diesen Angaben ist zu erwarten, dass der mit Gleichung (6-7) und Gleichung (6-8) errechnete Spitzenlastwert geringer ausfällt, als die Summe der Spitzenleistungen der drei Anwendungsbereiche Prozesswärme, Raumwärme und Warmwasserbereitung. Die Differenz zwischen beiden Werten kann gleichmäßig auf alle anderen Betriebsstunden verteilt werden, um für die Anlagendimensionierung den vollständigen vorhandenen Wärmebedarf (entspricht der Fläche unter der Jahresdauerlinie) berücksichtigen zu können.



## 7 Potenzialerhebung für erneuerbare Energieträger

### 7.1 Vorgehensweise

Dem Anwender werden in diesem Teil des Leitfadens Wege zur Ermittlung und Abschätzung von Energieträgerpotenzialen zur Bereitstellung von Wärme aus Holz, Solar- und Geothermie sowie Darstellungen zu deren räumlichen Verteilung in unterschiedlichen Arten und Größen von Untersuchungsgebieten (Landkreise, Gemeinden, Gemarkungen) aufgezeigt und erläutert. Dabei stehen die genaue Beschreibung der Vorgehensweise und Hinweise auf wichtige Quellen für die Datensammlung im Vordergrund.

Die beschriebenen Verfahren erheben nicht den Anspruch, eine exakte Berechnung der verfügbaren Brennstoffmenge, wie sie für eine konkrete Projektplanung notwendig ist, zu ersetzen. Sie versetzen den Anwender aber in die Lage, eine Abschätzung der Energieträgerpotenziale für die erneuerbaren Energieträger Holz, Solar- und Geothermie für das Untersuchungsgebiet durchführen zu können.

Für die Potenziale aus Holz und Solarthermie werden jeweils drei Verfahren (die zu unterschiedlich genauen Potenzialabschätzungen führen), für die Potenziale aus Geothermie wird ein Weg der Potenzialerhebung vorgestellt. Damit steht dem Anwender einerseits die Möglichkeit zur möglichst zügigen aber groben Potenzialabschätzung und andererseits zur etwas arbeitsintensiveren aber exakteren Abschätzung zur Verfügung. Im Folgenden wird stets der Weg, der den geringsten Arbeitsaufwand erfordert und damit zu dem Potenzial mit der geringsten Genauigkeit führt, zuerst beschrieben. Dieser ist mit Werten, die aus amtlichen Statistiken über Landkreise und Gemeinden, wie z. B. vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg, zu entnehmen sind, zu bedienen. Für den Weg einer Potenzialerhebung mittlerer Genauigkeit bedarf es bereits genauerer statistischer Daten, die entweder ebenfalls aus öffentlich zugänglichen Quellen zu erheben sind oder aus spezifischen Daten des Untersuchungsgebietes bestehen, die über einfache Rechenwege ermittelt oder erhoben werden können. Für Potenzialabschätzungen mit hoher Genauigkeit wird ein Weg aufgezeigt, der einen höheren Arbeitsaufwand zur Ermittlung der notwendigen Daten oder sehr exakte Quellenangaben von fachlich kompetenten Stellen und Personen voraussetzt.

Die Reihenfolge für Beschreibung der unterschiedlichen Wege ist folgende:

- Statistisch abgeleiteter Schätzwert - geringe Genauigkeit
- Statistisch hergeleitete Datenbasis - mittlere Genauigkeit
- Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet - hohe Genauigkeit

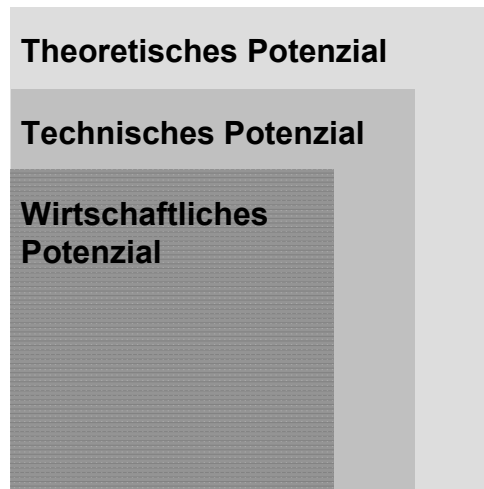
#### 7.1.1 Potenzialbegriff

Das **theoretische Potenzial** oder Gesamtpotenzial umfasst die Gesamtheit des zur Verfügung stehenden Potenzials im Untersuchungsgebiet. Im Falle des Holzes ist dies die gesamte anfallende Holzmasse, bei der Solarthermie die gesamte einfallende Globalstrahlung und bei der Geothermie die gesamte Erdwärme. Dabei ist es für die Erhebung unwichtig, ob das Potenzial tatsächlich genutzt werden kann oder nicht. Somit weist dieses Potenzial die theoretische Obergrenze des Energieangebots auf.

Das **technische Potenzial** beschreibt den Teil des theoretischen Potenzials, der unter technischen und ökologischen Restriktionen genutzt werden kann. Derartige Restriktionen können für das Holzpotenzial der Stand der Erntetechnologie, die Beschaffenheit des Geländes oder etwaige umweltschutztechnische Einschränkungen sein, beim solarthermischen Potenzial die vorhandenen und bebaubaren Dach- oder Freiflächen und bei dem Geothermiepotenzial die Wärmedichte, die Tiefe der Wärmequellen oder etwaige Wasserschutzgebiete.

Das **wirtschaftliche Potenzial** beschreibt den Teil des technischen Potenzials, der unter ökonomischen Gesichtspunkten eine wirtschaftliche Verfügbarmachung und Nutzung erlaubt. Damit ist dieses

Potenzial sowohl stark vom Marktpreis der Energieträger als auch vom Stand und den Kosten der Bereitstellungstechnologie abhängig. Zudem spielen Steuern und Subventionen eine wichtige Rolle für das wirtschaftliche Potenzial.



**Abbildung 7-1:** Unterschiedliche Potenzialbegriffe und deren Abgrenzung

Bei der hier beschriebenen Vorgehensweise wird das **technische Potenzial** erhoben, da dieses anhand der zur Verfügung stehenden Daten und Statistiken relativ gut bestimmt werden kann und zudem den stabilsten Anhaltswert darstellt. Denn bei der Bestimmung des wirtschaftlichen Potenzials ergeben sich vielfältige methodische Schwierigkeiten, so bestehen z. B. je nach Versorgungsfall (Gebäude- und Siedlungstyp) unterschiedliche ökonomische Rahmenbedingungen und es liegt eine starke zeitliche Abhängigkeit vor, da sich das Potenzial in Abhängigkeit zu den Preisschwankungen für Referenzbrennstoffe ständig verändert.

Weiterhin ist beim wirtschaftlichen Potenzial die Erhebung genauerer Angaben erforderlich, etwa im Hinblick auf die Bereitstellungskosten für Biomasse, die im Falle von Holz aus der Forstwirtschaft von unterschiedlichen Parametern wie etwa die Transportentfernung, Holzart, Hangneigung, Abnahmemenge etc. abhängig sind. Die Ermittlung des wirtschaftlichen Potenzials würde den Rahmen eines allgemeinen Leitfadens sprengen.

Zudem werden hier auch keine Randbedingungen des Natur- und Landschaftsschutzes, des Arten- und Flächenschutzes als auch des Boden- und Wasserschutzes berücksichtigt, durch die das wirtschaftliche Potenzial in den meisten Fällen nochmals verringert wird.

Auf der Grundlage des technischen Potenzials, welches dem technischen **Angebotspotenzial** gleichzusetzen ist, wird zudem das technische **Nachfragepotenzial** erhoben. Beim Nachfragepotenzial werden zusätzliche Restriktionen im Hinblick auf die Wärmenachfrage, wie z. B. jahreszeitliche und räumliche Schwankungen zwischen Angebot und Nachfrage und der maximale Wärmebedarf in Gebäudetypen und Wohneinheiten, beachtet (vgl. Kapitel 4 und 5). Das technische Nachfragepotenzial gibt demnach an, welche Menge des technischen Angebotspotenzials in dem Untersuchungsgebiet tatsächlich genutzt werden kann.

### 7.1.2 Bereits genutztes Potenzial

Für das hier abgeschätzte technische Potenzial gilt zu berücksichtigen, dass es nicht unmittelbar gleichzusetzen ist mit dem zusätzlich nutzbaren Potenzial. Es wurde dabei nicht einbezogen, dass sich Teile des Potenzials bereits in Nutzung befinden können. Dieser Umstand sollte in jedem Fall bei der Bewertung der Potenziale Beachtung finden. Im Einzelfall sollten daher auch die bereits in der Nutzung befindlichen Anteile der Potenziale, so gut es geht, erhoben oder abgeschätzt werden. Eine

kleinräumige Schätzung der aktuellen Nutzung auf Ebene der Kreise bzw. Gemeinden ist mit großen methodischen Schwierigkeiten verbunden und wurde im Rahmen dieses Leitfadens deshalb nicht durchgeführt, gleichsam hätte eine empirische Erhebung den Rahmen dieses Leitfadens überschritten.

### 7.1.3 Datenbeschaffung und -qualität

Bei der Datenbeschaffung für die Erhebung der Energieträgerpotenziale trifft der Suchende auf unterschiedliche Informationsquellen und verschiedene Arten von Informationen. Dabei stehen unter anderem statistisches Material, Berichte, Aussagen von Experten oder Luft- und Satellitenbilder sowie Karten zur Verfügung, welche die gesuchten Informationen enthalten. Die räumliche Auflösung der Daten kann dabei von Bundesebene über die Ebene der Bundesländer und Landkreise bis zur Gemeindeebene reichen. Die Genauigkeit der Informationen variiert dabei zwischen einfachen Schätzwerten und exakt erhobenen Daten. Die Datenverfügbarkeit schwankt ebenfalls in einem weiten Bereich.

Die gesammelten Daten müssen vor diesem Hintergrund hinsichtlich ihres Aussagegehaltes und ihrer Genauigkeit beurteilt werden. Das Ergebnis der Potenzialerhebung sollte dementsprechend interpretiert und bewertet werden.

## 7.2 Holzpotenzial

In Baden-Württemberg werden derzeit 1 Mio. m<sup>3</sup> Holz jährlich großteils zur Wärme- als auch zur Stromproduktion verwendet. Darüber hinaus stehen jährlich rund 3,5 Mio. m<sup>3</sup> Holz aus dem Wald und der Säge- und Holzindustrie für eine energetische Verwertung zur Verfügung /Landesforstverwaltung BW 2007/.

Bei der räumlichen Verteilung der Potenziale für energetisch nutzbares Holz muss beachtet werden, dass der Brennstoff Holz aus unterschiedlichsten Quellen bezogen werden kann. Die wichtigsten Quellen sind:

- Wald- und Forstwirtschaft (Wald- und Waldrestholz)
- Landschaftspflege (Landschaftspflegeholz)
- Holz verarbeitende Industrie (Industrie- und Sägerestholz)
- Abfallwirtschaft (Abfall- oder Gebrauchtholz)

Daher ist es zweckmäßig, für die unterschiedlichen Holzarten eigene Abschätzungsverfahren zu definieren. Für den Energieträger Holz werden sowohl das Potenzial für das Untersuchungsgebiet als auch das zusätzliche Potenzial des Kreises, in dem das Untersuchungsgebiet liegt, und der umliegenden Kreise erhoben. Denn das Holzpotenzial kann im Gegensatz zu den Solar- und Geothermiepotenzial durch den Biomassetransport aus dem Umkreis über den direkten Einzugsbereich des Untersuchungsgebietes hinaus erweitert werden.

### Begriffsdefinition

Folgende Fraktionen des **Waldholzes** fallen bei der Waldbewirtschaftung an und werden stofflich oder energetisch genutzt. Zielprodukte der Forstwirtschaft stellen die Sortimente „Stammholz“ und „Industrieholz“ dar. Diese werden der stofflichen Nutzung zugeführt und stehen zumeist einer energetischen Verwertung nicht zur Verfügung. Des Weiteren wird das normalerweise bereits für die Wärmebereitstellung genutzte Sortiment „Brennholz“ ausgewiesen.

Überdies fallen aber auch Fraktionen an, die normalerweise im Wald verbleiben und nicht aufgearbeitet werden. Diese sind unter dem Überbegriff **Waldrestholz** zusammengefasst. Darin enthalten sind das Derbholz (Ast- und Kronenderbholz, Derbholz aus Jungbestandspflege und anbrüchige und stark fehlerhafte Stammabschnitte mit Durchmesser von  $\geq 8$  cm mit Rinde) und das Reisholz. Das Derbholz fällt bei Durchforstungsmaßnahmen an, bei denen das wertvolle Waldholz geerntet wird. Unter

den Begriff Reisholz fallen Stammabschnitte und Äste mit einem Durchmesser kleiner 8 cm. Derbholz und Reisholz stehen für eine zusätzliche energetische Nutzung zur Verfügung.

Das **Landschaftspflegeholz** stellt den Anteil des Landschaftspflegematerials dar, der sich aus den holzartigen Pflanzenteilen zusammensetzt, die vorwiegend bei landschaftsgärtnerischen Pflegemaßnahmen wie Pflegeschnitt in Parks, Friedhöfen und an Feldrändern und Gewässerbegleitflächen anfallen. Zudem fällt Landschaftspflegeholz beim Freihalte- und Pflegeschnitt von Bahntrassen, Verkehrswegen und Überlandleitungen an. Der nicht holzartige Teil des Landschaftspflegematerials ist der Grünschnitt, welcher aus krautigen und halmgutartigen Pflanzenteilen besteht. Dieser wird hier nicht betrachtet, obwohl er mengenmäßig den überwiegenden Teil des bundesweit anfallenden Landschaftspflegematerials ausmacht.

Unter **Industrie- und Sägereestholz** werden die Holzfraktionen verstanden, welche bei der industriellen Weiterverarbeitung von Holz (Möbelindustrie, Sägewerke, Papierindustrie) als Neben- bzw. Abfallprodukt anfallen. Dies können Hackschnitzel, Sägespäne, Holzstaub, Schwarten und Spreißel sein. In vielen Fällen ist das Industrierestholz entrindet und getrocknet und stellt damit einen hochwertigen Holzrohstoff dar.

**Abfall- und Gebrauchtholz** fällt dort an, wo Holz aus dem stofflichen Nutzungsprozess ausscheidet (z. B. Gebäudeabriss, Bahngleiserneuerung, Altmöbelentsorgung). Entsprechend der Vorbehandlung des Holzes mit chemischen Holzschutzmitteln, Lacken, Farben oder anderen Verunreinigungen wird das Altholz klassifiziert (Klassen AI – AIV und PCB-Altholz).

In einzelnen Fällen kann auch ein nennenswerter Anfall von Holz aus Obstplantagen oder Parkanlagen auftreten. Von einer Erhebung dieser Potenziale wird hierbei aufgrund der geringen Relevanz dieses Holzsortimentes in der Praxis Abstand genommen.

### 7.2.1 Wald- und Waldrestholz

Bei der Erhebung von Waldholzpotenzialen sollten die Besitzstrukturen vor Ort berücksichtigt werden. Körperschafts- und Privatwald stellen den Großteil der Waldfläche von insgesamt rund 1,38 Mio ha in Baden-Württemberg. Aber auch Staatswald, mit etwa 330.000 ha, kann regional große Waldflächen ausmachen. Für die Potenzialerhebung ist vor allem bei dem Privatwald die stark heterogene Besitzstruktur im Hinblick auf die Größe der Waldflächen zu beachten. Dem hier vorgestellten Abschätzverfahren für Waldholz liegt eine Statistik der Forstdirektion Freiburg zugrunde. In dieser wird Privatwald <200 ha und  $\geq 200$  ha erfasst. Etwa 200.000 Besitzer teilen sich die rund 505.000 ha Privatwald in Baden-Württemberg /Brandl 2001/. Vom Gesamtprivatwald in BW fallen rund 340.000 ha auf Besitz <200 ha und rund 165.000 ha auf Besitz  $\geq 200$  ha. Etwa drei Viertel der Besitzer nennen jeweils weniger als 1 ha Wald ihr Eigen. Dieser Umstand bedingt eine möglichst genaue Erhebung des Privatwaldanteils für die Potenzialerhebung. Denn der Klein-Privatwald ist eine schwer bewirtschaftbare Waldbesitzart, die darin enthaltenen Holzpotenziale sind nur schwer zu erreichen. Waldbesitzervereinigungen in der Region können nähere Informationen über die Besitzstruktur und die Möglichkeiten der Bewirtschaftung des Privatwaldes geben.

Das grundsätzlich zur Verfügung stehende Waldholzpotenzial setzt sich aus einem Anteil des Sortimentes „Industrieholz“ und dem „Brennholz“ zusammen. Da das Industrieholz vorwiegend der stofflichen Verwertung zugeführt wird, steht im Einzelfall lediglich ein Teil dieses Sortimentes als Potenzial für die energetische Verwertung zur Verfügung. Dieser Anteil schwankt allerdings stark und hängt sehr stark vom Einzelfall vor Ort ab. Daher wird für die hier beschriebenen Abschätzungen geringer und mittlerer Genauigkeit auf die Berücksichtigung des Industrieholzes verzichtet. Für die Abschätzung hoher Genauigkeit sollte dieser allerdings berücksichtigt werden. Der Großteil des Brennholzes wird bereits einer energetischen Nutzung, vorwiegend in Privathaushalten (Selbstwerber, Flächenlose), zugeführt. Daher ist lediglich ein Teil des Brennholzpotenzials für eine anderweitige energetische Nutzung als der in Privathaushalten verfügbar. Wenn aufgrund der gegebenen Marktsituation Teile des

Sortimentes „Industrieholz“ nicht einer energetischen Nutzung zugeführt werden können, steht also neben dem bereits energetisch genutzten Brennholz nur die Mengen an Reisholz und geschätztem Derbholz für eine zusätzliche energetische Nutzung bereit. Näherungsweise Angaben über die Mengen an Derbholz und Reisholz können von den unteren Forstbehörden eingeholt bzw. den Revierleitern erfragt werden.

**Methode mit statistisch abgeleitetem Schätzwert - geringe Genauigkeit:**

Anhand der in dem Untersuchungsgebiet enthaltenen Waldfläche in ha kann auf die zu erwartenden Energieholzpotenziale geschlossen werden. Die Forstdirektion Freiburg /Textor 1995/ geht davon aus, dass das Energieholzpotenzial durchschnittlich bei etwa 1,5 Fm / (ha a) liegt. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass für den schwer zu bewirtschaftenden Kleinprivatwald ein Teil der Waldfläche abgezogen wird. Liegen keine Informationen über die tatsächliche Besitzstruktur vor Ort vor, so kann der durchschnittliche Kleinprivatwaldanteil (<200 ha) für BW von rund 25 % an der Gesamtwaldfläche zugrunde gelegt werden. Daher sollte die Waldfläche für die Potenzialerhebung um ¼ reduziert werden. Liegen genaue Informationen über die Besitzstruktur vor, so sollte die Waldfläche lediglich um den tatsächlichen Anteil des Kleinprivatwaldes (<200 ha) reduziert werden.

Das Statistische Landesamt Baden-Württemberg bietet für das Land Baden-Württemberg, dessen Kreise und dessen Gemeinden eine Erhebung der Waldflächen an. Dabei werden allerdings keine Angaben über die Baumartenverteilung oder die Besitzverhältnisse gemacht.

$$(\text{Waldfläche [ha]} - \text{Waldfläche Kleinprivatwald (<200 ha) [ha]}) \cdot 1,5 \text{ [Fm/ha]} = \text{Waldholzpotenzial [Fm]} \quad (7-1)$$

Falls Informationen über den bereits genutzten Anteil des Energieholzes vorliegen kann das hier geschätzte technische Potenzial durch diese ergänzt werden. Dadurch erhält der Anwender eine genauere Einschätzung über das freie Potenzial.

**Methode mit statistisch hergeleiteter Datenbasis - mittlere Genauigkeit**

Die Baumartenverteilung ist für die genauere Erhebung der Potenziale wichtig, da die unterschiedlichen Baumarten unterschiedliche Energieholzpotenziale aufweisen. Informationen über die Baumartenverteilung sollten, wenn möglich, mit dem Forstpersonal abgestimmt werden. /Siegmond und Frommherz 2000/ geben langjährige Erfahrungswerte für das im Wald verbleibende Derbholz von 20 % vom Holzaufkommen bei Laubholz und 8 % bei Nadelholz an. Das Potenzial an Reisholz veranschlagen /Siegmond und Frommherz 2000/ mit 7,5 % bei Laubholz und 4,2 % bei Nadelholz.

$$(\text{Reisholz [Fm]} + \text{Derbholz [Fm]} + \text{Brennholz [Fm]}) = \text{Waldholzpotenzial [Fm]} \quad (7-2)$$

Auch hier sollte, wenn möglich, der bereits genutzte Anteil des Potenzials berücksichtigt werden, um das freie und damit nutzbare Potenzial abschätzen zu können. Dabei wären genaue Angaben für die einzelnen Potenzialfraktionen Reis-, Derb-, Brennholz vorteilhaft.

Eine alternative Methode für die Potenzialabschätzung, ohne die Information über die Baumartenverteilung sondern lediglich über den Gesamteinschlag, stellt sich wie folgt dar. Liegen Einschlagsstatistiken vor, so kann mit durchschnittlich 17,1 % vom Gesamteinschlag für Reisholz /Fischer 1995/ gerechnet werden. Das Brennholzaufkommen und das Derbholzaufkommen werden ausgewiesen und sollten auf die Fläche im Untersuchungsgebiet umgerechnet werden. Liegen keine Angaben über das Derbholzaufkommen vor, so können rund 6,1 % vom Gesamteinschlag für Derbholz /Fischer 1995/ angenommen werden.

### **Methode der exakten Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet - hohe Genauigkeit**

Um relativ genauen Angaben für das Untersuchungsgebiet zu erhalten, sollte einer Befragung von Fachpersonal bzw. Fachinstitutionen durchgeführt werden. Generell sollten zur genauen Bestimmung der Holzpotenziale detaillierte Informationen über die vorhandenen Waldflächen, die Baumartenverteilung und die Besitzstrukturen in dem untersuchten Gebiet eingeholt werden. Diese Informationen über energetisch nutzbares Waldholz sind z. B. bei der unteren Forstbehörde oder dem Landratsamt vorhanden. Das Fachpersonal (Förster, Forstamtspersonal) kann genaue Angaben über den qualitativen und quantitativen Anfall von potenziellem Energieholz machen und ggf. auch räumlich untergliedern. Das Forstpersonal kann überdies die Mengen an Derbholz und Reisholz abschätzen. Eine genaue Erhebung dieser Holzanteile wird im normalen Forstbetrieb nicht vorgenommen. Daher ist in jedem Falle eine exakte Angabe nicht möglich.

Waldbesitzervereinigungen stellen eine weitere Quelle für Informationen vor allem über den Privatwald dar. Auch hier können ggf. Daten über die räumliche Verteilung des Anfalls von Holzsortimenten erhalten werden. Generell ist jedoch festzustellen, dass bei der Potenzialerhebung der Privatwald getrennt vom Staats- bzw. Kommunalwald zu erheben bzw. die unterschiedliche Besitzstruktur und Bewirtschaftung zu berücksichtigen ist. Obwohl für den meist kleinräumig verteilten Privatwald ein theoretisches Potenzial mit grundlegenden Daten herzuleiten ist, ist das nutzbare Potenzial aufgrund der Besitzstruktur und der stark unterschiedlichen Nutzungsweisen nur schwer zu erheben. Damit ist bei der Berücksichtigung des Privatwaldes das geschätzte Potenzial mit einer stärkeren Unsicherheit behaftet.

Eine Analyse und Auswertung von Luftbilddaten kann ergänzend durchgeführt werden, um Informationen über die räumliche Verteilung, die Baumartenbestandteile, die Höhe der Bestände und evtl. auch die Geländeneigung zu erarbeiten. In den Forst- und Landratsämtern steht zumeist Kartenmaterial für den Staats- und Kommunalwald, in den Waldbesitzervereinigungen für den Privatwald zur Verfügung. Ist dies nicht der Fall, so können Luftbilder und Karten z. B. beim Landesvermessungsamt bezogen und hinsichtlich der Waldfläche und evtl. der Baumartenzusammensetzung ausgewertet werden.

#### **Quellen für die Erhebung der Waldholzpotenziale:**

- Untere Forstbehörde (Landratsamt),
- Revierförster,
- Forstdirektionen Freiburg und Tübingen, Abteilung 8 im Regierungspräsidium, ([www.rp.baden-wuerttemberg.de](http://www.rp.baden-wuerttemberg.de))
- Waldbesitzervereinigung,
- Landesforstverwaltung (<http://www.wald-online-bw.de>, 0711/126-2118),
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>),

### **7.2.2 Landschaftspflegeholz**

Im Gegensatz zur Erhebung des Waldrestholzpotenzials steht bei der Erhebung des Landschaftspflegeholzpotenzials zumeist kein Datenmaterial und auch kein Kartenmaterial zur Verfügung. Die Datengrundlage für das Potenzial an Landschaftspflegeholz ist im Allgemeinen nicht zufrieden stellend. Bisher wird ein Großteil des holzartigen Pflegeschnittes vor Ort als Mulch genutzt. Teilweise wird das Landschaftspflegeholz auch zu Sammelstellen transportiert und dort deponiert oder kompostiert. Eine energetische Nutzung ist derzeit nur in wenigen Fällen realisiert.

/Mantau 2004/ gibt für das Jahr 2002 ein gesamtdeutsches Potenzial für Landschaftspflegeholz von 0,653 Mio.  $t_{\text{atro}}$  (atro = absolut trocken; 0 % Wassergehalt) an. Davon wurden schätzungsweise bereits 0,286 Mio  $t_{\text{atro}}$  in Biomasseheiz(kraft)werken genutzt. Daraus ergibt sich für das Jahr 2002 eine Reserve von 0,367 Mio  $t_{\text{atro}}$ . Dabei ist die Datenerhebung genauso komplex wie die unterschiedlichen Herkünfte des Landschaftspflegeholzes. Anlaufstellen können hier die kommunalen Abfallentsorgungsbe-

triebe, Deponien, Autobahnmeistereien, kommunale und private Gärtnerei- und Landschaftspflegebetriebe, Wasserschutzamt, Die Bahn AG, der Bauernverband, Park- und Friedhofverwaltung u. ä. sein. Eine Schätzung ergab einen Frischmassezuwachs von etwa 5 t/(ha a) /Region Stuttgart 2000/, der allerdings standortbedingt starken Schwankungen unterworfen ist. Bei einer entsprechenden Nutzung des Materials wird von einem technisch erschließbaren Anteil von 70 % ausgegangen.

#### **Methode mit statistisch abgeleitetem Schätzwert - geringe Genauigkeit:**

/Mantau 2004/ gibt ein durchschnittliches bundesdeutsches pro Kopf Potenzial für Landschaftspflegeholz von 8,2 kg<sub>atro</sub> (=152 MJ) an. Über die Multiplikation der Anzahl der im betreffenden Untersuchungsgebiet lebenden Personen mit dem pro Kopf Potenzial ergibt sich ein Näherungswert für das zu erwartende Potenzial. Dabei sollte jedoch zusätzlich abgeschätzt oder mit fachkundigen Personen abgeklärt werden, wie viel des Potenzials in etwa bereits genutzt wird.

$$\text{Einwohner im Untersuchungsgebiet} \cdot 152 \text{ [MJ]/1000} = \text{Potenzial Landschaftspflegeholz [GJ]} \quad (7-3)$$

Das Statistische Landesamt Baden-Württemberg veröffentlicht die Abfallbilanz, in der die Kategorie „Grünabfälle“ ausgewiesen wird. Diese beinhaltet die auf öffentliche Sammelplätze verbrachten Mengen an Landschaftspflegematerial wobei, lediglich ein Teil davon, abhängig von der Art der gepflegten Flächen (Wiesen, Parks, Strassen, Gewässer) holzartig ist.

#### **Methode mit statistisch hergeleiteter Datenbasis - mittlere Genauigkeit**

Bei dieser Vorgehensweise wird das Potenzial über die Landschaftspflegefläche im Untersuchungsgebiet geschätzt. Nach /Region Stuttgart 2000/ kann mit durchschnittlich 5 t Zuwachs an Frischmasse pro Jahr und Hektar Pflegefläche gerechnet werden. Für die Erhebung der unterschiedlichen Pflegeflächen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Für die Gehölzfläche an Verkehrswegen gibt /Rösch 1996/ einen bundesdeutschen Durchschnitt von 0,6 ha je Autobahnkilometer und 0,2 ha je Bundes-, Landes- und Kreisstraßenkilometer an. Im Falle der Verkehrsflächen kann somit über die Anzahl an Straßenkilometern im Untersuchungsgebiet auf die damit verbundenen Pflegeflächen geschlossen werden. Richtwerte für Wasserflächen, Bahntrassen oder Parkflächen können hier nicht angegeben werden. Von dem Gesamtpotenzial an Landschaftspflegeholz stehen etwa 70 % für eine Nutzung zur Verfügung /Region Stuttgart 2000/.

$$\text{Pflegeflächen [ha]} \cdot 5 \text{ [t FM/ha]} \cdot 0,7 = \text{Potenzial an Landschaftspflegeholz [t FM]} \quad (7-4)$$

t FM = Tonne Frischmasse (bei etwa 50 % Wassergehalt des Holzes)

Methoden zur Ermittlung der Landschaftspflegeflächen werden in /Meinhardt 2000/ und /VRS 2000/ dargestellt. Hier wird der Weg über die Auswertung von Luftbildern und Satellitendaten (ATKIS, Landsat) in Bezug auf Größe und räumliche Verteilung der Flächen beschrieben.

#### **Methode der exakten Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet - hohe Genauigkeit**

Zur relativ genauen Erhebung des Landschaftspflegeholzpotenzials bedarf es exakter Angaben von den wichtigsten Betrieben, die mit der Aufbereitung und der Abnahme von Landschaftspflegeholz in Verbindung stehen. Dies sind vor allem Deponien, Abfallentsorgungsunternehmen, Autobahnmeistereien, kommunale Landschaftspflegebetriebe und Entsorgungsunternehmen, etc. Diese sollten möglichst genau erfasst und befragt werden, um genaue Angaben über den Anfall von Landschaftspflegeholz und die bereits in Nutzung befindlichen Anteile zu erlangen.

### Quellen für die Erhebung der Landschaftspflegeholzpotenziale:

- Deponien
- Autobahnmeistereien
- (Landschafts-)Gärtnereien
- kommunale Landschaftspflegebetriebe
- Parkverwaltungen
- Deutsche Bahn AG
- Abfallwirtschaftsamt
- Behörden, verantwortlich für den Gewässerschutz im Untersuchungsgebiet und dessen Umgebung
- Karten- und Bildmaterial: Internet, DKG, Landratsamt, DB AG, Autobahnmeistereien, ATKIS, Landsat-Auswertungen

### 7.2.3 Industrie- und Sägerestholz

Diese Kategorie des Holzpotenzials findet zumeist Absatz in der stofflichen Nutzung (Holzwerkstoff und Papierindustrie). Zu geringeren Teilen wird das Industrierestholz aber auch bereits am Ort des Anfalls energetisch genutzt (Heizung, Holz Trocknung). Das zum Teil getrocknete, entrindete und aufbereitete Holz stellt einen hochwertigen Energieträger dar. Die Herkünfte können sehr unterschiedlich sein. Zu den regional wichtigsten Quellen zählen:

- Sägeindustrie
- Holzwerkstoffindustrie
- Möbelindustrie
- Holzschliff- und Zellstoff
- Zimmereihandwerk

Statistisch wird das Industrierestholz nicht erfasst. Die Potenziale sind nur schwer anzugeben und können lediglich entweder näherungsweise über eine Befragung der Betriebe bestimmt oder über indirekte Schlüsselgrößen abgeschätzt werden.

#### **Methode mit statistisch abgeleitetem Schätzwert - geringe Genauigkeit:**

Hier wird ein durchschnittlicher Wert im Landkreis für den Anfall von Industrierestholz pro Einwohner /Meinhardt 2000/, der für energetische Verwendung zur Verfügung steht, mit der Anzahl der im Untersuchungsgebiet ansässigen Einwohner multipliziert. Der Wert variiert zwischen 0,0 und 0,4  $t_{atro}/EW$ . Die niedrigsten Werte sind in den Stadtkreisen zu finden, die höchsten in den eher ländlich geprägten Kreisen. Nach /Region Stuttgart 2000/ stehen etwa 25 % des anfallenden Industrierestholzes für eine energetische Nutzung zur Verfügung. Der Rest wird entweder stofflich genutzt oder am Ort des Anfalls innerbetrieblich zur Energiebereitstellung verwandt.

Kreisspezifischer Anfall je Einwohner [ $t_{atro}/EW$ ] · Anzahl Einwohner · 0,25 = Potenzial Industrierestholz [ $t_{atro}$ ] (7-5)

$t_{atro}$  = Tonne absolut trocken (bei 0 % Wassergehalt des Holzes)

#### **Methode mit statistisch hergeleiteter Datenbasis - mittlere Genauigkeit**

Für die hier erläuterte Herleitung der Potenziale werden Angaben über den Holzverbrauch im Bereich der Holzverarbeitenden Industrie und den durchschnittlichen Anfall von Restholz in Bezug auf die verarbeitete Menge Rohholz benötigt. Diese kann z. B. durch eine Umfrage der im Untersuchungsgebiet ansässigen Holzverarbeitenden Betriebe ermittelt werden. Ein Richtwert für den Anfall von Restholz in



Bezug auf das eingesetzte Rohholz wird nach eigenen Annahmen auf 35 % geschätzt, was einem Wert von  $0,14 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{Fm}$  entspricht. Auch hier wird von einem nutzbaren Anteil von 25 % ausgegangen.

$$\text{Verarbeitete Menge Rohholz [Fm]} \cdot 0,14 \text{ [t}_{\text{atro}}/\text{Fm}] \cdot 0,25 = \text{Potenzial Industrierestholz [t}_{\text{atro}}] \quad (7-6)$$

### **Methode der exakten Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet - hohe Genauigkeit**

Eine Umfrage innerhalb der holzverarbeitenden Betriebe in der Region kann eine genaue Abschätzung der anfallenden Mengen und zur energetischen Verwendung zur Verfügung stehenden Potenziale ermöglichen. Ist die Datenerhebung über eine Befragung nicht möglich, so stehen evtl. Informationen der IHK über die Anzahl und Größe der holzverarbeitenden Betriebe zur Verfügung, über welche die Holzpotenziale abzuschätzen sind.

### **Quellen für die Erhebung der Industrieholzpoteziale:**

- Betriebe der holzverarbeitenden Industrie im Untersuchungsgebiet und dessen Umgebung (Sägewerke, Möbelindustrie, Holzwerkstoffbetriebe, größere Schreinereien, Papierindustrie)
- Handelsregister der Kommune (Ort, evtl. Art und Größe des Betriebes)

### **7.2.4 Altholz (Abfall- und Gebrauchholz)**

Wie beim Industrierestholz ist auch für das Altholz eine genaue Erhebung nur schwer möglich. Der Altholzanfall unterliegt starken regionalen Schwankungen und ist u. a. abhängig vom Industrialisierungsgrad, der Bevölkerungsdichte und dem Wohlstand der Bevölkerung /Region Stuttgart 2002/. Eine gesonderte statistische Erfassung des Altholzes findet nicht statt, sondern wird unter anderen Kategorien erfasst. Das Statistische Landesamt Baden-Württemberg weist für Abfälle z. T. auch nur kreisgenaue Angaben aus.

Altholz wird nach der Altholzverordnung entsprechend der Behandlung mit chemischen Holzschutzmitteln oder Lacken und Farben in die fünf Kategorien AI bis AIV und PCB-Altholz unterteilt. Für die energetische Nutzung der unterschiedlichen Altholzsortimente sind die Richtlinien und Vorgaben für die Luftreinhalte nach Bundes-Immissionsschutzgesetz zu beachten.

Im Falle des Altholzes werden hier lediglich zwei verschiedene Wege der Potenzialerhebung aufgezeigt. Eine genaue Bestimmung ist in den meisten Fällen nur unter hohem Arbeitsaufwand möglich.

Beim Anfall von Altholz kann aufgrund der hohen Qualitätsunterschiede und der unterschiedlich hohen Belastungsgrade nicht das gesamte Potenzial für eine Nutzung in Betracht gezogen werden. Daher wird hier bei beiden Erhebungsmethoden von dem Altholzanfall lediglich ein Prozentsatz von 25 % als energetisch nutzbar angenommen.

### **Methode mit statistisch abgeleitetem Schätzwert - geringe Genauigkeit:**

Für die Abschätzung der gesamten anfallenden Menge an Altholz kann ein durchschnittlicher bundesdeutscher Pro-Kopf-Wert herangezogen werden /Meinhardt 2000/. Dieser beträgt etwa  $0,1 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{Einwohner}$  und Jahr. Für die betrachtete Region muss daher lediglich die Einwohnerzahl erhoben und mit dem Pro-Kopf-Wert verrechnet werden. Davon stehen für die energetische Verwertung lediglich etwa 25 % zur Verfügung /Region Stuttgart 2000/.

$$\text{Anzahl Einwohner} \cdot \text{Anfall pro Einwohner [t}_{\text{atro}}/\text{EW}] \cdot 0,25 = \text{Potenzial Altholz [t}_{\text{atro}}] \quad (7-7)$$

### **Methode der exakten Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet mittlere / hohe Genauigkeit**

Über die Anlagen zur Aufbereitung von Holzabfällen in der Region kann das Aufkommen näherungsweise ermittelt werden. Diese wurden 1999 von der Landesanstalt für Umweltschutz für Baden-

Württemberg erhoben /LfU 2003/ zusammengestellt. Überdies stellt das Statistische Landesamt Daten zur gewerblichen Abfallwirtschaft bereit und das Umweltministerium Baden-Württemberg veröffentlicht die Abfallbilanz. In einigen Stadt- und Landkreisen wird seit kurzer Zeit die Kategorie EBS (Ersatzbrennstoff) erhoben und ausgewiesen. Aus den Kategorien Gewerbe- und Baustellenabfall als auch Haus- und Sperrmüll können Anteile für die energetische Nutzung abgeleitet werden. Über eine Befragung des Fachpersonals der Abfallbetriebe können relativ genaue Rückschlüsse auf verwendbaren Anteile und das Potenzial an Altholz gezogen werden.

#### **Quellen für die Erhebung der Altholzpoteziale:**

- Deponien
- Abfallwirtschaftsamt
- Abriss- und Bauunternehmen

#### **Zusammenfassung**

Anhand der erhobenen Holzpotenziale und deren räumlicher Verteilung kann abgeschätzt werden, ob der Brennstoffbedarf einer Biomasseanlage, wie z. B. ein Heiz- oder Heizkraftwerk, mit dem Potenzial des Untersuchungsgebietes gedeckt werden kann. Wie in Kapitel 10.6 für die vier Beispielgemeinden Mauenheim, Schwendi, Rottweil und Heilbronn dargestellt, zeigt sich, dass für einen nennenswerten Beitrag des Holzes zur Deckung des Wärmebedarfes zudem auf das Potenzial des Kreises oder der angrenzenden Kreise zurückgegriffen werden muss. Zur Ermittlung dieser Potenziale können die hier vorgestellten Abschätzungsverfahren ebenfalls herangezogen werden. Die entsprechenden Daten über z. B. Einwohner und Flächennutzung der Kreise können aus den Statistiken des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg entnommen werden. Detaillierter Angaben über z. B. den Einschlag oder die Anzahl holzverarbeitender Betriebe im Kreis werden zumeist im Zuge der Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet automatisch miterhoben, da die Daten nicht immer in kleinräumiger Auflösung sondern eher auf Kreisebene vorhanden sind.

#### **7.3 Potenzial der Solarthermie**

Solarthermische Kollektoren werden zumeist auf Dachflächen installiert, können aber auch auf Freiflächen aufgestellt werden. Grundlegende Informationen über Dachflächen (Flächengröße, Art, Neigung) werden in amtlichen Statistiken nicht erfasst und liegen nur in Einzelfällen bzw. für Teilgebiete vor. Aus diesem Grund müssen die Dachflächen für eine Potenzialerhebung abgeschätzt werden.

Das technische Angebotspotenzial für Wärme wird dann auf Basis der zur Verfügung stehenden Dachflächen und der jährlichen flächenspezifischen Wärmeerträgen für Solarkollektoren errechnet. Dass die solarthermische Nutzung der Dachflächen in Konkurrenz zu einer möglichen photovoltaischen Nutzung steht, wird hierbei nicht berücksichtigt.

Anhand von handelsüblichen Anlagen werden die installierbare Leistung und die daraus resultierende potenzielle Jahresarbeit errechnet. Solarthermische Wärmebereitstellung kann zur Deckung des Brauchwasser-, Raum-, und Prozesswärmenachfrage in Haushalten, GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistung) und Industrie dienen. /Kaltschmitt 1990/ geht für die Berechnung der Jahreswärmemenge von einer jährlichen Vollaststundenzahl von 800 Stunden aus. Aus den erhobenen Gesamtflächen und den Energieerträgen der Kollektoren (etwa 1.500 bis 1.800 MJ/(m<sup>2</sup>·a) in den Wärmespeicher) errechnet sich das technische Angebotspotenzial. Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird hier mit 1.500 MJ/(m<sup>2</sup> a) gerechnet.

Da Solarstrahlungsangebot und Wärmenachfrage zeitlich kaum korrelieren, ist es wichtig, eine Abschätzung für die tatsächlich und effektiv im Energiesystem nutzbare Wärmeenergie vorzunehmen.

Aus dem technischen Angebotspotenzial resultiert bei einer Verschneidung mit den tatsächlich nachgefragten Wärmemengen im Untersuchungsgebiet, das technische Nachfragepotenzial. Im Folgenden

werden die Abschätzungen sowohl für das technische Angebotspotenzial als auch für das Nachfragepotenzial beschrieben.

**Methode mit statistisch abgeleitetem Schätzwert - geringe Genauigkeit:**

Bei dieser Verfahrensweise zur Erhebung des technischen Angebotspotenziales wird lediglich das Potenzial für Wohngebäude und nicht für Gebäude der Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistung oder Industrie erhoben.

In Anlehnung an Untersuchungen von Scheffler werden für die verschiedenen Gebäude- und Wohnungsarten unterschiedliche Grundflächen zu Grunde gelegt /Scheffler 2002/, /Blesl 2000/. Das Statistische Landesamt BW gibt Daten für diese Kategorien aus. In die erste Kategorie (Gebäude mit 1 Wohnung) fallen alle Einfamilienhäuser, egal ob sie einzeln oder im Zweier- oder Reihenhausverbund stehen (Doppelhaushälften gehören ebenfalls in Kategorie 1). In die zweite Kategorie (Gebäude mit zwei Wohnungen) fallen z. B. sehr kleine Mehrfamilienhäuser oder Einfamilienhäuser mit Einliegerwohnungen, in jedem Gebäude befinden sich aber zwei Wohneinheiten. Die dritte Kategorie (Gebäude mit 3 oder mehr Wohnungen) beinhaltet alle Mehrfamilienhäuser mit mindestens drei Wohnungen. Nachdem die Grundfläche dieser Gebäude mit Hilfe von Richtwerten abgeschätzt wurde, kann dann wie folgt auf die vorhandene Dachfläche geschlossen werden.

Das Verhältnis zwischen Gebäudedach- (AD) und -grundfläche (AG) wird maßgeblich durch die Neigung des Daches ( $\gamma_D$ ) bzw. der Module bestimmt. Die nutzbare Dachfläche AD kann durch die Gleichung

$$AD/AG = 1/\cos \gamma_D \quad (7-8)$$

berechnet werden. An dieser Stelle wird von einem Winkel von 30 Grad und folglich von einem Verhältnis von Gebäudedach- zu Grundfläche von 1,15 ausgegangen. Aufgrund von Dachaufbauten (Gauben, Kamine, Lüftungsschächte, Satellitenschüsseln etc.), Dachneigungen und Dachausrichtungen reduziert sich das nutzbare Dachflächenpotenzial allerdings. Ca. 15 % der gesamten Dachflächen sind für solarthermische Anlagen nutzbar (/Region Stuttgart 2000/, /Staiß 2000/, /Kaltschmitt 1990/).

Abgeschätzte Gebäudegrundfläche [ $m^2$ ]  $\cdot$  1,15  $\cdot$  0,15  $\cdot$  1.500 [ $MJ/(m^2 a)$ ] = technisches Angebotspotenzial für Solarthermie [ $MJ/a$ ] (7-9)

Für das Untersuchungsgebiet muss daher nur die Anzahl der unterschiedlichen Gebäude und Wohnungen erhoben werden, um zu einer näherungsweisen Abschätzung des Potenzials zu gelangen. Ist diese Information nicht vorhanden, so kann alternativ für den Kreis oder die Gemeinde, in der das Untersuchungsgebiet liegt, ein Wert errechnet und auf das Untersuchungsgebiet umgerechnet werden. Dies kann über die Siedlungsflächenanteile des Untersuchungsgebietes an den Siedlungsflächen des Kreises oder ggf. der Gemeinde erfolgen.

Eine weitere Möglichkeit wird hier für eine alternative Abschätzung der Angebotspotenziale kurz erläutert. /Quaschnig 2000/ greift auf die Statistiken der Wohnflächen zurück. Über die Wohnfläche folgert er auf die Gesamtdachfläche des Wohngebäudebestandes. Einige Untersuchungen weisen auf ein Verhältnis von Dach- zu Wohnflächen zwischen 0,72 und 0,82 hin /Quaschnig 2000/. Liegen also Daten über Wohnflächen im Untersuchungsgebiet vor, so kann für einen Quervergleich das Potenzial auch anhand dieser Daten abgeschätzt werden. Dabei muss die Wohnfläche ( $m^2$ ) mit dem Faktor 0,77 (Mittelwert aus 0,72 und 0,82) multipliziert werden, um auf die Dachfläche zu kommen, Mit der Dachfläche wird dann wie bei der oben vorgestellten Berechnung verfahren.

Das technische Nachfragepotenzial wird hier für zwei unterschiedliche Fälle abgeschätzt: Zum einen für die Bereitstellung von Brauchwasser, zum anderen für die gekoppelte Brauch- und Heizwasserbe-

reitstellung. Die Annahmen, die für die Wärmenachfrage der Gebäude zugrunde gelegt werden, werden im Folgenden erläutert.

Für den Brauchwasserbedarf in Wohneinheiten in Ein- und Zweifamilienhäuser, wird wie in Kapitel 5.3, bei der Ermittlung des Wärmebedarfs im Wohnungssektor, eine Wärmenachfrage von 1.610 kWh/a in Einfamilienhäusern und für Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern 1.300 kWh/a veranschlagt. Der solare Deckungsgrad für Brauchwarmwasser in EFH und ZFH wird mit 60 % und in MFH mit 40 % angenommen.

$$\text{WE (EFH und ZFH)} \cdot 1.610 \text{ [kWh/a]} \cdot 0,6 + \text{WE (MFH)} \cdot 1.300 \text{ [kWh/a]} \cdot 0,4 = \text{Technisches Nachfragepotenzial [kWh/a]} \quad (7-10)$$

mit: WE = Wohneinheit

Für die Herleitung des technischen Nachfragepotenzials für die gekoppelte Brauch- und Warmwasserbereitstellung werden folgende nachfrageseitige Restriktionen berücksichtigt. Abgeleitet aus den Ergebnissen in Kapitel 5 wird der Wärmebedarf für Brauch- und Heizwasser dabei pro EFH mit rund 20.700 kWh/a sowie pro Wohneinheit im ZFH mit 22.200 kWh/a und im MFH mit rund 10.200 kWh/a angesetzt. Durch die solarthermische Nutzung kann ein Anteil des Wärmebedarfs in Höhe von 30 % (EFH und ZFH) bzw. 20 % (MFH) gedeckt werden.

$$\text{EFH} \cdot 20.700 \text{ [kWh/a]} \cdot 0,3 + \text{WE (ZFH)} \cdot 22.200 \text{ [kWh/a]} \cdot 0,3 + \text{WE (MFH)} \cdot 10.200 \text{ [kWh/a]} \cdot 0,2 = \text{Technisches Nachfragepotenzial [kWh/a]} \quad (7-11)$$

mit: WE = Wohneinheit

#### **Methode mit statistisch hergeleiteter Datenbasis - mittlere Genauigkeit:**

Eine genauere Methode zur Ermittlung der Dachflächen führt über den Weg der Siedlungstypisierung und die Erhebung der Grundflächen.

Mit der Siedlungstypmethode wird das technische Angebotspotenzial nicht gebäudescharf, sondern für einzelne Siedlungsgebiete unterschiedlicher Größe ermittelt. Die einzelnen Gebiete, die durch ein einheitliches städtebauliches Erscheinungsbild geprägt sind, werden hierbei zu Typen mit einheitlichen charakteristischen Merkmalen zusammengefasst (siehe Kapitel 5.2). So kann z. B. über entsprechende Schätzwerte (Mittelwerte für die jeweilige Gebäudeart, Faktoren) die jeweiligen nutzbaren Dachflächen ermittelt werden.

$$\sum_{i=1}^{12} (\text{Fläche Siedlungstyp}_i \text{ [ha]} \cdot \text{Typwert}_i \text{ [MJ/ha]}) = \text{Solarthermiepotenzial [MJ]} \quad (7-12)$$

Für die hier vorgestellte Vorgehensweise werden 12 unterschiedliche Siedlungstypen ausgewiesen (siehe Kapitel 5). Neben den Dachflächen von Wohngebäuden und Gebäuden können die von Nichtwohngebäuden im GHD, (Gewerbe, Handel, Dienstleistung) sowie Freiflächen (Parkplätze) oder Freibadanwendungen von Interesse sein. Daten für diese Dach- oder Freiflächen müssen ebenfalls abgeschätzt oder erhoben werden.

Das technische Nachfragepotenzial mittlerer Genauigkeit wird ebenfalls über die unterschiedlichen Siedlungstypen hergeleitet. Für die unterschiedlichen Siedlungstypen ist die Anzahl der Gebäudetypen (EFH, ZFH, MFH) je Flächeneinheit (km<sup>2</sup>) festgelegt. Durch die Angabe der jeweiligen Gebäudegrundflächen für die unterschiedlichen Siedlungstypen im Untersuchungsgebiet kann daher analog zu

der Abschätzung des technischen Angebotspotenziales eine Abschätzung des Nachfragepotenzials vorgenommen werden. Die Wärmebedarfe und Deckungsgrade für die Gebäudetypen und Wohneinheiten entsprechen dabei den Werten bei der Methode geringer Genauigkeit.

**Methode der exakten Datenerhebung für das Untersuchungsgebiet - hohe Genauigkeit:**

Eine Möglichkeit für eine möglichst exakte Bestimmung des Potenzials besteht in der gebäudescharfen Erhebung der Grundflächen bzw. der Dachflächen /Rensch 2006/, /Beck 2006/. Hierzu können durch einen Begehung des Untersuchungsgebietes oder eine Auswertung von Plänen oder Luftbildaufnahmen Informationen erhoben werden.

Bei diesem Verfahren werden die vorhandenen und die geeigneten Dachflächen für das gesamte Gebiet oder Teilgebiete mit einem Geoinformationssystem digitalisiert. Auf Grundlage der integrierten Datenbanken kann abschließend die Gesamtfläche der geeigneten Dachflächen berechnet werden. Die Digitalisierung der Dachflächen kann auf Grundlage von Karten bzw. Luftbildern vorgenommen werden.

Am besten sind dafür Luftbilder bzw. Orthophotos in einem Maßstab 1:5.000 geeignet, denn auf ihnen können Dachausrichtung, Giebel und Flachdächer identifiziert werden. Luftbilder können wie die Deutsche Grundkarte (DGK) vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg bezogen werden. Dies ist auf Grundlage der DGK 5 nicht möglich. Die beschriebene Methodik ist mit relativ viel Arbeitsaufwand verbunden, hat allerdings den Vorteil einer sehr hohen Genauigkeit und stellt somit eine stabile Datengrundlage für die Potenzialabschätzung dar. Der hier pauschal angegebene Wert von (0,15) für die nutzbare Dachfläche kann durch Auswertung der vorliegenden Luftbilder spezifiziert werden.

$$\text{Erhobene Gebäudegrundfläche [m}^2\text{]} \cdot 1,15 \cdot 0,15 \cdot 1.500 \text{ [MJ/(m}^2 \text{ a)]} = \text{Solarthermiepotenzial [MJ/a]} \quad (7-13)$$

oder

$$\text{Erhobene Dachfläche [m}^2\text{]} \cdot 0,15 \cdot 1.500 \text{ [MJ/(m}^2 \text{ a)]} = \text{Solarthermiepotenzial [MJ/a]} \quad (7-14)$$

Eine exakte Erfassung des technischen Nachfragepotenzials kann über eine detaillierte Erhebung des Wärmebedarfs der unterschiedlichen Gebäude innerhalb des Untersuchungsgebietes entsprechend des in Kapitel 5. beschriebenen Vorgehens erfolgen. Dazu sind Daten über die Gebäudeart, -alter und die Größe notwendig. Die Abschätzung lässt sich ggf. auch auf den Bereich der GHD und Industrie ausdehnen. Liegen diese Daten nicht vor, so kann zur Erhebung des technischen Nachfragepotenzials mit den Wärmebedarfswerten für die Berechnung der mittleren und geringen Genauigkeit gerechnet werden.

Folgende Richtwerte gelten für einen 4-Personen-Haushalt in einem Einfamilienhaus:

- Kleinanlagen zur Aufbereitung von Brauchwasser in Einfamilienhäusern verfügen über eine Kollektorfläche zwischen 4 und 8 m<sup>2</sup> sowie über ein Speichervolumen zwischen 50 und 80 l/m<sup>2</sup>. Es kann ein solarer Deckungsgrad von 65 % für die Brauchwarmwasserbereitstellung erreicht werden.
- Die Kollektorfläche von Kleinanlagen, die zusätzliche die Heizwärmeunterstützung gewährleisten, liegen zwischen 8 und 20 m<sup>2</sup>. In der Regel kommt bei diesen Kombianlagen ein Speicher mit einem Volumen zwischen 50 bis 100 l/m<sup>2</sup> zum Einsatz. Ein solarer Deckungsgrad von bis zu 35 % ist realistisch.

### Quellen für die Erhebung der Dachflächen und der Solarthermiefpotenziale:

- Luftbilder und Satellitendaten (z. B.: Atkis-Daten, DGK5)
- Begang des Untersuchungsgebietes
- Landesvermessungsamt Baden-Württemberg
- Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz (LUBW)
- Deutschen Wetterdienst (DSD)

### 7.4 Potenzial der Geothermie

Die Geothermie kann in erdoberflächennahe und –ferne Geothermie oder in Nutzung von Erdsondentechnologie und hydrothermalen Energie eingeteilt werden /Kaltschmitt und Wiese 2003/. Das Angebotspotenzial für Erdwärme aus hydrothermalen Quellen wird für den Oberrheingraben bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren mit 670 PJ/a angegeben und für das süddeutsche Molassebecken mit 990 PJ/a /Kaltschmitt und Wiese 2003/. Allerdings liegen in Baden-Württemberg nur Teile dieser geologisch vorteilhaften Gebiete.

Besonders für die Abschätzung der Geothermiefpotenziale gilt hier, dass die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise lediglich zu näherungsweise Schätzwerten führt. Besonders für die oberflächenferne Geothermie ist eine Abschätzung nur grob und anhand der Lage des Untersuchungsgebietes möglich. Daher wird hier von der oben gewählten Vorgehensweise abgewichen und lediglich ein Weg der Potenzialerhebung aufgezeigt. Eine genaue Analyse der geologischen Gegebenheiten vor Ort und eine Probebohrung sind Voraussetzungen für eine konkrete Planung im Bereich der Tiefengeothermie. Diese kann mit den, in diesem Leitfaden erarbeiteten Richtwerten, nicht ersetzt werden.

In diesem Kapitel wird lediglich auf die Nutzung von Erdwärmesonden (bis zu einer Tiefe von 400 m) eingegangen. Erdwärmekollektoren, die direkt an der Erdoberfläche in die obersten 0,5 - 2 m eingebracht werden können, werden hier nicht berücksichtigt, das diese grundsätzlich fast überall bei entsprechendem Platzangebot ausgebracht werden können. Eine Anwendung dieser Systeme hängt lediglich von dem vorhandenen Platz vor Ort ab und ist daher für den Einzelfall zu prüfen. Ebenso werden nur geschlossene Systeme und keine offenen System mit direkter Nutzung von Grundwasser berücksichtigt.

Mit der Veröffentlichung „Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden“ hat das LGRB für das Umweltministerium die Eignung verschiedener Untergrundverhältnisse für die Nutzung von Erdwärmesonden mit Hilfe von 24 hydrogeologischen Kriterien untersucht /Umweltministerium BaWü 2005/. In Wasserschutzgebieten und im engen Zustrombereich von sensiblen Grundwasservorkommen ist die Nutzung von Erdwärmesonden gegenüber dem Wasserschutz zurückzustellen. Lediglich in Wasserschutzgebieten der Kategorie III/IIIa sind Ausnahmen möglich. Bei der Berechnung der Potenziale wurden im Sinne einer konservativen Abschätzung davon ausgegangen, dass Ausnahmen nicht möglich sind und zudem, dass die Erdwärmeeutzung nur im Bereich von Siedlungen möglich ist. In Anlehnung an /Umweltministerium BaWü 2005/ werden folgende Kategorien für die oberflächennahe Geothermie berücksichtigt:

- **Klasse I:** In Gebieten mit mittleren bis geringen Durchlässigkeiten des Untergrunds und ohne ausgeprägte Stockwerksgliederungen (z. B. kristalline Grundgebirge) sind **günstige hydrogeologische Bedingungen** für Bau und Betrieb von Erdwärmesonden gegeben. Es ist zu erwarten, dass die Nutzung von Erdwärmesonden bei fachgerechter Installation hier keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt ausübt, aus diesem Grund gibt es in dieser Kategorie keine Tiefenbeschränkungen.
- Bei bestimmten Untergrundverhältnissen (wie dem Tertiär, quartären Sanden und Kiesen des Oberrheingrabens) sind die Untergrundverhältnisse nur **bis zu einer bestimmten Tiefe hydrogeologisch günstig**. Ab bestimmten Bohrtiefen können ungünstige Stockwerksverbindun-

gen auftreten, so dass Überschreitungen der Tiefenbeschränkung nur nach Einzelfallprüfung möglich sind. Drei Tiefenkategorien können unterschieden werden:

- **Klasse II:** Untergrundverhältnisse bis 200 m hydrogeologisch günstig.
- **Klasse III:** Untergrundverhältnisse bis 100 m hydrogeologisch günstig.
- **Klasse IV:** Untergrundverhältnisse unter 100 m und nach Einzelfallprüfung hydrogeologisch günstig.
- **Klasse V:** Wegen bohr- und ausbautechnischer Schwierigkeiten wie Spülungsverluste etc. stellen sich die Verbreitungsgebiete der Karstgrundwasserleiter, der Obere Muschelkalk oder Oberjura **hydrogeologisch nur als eingeschränkt günstig bis problematisch** dar. Nur unter Auflagen ist ein Bau und Betrieb von Erdwärmesonden wegen Risiken für das Grundwasser hier möglich.
- **Klasse VI:** In Gebieten mit **ungeklärten oder stark wechselnden Bedingungen** (z. B. bei den Randschollen zwischen Oberrheingraben und Schwarzwald) sind Erdwärmesonden nur nach Einzelfallprüfungen möglich.
- **Klasse VII:** Außerhalb von Siedlungsgebieten und/oder Wasserschutzgebieten befinden sich die **Ausschlussflächen**, in denen eine Nutzung von Erdwärmesonden nicht möglich ist.

Hier wird lediglich für die Gebiete, die in den Klassen I-IV liegen, eine Potenzialabschätzung vorgenommen. Für die Klassen V und VI ist im Einzelfall allerdings eine gesonderte Prüfung der Gegebenheit vor Ort anzuraten. Über diese Kriterien hinaus können weitere Aspekte (Altlasten, Gasführungen im Untergrund, tektonische Auflockerungen etc.) einbezogen werden, die wegen der Datenverfügbarkeit in der vorliegenden Potenzialabschätzung keine Berücksichtigung gefunden haben. Durch eine Verschneidung der Eignungsklassen für Erdwärmesonden /Umweltministerium BaWü/, der Wasserschutzgebiete /LUBW/ und der Siedlungsgebiete in einem Geoinformationssystem kann die Fläche, in der Erdwärmesonden genutzt werden können, hergeleitet werden. Anschließend können die Potenziale über einen definierten Bohrlochabstand (10 m) auf der Fläche und eine spezifische Entzugsleistung der Sonden abgeschätzt werden. Aus dem Bohrlochabstand ergibt sich bei einer rechtwinkligen rasterartigen Bohrlochverteilung auf der Fläche eine Anzahl von etwa 100 Sonden je Hektar.

Für das Angebotspotenzial wird hier das folgende Verfahren gewählt /Kaltschmitt, Wiese 2003/. Die spezifische Entzugsleistung wird hier für die Klasse I und II mit 55 W/m Sondentiefe angenommen. Bei einer Volllaststundenzahl von 1.800 h/a, d.h. bei 99 kWh/(m·a), ergeben sich für eine Sonde in 400 m Tiefe (Klasse I) etwa 39,6 MWh/a und für eine Sonde in 200 m Tiefe (Klasse II) etwa 19,8 MWh/a Wärmeentzug. Für die Klasse III wird eine Sondentiefe von 100 und für die Klasse IV eine Sondentiefe von 40 m veranschlagt. Dabei wird die Ergiebigkeit der Bohrungen mit 131 kWh/(m·a) für eine 100 m-Sonde und 156 kWh/(m·a) für eine 40 m-Sonde angenommen, so dass sich ein Wärmeentzug von 13,1 MWh/a bzw. 6,2 MWh/a ergibt, der dem technischen Potenzial zugerechnet werden kann.

Fläche Klasse I [ha] · 100 [1/ha] · 55 [W/m] · 400 [m] · 1.800 [h/a] / 1.000.000 = Angebotspotenzial Erdwärmesonden Klasse I [MWh] (7-15)

Fläche Klasse II [ha] · 100 [1/ha] · 55 [W/m] · 200 [m] · 1.800 [h/a] / 1.000.000 = Angebotspotenzial Erdwärmesonden Klasse II [MWh] (7-16)

Fläche Klasse III [ha] · 100 [1/ha] · 131 [kWh/m] · 100 [m] · / 1.000 = Angebotspotenzial Erdwärmesonden Klasse III [MWh] (7-17)

Fläche Klasse IV [ha] · 100 [1/ha] · 156 [kWh/m] · 40 [m] / 1.000 = Angebotspotenzial Erdwärmesonden Klasse IV [MWh] (7-18)

Angebotspotenzial Erdwärmesonden (Klasse I + II + III + IV) [MWh] = Angebotspotenzial Erdwärmesonden gesamt [MWh] (7-19)

Für die Herleitung des technischen Nachfragepotenzials werden folgende nachfrageseitige Restriktionen berücksichtigt. Die Anteile an Wohngebäuden, die generell geeignet für die Anwendung einer geothermischen Wärmeversorgung sind, werden mit 80 % bei EFH und ZFH und 50 % bei MFH veranschlagt. Der Wärmebedarf für Brauch- und Heizwasser wird, wie bei der Abschätzung des solarthermischen Nachfragepotenzials (siehe Kapitel 7.2) pro EFH mit rund 20.700 kWh/a sowie pro Wohneinheit im ZFH mit 22.200 kWh/a und MFH mit rund 10.200 kWh/a angenommen. Für diese Potenzialabschätzung sollte die Anzahl und Art (EFH, ZFH bzw. MFH) der Wohngebäude für das Untersuchungsgebiet bekannt sein oder abgeschätzt werden.

Anzahl EFH · 0,8 · 20.7 [MWh/a] = Nachfragepotenzial EFH Erdwärmesonden [MWh/a] (7-20)

Anzahl Wohnungen in ZFH · 0,8 · 22.2 [MWh/a] = Nachfragepotenzial ZFH Erdwärmesonden [MWh/a] (7-21)

Anzahl Wohnungen in MFH · 0,5 · 10.2 [MWh/a] = Nachfragepotenzial MFH Erdwärmesonden [MWh/a] (7-22)

Nachfragepotenzial EFH + ZFH + MFH [MWh/a] = Nachfragepotenzial Erdwärmesonden gesamt [MWh/a] (7-23)

Da hier für die Klasse I mit einer Sondentiefe von 400 m gerechnet wird, diese Tiefe mit Erdwärmesonden allerdings nur in wenigen Fällen erreicht wird, überschätzt das hier errechnete Potenzial tendenziell das tatsächlich nutzbare.

## 7.5 Versorgungssicherheit bei der Nutzung regenerativer Energieträger

Im Vergleich zur konventionellen Wärmebereitstellung aus fossilen Energieträgern ist bei der Nutzung erneuerbarer Energieträger dem Aspekt der Versorgungssicherheit besondere Beachtung zu schenken.

Sowohl Holz aus der Forstwirtschaft als auch Material aus der Landschaftspflege fällt zumeist periodisch an. Der Anfall von Holz aus der Forstwirtschaft konzentriert sich z. B. auf die einschlagsstarken Wintermonate. Altholz dagegen fällt über das ganze Jahr verteilt an. Durch eine Lagerung können die periodisch auftretenden Brennstoffmengen über das ganze Jahr vorrätig gehalten und entsprechend des Bedarfes abgerufen werden. Die Versorgungssicherheit ist daher bei dem Energieträger Holz im Gegensatz z. B. zur Windenergie oder der Photovoltaik, die vom fluktuierenden Wind- und Strahlungsangebot abhängig sind, als vergleichsweise hoch einzustufen.

Dies ist bei der Nutzung von Solarthermie nur bedingt der Fall. Die Möglichkeit der Speicherung ist hier begrenzt (Pufferspeicher) und in hohem Maße abhängig von den klimatischen Verhältnissen vor Ort und der Sonneneinstrahlung. Bei Perioden geringer Einstrahlung kann es daher zu einer Verringerung der Beiträge der Solarthermie zu der Wärmebereitstellung kommen. Aus diesem Grund werden solarthermische Anlagen in der üblichen Praxis in Kombination mit alternativen Technologien betrieben, um so die Versorgung gewährleisten zu können.

Der Erdwärmestrom ist relativ gleichmäßig und verändert sich im Laufe des Jahres nur geringfügig. Trotz des gleichbleibenden Angebotes ist bei der oberflächennahen Geothermie zusätzlich die Möglichkeit einer Wärmespeicherung gegeben (Pufferspeicher). Die Versorgungssicherheit mit Wärme aus Erdwärmesonden kann daher als vergleichsweise hoch angesehen werden.



## 7.6 Bewertung der erhobenen Potenziale

Das hier erhobene technische Potenzial stellt einen oberen Grenzwert für die Nutzung der Energieträger Holz, Solar- und Geothermie unter Berücksichtigung technologischer Aspekte dar. Für eine Anwendung im konkreten Planungsfall bedarf es darüber hinaus der Berücksichtigung von wirtschaftlichen Gesichtspunkten und beschränkenden Natur-, Landschafts- und Umweltschutzbelangen. Diese können das technische Potenzial nochmals deutlich reduzieren. Aufgrund der Flächennutzungen trifft dies vor allem auf das Biomasse- und Geothermiepotenzial zu. Da die Solarthermie hauptsächlich auf der Nutzung von Dach- und Freiflächen beruht, reduziert sich dessen technisches Potenzial eher aufgrund wirtschaftlicher Rahmenbedingungen und weniger aus Gründen des Umwelt- und Naturschutzes.

Zu den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (vgl. auch Kapitel 9) zählen u. a. die Bereitstellungskosten für Biomasse, die im Falle von Holz aus der Forstwirtschaft von z. B. der Transportentfernung, der Holzart, der Größe der Einschlagfläche oder der Hangneigung abhängen. Im Falle der Geothermie können dies z. B. Aufwendungen für die Erschließung der Wärmequelle (Bohrungen) sein. Natur-, Landschafts- und Umweltschutzbelange können u. a. Wasser- und Grundwasserschutzbestimmungen (Geothermie), Landnutzungsrestriktionen (Holz) oder Artenschutz sein.

Dem Anwender steht mit dem ermittelten technischen Potenzial eine stabile Bewertungsgrundlage über die Menge an erneuerbaren Energien im Untersuchungsgebiet zur Verfügung.

Wenngleich das technische Potenzial nicht die konkreten Planungen für ein Projekt ersetzen kann, kann es wichtige Anhaltspunkte liefern: Stellt sich z. B. das technische Potenzial als ausreichend dar, so ist eine Wärmebereitstellung durch die Nutzung der vor Ort anfallenden erneuerbaren Energieträger aller Wahrscheinlichkeit nach möglich. Ist das technische Potenzial nur knapp ausreichend für eine Wärmeversorgung, so ist davon auszugehen, dass bei weiteren Planungsschritten eine Reduktion aufgrund der oben besprochenen limitierenden Rahmenbedingungen zu einer weiteren Reduktion des Potenzials führt und somit eine Versorgung aus innerhalb des Untersuchungsgebietes vorhandenen Energieträgerpotenzialen nicht möglich ist.

Trotz dieser Einschränkungen besteht auf der anderen Seite die Möglichkeit, das technische Potenzial des jeweiligen Untersuchungsraumes für die Nutzung von Biomasse (Holz) deutlich zu erhöhen, indem das Potenzial der an das Untersuchungsgebiet angrenzenden Gemeinden, Städte oder Landkreise ganz oder zu Teilen miteinbezogen wird. Der Transport von Holz kann auch über relativ weite Strecken wirtschaftlich gestaltet werden und ist heute bereits üblich. Für die Solarthermie und die Geothermie besteht diese Möglichkeit de facto allerdings nicht.

## 8 Optionen der Wärmeversorgung

Wärme in Form von Raumwärme oder Prozesswärme kann sowohl in Wohngebäuden als auch in Nichtwohngebäuden mit Hilfe einer Reihe von verschiedenen Technologien bereitgestellt werden. Im Folgenden werden die verschiedenen technischen Möglichkeiten zur Wärmeversorgung der unterschiedlichen Verbraucher betrachtet. Da sich hier v. a. aus Gründen der benötigten Leistungsgrößen unterschiedliche Optionen ergeben, erfolgt die Betrachtung dementsprechend nach Wohngebäuden (vgl. Kapitel 5) und Nichtwohngebäuden (Kapitel 4) aufgeteilt.

### 8.1 Wärmeversorgungsoptionen für Wohngebäude

Die verschiedenen Möglichkeiten, Wohngebäude mit Wärme für die Beheizung und die Warmwassererzeugung zu versorgen, werden nachfolgend erläutert. Für diese Techniken kann mit Hilfe der Daten aus der in Kapitel 6 beschriebenen zeitlichen Auflösung des Gesamtwärmebedarfs der betrachteten Verbrauchergruppe eine Dimensionierung der Wärmeerzeugungsanlagen erfolgen.

#### Niedertemperaturkessel (NT-Kessel)

Beim Niedertemperaturkessel wird die bei der Verbrennung des Brennstoffs (meist Erdgas oder Heizöl) entstehende Wärme über Wärmetauscher an das Verteilersystem abgegeben. Im Gegensatz zum Brennwertkessel wird der Wasserdampfanteil im Abgasstrom nicht auskondensiert. Durch den Verzicht auf den zusätzlichen Wärmetauscher sinken die Investitionskosten für den Kessel, allerdings entstehen wegen der höheren Abgastemperatur des NT-Kessels Mehrkosten am Kamin, da im Gegensatz zum Brennwertkessel nicht auf preisgünstige Kunststoffabgasrohre zurückgegriffen werden kann. Stattdessen müssen Aluminium- bzw. Edelstahlrohre oder ein mehrschaliger Kamin eingesetzt werden. Das Leistungsspektrum von NT-Kesseln erstreckt sich vom einstelligen kW-Bereich bis etwa 1,2 MW<sub>th</sub>. Der Normnutzungsgrad von NT-Kesseln liegt bei ca. 93 %. In der Praxis werden Nutzungsgrade von etwa 85 % erreicht. Die Investitionskosten reichen von 23 €/kW<sub>th</sub> für Systeme mit 1.200 kW<sub>th</sub> bis etwa 180 €/kW<sub>th</sub> für Kleinanlagen.

#### Brennwertkessel (Erdgas/Heizöl EL)

Bei der Brennwerttechnologie wird die bei der Verbrennung des Brennstoffs entstehende Wärmemenge über Wärmetauscher aus dem Abgasstrom auf das mit Wasser betriebene Heiznetz übertragen bzw. zur Erwärmung von Trinkwasser (Warmwasserversorgung) genutzt. Als Besonderheit der Brennwerttechnologie gegenüber konventionellen Niedertemperatursystemen gilt die Nutzbarkeit der Kondensationswärme des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfs. Die Kondensation erfolgt in einem separaten Wärmetauscher, weshalb die Brennwerttechnologie höhere Investitionskosten als die traditionellen Niedertemperaturkessel aufweist. Wegen der zusätzlich nutzbaren Kondensationswärme können mit der Brennwerttechnologie theoretisch Wirkungsgrade über 100 %, bezogen auf den Heizwert des Brennstoffs, erreicht werden. Der Normnutzungsgrad von Erdgasbrennwertkesseln beträgt 108 %, für Heizölbrennwertkessel liegt er wegen des geringeren Wasserdampfanteils geringfügig darunter. In der Praxis werden etwa 93 % erreicht. Wegen des Schwefelanteils im Brennstoff und der damit einhergehenden Säurebildung ist bei Heizölbrennwertkesseln der Einbau einer Neutralisationseinrichtung vorgeschrieben. Typische Leistungsgrößen von Brennwertkesseln beginnen ab etwa 8 kW<sub>th</sub> und reichen bis etwa 1.200 kW<sub>th</sub>. Die Investitionskosten reichen von etwa 350 €/kW<sub>th</sub> für Kleinanlagen bis ca. 44 €/kW<sub>th</sub> für große Systeme mit 560 kW<sub>th</sub>. Dabei ist zu beachten, dass die genannten oberen Leistungswerte ausschließlich für die gleichzeitige Versorgung mehrerer Wohngebäude (Nahwärmenetz) in Frage kommen.

Die wichtigsten technischen und wirtschaftlichen Kenndaten von Gebäudeheizungen auf Erdgasbasis sind für verschiedene Gebäudetypen in Tabelle 8-1 zusammengestellt. Entsprechende Angaben für Heizöl-NT-Kessel finden sich in Tabelle 8-2.

**Tabelle 8-1:** Technische und ökonomische Daten von Gebäudeheizungen auf Erdgasbasis

		Erdgas Spezialkessel				Erdgas Brennwertkessel			
		EFH	RDH	KMH	GMH	EFH	RDH	KMH	GMH
Therm. Leistung	[kW <sub>th</sub> ]	12	10	38,4	60	12	10	38,4	60
Var. Betriebskosten	[€/MWh <sub>th</sub> ]	133,7	125,5	141,6	146,9	125,3	117,1	132,2	136,5
Fixe Betriebskosten	[€/(kW·a)]	20,4	24,5	12,4	11,3	20,4	24,5	12,4	11,3
Jahresnormnutzungsgrad	[%]	93	93	93	93	100	100	100	100
Spez. Investitionen	[€/kW <sub>th</sub> ]	563	655	243	256	669	783	289	285

**Tabelle 8-2:** Technische und ökonomische Daten von Heizöl Niedertemperaturkessel

		Heizöl EL Niedertemperaturkessel			
		EFH	RDH	KMH	GMH
Thermische Leistung	[kW <sub>th</sub> ]	12	10	38,4	60
Var. Betriebskosten	[€/MWh <sub>th</sub> ]	108,8	112,0	116,45	117,5
Fixe Betriebskosten	[€/(kW·a)]	25,8	30,9	16,21	13,5
Jahresnormnutzungsgrad	[%]	92	92	92	92
Spez. Investitionen	[€/kW <sub>th</sub> ]	627	732	227,68	274

### Pellet- und Scheitholzheizsysteme

Für die Wärmebereitstellung aus Biomasse-Kleinanlagen werden Pellet- und Scheitholzessel betrachtet. Für die hier betrachteten Versorgungsfälle für EFH, ZFM, MFH(6) und MFH(12) wurden die Kosten für eine Brauch- und Heizwasserbereitstellung erhoben. Die Wärmebedarfe sind analog den betrachteten Fällen bei der Solar- und Geothermie. Für die Lagerung der Pellets wird ein eigener Raum im Keller des Hauses genutzt. Dieser wird mit einer automatischen Austragsvorrichtung versehen, welche die Pellets vom Lagerraum hin zum Kessel befördert. Die Wirkungsgrade der Pellet- und Scheitholzanlage betragen 92 und 90 %, die Nutzungsgrade 87 und 83 %.

- (EFH-1) Das Einfamilienhaus wird mit einem Pelletkessel der Leistung 10 kW und einem Pufferspeicher von 1.000 l Volumen versorgt. Für den Versorgungsfall mit einem Scheitholzessel wird eine Kesselleistung von 15 kW und ein Pufferspeicher mit 1.500 l Volumen zugrunde gelegt.
- (ZFH-1) Beim Versorgungsfall des Zweifamilienhauses wurde eine Leistung des Pelletkessels von 18 und des Scheitholzessels von 25 kW angenommen. Die entsprechenden Volumina der Pufferspeicher betragen 2.000 und 2.500 l.
- (MFH6) Die Kesselleistung beträgt hier für den Pelletkessel 45 und den Scheitholzessel 60 kW. Die Speichervolumina werden mit 4.000 und 4.500 l veranschlagt.
- (MFH12) Für die 12 Wohneinheiten werden Kesselleistungen von 70 bei Pellets und 100 kW bei Scheitholz zugrunde gelegt. Für die Volumina der Pufferspeicher werden 6.500 und 8.000 l angenommen.

Die wichtigsten technischen und wirtschaftlichen Rahmendaten pelletbasierter Gebäudeheizungssysteme finden sich in Tabelle 8-3.

**Tabelle 8-3:** Technische und ökonomische Daten von Gebäudeheizungen auf Pelletbasis

		Holzpellets Biomasse			
		EFH	RDH	KMH	GMH
Thermische Leistung	[kW <sub>th</sub> ]	12	10	38,4	60
Var. Betriebskosten	[€/MWh <sub>th</sub> ]	78,0	80,5	82,2	85,9
Fixe Betriebskosten	[€/(kW·a)]	33,2	39,8	15,2	10,9
Jahresnutzungsgrad	[%]	87	87	87	87
Spez. Investitionen	[€/kW <sub>th</sub> ]	1526	1578	682	608

### Fernwärme-Hausstationen

Fernwärme-Hausstationen bestehen aus einer Übergabestation und einer Hauszentrale. In der Übergabestation werden die vertragsmäßigen Parameter der Wärmeübergabe (Druck und Temperatur) und in der Hauszentrale die thermischen und hydraulischen Gegebenheiten der Heizungsanlage geregelt. Um neben der Gebäudeheizung auch die Brauchwassererwärmung bereitzustellen, werden zusätzlich überwiegend Speicher-Brauchwassererwärmer in die Hauszentrale integriert. Die entsprechenden Kennndaten sind in Tabelle 8-4 zusammengestellt.

**Tabelle 8-4:** Technische und ökonomische Daten von FW-Stationen

		Kompaktübergabestation indirekt - Fernwärme			
		EFH	RDH	KMH	GMH
Thermische Leistung	[kW <sub>th</sub> ]	12	10	38,4	60
Var. Betriebskosten	[€/MWh <sub>th</sub> ]	102,7	90,5	111,1	111,3
Fixe Betriebskosten	[€/(kW·a)]	9,8	11,8	8,6	7,7
Jahresnutzungsgrad	[%]	97	97	97	97
Spez. Investitionen	[€/kW <sub>th</sub> ]	364	436	150	146

### Solarthermie

Gängige Kleinanlagen zur Aufbereitung von Brauchwasser in Einfamilienhäusern verfügen über eine Kollektorfläche zwischen 4 und 8 m<sup>2</sup>. Wird zusätzlich eine Heizwärmeunterstützung angestrebt, liegen die typischen Größen bei 8 bis 20 m<sup>2</sup>. Das Speichervolumen liegt hier zwischen 50 und 80 l/m<sup>2</sup> bei Anlagen zur Brauchwassererwärmung bzw. 50 bis 100 l/m<sup>2</sup> bei Kombianlagen. Solarthermische Anlagen in Einfamilienhäusern werden auf einen solaren Deckungsgrad von bis zu 65 % (Brauchwassererwärmung) bzw. 35 % (Brauch- und Heizwärmeunterstützung) ausgelegt. Bei Mehrfamilienhäusern werden die solarthermischen Anlagen auf geringere Deckungsgrade (ca. 20 bzw. 40 %) ausgelegt, um ein gutes Verhältnis von Wirtschaftlichkeit und Systemnutzungsgrad zu erreichen. Die Einstrahlung auf der Kollektorebene beträgt 1.195 kWh/m<sup>2</sup>·a, die nutzbare solare Wärme am Ausgang des Wärmespeichers, liegt in den betrachteten Fällen zwischen 150 und 290 kWh/m<sup>2</sup>·a.

- (EFH-1) Zur Abschätzung des Brauchwasserwärmebedarfs für ein **Einfamilienhaus** wird wie bei der Gebäude- und Siedlungstypenmethode ein spezifischer Wert von 1.610 kWh·a pro Wohneinheit zu Grunde gelegt. Hier handelt es sich um eine Anlage mit einer Kollektorfläche von 4,5 m<sup>2</sup>, die insgesamt einen Deckungsgrad von 63 % erreicht.

- (EFH-2) Zusätzlich zur Brauchwassererwärmung wird die solarthermische Anlage im zweiten Fall auch auf eine Heizwärmeunterstützung ausgelegt, d. h. es wird solares Kombisystem installiert. Der Wärmebedarf des **Einfamilienhauses** entspricht mit  $70 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$  bei einer Wohnfläche von  $135 \text{ m}^2$  einem Neubaustandard. Bei einer Kollektorfläche von  $18 \text{ m}^2$  beträgt der solare Deckungsgrad  $24 \%$
- (ZFH-1) Beim Versorgungsfall des **Zweifamilienhauses** wurde wie in den ersten beiden Fällen von einem spezifischen Brauchwasserwärmebedarf in Höhe von  $1.610 \text{ kWh}\cdot\text{a}$  pro Wohneinheit ausgegangen. Bei einer Kollektorfläche von  $7,5 \text{ m}^2$  wird mit  $58 \%$  ein Deckungsgrad ermittelt, der leicht unter dem des Einfamilienhauses liegt.
- (ZFH-2) Für das Kombisystem des **Zweifamilienhauses** wurden die gleichen Bedarfswerte wie bei Fall EFH-2 zu Grunde gelegt. Die Wohnfläche des gesamten Gebäudes beträgt hier allerdings  $205 \text{ m}^2$  anstelle von  $135 \text{ m}^2$ . Aufgrund der größer dimensionierten Anlage ( $25 \text{ m}^2$ ) wird ein Deckungsgrad von  $27 \%$  erreicht.
- (KMH6-1) Mit Fall drei wird ein **kleines Mehrfamilienhaus mit sechs Wohneinheiten** erfasst. Entsprechend der Vorgehensweise in den vorangegangenen Kapiteln wird bei den Mehrfamilienhäusern ein spezifischer Brauchwasserwärmebedarf von  $1.300 \text{ kWh/a}$  pro Wohneinheit zu Grunde gelegt. Bei einer Kollektorfläche von  $12 \text{ m}^2$  kann so ein Deckungsgrad von  $41 \%$  erreicht werden.
- (KMH6-2) Zur Deckung des Bedarfs an Brauchwasser- und Heizwärme wurde beim **kleinen Mehrfamilienhaus mit sechs Wohneinheiten** eine solarthermische Anlage mit einer Kollektorfläche von  $35 \text{ m}^2$  eingerichtet. Während der spezifische Brauchwasserwärmebedarf den Werten von Fall entspricht, wurde zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs von der durchschnittlichen Wohnfläche Baden-Württembergs in Wohngebäuden mit drei und mehr Wohnungen ( $72,5 \text{ m}^2$ ) sowie einem spezifischen Bedarfswert von  $65 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$  ausgegangen. Der solare Deckungsgrad beträgt  $24 \%$ .
- (GMH12-1) In **großen Mehrfamilienhäuser mit zwölf Wohneinheiten** wurde zur Deckung des Brauchwasserwärmebedarfs eine solarthermische Anlage mit einer Größe von  $22,5 \text{ m}^2$  ein- und auf einen Deckungsgrad von  $42 \%$  ausgerichtet. Für dieses Beispiel wurden die spezifischen Werte von Fall MFH6-1 übernommen und für zwölf Wohneinheiten berechnet.
- (GMH12-2) Zur Ermittlung des Brauchwasserwärme- und Heizwärmebedarf für Mehrfamilienhäuser mit zwölf Wohneinheiten wurden die spezifischen Werte von MFH6-2 herangezogen und auch zwölf Wohneinheiten hochgerechnet. Die Kombianlage für **große Mehrfamilienhäuser mit zwölf Wohneinheiten** verfügt über eine Fläche von  $65 \text{ m}^2$  und erreicht einen Deckungsgrad von  $29 \%$ .

### Wärmepumpe

Wärmepumpen entnehmen der Umwelt (Luft, Wasser, Boden, Abwärme) Wärme auf geringem Temperaturniveau und bringen diese Wärmemenge durch die Zufuhr von Arbeit auf ein nutzbares Temperaturniveau, bspw. zur Beheizung von Gebäuden.

Für die Gebäudeheizung werden ausschließlich elektrische betriebene Kompressionswärmepumpen eingesetzt. Als Wärmequellen dienen Luft, Wasser (bspw. Grund-, Oberflächen- oder Abwasser) oder die in Kapitel 7 ausführlich beschriebene Erdwärme.

Als Maßstab für die Effizienz gelten die Leistungszahl und die Arbeitszahl. Während die Leistungszahl nur das Verhältnis der maximalen Wärmeleistungsabgabe und der maximalen elektrischen Leistungsaufnahme angibt, berücksichtigt die Arbeitszahl, bspw. als Jahresarbeitszahl, die tatsächlich über einen längeren Zeitraum aufgenommenen und abgegebenen Energiemengen und somit auch die Rahmenbedingungen der jeweiligen Versorgungsaufgabe. Die Effizienz von Wärmepumpen sinkt mit

steigendem Temperaturhub (Temperaturdifferenz zwischen aufgenommenem und abgegebenem Wärmestrom), weshalb für die Gebäudeheizungen Heizungssysteme mit geringem Temperaturniveau, wie etwa Fußbodenheizungen, favorisiert werden.

Wärmepumpen können monovalent oder bivalent betrieben werden. Während beim monovalenten Betrieb der gesamte Wärmebedarf des Gebäudes über die Wärmepumpe bereitgestellt wird, wird beim bivalenten Betrieb die Wärmeerzeugung zwischen der Wärmepumpe und einem Spitzenkessel aufgeteilt. Obwohl der bivalente Betrieb mit höheren Investitionen verbunden ist, können beim bivalenten Betrieb geringere Betriebskosten erreicht werden.

Der Wärmepumpenbetrieb unter Nutzung von Wärme aus dem Boden kann in Abhängigkeit der Fördertiefe in zwei Bereiche unterteilt werden.

a) Wärmenutzung der Bodenoberfläche

Bei diesem Verfahren werden von Arbeitsmittel durchströmte Rohre in Schleifenform in einer Tiefe bis etwa 1 m um das Gebäude verlegt.

b) Erdsondenwärme

Die Erdwärmesonden bestehen aus U-förmigen Kunststoffrohren (PE80) mit 25 mm Durchmesser und einer Wanddicke von 2,3 mm, die eine Mischung aus Monopropylenglykol und Wasser als Wärmeüberträgermedium durchläuft. Die Bohrtiefe beträgt bis maximal 100 m. Zur Leistungserhöhung können mehrere Sonden parallel in den Boden getrieben werden. In der Regel wird je nach Gebäudetyp eine unterschiedliche Anzahl von Erdwärmesonden und ein unterschiedlich großer Pufferspeicher in das System integriert. Bei Einfamilienhäusern werden in der Regel ein Pufferspeicher von 1.000 l Volumen und 2 Erdwärmesonden in das Erdreich eingelassen. Bei Zweifamilienhäusern beträgt das Volumen des Pufferspeichers 1.500 l und 4 Erdwärmesonden kommen zum Einsatz. In Mehrfamilienhäusern bis 6 Wohneinheiten ist das Speichervolumen bei 2.100 l mit 10 Erdwärmesonden bzw. bis 12 Wohneinheiten wird das Volumen des Pufferspeichers auf 3.660 l und die Anzahl der Erdwärmesonden 12 zu dimensionieren.

Die wichtigsten technischen und ökonomischen Rahmendaten von Wärmepumpen für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung sind in Tabelle 8-6 dargestellt.

**Tabelle 8-5:** Technische und ökonomische Daten von Wärmepumpen 2007

		Wärmepumpen			
		EFH	RDH	KMH	GMH
Thermische Leistung	[kW <sub>th</sub> ]	12	10	38,4	60
Var. Betriebskosten	[€/MWh <sub>th</sub> ]	32,4	32,4	30,7	29,7
Fixe Betriebskosten*	[€/(kW·a)]	8	8	7	6,5
Leistungszahl	[-]	5	5	5	5
Jahresarbeitszahl	[-]	3,5	3,5	3,5	3,5
Spez. Investitionen	[€/kW <sub>th</sub> ]	460	476	308	226

\* ohne Leistungskosten der Stromversorgung

## 8.2 Wärmeversorgungsoptionen für Nichtwohngebäude bzw. für die Nah- und Fernwärmeerzeugung

Bei der Wärmeversorgung von Nichtwohngebäuden können prinzipiell dieselben Technologien wie für den Wohnbereich (vgl. Kapitel 8.1) eingesetzt werden, in der Regel mit höheren Leistungswerten. Zusätzlich kommen Wärmeerzeugungstechnologien ins Spiel, deren Einsatz erst ab einer gewissen

Leistungsgröße möglich bzw. wirtschaftlich sinnvoll ist. Zu diesen Technologien gehören bspw. die KWK-Technologien, wie etwa die Blockheizkraftwerke, die neben Wärme auch Strom erzeugen können. Der erzeugte Strom kann vor Ort verbraucht oder gegen Vergütung ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Die jeweils verfügbaren Technologien werden nachfolgend, aufgeteilt nach den Anwendungsfeldern Industrie, GHD und öffentlicher Sektor, erläutert (vgl. Kapitel 4). Da einerseits die Anforderungen aller drei Sektoren an die Technologien über weite Strecken gleich sind (v. a. bezüglich der Raumwärme und der Warmwasserbereitung) und andererseits viele Wärmeerzeugungstechniken am Markt ein weites Leistungsspektrum abdecken, treten bei den für die einzelnen Anwendungsfelder jeweils zur Verfügung stehenden Techniken große Überschneidungen auf, d. h., die meisten Techniken sind in mehreren Sektoren einsetzbar.

### 8.2.1 Wärmeversorgung der Industrie

Der Bedarf industrieller Verbraucher besteht neben Raumwärme und Warmwasser v. a. aus Prozesswärme (vgl. Kapitel 4.1). Letztere wird auf unterschiedlichen Temperaturniveaus benötigt. Je höher die benötigte Temperatur liegt, desto geringer wird die Auswahl an zur Verfügung stehenden Techniken, die in der Lage sind, das geforderte Temperaturniveau zu liefern. Das jeweils erforderliche Temperaturniveau ist von der Branche abhängig. Die wichtigsten der in der Industrie einsetzbaren Wärmeerzeugungstechniken sind in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

#### Blockheizkraftwerke (BHKW)

Blockheizkraftwerke bezeichnen kleine Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme mit einem Leistungsbereich von  $5 \text{ kW}_{\text{el}}$  bis etwa  $10 \text{ MW}_{\text{el}}$ . BHKWs sind überwiegend in zwei verschiedenen technischen Konzepten ausgeführt, den Motor-BHKW und den Gasturbinen-BHKW. Zusätzlich werden in Deutschland auch bereits einige BHKW auf Brennstoffzellenbasis betrieben.

Bei Motor-BHKWs wandelt der aus dem Automobilbereich bekannte Kolbenmotor die chemische Energie des Brennstoffs in mechanische Energie und Wärme um. Die mechanische Energie wird in einem nachgeschalteten Generator in Strom umgewandelt. Die Wärme wird v. a. aus dem Abgasstrom, aber auch aus dem Kühlwasser- und Schmierölstrom der Anlage über Wärmetauscher gewonnen. Die erreichbaren Abgastemperaturen betragen maximal etwa  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ , die entweder direkt (bspw. zu Brenn- oder Trocknungsprozessen) oder über einen verlustbehafteten Wärmetauscherkreislauf (z. B. Dampfsystem) genutzt werden können. Als Brennstoffe für Motor-BHKW werden v. a. Erdgas und Heizöl sowie alle Arten von biogenen Gasen eingesetzt. Kleinanlagen weisen elektrische Wirkungsgrade von etwa 25-30 % auf, während Systeme im  $\text{MW}_{\text{el}}$ -Sektor bis etwa 42 % erreichen /ASUE 2005/. Der Gesamtwirkungsgrad von Motor-BHKW kann ca. 90 % betragen, die Investitionskosten bewegen sich zwischen 2.500 €/kW<sub>el</sub> für Leistungen unter  $10 \text{ kW}_{\text{el}}$  bis 450 €/kW<sub>el</sub> für Anlagen im  $\text{MW}_{\text{el}}$ -Bereich /ASUE 2005/.

Gasturbinen werden ab Leistungsgrößen von etwa  $100 \text{ kW}_{\text{el}}$  angeboten, die Investitionskosten betragen ca. 1.300 €/kW<sub>el</sub>. Diese kleineren Anlagen erreichen ca. 30 % elektrischen und 55 % thermischen Wirkungsgrad. Der Leistungsbereich von BHKW-Gasturbinen reicht bis etwa  $10 \text{ MW}_{\text{el}}$ , die Investitionskosten sinken dabei bis auf ca. 100 €/kW<sub>el</sub>. Die elektrischen Wirkungsgrade von Systemen im  $\text{MW}_{\text{el}}$ -Bereich liegen bei etwa 40 %, der thermische Wirkungsgrad beträgt dann maximal 45 %. Die Funktionsweise einer Gasturbine entspricht der eines Düsentriebwerks: Ein Luft-Gasgemisch wird verdichtet und verbrannt, die bei der Verbrennung freiwerdende Energie wird von den rotierenden Turbinenschaufeln aufgenommen und über eine Welle an einen Generator abgegeben. Die Abwärmenutzung erfolgt über nachgeschaltete Wärmetauscher aus dem Abgasstrom. Mit der Gasturbine lassen sich hohe Abgastemperaturen von etwa  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  erzeugen.

Als Brennstoff für Gasturbinen kommt vor allem Erdgas in Betracht, Anlagen mit Biogasnutzung sind in Planung.

Im industriellen Bereich können mit BHKW die Anwendungsfelder Raumwärme und Warmwasserbereitung sowie Prozesswärme abgedeckt werden. Die Prozesswärme kann mittels Prozessdampfsystemen oder Systemen zur Fluiderwärmung (Gas-, Luft- und/oder Flüssigkeitsströme) bis etwa 500 °C mit BHKW bereit gestellt werden.

### **Großwärmepumpen**

Wärmepumpen entnehmen der Umwelt Wärme auf geringem Temperaturniveau und bringen diese Wärmemenge durch die Zufuhr von Arbeit auf ein nutzbares, höheres Temperaturniveau, so dass die Wärme bspw. zur Beheizung von Gebäuden verwendet werden kann.

Industrielle Großwärmepumpen bewegen sich in einem Leistungsbereich von 100 kW<sub>th</sub> bis etwa 10 MW<sub>th</sub>. Die Erhöhung des Temperaturniveaus kann durch die Zufuhr mechanischer Arbeit erfolgen. Diese Arbeit kann über elektrisch betriebene Verdichter (Kompressionswärmepumpen) oder durch Gasmotoren bereitgestellt werden. Zusätzlich besteht noch die Möglichkeit, das Temperaturniveau mittels einer thermischen Verdichtung (Absorptionswärmepumpen) zu steigern.

Als Wärmequellen können Luft, Wasser, Boden sowie Abwärme aus industriellen Prozessen dienen. Da die Wärmepumpe ihrer Umgebung Wärme entzieht, kann sie auch zur Kälteerzeugung bzw. zur Kühlung eingesetzt werden. Besonders effektiv arbeitet die Wärmepumpe, wenn sowohl die erzeugte Wärme als auch die anfallende Kälte genutzt werden.

Als Maßstab für die Effizienz gelten die Leistungszahl (coefficient of performance COP) und die Arbeitszahl. Während die Leistungszahl nur das Verhältnis der maximalen Wärmeleistungsabgabe und der maximalen elektrischen Leistungsaufnahme angibt, berücksichtigt die Arbeitszahl, bspw. als Jahresarbeitszahl, die tatsächlich über einen längeren Zeitraum aufgenommenen und abgegebenen Energiemengen und berücksichtigt somit auch die Rahmenbedingungen der jeweiligen Versorgungsaufgabe. Die Effizienz von Wärmepumpen sinkt mit steigendem Temperaturhub (Temperaturdifferenz zwischen aufgenommenem und abgegebenem Wärmestrom), weshalb für die Gebäudeheizungen Heizungssysteme mit geringem Temperaturniveau, wie etwa Fußbodenheizungen, favorisiert werden. Die Werte für die erreichbaren Leistungszahlen (coefficient of performance COP) liegen für derartige Systeme im Bereich um 5,3.

Für industriell genutzte Kompressionswärmepumpen ergeben sich aktuell Investitionskosten in einem Bereich von etwa 150 €/kW<sub>th</sub>. Für den einstufigen Betrieb können bei der Nutzung von Umgebungswärme Temperaturen von etwa 65 °C erreicht werden. Durch Hintereinanderschaltung mehrerer Wärmepumpen (Kaskade) lässt sich aktuell das Temperaturniveau bis auf etwa 80 °C (zweistufig) bzw. 100 °C (dreistufig) steigern, allerdings bei stetig sinkender Effizienz.

Großwärmepumpen können für die Anwendungsfelder Raumwärme, Warmwasser und NT-Prozesswärme eingesetzt werden. Weitere mögliche Anwendung umfassen die Gebäudeklimatisierung und die Kälteerzeugung. Zum Betrieb von Fernwärmenetzen werden Großwärmepumpen in Deutschland derzeit nicht eingesetzt.

### **ORC (Organic Rankine Cycle)**

ORC-Anlagen arbeiten nach dem aus konventionellen Dampfkraftwerken bekannten Rankine-Prozess, bei der ein flüssiges Arbeitsmittel erwärmt, verdampft und anschließend in einer Turbine entspannt wird. Anstelle des Wassers werden beim ORC-Prozess verschiedene organische Arbeitsmittel, wie etwa Pentan, eingesetzt, die bereits auf geringem Temperaturniveau siedend und somit auch niedertemperaturige Wärmeströme, wie sie bspw. für geothermische Quellen (ca. 100-110 °C) typisch sind, nutzen können. Entsprechend gering fällt allerdings mit ca. 15 % der erreichbare elektrische Gesamtwirkungsgrad aus. Der thermische Wirkungsgrad der Anlagen liegt bei etwa 70-75 %. Typi-



sche Leistungsgrößen der ORC-Anlagen liegen zwischen  $500 \text{ kW}_{\text{el}}$  und  $2 \text{ MW}_{\text{el}}$ . Die Investitionskosten betragen derzeit durchschnittlich ca.  $1.050 \text{ €/kW}_{\text{el}}$ . Außer zur Nutzung geothermischer Quellen kann der ORC-Prozess auch zur Energiegewinnung aus Biomasse, insbesondere Holz, genutzt werden. ORC-Anlagen werden hauptsächlich zum Betrieb von Fern- und Nahwärmenetzen eingesetzt. Für Verbraucher mit entsprechend hohem Wärmebedarf können auch die Anwendungsfelder Raumwärme, Warmwasser und NT-Prozesswärme bedient werden.

### **Wärmetauscher**

Wärmetauscher sind wichtige Bestandteile von Nah- und Fernwärmenetzen. Sie dienen einerseits bei der Einspeisung zur Übertragung der zentral erzeugten Wärme in das Wärmenetz, andererseits als Schnittstelle zwischen Netz und Verbraucher bei der Wärmeentnahme aus dem Netz.

Von Wärmetauschern existieren verschiedene Bauformen, bspw. Platten- oder Rohrwärmetauscher, als Materialien werden anwendungsabhängig Stahl, Edelstahl oder Guss eingesetzt. Die Leistungsgrößen betragen zwischen wenigen  $\text{kW}_{\text{th}}$  und mehreren  $\text{MW}_{\text{th}}$ . Den entscheidenden Parameter bei der Investitionskostenermittlung eines Wärmetauschers stellt die Wärmeaustauschfläche dar, die wiederum von der zu übertragenden Wärmemenge, vom Temperaturniveau der einzelnen Stoffströme, der Wandstärke und dem verwendeten Material abhängig ist. Die spezifischen Investitionskosten eines Wärmetauschers mit  $50 \text{ m}^2$  Austauschfläche betragen etwa  $7.600 \text{ €}$  (incl. Montage), bei einer Austauschfläche von  $400 \text{ m}^2$  liegen die Investitionskosten bei  $42.000 \text{ €}$  /IUTA 1999/.

### **Brennwertkessel (Erdgas/Heizöl EL)**

Bei der Brennwerttechnologie wird die bei der Verbrennung des Brennstoffs entstehende Wärmemenge über Wärmetauscher aus dem Abgasstrom auf das mit Wasser betriebene Heiznetz übertragen bzw. zur Erwärmung von Trinkwasser (Warmwasserversorgung) genutzt. Als Besonderheit der Brennwerttechnologie gegenüber konventionellen Niedertemperatursystemen gilt die Nutzbarkeit der Kondensationswärme des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfs. Die Kondensation erfolgt in einem separaten Wärmetauscher, weshalb die Brennwerttechnologie höhere Investitionskosten als die traditionellen Niedertemperaturkessel aufweist. Wegen der zusätzlich nutzbaren Kondensationswärme können mit der Brennwerttechnologie theoretisch Wirkungsgrade über  $100 \%$ , bezogen auf den Heizwert des Brennstoffs, erreicht werden. Der Normnutzungsgrad von Erdgasbrennwertkesseln beträgt  $108 \%$ , für Heizölbrennwertkessel liegt er wegen des geringeren Wasserdampfanteils geringfügig darunter. In der Praxis werden etwa  $93 \%$  erreicht. Wegen des Schwefelanteils im Brennstoff und der damit einhergehenden Säurebildung ist bei Heizölbrennwertkesseln der Einbau einer Neutralisationseinrichtung vorgeschrieben. Typische Leistungsgrößen von Brennwertkesseln beginnen ab etwa  $8 \text{ kW}_{\text{th}}$  und reichen bis etwa  $1.200 \text{ kW}_{\text{th}}$ . Die Investitionskosten betragen bspw. etwa  $350 \text{ €/kW}_{\text{th}}$  für Kleinanlagen bzw. ca.  $44 \text{ €/kW}_{\text{th}}$  für große Systeme mit  $560 \text{ kW}_{\text{th}}$ .

Die Anwendungsfelder von Brennwertkesseln sind die Erzeugung von Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme bis etwa  $600 \text{ °C}$ . Die produzierte Wärme kann in Prozessdampfsysteme, in Systeme zur Fluiderwärmung (Gas-, Luft- und/oder Flüssigkeitsströme) eingespeist werden oder direkt aus dem Abgasstrom (bspw. Brenn- oder Trockenprozesse) entnommen werden. Mit der Brennwerttechnik lassen sich zudem Fern- und Nahwärmesysteme versorgen.

### **Niedertemperaturkessel (NT-Kessel)**

Beim Niedertemperaturkessel wird die bei der Verbrennung des Brennstoffs (meist Erdgas oder Heizöl) entstehende Wärme über Wärmetauscher an das Verteilersystem abgegeben. Im Gegensatz zum Brennwertkessel wird der Wasserdampfanteil im Abgasstrom nicht auskondensiert. Durch den Verzicht auf den zusätzlichen Wärmetauscher sinken die Investitionskosten für den Kessel, allerdings entstehen wegen der höheren Abgastemperatur des NT-Kessels Mehrkosten am Kamin, da im Ge-

gensatz zum Brennwertkessel nicht auf preisgünstige Kunststoffabgasrohre zurückgegriffen werden kann. Stattdessen müssen Aluminium- bzw. Edelstahlrohre oder eine mehrschaliger Kamin eingesetzt werden. Das Leistungsspektrum von NT-Kesseln erstreckt sich vom einstelligen kW-Bereich bis etwa 1,2 MW<sub>th</sub>. Der Normnutzungsgrad von NT-Kesseln liegt bei ca. 93 %. In der Praxis werden Nutzungsgrade von etwa 85 % erreicht. Die Investitionskosten reichen von 23 €/kW<sub>th</sub> für Systeme mit 1.200 kW<sub>th</sub> bis etwa 180 €/kW<sub>th</sub> für Kleinanlagen.

Die Anwendungsfelder von NT-Kesseln umfassen die Versorgung mit Raumwärme und Warmwasser sowie die Prozesswärme- und Fernwärmeerzeugung.

### **Fernwärme-Hausstationen**

Fernwärme-Hausstationen bestehen aus einer Übergabestation und einer Hauszentrale. In der Übergabestation werden die vertragsmäßigen Parameter der Wärmeübergabe (Druck und Temperatur) und in der Hauszentrale die thermischen und hydraulischen Gegebenheiten der Heizungsanlage geregelt. Um neben der Gebäudeheizung auch die Brauchwassererwärmung bereitzustellen, werden zusätzlich überwiegend Speicher-Brauchwassererwärmer in die Hauszentrale integriert, d. h., in der Hausstation sind Speicher integriert, deren Dimensionierung in Abhängigkeit der Nutzeranzahl erfolgt.

### **Abwärmenutzung**

Eine weitere Wärmequelle zur Versorgung industrieller Anwendungen stellt die Abwärmenutzung dar. Vor allem in energieintensiven Branchen (Metallerzeugung, Baustoffindustrie) fallen große Abwärmemengen auf hohem Temperaturniveau an, deren weitere Nutzung sich aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen anbietet. Die Abwärme ist zumeist in Abgasströmen enthalten und wird ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben. Die Nutzung anfallender Abwärme konkurriert mit Maßnahmen zur Primärenergieeinsparung, bei denen tendenziell weniger Abwärme anfällt, wie etwa die verbesserte Isolierung von Apparaturen und Leitungen oder weiterer Maßnahmen, wie bspw. in /BREF 2008/ beschrieben. Bei sehr großen, energieintensiven Betrieben (z. B. Stahlwerke, Aluminiumschmelzwerke) besteht darüber hinaus die Möglichkeit, anfallende Abwärmemengen zu verstromen, etwa mit Hilfe von Abhitzedampferzeugern und nachgeschalteter Dampfturbinen.

Grundsätzlich kann zwischen betriebsinterner und –externer Abwärmenutzung unterschieden werden. Bei der betriebsinternen Nutzung (vgl. /BREF 2008/) wird die zurück gewonnene Wärme an anderer Stelle des Produktionsprozesses wieder verwendet (bspw. die Abwärme des Brennofens einer Ziegelei zur Trocknung der Rohziegel). Zudem besteht die Möglichkeit, über Wärmepumpen anfallende Abwärmemengen wieder einer Nutzung zu zuführen /BREF 2008/, wobei bei entsprechend hochtemperaturiger Abwärme in großen Mengen auch eine Kälteerzeugung (mit Hilfe von Absorptionswärmepumpen) denkbar ist.

Bei der externen Nutzung wird die Abwärme außerhalb des Betriebsgeländes für andere Zwecke genutzt, die Übertragung kann bspw. über Thermoöl- oder Dampfleitungen sowie über Systeme der Mobil Wärme erfolgen, bei denen die in Speichermedien (bspw. Thermoöle oder Zeolithwerkstoffe) aufgefangene Wärme per Bahn oder LKW zu einem Nutzer transportiert wird. Auch die Einspeisung von Abwärme in ein Fern- oder Nahwärmenetz stellt eine Art der externen Abwärmenutzung dar.

Die erreichbaren Wirkungsgrade der Abwärmenutzung (hier: Verhältnis zurück gewonnener zu anfallender Abwärme) sind abhängig von den Temperatur- und Stoffstromverhältnissen der jeweiligen Anwendung sowie von wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. So können mittels quasi unendlich großer Abwärmetauscher nahezu 100 % der übertragbaren Wärme nutzbar gemacht werden, allerdings mit entsprechend hohen spezifischen Anlagenkosten. Die spezifischen Investitionskosten eines Wärmetauschers mit 50 m<sup>2</sup> Austauschfläche betragen etwa 7.600 € (incl. Montage), bei einer Austauschfläche von 400 m<sup>2</sup> liegen die Investitionskosten bei 42.000 € /IUTA 1999/. Einen weiteren, Kosten stei-

gernden Aspekt kann das Vorhandensein korrosiver, reaktiver oder gesundheitsschädlicher Anteile im Abgasstrom darstellen, die eine spezielle Anlagentechnik erforderlich machen.

Die vollständigen Kosten der Abwärmenutzung sind daher nur einzelfallabhängig zu ermitteln, neben dem Wärmetauscher sind v. a. der Leitungsbau und die Aufwendungen für Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) sowie die erforderlichen Sicherheitseinrichtungen kostenrelevante Punkte /Ohl et al. 2007/.

### Optionen industrieller Wärmeerzeugungstechniken im Überblick

Die wichtigsten technischen und wirtschaftlichen Rahmendaten der aufgeführten Techniken zur Wärmeversorgung von Industriebetrieben sind in Tabelle 8-6 zusammengefasst.

**Tabelle 8-6:** Technische und wirtschaftliche Rahmendaten industrieller Wärmeerzeugungstechniken

Technik	Brennstoffe bzw. Wärmequellen	Max. Temperaturniveau	Leistungsbereich	Max. el. Wirkungsgrad	Max. therm. Wirkungsgrad mit/ohne Abgaswärmetauscher	Spez. Investitionen über Leistungsbereich
	[-]	[°C]	[kW]	[%]	[%]	[€/kW]
Abwärmenutzung	Abwärme	1.500	>= 10	-	-	einzelfallabhängig
Motor-BHKW*	Erd- und Biogase, Heizöl, Palmöl, Alkohole	550	5-30	25	58/60	2.500 - 1.000
			30-100	39	50/52	1.000-500
			100-10.000	48	42/45	500-200
Gasturbinen-BHKW*	Erdgas	800	100-10.000	35	55	1.300-100
Brennwertkessel	Erd- und Biogase, Heizöl	600	10-100	-	95	400-120
			100-10.000	-	95	120-40
NT-Kessel	Erd- und Biogase, Heizöl, feste Brennstoffe (Kohle, Holz, ...)	600	5-100	-	90	480-110
			100-10.000	-	90	110-30
ORC-Anlage*	Geothermie, Holz, Biomasse	120	500-2000	15	72/75	1.300-900
Wärmepumpe	Luft, Wasser, Boden		5-100	-	COP=5	500-180
Großwärmepumpe	Luft, Wasser, Boden, Abwärme		100-10.000	-	COP=5,3	183-70
Wärmetauscher	Nah-/Fernwärme	200	5-10.000	-		400-50

\* Angaben bezogen auf kW<sub>el</sub>

### 8.2.2 Wärmeversorgung des GHD-Sektors

Der Wärmebedarf des GHD-Sektors erstreckt sich im Wesentlichen auf die Anwendungsgebiete Raumwärme und Warmwasserbereitung (vgl. Kapitel 4.2). Ein nennenswerter Prozesswärmebedarf besteht in der Regel nicht. Somit konzentriert sich der Wärmebedarf des GHD-Bereichs auf den Niedertemperatursektor (NT-Bereich). Dieses Temperatursegment kann aus technischer Sicht von zahlreichen Technikalternativen abgedeckt werden. Nachfolgend sind allerdings lediglich die Randbedingungen des Einsatzes der einzelnen Techniken beschrieben, die Angaben zur Funktionsweise und den verfügbaren Leistungsgrößen sind bereits vollständig in Abschnitt 8.2.1 enthalten.

#### Blockheizkraftwerke (BHKW)

BHKW kommen im GHD-Bereich v. a. zur Raumwärme- und Warmwasserbereitung großer Wärmeverbraucher wie etwa Verwaltungs- und Dienstleistungszentren zum Einsatz. Im Gegensatz zur industriellen Anwendung werden sie jedoch i. d. R. nur in Leistungsgrößen bis 2 MW<sub>el</sub> eingesetzt.

Außerdem können BHKW als Wärmeerzeugungsanlagen für Nah- bzw. Fernwärmenetze dienen, an die Abnehmer aus dem GHD-Sektor angeschlossen sind.

### **Großwärmepumpen**

Großwärmepumpen können für den GHD-Sektor zur Versorgung großer Objekte mit Raumwärme und Warmwasser genutzt werden. Zudem können sie zur Klimatisierung (Kühlung) großer GHD-Immobilien eingesetzt werden.

### **ORC (Organic Rankine Cycle)**

Die Anwendungsfelder von ORC-Anlagen innerhalb des GHD-Sektors umfasst die Versorgung großer Objekte (bspw. Schul- oder Verwaltungszentren) mit Raumwärme und Warmwasser sowie von Nah- und Fernwärmenetzen, an denen Verbraucher jeder Größe aus dem GHD-Sektor angeschlossen sind.

### **Wärmetauscher**

Die im GHD-Sektor verwendeten Wärmetauscher unterscheiden sich lediglich in der Dimensionierung von den in der Industrie eingesetzten Anlagen.

### **Niedertemperaturkessel (NT-Kessel)**

Analog zum Brennwertkessel können auch NT-Kessel innerhalb des GHD-Sektors zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser für alle Objektgrößen eingesetzt werden.

### **Brennwertkessel (Erdgas/Heizöl EL)**

Als Anwendungsfelder für den Brennwertkesselseinsatz kommen die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser für alle Objektgrößen des GHD-Sektors in Frage. Zusätzlich können Brennwertkessel auch zur Wärmeeinspeisung in Nah- und Fernwärmenetze dienen, an die Nutzer aus dem GHD-Bereich angeschlossen sind.

### **FW-Hausstationen**

FW-Hausstationen bestehen aus einer Übergabestation und einer Hauszentrale. In der Übergabestation werden die vertragsmäßigen Parameter der Wärmeübergabe (Druck und Temperatur) und in der Hauszentrale die thermischen und hydraulischen Gegebenheiten der Heizungsanlage geregelt. Um neben der Gebäudeheizung auch die Brauchwassererwärmung bereitzustellen werden zusätzlich überwiegend Speicher-Brauchwassererwärmer in die Hauszentrale integriert.

### **Wärmepumpe**

Die Anwendungsfelder der Wärmepumpe innerhalb des GHD-Sektors umfassen die Klimatisierung und Beheizung von Gebäuden sowie die Versorgung mit Warmwasser. Als Wärmequellen kommen überwiegend Wasser, Luft, Abwasser sowie der Erdboden in Frage.

## **8.2.3 Wärmeversorgung des kommunalen Sektors**

Die Wärmenachfrage des öffentlichen Sektors besteht v. a. aus dem Raumwärme- und Warmwasserbedarf, d. h. es besteht kein nennenswerter Prozesswärmebedarf (vgl. Kapitel 4.3). Dementsprechend kommen für die Versorgung des öffentlichen Sektors alle Wärmeerzeugungstechniken in Frage, die den NT-Sektor abdecken können. Diese sind nachfolgend zusammengestellt, die jeweils zugehörige ausführliche Beschreibung findet sich in Abschnitt 8.2.1.

**Blockheizkraftwerke (BHKW)**

BHKW kommen im öffentlichen Sektor v. a. zur Raumwärme- und Warmwasserbereitung großer Wärmeverbraucher wie etwa Bäder, Schulen, Verwaltungszentren oder Krankenhäuser zum Einsatz. Außerdem können sie als Wärmeerzeugungsanlagen für Nah- bzw. Fernwärmenetze dienen, an die Abnehmer aus dem öffentlichen Sektor angeschlossen sind.

**Großwärmepumpen**

Großwärmepumpen können im öffentlichen Sektor zur Versorgung großer Objekte mit Raumwärme und Warmwasser genutzt werden. Zudem können sie zur Klimatisierung (Kühlung) von Gebäuden und zur Lufttrocknung in Bädern eingesetzt werden.

**ORC (Organic Rankine Cycle)**

Die Anwendungsfelder von ORC-Anlagen innerhalb des öffentlichen Sektors umfasst die Versorgung großer Objekte (bspw. Schul- oder Verwaltungszentren) mit Raumwärme und Warmwasser sowie von Nah- und Fernwärmenetzen, an denen Verbraucher jeder Größe aus dem öffentlichen Sektor angeschlossen sind.

**Wärmetauscher**

Die im kommunalen Bereich verwendeten Wärmetauscher unterscheiden sich lediglich in der Dimensionierung von den in der Industrie eingesetzten Anlagen..

**Niedertemperaturkessel (NT-Kessel)**

Analog zu den Brennwertkesseln können auch sämtliche Objekte des öffentlichen Sektors mit Raumwärme und Warmwasser aus Niedertemperaturkesseln versorgt werden. Zudem lassen sich mit dieser Technik auch Nah- und Fernwärmenetze mit Wärme versorgen, an die Abnehmer jeder Größe aus dem öffentlichen Sektor angeschlossen werden können.

**Brennwertkessel (Erdgas/Heizöl EL)**

Brennwertkessel können zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser größenunabhängig für sämtliche Objekte innerhalb des öffentlichen Sektors verwendet werden. Zusätzlich können mit dieser Technik auch Nah- und Fernwärmenetze gespeist werden, mit denen Verbraucher aus dem öffentlichen Bereich bedient werden.

**Fernwärme-Hausstationen**

Hausstationen zur Fernwärmeversorgung können auch in allen Objekten des öffentlichen Sektors Anwendung finden.

**Wärmepumpe**

Genau wie die Großwärmepumpen können auch Wärmepumpen kleiner und mittlerer Leistungsgröße zur Klimatisierung, Raumwärme- und Warmwasserversorgung des öffentlichen Sektors genutzt werden. In der Regel beschränkt sich der Einsatz von Wärmepumpen dieser Kategorie aus Kapazitätsgründen auf kleinere und mittlere Objekte, wie z. B. einfache Verwaltungsgebäude.

## 9 Kosten der Wärmeversorgung

In diesem Abschnitt wird die Annuitätenmethode zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für die verschiedenen Wärmeversorgungsalternativen vorgestellt und verwendet. Dabei wird eine Unterscheidung zwischen der Wärmeerzeugung und ggf. der Wärmeverteilung getroffen. Für die Ermittlung der maximal möglichen Verteilungskosten wird der Begriff des „anlegbaren Wärmepreises“ eingeführt.

Bei der Kapitalwertmethode werden die über den gesamten Betrachtungszeitraum anfallenden Kosten und Erlöse auf den jetzigen Zeitpunkt diskontiert. Da bei verschiedenen Techniken unterschiedliche Zahlungen und Erlöse zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, erlaubt dieses Verfahren den einfachen wirtschaftlichen Vergleich verschiedener Technikalternativen.

Bei der Annuitätenmethode werden die verschiedenen Investitionen und weiteren Aufwendungen in jährliche Zahlungen umgerechnet. Somit lassen sich Alternativen mit unterschiedlichen Laufzeiten vergleichen. Allerdings ist die Annuitätenmethode ungeeignet, wenn Investitionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen.

### 9.1 Kostenstruktur der Fernwärmeversorgung

#### 9.1.1 Kosten der Wärmeerzeugung

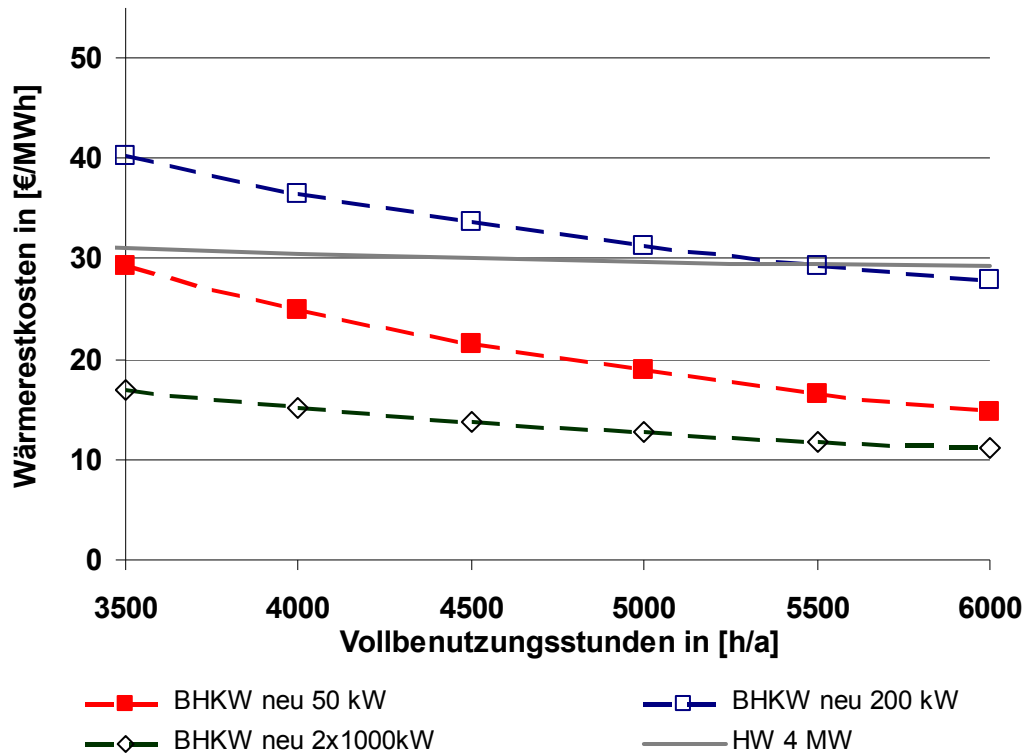
Für die Bestimmung der Wärmebereitstellungskosten einer KWK-Anlage sind sowohl die (leistungsgrößenabhängigen) Investitionskosten als auch die fixen (v. a. Kapitalkosten) und variablen (vor allem Brennstoffkosten) Betriebskosten zu berücksichtigen. Aus der Verrechnung von anfallenden Gesamtkosten der Anlage und ggf. erzielten Einspeisevergütungen für erzeugten KWK-Strom lassen sich die verbleibenden Kosten als sogenannte Wärmerestkosten ermitteln. Diese Kosten müssen dann auf die angeschlossenen Wärmenutzer, bspw. in Abhängigkeit von jeweiligem Anschlusswert und Wärmeverbrauch, umgelegt werden.

Bei der Bestimmung der Investitionskosten ist zu beachten, dass einerseits die spezifischen Investitionskosten von Erzeugungsanlagen tendenziell mit steigender Gesamtleistung sinken (vgl. Kapitel 8), jedoch gleichzeitig die Vollbenutzungstundenzahlen abnehmen. Die aus wirtschaftlicher Sicht optimale Leistungsgröße einer geplanten Anlage stellt sich als diejenige Alternative mit den geringsten Wärmerestkosten dar.

Dabei sind bei Systemen mit Stromerzeugung auch die jeweils erzielbaren, unterschiedlich hohen Vergütungssätze zu beachten. Als Einspeisevergütung für KWK-Anlagen kann der durchschnittliche Preis für Baseload-Strom an der Strombörse EEX in Leipzig im jeweils vorangegangenen Quartal angesetzt werden. Zusätzlich erhalten Anlagen bis 50 kW<sub>el</sub>, die zwischen dem 1.4.2002 und dem 31.12.2008 in Betrieb genommen werden, weitere 5,11 Cent/kWh<sub>el</sub> als KWK-Vergütung. Weiterhin sind die jeweils vermiedenen Netznutzungsentgelte zu berücksichtigen.

Aus der Summe aller Kosten abzüglich der Einspeisevergütungen im Verhältnis zur erzeugten Wärmemenge errechnen sich die spezifischen Wärmerestkosten. Ein beispielhafter Vergleich verschiedener Wärmerestkosten in Abhängigkeit der jeweiligen Anlagenauslastung ist in Abbildung 9-1 dargestellt.

Die Wärmerestkosten der verschiedenen KWK-Erzeugungssysteme liegen bei 5.000 Vollbenutzungstunden zwischen 32,4 €/MWh<sub>th</sub> und 12,7 €/MWh<sub>th</sub> (vgl. Abbildung 9-1). Im Vergleich dazu betragen die Wärmeerzeugungskosten des Heizwerkes rund 30 €/MWh<sub>th</sub>, d. h., die Kosten der Wärmeerzeugung von 200 kW<sub>el</sub>-BHKW sind unter den angenommenen Rahmenbedingungen höher. Die Wärmeerzeugungskosten des 2·1000 kW<sub>el</sub>-BHKW sind mit 12,7 €/MWh<sub>th</sub> am niedrigsten. Für die in Abschnitt 5 bestimmte Jahresdauerlinie können somit direkt für die unterschiedlichen Leistungsgrößen die Wärmegestehungskosten bestimmt werden.



**Abbildung 9-1:** Wärmerestkosten verschiedener KWK-Anlagen in Abhängigkeit der Vollbenutzungsstunden im Vergleich Fernwärmeerzeugung im Heizwerk

### 9.1.2 Nah- bzw. Fernwärmeverteilungskosten für verschiedene Siedlungstypen

Neben den Wärmeerzeugungskosten müssen auch die spezifischen Verteilungskosten bestimmt werden, die für die Fernwärmebereitstellung und den Transport der Fernwärme anfallen. Dabei sind in den spezifischen Verteilungskosten die Betriebskosten der Wärmeverluste, die Hausanschlusskosten, die Kosten der Organisation und Verwaltung, die Pumpstromkosten und die Anschlusskosten, die durch die Verlegung der Kunststoffmantelrohrleitungen (KMR-Leitungen) entstehen, enthalten. Die Kosten für die Verlegung der KMR-Leitungen und der Hausanschlüsse lassen sich unter Netzausbaukosten zusammenfassen.

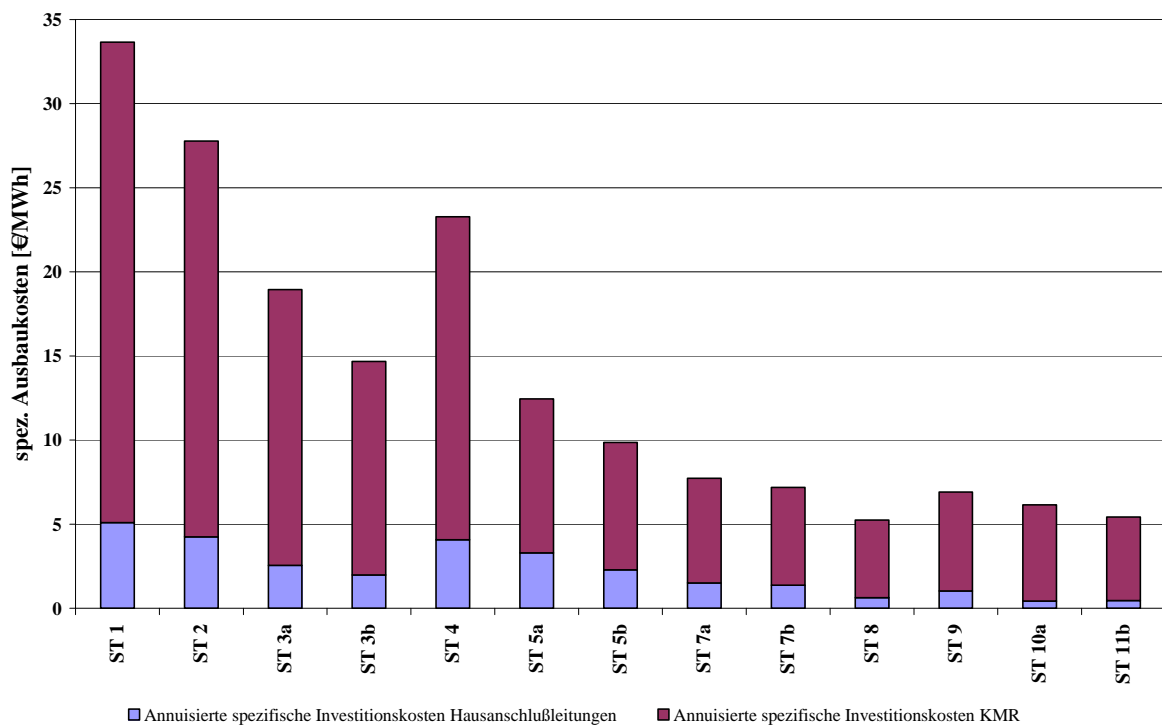
Die Netzausbaukosten werden bei Fernwärme durch die Verlegungskosten der KMR-Leitungen bestimmt. Diese unterscheiden sich wiederum je nach Siedlungstyp, da jeder Siedlungstyp eine andere Struktur aufweist, was sich auf die Verlegungskosten auswirkt. Dazu gehört beispielsweise der unterschiedliche Gebäudeabstand zur Straße, was sich auf die Länge der Anschlussleitungen auswirkt.

In der Realität ist es meistens nicht möglich, alle Teilnehmer eines Versorgungsgebietes schlagartig an ein Nah- bzw. Fernwärmeversorgungssystem anzuschließen. Jedoch entstehen bei dem Fernwärmeversorgungsunternehmen auf Grund der kapitalintensiven Verlegung der Leitungsrohre hohe Investitionskosten. Dies führt zu Anlaufkosten, die sich wirtschaftlich ungünstig gegenüber anderen Systemen der Wärmeversorgung auswirken /Blesl 2002/.

Aus diesem Grund ist es nötig, den Ausbaufortschritt und den kontinuierlichen Anschluss an das Fernwärmenetz bei den Verteilungskosten zu berücksichtigen. Dazu müssen zunächst einige Annahmen getroffen werden. Es wird von einem Ausbauperiode neuer Gebiete von 5 Jahren ausgegangen. Der Ausbaugrad soll 100 % betragen, während der Versorgungsgrad bei 80 % liegen soll. Dies führt dazu, dass während der ersten Jahre, in denen der Versorgungsgrad noch unterhalb der angestrebten 80 % liegt, die Kosten für die Anlaufverluste zu berücksichtigen sind. Dazu wird unter Beachtung des

Ausbauzeitraumes von 5 Jahren und des Betrachtungszeitraums von 20 Jahren, der durchschnittliche Versorgungsgrad bestimmt.

Wie Abbildung 9-2 zeigt, werden die Netzausbaukosten hauptsächlich von den Investitionskosten der KMR-Leitungen bestimmt. Je geringer die Wärmedichte eines Siedlungstyps, umso längere Leitungen müssen verlegt werden, um den gleichen Anschlusswert zu erzielen. Aus diesem Grund sind die spezifischen Kosten der KMR-Leitungen der Siedlungstypen mit einer hohen Wärmedichte, wie z. B. ST 6 oder ST 7b mit 5,45 bzw. 5,82 €/MWh<sub>th</sub> deutlich geringer, als bei Siedlungstyp ST 2, der eine wesentlich geringere Wärmedichte aufweist, und dessen annuisierte spezifische Kosten der KMR-Leitungen bei 23,53 €/MWh<sub>th</sub> liegen. Die Kosten für KMR-Leitungen unterscheiden sich zwischen diesen Siedlungstypen somit um den Faktor vier bis fünf.



**Abbildung 9-2:** Spezifische Netzausbaukosten der Siedlungstypen unter Berücksichtigung der Anlaufverluste

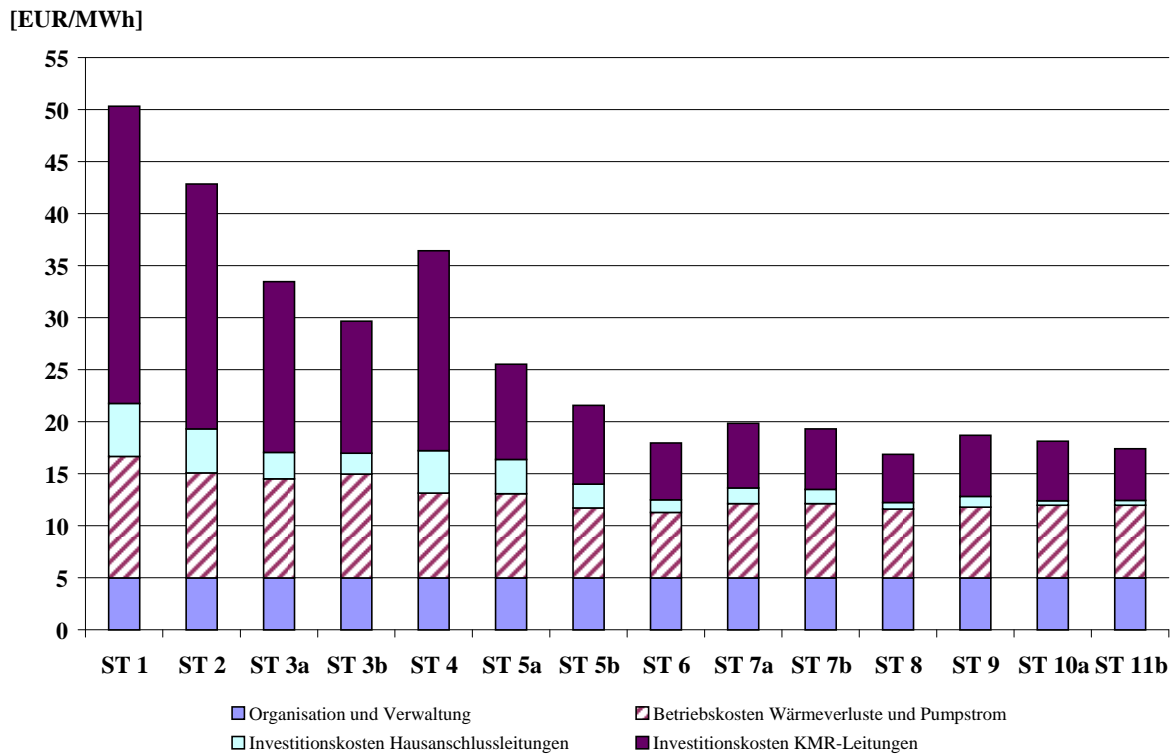
Die annuisierten spezifischen Investitionskosten der Hausanschlussleitungen werden dagegen von dem Abstand der Gebäude zur Straße bestimmt. Je größer die Entfernung zwischen Gebäude und Straße, und somit auch zur Fernwärmeleitung, umso länger fallen die Hausanschlussleitungen aus, wodurch die Kosten der Hausanschlüsse steigen. Es wird deutlich, dass die spezifischen Ausbaurkosten sich mit steigender Wärmedichte der Siedlungstypen vorteilhaft darstellen, bereits ab dem Siedlungstyp ST 5a liegen die spezifischen Ausbaurkosten unterhalb von 10 €/MWh<sub>th</sub>.

Neben den Investitionskosten müssen auch die Kosten berücksichtigt werden, die beim Betrieb des Fernwärmenetzes anfallen. Hierzu zählen die Pumpstromkosten, Kosten der Organisation und Verwaltung, sowie Kosten aufgrund der Wärmeverluste an. Pumpstrom wird benötigt, um den Fernwärmenetzbetrieb aufrecht zu erhalten, und das Heizwasser durch das Netz zu pumpen. Organisations- und Verwaltungskosten umfassen neben den Wärmemesskosten die Kosten für die Verwaltung und Abrechnung der Fernwärme. Es kann angenommen werden, dass die spezifischen Kosten der Organisation und Verwaltung für jeden Siedlungstyp gleich hoch sind. Sie liegen ca. bei 5 Euro/MWh. Den größten Anteil an den Betriebskosten stellen die Wärmeverluste dar. Wärmeverluste entstehen, da das Fernwärmenetz nicht vollständig wärmeisoliert ist, wodurch Wärme an die Umgebung, im Fall



einer unterirdischen Verlegung der Fernwärmeleitungen an das Erdreich abgestrahlt wird. Dadurch muss in den Erzeugungsanlagen mehr Wärme bereitgestellt werden, als an Endkunden abgegeben wird, wodurch mehr Brennstoff verbraucht wird, was zu zusätzlichen Kosten führt. Die Wärmeverluste variieren je nach Siedlungstyp, wobei eine hohe Wärmebedarfsdichte zu sinkenden Wärmeverlusten führt.

Die Summe aus den Betriebs- und den Verteilungskosten der Nah- und Fernwärmeversorgung ist in Abbildung 9-3 dargestellt. Es wird deutlich, dass, abhängig vom betrachteten Siedlungstyp, das Verhältnis zwischen Investitions- und Betriebskosten aufgrund der unterschiedlichen spezifischen Investitionskosten variiert.



**Abbildung 9-3:** Verteilungskosten der Fernwärmeversorgung, bestehend aus den Investitions- und Betriebskosten

## 9.2 Wohngebäude

Neben der technischen Seite der Erzeugung und Verteilung muss auch die Wirtschaftlichkeit der Versorgungssysteme berücksichtigt werden. Nur bei Betrachtung der Kosten lässt sich feststellen, welches System der Wärmeversorgung tatsächlich einen Vorteil gegenüber den anderen darstellt. Zu diesem Zweck werden nun verschiedene Wärmeversorgungssysteme im Hinblick auf ihre Kostenstruktur untersucht. Eine entscheidende Rolle für die Beurteilung des Ausbaus der Fernwärmeversorgung spielt dabei der anlegbare Wärmepreis. Die Zusammensetzung und die wirtschaftliche Bedeutung des anlegbaren Wärmepreises werden in Abschnitt 9.4 erläutert.

### Vollkosten verschiedener Wärmeversorgungssysteme

Um einen Heizkostenvergleich durchführen zu können, muss zuerst die Versorgungsaufgabe festgelegt werden. Bei der Versorgungsaufgabe wird zwischen verschiedenen Gebäudetypen unterschieden. Hierbei werden Einfamilienhäuser, EFH, Reihendoppelhäuser, RDH, kleine Mehrfamilienhäuser, KMH und große Mehrfamilienhäuser, GMH, betrachtet. Die Leistungs- und Verbrauchswerte der genannten Gebäudetypen sind in Tabelle 9-1 aufgeführt. In jedem dieser Gebäudetypen muss dabei sowohl der Raumwärmebedarf, als auch der Brauchwarmwasserbedarf vollständig von dem betrach-

teten Heizungssystem gedeckt werden. Zudem kann bei dem gleichen Gebäudetyp zwischen Neubauten und sanierten Häusern unterschieden werden.

**Tabelle 9-1:** Leistungs- und Verbrauchswerte der Gebäudetypen

	Fläche	Leistungsbedarf	Vollbenutzungsstunden	Nutzenergiebedarf	spez. Wärmebedarf
	[m <sup>2</sup> ]	[kW]	[h/a]	[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]
EFH (Neu)	120	8	1.900	15.200	126,67
EFH (San.)	120	12	1.900	22.800	190,00
RDH (Neu)	110	7,5	1.900	14.250	129,55
RDH (San.)	110	10	1.900	19.000	172,73
KMH (Neu)	480	19,2	1.900	36.480	76,00
KMH (San.)	480	38,4	1.900	72.960	152,00
GMH (Neu)	880	30,8	1.900	58.520	66,50
GMH (San.)	880	60	1.900	114.000	129,55

In den betrachteten Gebäudetypen können verschiedene Heizungssysteme zum Einsatz kommen. Bei den Energieträgern werden Erdgas, Heizöl, Strom, Fernwärme, sowie Biomasse betrachtet.

Bei Erdgas wird ein Spezialkessel mit Heizwerttechnik, ein Brennwertkessel, sowie ein Kombithermesystem betrachtet. Auf Heizölbasis kann die Niedertemperaturheizung eingesetzt werden. Wird mit Strom beheizt, steht ein Elektro-Feststoffspeicher mit einem Durchlauferhitzer, oder eine Fußbodendirektheizung mit einem Durchlauferhitzer zur Verfügung. Bei Fernwärme wird zwischen einer direkten, oder einer indirekten Kompaktübergabestation unterschieden. Bei einer direkten Kompaktübergabestation wird die Heizungsanlage direkt von den Wasserkreislauf des Fernwärmenetzes durchströmt /Blesl 2002/. Die indirekte Übergabestation weist dagegen ein vom Fernwärmenetz getrenntes Heizungskreislaufsystem auf. Die beiden Netze sind dabei durch einen Wärmetauscher getrennt, durch den die Wärmeübergabe erfolgt. Holzpellets und Scheitholz werden als Biomassealternativen betrachtet.

Ausgehend von den beschriebenen Heizungssystemen werden ihre Vollkosten ermittelt. Die Vollkosten setzen sich dabei aus verschiedenen Kostenarten zusammen. Es wird zwischen den Kapitalkosten, fixen Betriebskosten und variablen Betriebskosten unterscheiden. Kapitalkosten entstehen durch Investitionen für zum Beispiel den Wärmeerzeuger, die Regelung oder das Leitungssystem. Jedoch handelt es sich bei den Investitionen um einmalige Ausgaben. Die Kapitalkosten werden dagegen auf ein Jahr bezogen. Die einmaligen Investitionskosten müssen somit auf die gesamte Lebensdauer aufgeteilt werden. Dazu wird die Annuitätenmethode verwendet. Die Annuitätenmethode rechnet eine einmalige Investition in gleich bleibende jährliche Auszahlungen um, die Investition wird somit periodisiert. Dabei muss die Lebensdauer des Objekts, sowie der Kapitalzinssatz berücksichtigt werden. Der Kapitalzinssatz bestimmt dabei die Verzinsung des eingesetzten Kapitals, wobei die Annuitätenmethode auch die Zinseszinsen berücksichtigt. Als Anlagenlebensdauer werden 20 Jahre angenommen. Der Kapitalzinssatz wird auf 6 % festgelegt. Fixe Betriebskosten ergeben sich aus den Instandhaltungskosten, Versicherungs- und Abrechnungskosten des Heizungssystems. Den dritten Kostenbestandteil stellen die variablen Betriebskosten dar. Die variablen Betriebskosten werden maßgeblich von den Energieträgerpreisen bestimmt. Die variablen Betriebskosten hängen von der jährlich erzeugten Wärmemenge ab. Sie setzen sich somit aus dem Arbeitspreis zusammen, der mit der jährlichen Wärmemenge multipliziert wird, und aus dem Leistungspreis, der einen festen Grundbetrag darstellt. Bei den Energieträgerpreisen, die den Arbeits- und den Leistungspreis bestimmen wird ebenfalls von einer Anlagenlebensdauer von 20 Jahren ausgegangen. Es wird eine jährliche Steigerung des Arbeitspreises von 1,7% und eine Erhöhung des Leistungspreises von 1 % pro Jahr angenommen. Als

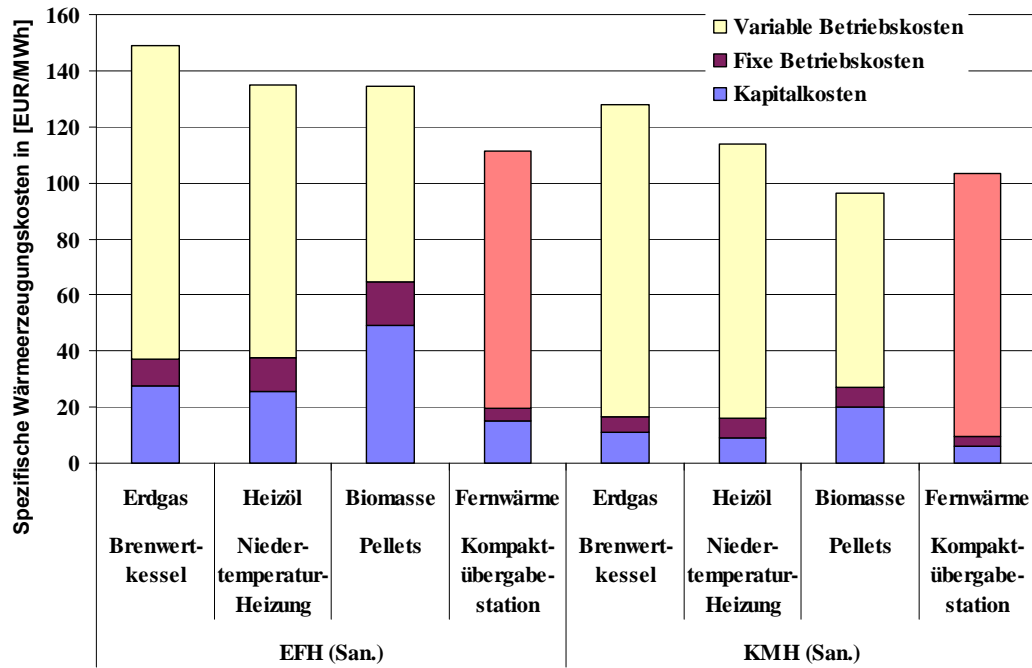
Basis dienen die in Tabelle 9-2 angegebenen Werte. Daraus wird anschließend der durchschnittliche Arbeits- und Leistungspreis errechnet.

**Tabelle 9-2:** Ausgangspreise der verschiedenen Energieträger abhängig vom Gebäudetyp für das Jahr 2007

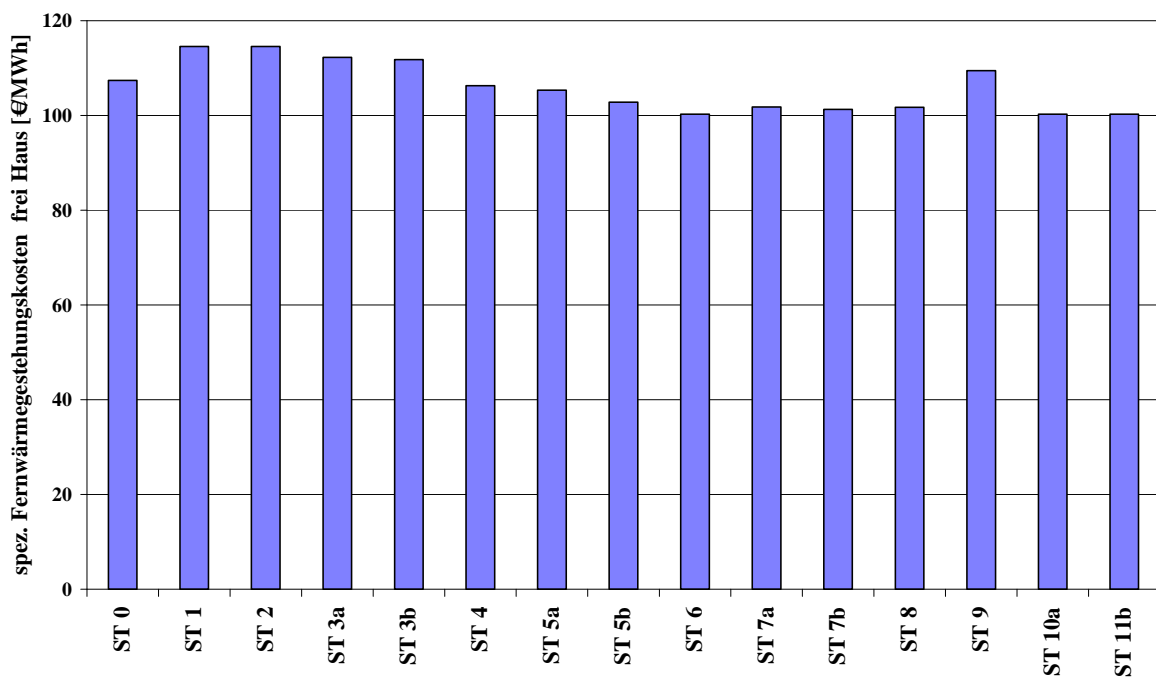
2007		Strom		Heizöl	Erdgas		Fernwärme		Pellets	Scheitholz
		Arbeitspreis	Grundpreis		Leistungspreis	Arbeitspreis	Leistungspreis	Arbeitspreis	Arbeitspreis	Arbeitspreis
		[€/kWh]	[€/a]	[€/l]	[€/a]	[€/kWh]	[€/a]	[€/kWh]	[€/kWh]	[€/kWh]
<b>EFH</b>	Neu	0,109	67,2	0,71	160	0,072	306,78	0,06	0,047	0,04
	San.	0,109	100,8	0,71	240	0,072	306,78	0,06	0,047	0,04
<b>RDH</b>	Neu	0,109	63	0,71	150	0,072	306,78	0,06	0,047	0,04
	San.	0,109	84	0,71	200	0,072	306,78	0,06	0,047	0,04
<b>KMH</b>	Neu	0,109	144	0,71	288	0,072	736,26	0,06	0,047	0,04
	San.	0,109	288	0,71	576	0,072	1012,36	0,06	0,047	0,04
<b>GMH</b>	Neu	0,109	184,8	0,71	370	0,072	1073,71	0,06	0,047	0,04
	San.	0,109	360	0,71	720	0,072	1073,71	0,06	0,047	0,04

Mit diesen Vorgaben können nun die spezifischen Wärmeerzeugungskosten für die einzelnen Gebäudetypen ermittelt werden. Dazu wird die Summe der jährlichen Kosten, bestehend aus den Kapitalkosten, den fixen und den variablen Betriebskosten, auf die jährliche Wärmemenge, die für Raumwärme, und Brauchwarmwasser benötigt wird, bezogen. Dadurch ergeben sich die spezifischen Wärmeerzeugungskosten eines Heizungssystems bezüglich der jeweiligen Versorgungsaufgabe.

In Abbildung 9-4 sind die spezifischen Wärmeerzeugungskosten einiger Heizungssysteme für Einfamilienhäuser EFH und kleine Mehrfamilienhäuser KMH dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich die einzelnen Kostenanteile verschiedener Heizungssysteme innerhalb einer Versorgungsaufgabe unterscheiden, als auch die Kostenanteile desselben Heizungssystems bei unterschiedlichen Gebäudetypen.



**Abbildung 9-4:** Vergleich der spezifischen Wärmeerzeugungskosten verschiedener Wärmeversorgungssysteme bei EFH und KMH



**Abbildung 9-5:** Durchschnittliche spezifische Fernwärmegestehungskosten aus der Sicht der Gebäudeeigentümer in Abhängigkeit vom Siedlungstyp

Die Erzeugungskosten eines Heizungssystems variieren in Abhängigkeit vom betrachteten Siedlungstyp. Die Ursache dafür liegt in der Verteilung der Gebäudetypen auf die Siedlungstypen. Mit Hilfe einer Gebäudematrix lässt sich der Anteil der Gebäudetypen in den verschiedenen Siedlungstypen abbilden. Dadurch haben Siedlungstypen mit einer ähnlichen Bebauungsstruktur, d. h. Gebäudematrix,

auch vergleichbare Erzeugungskosten, da sich die Gebäudestruktur lediglich gering unterscheidet, vor allem jedoch in der Bebauungsdichte, die aber keinen Einfluss auf die spezifischen Erzeugungskosten bei nicht leitungsgebunden Systemen besitzt. Aus diesem Grund liegen die Erzeugungspreise der Siedlungstypen ST 1 und ST 2 sowie von ST 7a und ST 7b sehr eng beieinander.

In Abbildung 9-5 sind die spezifischen Fernwärmegestehungskosten frei Haus aus der Sicht des Gebäudeeigentümers in Abhängigkeit von den Siedlungstypen aufgeführt. Darin sind die Kapitalkosten, fixe und variable Betriebskosten enthalten. Es werden bei der Art des Anschlusses indirekte Übergabestationen berücksichtigt, bei denen das Fernwärmenetz mit dem Heizungskreislauf über einen Wärmetauscher gekoppelt ist. Als Basis zur Bestimmung der variablen Betriebskosten dienen die in Tabelle 9-2 angegebenen Preise unter Berücksichtigung der Preisentwicklung.

### 9.3 Nichtwohngebäude

Der Nichtwohnbereich umfasst die Sektoren Industrie, GHD und den kommunalen Bereich. Die jeweils zur Verfügung stehenden Techniken der Wärmeerzeugung sind in Kapitel 8.2 dargestellt.

#### 9.3.1 Industrielle Prozesswärme

Die Kosten der Erzeugung von Prozesswärme in der Industrie hängen von einer Reihe von Faktoren ab. Eine entscheidende Rolle kommt dabei der Branche bzw. der Art des Betriebs zu, da von den hergestellten Produkten die Höhe und das erforderliche Temperaturniveau des Wärmebedarfs abhängig sind. Das betrieblich erforderliche Temperaturniveau entscheidet bereits bei der Auswahl der Wärmeerzeugungstechnik. So können nur Erzeugungstechniken installiert werden, die in der Lage sind, das jeweils erforderliche Temperaturniveau bereit zu stellen. In der Praxis wird bei den meisten Betrieben das höchste erforderliche Temperaturniveau der verschiedenen Arbeitsprozesse als Kriterium für die Technikauswahl herangezogen, da in diesem Fall der gesamte Betrieb mit einer einzigen Wärmeerzeugungsanlage versorgt werden kann. Weitere bedeutende Aspekte sind die jeweils installierten Leistungen und die zugehörigen Jahresnutzungen.

Die Höhe des erforderlichen Wärmebedarfs fließt im Wesentlichen über zwei unterschiedliche Ansatzpunkte in die Kostenbetrachtung ein. So ist zunächst die Höhe des Wärmebedarfs ein entscheidendes Kriterium für die installierte Leistung und die damit verbundenen Investitionskosten. Je größer die Leistung, desto höher die absoluten Investitionskosten. Bezogen auf das  $\text{kW}_{\text{th}}$  weisen größere Anlagen in der Regel allerdings wegen einsetzender Degressionseffekte geringere spezifische Investitionskosten auf, die sich über die höhere Produktionsmenge auch in günstigeren Wärmeerzeugungskosten niederschlagen können.

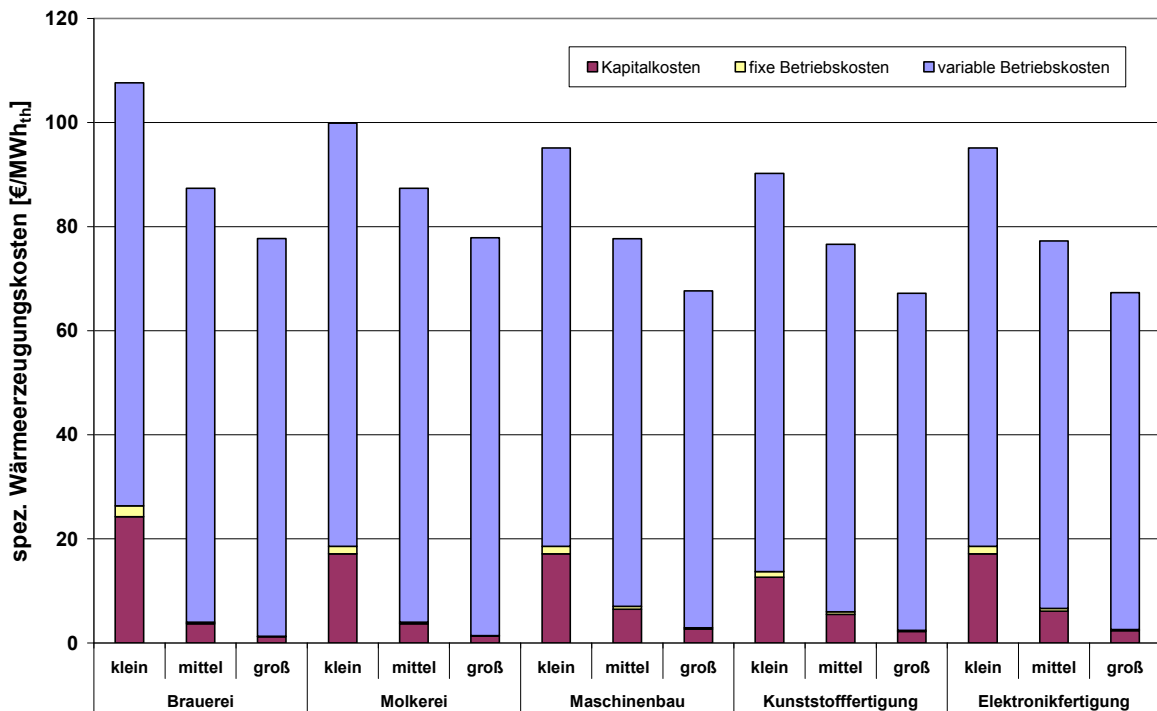
Der zweite wesentliche größenspezifische Einflussfaktor auf die Kosten betrifft die Brennstoffpreise. Hier sind größere Anlagen mit höherer Wärmeerzeugung und damit auch größerer Brennstoffnachfrage wegen möglicher Mengenrabatte bezüglich der spezifischen Brennstoffkosten ebenfalls im Vorteil. Hinzu kommt, dass energieintensive Betriebe einem geringeren Steuersatz für den Primärenergiebezug unterliegen.

Ein weiterer wesentlicher Kosteneinflussfaktor betrifft die mögliche Anlagenauslastung. Während reine Heizungssysteme wegen ihrer überwiegend saisonalen Nutzung nur geringe Vollbenutzungsstundenzahlen erreichen, können/sollten Prozesswärmeversorgungssysteme von Industriebetrieben ganzjährig mit hoher Intensität (2.000-8.500 h/a) genutzt werden, wodurch sich die spezifischen Erzeugungskosten ebenfalls senken lassen. Die jeweils maximal mögliche zeitliche Auslastung ist dabei branchenspezifisch vorgegeben. Die technischen und wirtschaftlichen Rahmendaten ausgewählter Beispiele aus verschiedenen Industriebranchen sind in Tabelle 9-3 dargestellt.

**Tabelle 9-3:** Rahmendaten des Wärmebedarfs und der Kostenstruktur ausgewählter Verbraucher aus der Industrie für Erdgasbrennwertkessel

Verbraucher		Typ. Leistung	Typ. Vollbenutzungsstundenzahl	Spez. Investition	Spez. Fixkosten	Spez. sonstige Kosten	Brennstoffkosten
		[kW <sub>th</sub> ]	[h/a]	[€/kW <sub>th</sub> ]	[€/MWh <sub>th</sub> ]	[€/MWh <sub>th</sub> ]	[€/MWh]
Brauerei	Klein	30	1.000	310	2,07	0,05	65
	Mittel	200	1.500	94	0,31	0,05	60
	Groß	1.000	2.500	40	0,10	0,05	55
Molkerei	Klein	50	1.000	219	1,46	0,05	65
	Mittel	200	1.500	94	0,31	0,05	60
	Groß	800	3.000	45	0,11	0,05	55
Maschinenbau	Klein	50	1.500	219	1,46	0,05	65
	Mittel	150	2.000	111	0,55	0,05	60
	Groß	500	2.500	57	0,23	0,05	55
Kunststoffertigung	Klein	80	1.500	162	1,08	0,05	65
	Mittel	200	1.500	94	0,47	0,05	60
	Groß	500	1.500	57	0,19	0,05	55
Elektronikfertigung	Klein	50	1.500	219	1,46	0,05	65
	Mittel	200	1.500	94	0,98	0,05	60
	Groß	1.000	1.500	40	0,20	0,05	55

Die Auswirkungen dieser Einflussfaktoren auf die jeweiligen Wärmeerzeugungskosten sind für die Erzeugungstechnik Erdgasbrennwertkessel beispielhaft in Abbildung 9-6 dargestellt.



**Abbildung 9-6:** Spezifische Wärmeerzeugungskosten der industriellen Prozesswärmeerzeugung verschiedener Branchen und Betriebsgrößen auf Basis Erdgasbrennwertkessel

Die günstigsten spezifischen Wärmeerzeugungskosten unter den dargestellten Beispielen weisen demnach Großbetriebe für Maschinenbau und Kunststoffverarbeitung sowie große Molkereien auf, die höchsten die kleinen Brauereien.

Neben günstigeren Brennstoffkosten weisen die größeren Betriebe tendenziell geringere Kapitalkosten auf, die ihren Ursprung in den günstigeren spezifischen Investitionskosten größerer Wärmeerzeugungssysteme haben. Der Anteil der fixen Betriebskosten ist bei den kleinen Anlagen zudem deutlich höher. In der Summe können die Erzeugungskosten kleinerer Betriebe um ca. 50 % über denen der entsprechenden Großbetriebe liegen.

### 9.3.2 GHD

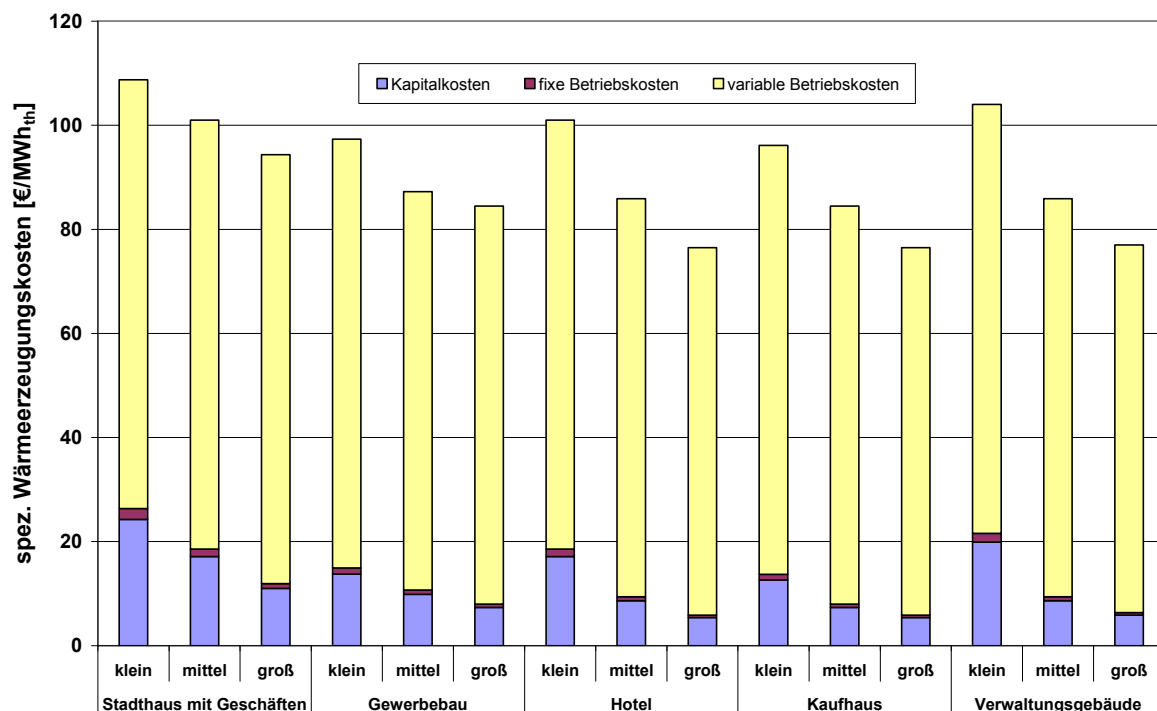
Für den Bereich GHD beschränkt sich die Kostenermittlung auf den Heizwärme- und Warmwasserbedarf, da kein Prozesswärmebedarf anfällt (vgl. Kapitel 4.2). Wegen der im Gegensatz zur Prozesswärmenutzung deutlich geringeren Auslastung der Wärmeerzeugungsanlagen aufgrund des diskontinuierlichen Bedarfs liegen die spezifischen Kosten der Wärmeerzeugung deutlich über denen der Industrie. Aufgrund des daraus folgenden geringeren Brennstoffbedarfs der GHD-Objekte ist zudem mit höheren Brennstoffpreisen zu rechnen, die sich ebenfalls kostensteigernd auswirken. Dagegen liegt der Wirkungsgrad der reinen Heizwärme- und Warmwasserbereitung über dem der industriellen Prozesswärmeversorgung, da diese oft auf zwischengeschalteten Dampfsystemen basieren, was sich gegenüber der Industrie als - in geringem Umfang - kostensenkender Faktor auswirkt (vgl. Kapitel 8.2).

U. a. wegen der geringeren zeitlichen Auslastung basiert die Versorgung von GHD –Objekten derzeit v. a. auf Gasbrennwertkesseln. Für diese Technik sind nachfolgend in Tabelle 9-4 die technischen und wirtschaftlichen Rahmendaten für verschiedene Größenkategorien typischer Verbraucherklassen aus dem GHD-Sektor aufgeführt.

**Tabelle 9-4:** Rahmendaten des Wärmebedarfs und der Kostenstruktur ausgewählter Verbraucher aus dem GHD-Sektor für Erdgasbrennwertkessel

Verbraucher		Typ. Leistung	Typ. Vollbenutzungsstundenzahl	Spez. Investition	Spez. Fixkosten	Spez. sonstige Kosten	Brennstoffkosten
		[kW <sub>th</sub> ]	[h/a]	[€/kW <sub>th</sub> ]	[€/MWh <sub>th</sub> ]	[€/MWh <sub>th</sub> ]	[€/MWh]
Stadthaus mit Geschäften	klein	30	1.500	310	2,1	0,05	70
	mittel	50	1.500	219	1,5	0,05	70
	groß	100	1.500	141	0,9	0,05	70
Gewerbebau	klein	70	1.500	176	1,2	0,05	70
	mittel	120	1.500	126	0,8	0,05	65
	groß	200	1.500	94	0,6	0,05	60
Hotel	klein	50	1.500	219	1,5	0,05	70
	mittel	150	1.500	111	0,7	0,05	65
	groß	350	1.500	69	0,5	0,05	60
Kaufhaus	klein	80	1.500	162	1,1	0,05	70
	mittel	200	1.500	94	0,6	0,05	65
	groß	350	1.500	69	0,5	0,05	60
Verwaltungsgebäude	klein	40	1.500	254	1,7	0,05	70
	mittel	150	1.500	111	0,7	0,05	65
	groß	300	1.500	75	0,5	0,05	60

Die sich aufgrund dieser ökonomischen Parameter ergebenden spezifischen Wärmeerzeugungskosten sind exemplarisch in Abbildung 9-7 dargestellt.



**Abbildung 9-7:** Beispielhafte Darstellung größenabhängiger spezifischer Kosten der Wärmeerzeugung verschiedener Objekte des GHD-Sektors mit Erdgasbrennwertkessel

Wegen des vollautomatischen Betriebs der Brennwertkessel wird für alle Beispiele kein Personaleinsatz bilanziert. Die Wärmeerzeugungskosten werden vor allem durch die variablen Betriebskosten bestimmt. Haupteinflussfaktoren auf die variablen Betriebskosten sind die Anlageneffizienz und der u. a. von der Abnahmemenge abhängige Gaspreis. Die Kostenunterschiede im Kapitalkostensegment basieren auf Degressionseffekten bei den Investitionskosten, d. h. sinkenden spezifischen Investitionskosten bei steigender thermischer Anlagenleistung.

### 9.3.3 Kommunale Objekte

Analog zum GHD-Bereich beschränkt sich der Wärmebedarf des öffentlichen Sektors auf den Raumwärme- und Warmwasserbereich (vgl. Kapitel 4.3). Auch hier gelten im Grundsatz dieselben Überlegungen zu den Kosteneinflussfaktoren wie beim GHD-Sektor.

Wegen der geringen zeitlichen Auslastung und der in der Regel im Vergleich zur Industrie kleineren benötigten Leistungsgrößen werden zur Versorgung kommunaler Objekte zurzeit v. a. Gasbrennwertkessel eingesetzt. Für diese Technik sind nachfolgend für ausgewählte Anwendungen größenabhängige Wärmeerzeugungskosten beispielhaft dargestellt.

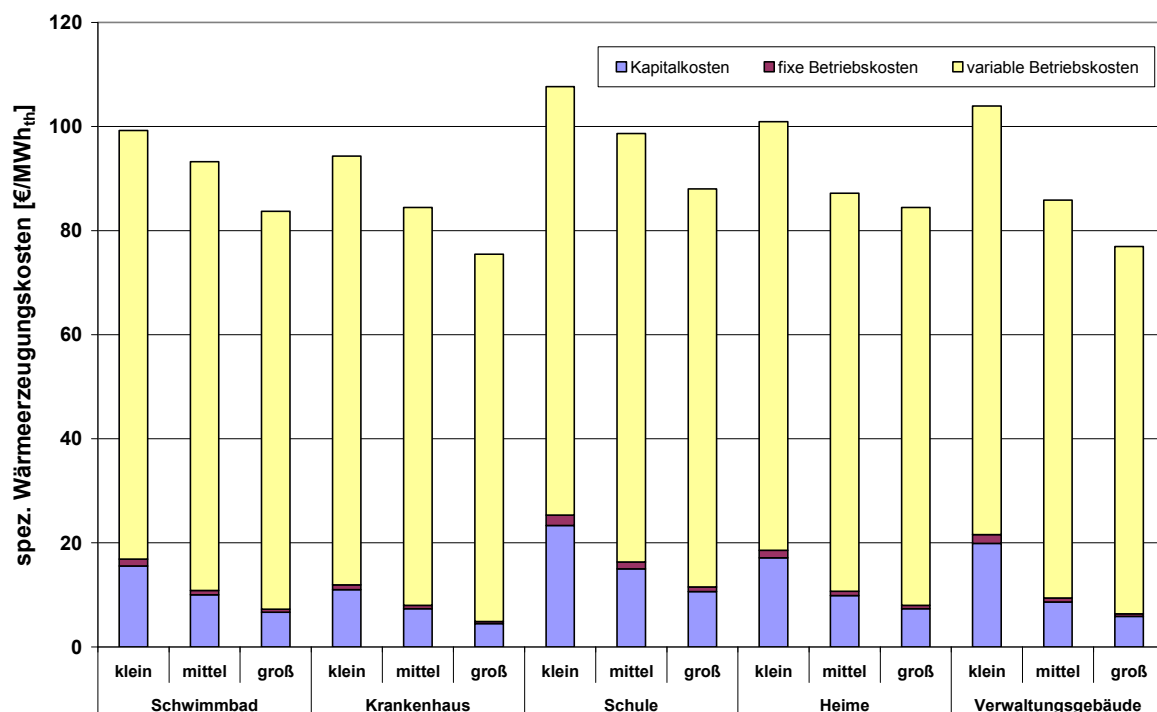
Aus der breiten Diversifikation der Gebäudetypen innerhalb des kommunalen Sektors ergeben sich große Unterschiede bei den gebäudetypspezifischen Vollbenutzungsstundenzahlen, da einige Gebäudetypen rund um die Uhr (Krankenhäuser, Heime), andere eher saisonal (Schulen) betrieben werden. Die typischen Kenndaten des Wärmebedarfs und der Kostenstruktur ausgewählter kommunaler Verbraucher unterschiedlicher Größenkategorien sind in Tabelle 9-5 zusammen gestellt.



**Tabelle 9-5:** Rahmendaten des Wärmebedarfs ausgewählter Verbraucher aus dem kommunalen Sektor für Erdgasbrennwertkessel

Verbraucher		Typ. Leistung	Typ. Vollbenutzungsstundenzahl	Spez. Investition	Spez. Fixkosten	Spez. sonstige Kosten	Brennstoffkosten
		[kW <sub>th</sub> ]	[h/a]	[€/kW <sub>th</sub> ]	[€/MWh <sub>th</sub> ]	[€/MWh <sub>th</sub> ]	[€/MWh]
Schwimmbad	klein	50	2.650	219	1,5	0,05	70
	mittel	100	2.650	141	0,9	0,05	70
	groß	200	2.650	94	0,6	0,05	65
Krankenhaus	klein	100	1.500	141	0,9	0,05	70
	mittel	200	1.500	94	0,6	0,05	65
	groß	500	1.500	57	0,4	0,05	60
Schule	klein	50	1.100	219	1,5	0,05	70
	mittel	100	1.100	141	0,9	0,05	70
	groß	180	1.100	100	0,7	0,05	65
Heime	klein	50	2.200	219	1,5	0,05	70
	mittel	120	2.200	126	0,8	0,05	65
	groß	200	2.200	94	0,6	0,05	65
Verwaltungsgebäude	klein	40	1.500	254	1,7	0,05	70
	mittel	150	1.500	111	0,7	0,05	65
	groß	300	1.500	75	0,5	0,05	60

Aus diesen Daten lassen sich die in Abbildung 9-8 grafisch dargestellte spezifischen Wärmeerzeugungskosten ermitteln.



**Abbildung 9-8:** Beispielhafte Darstellung größenabhängiger spezifischer Kosten der Wärmeerzeugung verschiedener kommunaler Objekte mit Erdgasbrennwertkessel

Es ergibt sich für alle betrachteten Verbraucher- und Größenklassen eine Dominanz der, vor allem vom Gaspreis bestimmten, variablen Betriebskosten. Auch bei den kommunalen Objekten zeigt sich, dass die Kostenunterschiede, analog zum GHD-Segment, v. a. aufgrund unterschiedlicher Leistungs-

größen, abnahmemengenspezifischer Erdgaspreise und unterschiedlicher Nutzungsintensitäten entstehen.

#### 9.4 Anlegbarer Wärmepreis

Anlegbar ist ein Fernwärmepreis aus der Sicht des Fernwärmebeziehers dann, wenn keine andere Möglichkeit besteht, das mit Wärme zu beliefernde Objekt mit dem gleichen Komfort durch eine andere Energieart kostengünstiger zu versorgen /Blesl 2002/. Um ein Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich betreiben zu können, müssen demnach die spezifischen Wärmegestehungskosten unterhalb des anlegbaren Wärmepreises, wie er bspw. von alternativen konkurrierenden Technologien (z. B. einem Erdgasbrennwertkessel) vorgegeben wird, liegen. Der anlegbare Fernwärmepreis entspricht hierbei dem maximal zulässigen spezifischen Fernwärmepreis frei Haus, den ein Fernwärmeversorgungsunternehmen verlangen kann, damit die Fernwärme die günstigste Versorgungsalternative darstellt. Der anlegbare Fernwärmepreis kann dann als Differenz zwischen den Gesamtjahreskosten des Verbrauchers bei Verwendung einer vergleichbaren Konkurrenzenergie (Vollkosten) und den fixen Kosten der Fernwärme-Verbraucheranlage (Fernwärmebereitstellungskosten) bestimmt werden. Beim anlegbaren Wärmepreis handelt es sich somit um einen Preis, der sich an den Kosten der konkurrierenden Wärmeversorgungsoptionen orientiert.

Die Berechnung des anlegbaren Wärmepreises erfolgt über die Berechnung der Vollkosten der verschiedenen möglichen Brennstoff- und Technologieoptionen des einzelnen Verbrauchers. Hierzu zählen die Kapitalkosten des Heizungssystems sowie die anfallenden fixen und variablen Betriebskosten. In der Praxis wird die Höhe der variablen Betriebskosten v. a. von den Brennstoffkosten bestimmt.

In Abbildung 9-9 ist exemplarisch der anlegbare Fernwärmepreis für ein Einfamilienhaus (EFH) bzw. ein kleines Mehrfamilienhaus (KMH) dargestellt. D. h., die Fernwärmeversorgung ist genau dann wirtschaftlich, wenn die Kosten für die Fernwärmeerzeugung und die Verteilung geringer sind als der durch den Pfeil markierte Bereich des Versorgungssystems „Fernwärme Kompaktübergabestation“.

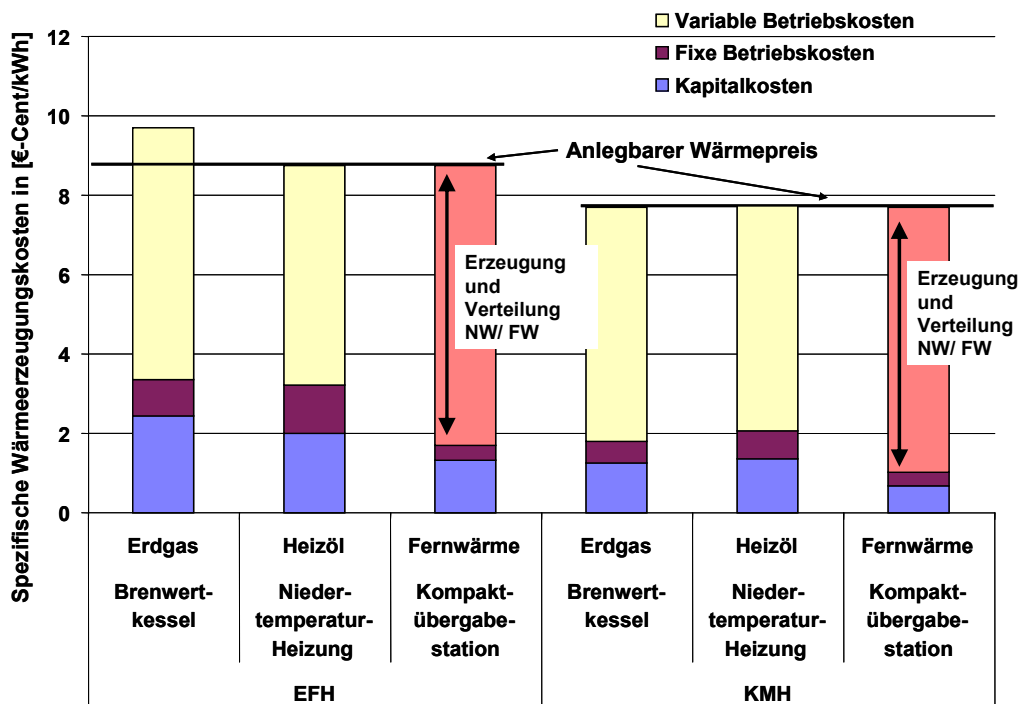


Abbildung 9-9: Beispielhafter Vergleich der spezifischer Wärmearzeugungskosten verschiedener Heizungssysteme und Gebäudetypen

Da somit bei der Bestimmung des anlegbaren Wärmepreises von unterschiedlichen Rahmenbedingungen ausgegangen werden muss, müssen verschiedene Verbraucher betrachtet werden. Nachfolgend erfolgt die Ermittlung des anlegbaren Wärmepreises beispielhaft für verschiedene Leistungsgrößen der Sektoren Wohngebäude/GHD und Industrie.

#### 9.4.1 Anlegbarer Wärmepreis für Wohngebäude und GHD

Beim Wärmebedarf des Sektors Wohngebäude/GHD handelt es sich um verbraucherspezifische geringe Bedarfe an Wärmeleistung und Wärmemenge. Der Verbrauch ist vielmehr stark saisonabhängig und beschränkt sich in aller Regel auf die Gebäudebeheizung und die Warmwasserbereitstellung, ein Prozesswärmebedarf existiert nicht. Wegen der daraus resultierenden geringen Anlagenauslastung stellt der Einsatz von KWK-Technologien in der Regel für diese Verbraucherkategorie derzeit keine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zum Wärmebezug aus Fern- oder Nahwärmenetzen dar. Aus diesem Grund müssen bei der Bestimmung des anlegbaren Wärmepreises v. a. öl- und erdgasgefeuerte Brennwert- bzw. Niedertemperaturkessel als Vergleichsmaßstab herangezogen werden. Typische aktuelle Randbedingungen für die Berechnung von anlegbaren Wärmepreisen von Wohngebäuden und GHD-Objekten sind für typische Beispielgrößen von Erdgasbrennwertkessel und Erdgas-BHKW in Tabelle 9-6 aufgeführt.

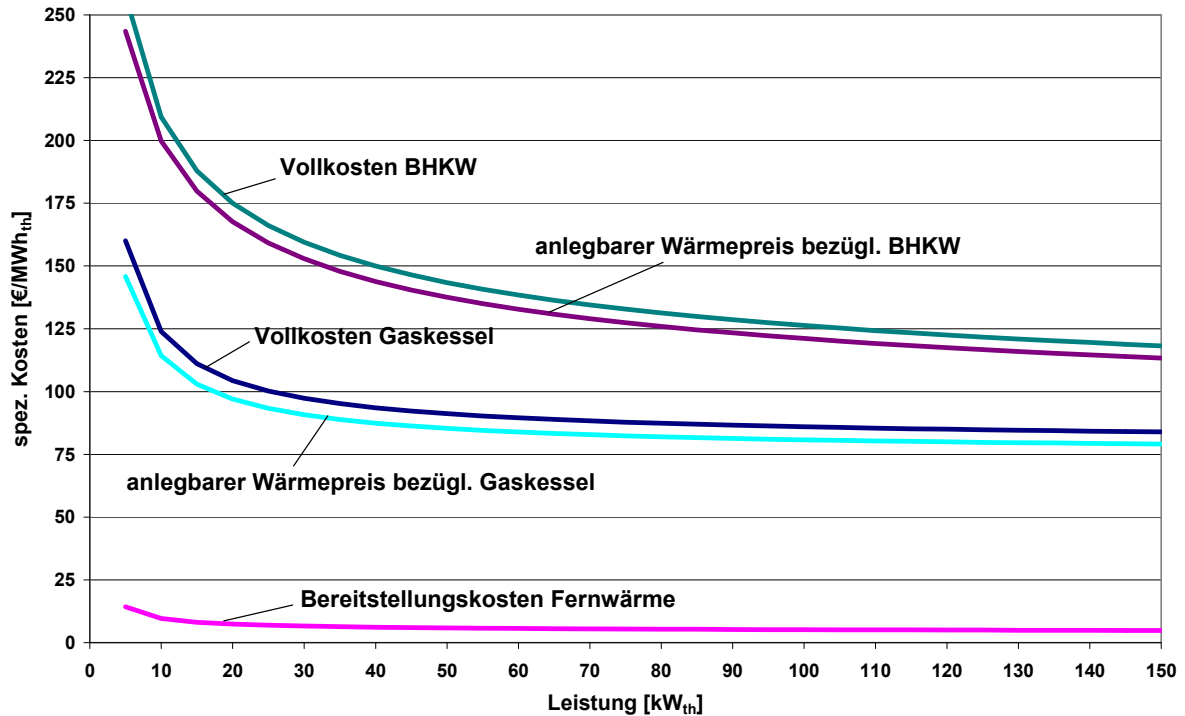
**Tabelle 9-6:** Rahmenbedingungen für das Berechnungsbeispiel des anlegbaren Wärmepreises für den Bereich Wohngebäude/GHD anhand beispielhafter typischer Leistungsgrößen

		<b>Erdgaskessel</b>	<b>Erdgasmotor-BHKW</b>
Leistungsgröße (Bsp.)		40 kW <sub>th</sub>	50 kW <sub>el</sub>
spez. Investitionskosten	[€/kW]	254	1.199
elektrischer Nutzungsgrad	[%]	0	38
thermischer Nutzungsgrad	[%]	85	52
Laufzeit	[a]	20	20
Zinssatz	[%]	10	10
Gaspreis	[€/MWh]	65	65
Stromgutschrift	[€/MWh <sub>el</sub> ]	0	85
Volllaststunden	[h/a]	1.900	1.900
spezifische Vollkosten	[€/MWh <sub>th</sub> ]	93,6	143,4
Bereitstellungskosten Fernwärme	[€/MWh <sub>th</sub> ]	6,1	5,9
anlegbarer Wärmepreis	[€/MWh <sub>th</sub> ]	87,4	137,5

Im gezeigten Beispiel liegt damit der anlegbare Wärmepreis für den Erdgaskessel mit 87 €/MWh<sub>th</sub> günstiger als für das BHKW mit 138 €/MWh<sub>th</sub>. Hauptursache ist die geringe Auslastung des BHKW, welche die höheren Investitionskosten trotz um den KWK-Zuschlag erhöhter Einspeisevergütung für den erzeugten Strom nicht ausgleichen kann.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Fernwärme stellt in diesem Fall der anlegbare Wärmepreis für den Erdgaskessel den Richtwert dar. Der sich ergebende Betrag markiert die Höchstgrenze der Kosten der Erzeugung und Verteilung von Fernwärme.

Ein entsprechender Kostenverlauf für variable Leistungsgrößen der Verbraucherkategorie Wohngebäude/GHD ist in Abbildung 9-10 dargestellt.



**Abbildung 9-10:** Anlegbarer Wärmepreis in Abhängigkeit des Leistungsbedarfs für Verbraucher aus dem Bereich Wohngebäude/GHD bezüglich Gaskessel und BHKW

#### 9.4.2 Anlegbarer Wärmepreis für industrielle Wärmeverbraucher

Für industrielle Verbraucher müssen die anlegbaren Wärmepreise separat berechnet werden, da hier andere Berechnungsgrundlagen gelten (vgl. Kapitel 9.3). So erhalten Industriebetriebe als Großabnehmer günstigere Einkaufspreise bei der Primärenergiebeschaffung. Zusätzlich können neben den Brennwert- bzw. Niedertemperaturkesseln weitere Möglichkeiten der Wärmeerzeugung ins Spiel kommen, insbesondere verschiedene KWK-Optionen, wie bspw. das Erdgasmotor-BHKW.

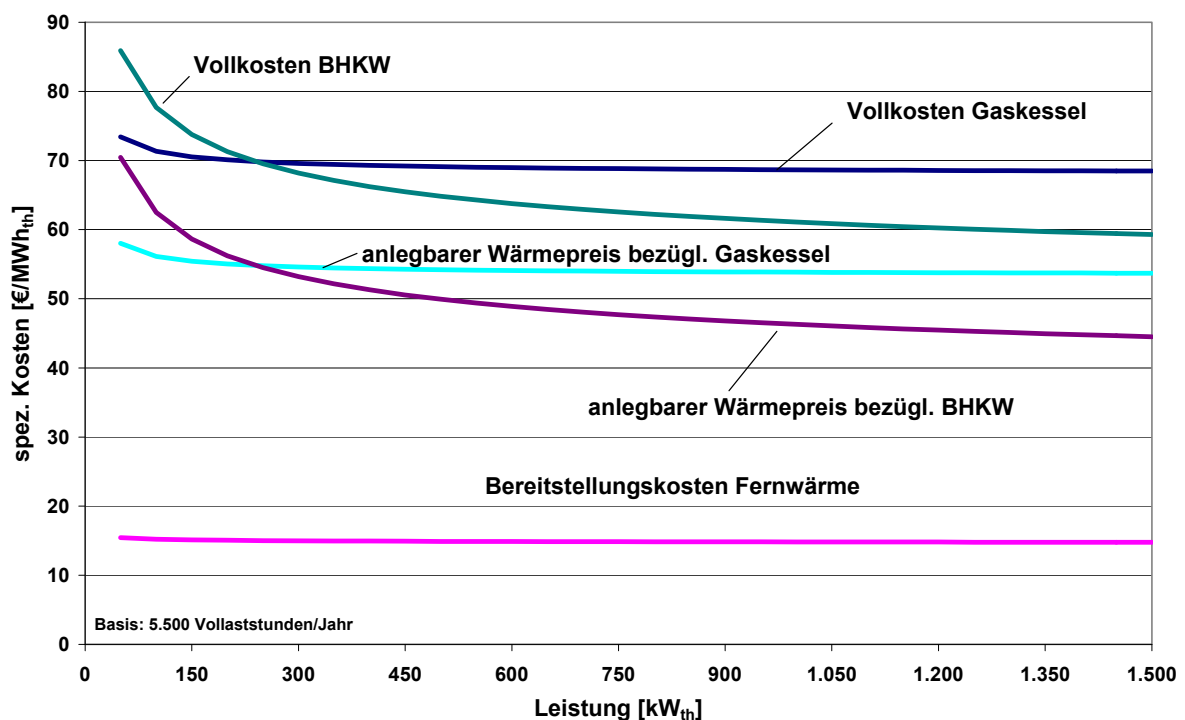
Weiterhin spielt auch das Temperaturniveau eine Rolle. Da das Prozesswärmepotentialniveau der Industrie in der Regel über dem Bedarfsniveau von Gebäudeheizungen liegt, ist in Folge des kleineren Temperaturgradienten mit einem größeren spezifischen und absoluten Bedarf an Wärmeübertragungsflächen zu rechnen. Kostenseitig können allerdings, bei entsprechend hohem Flächenbedarf, auf Grund von Degressionseffekten bei den entsprechenden Anlagen zur Integration von Fernwärme in das System des Nutzers günstigere Bereitstellungskosten realisiert werden.

Beispielhaft werden auch für die Industrie mit dem Gaskessel und dem Erdgasmotor-BHKW zwei Anlagen mit vergleichbarer thermischer Leistung betrachtet. Die entsprechenden, für den Industriemaßstab jeweils typischen Kennwerte sind in Tabelle 9-7 zusammengestellt.

**Tabelle 9-7:** Rahmenbedingungen für das Berechnungsbeispiel des anlegbaren Wärmepreises für den Bereich Industrie anhand beispielhafter typischer Leistungsgrößen

Leistungsgröße (Bsp.)		<b>Erdgaskessel</b>	<b>Erdgasmotor-BHKW</b>
		400 kW <sub>th</sub>	300 kW <sub>el</sub>
spez. Investitionskosten	[€/kW]	64	664
elektrischer Nutzungsgrad	[%]	0	38
thermischer Nutzungsgrad	[%]	85	52
Laufzeit	[a]	20	20
Zinssatz	[%]	10	10
Gaspreis	[€/MWh]	45	45
Stromgutschrift	[€/MWh <sub>el</sub> ]	0	85
Volllaststunden	[h/a]	5.500	5.500
spezifische Vollkosten	[€/MWh <sub>th</sub> ]	69,3	66,2
Bereitstellungskosten Fernwärme	[€/MWh <sub>th</sub> ]	14,9	15,0
anlegbarer Wärmepreis	[€/MWh <sub>th</sub> ]	54,4	51,3

In diesem Fall bildet der anlegbare Wärmepreis für das BHKW in Höhe von 51,3 €/MWh<sub>th</sub> als günstigere der beiden dargestellten Optionen die für die Wirtschaftlichkeit der Fernwärme relevante Größe. Der entsprechende Kostenverlauf für variable Leistungsgrößen der Verbraucherkategorie Industrie ist in Abbildung 9-11 dargestellt.



**Abbildung 9-11:** Anlegbarer Wärmepreis in Abhängigkeit des Leistungsbedarfs für Verbraucher aus dem Bereich Industrie bezüglich Gaskessel und BHKW

Der anlegbare Wärmepreis und eine typische Aufteilung der Kosten der Nah- bzw. Fernwärmeversorgung sind in für unterschiedliche Versorgungsfälle in Abbildung 9-12 zusammengestellt. Entsprechend den in den vorangegangenen Abschnitten ermittelten Wärmegestehungskosten ergeben sich deutlich geringere anlegbare Wärmepreise für industrielle Nutzer und große Gebäude (z. B. aus dem Bereich GHD) als für kleinere Wohngebäude.

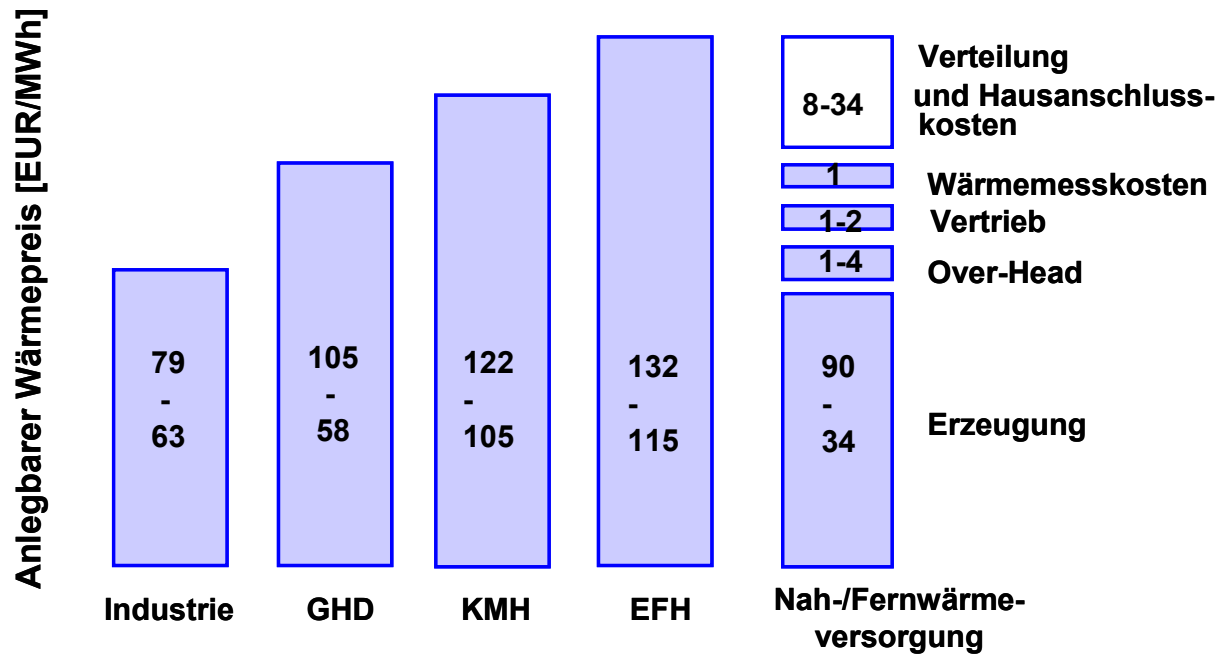


Abbildung 9-12: Anlegbare Wärmepreise für unterschiedliche Verbraucherkategorien

## 10 Umsetzung des erarbeiteten Leitfadens für Modellregionen

Im nachfolgenden Abschnitt werden die erarbeiteten Methoden des Leitfadens für vier baden-württembergische Mustergemeinden angewandt, die stellvertretend für verschiedene Gemeindegrößenklassen des Landes stehen.

Bei den Mustergemeinden handelt es sich um die Stadt Heilbronn, die Stadt Rottweil, die Gemeinde Schwendi und den Ortsteil Mauenheim der Verbandsgemeinde Immendingen. Diese Orte repräsentieren die Gemeindegrößenkategorien Großstadt, Kleinstadt, größere und kleinere Gemeinde.

### 10.1 Rahmendaten der Modellregionen

Bereits an den jeweiligen Einwohnerzahlen lassen sich die deutlichen Unterschiede der betrachteten Kommunen erkennen. Mit unterschiedlicher Gemeindegröße sind auch Unterschiede in der Wirtschaftsstruktur verbunden, wie sich an der Höhe und der Sektorverteilung der Beschäftigten ablesen lässt. Die zur Bestimmung der Wärmebedarfsstruktur erforderlichen Rahmendaten (vgl. Kapitel 2) sind in der nachfolgenden Tabelle 10-1 aufgeführt.

**Tabelle 10-1:** Rahmendaten der betrachteten Mustergemeinden /Statistische Ämter/, eigene Berechnungen

		Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
Einwohnerzahl	[-]	121.320	25.700	6.270	445
Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte	[-]	56.766	11.037	2.311	5
- davon in der Landwirtschaft	[-]	271	210	18	1
- davon in der Industrie	[-]	15.032	3.238	1.533	0
- davon in GHD	[-]	37.097	6.939	686	4
- davon öffentlicher Dienst	[-]	4.366	650	74	0

Für die Großstadt Heilbronn ergibt sich der höchste Anteil sozialversicherungspflichtig Beschäftigter bezogen auf die Einwohnerzahl (46,8 %), wobei Pendler einen großen Teil der Beschäftigten ausmachen. Größter Arbeitgeber in Heilbronn ist der Sektor GHD, in dem 65,4 % aller sozialversicherungspflichtig Beschäftigten beschäftigt sind. Auf den Bereich Industrie entfallen 26,5 % der Beschäftigten, den öffentlicher Dienst 7,7 % und die Landwirtschaft 0,5 %.

In Rottweil sind 42,9 % der Bevölkerung sozialversicherungspflichtig beschäftigt. Die Beschäftigten teilen sich auf in die Sektoren GHD mit 62,9 %, Industrie mit 29,3 %, öffentlicher Dienst mit 5,9 % und Landwirtschaft mit 1,9 %.

Schwendi weist 36,9 % seiner Bevölkerung als sozialversicherungspflichtig beschäftigt aus. V. a. aufgrund eines einzelnen großen Arbeitgebers aus der Metallverarbeitung entfällt mit 66,3 % ein hoher Anteil der Beschäftigten auf den Industriesektor. Der GHD-Sektor weist einen Beschäftigtenanteil von 29,7 % auf, der öffentliche Dienst 3,2 %, und auf die Landwirtschaft entfallen 0,8 %:

Eine nahezu reine Wohnsiedlung stellt dagegen Mauenheim dar, wo der Beschäftigtenanteil 1,1 % der Wohnbevölkerung beträgt. Die Beschäftigten verteilen sich auf die Bereiche Landwirtschaft und GHD. Industrielle und öffentliche Arbeitgeber sind in Mauenheim nicht vorhanden.

### 10.2 Ermittlung des Wärmebedarfs und des Abwärmeangebots des Nichtwohnbereichs

Im folgenden Abschnitt wird der Wärmebedarf der einzelnen gewerblichen Verbrauchssektoren Industrie, GHD und kommunalen Objekte der vier Mustergebiete ermittelt. Die Verbrauchsanalyse ist auf die Bereiche Raumwärme, Brauchwarmwasser und NT-Prozesswärme fokussiert, da deren Bedarf über leistungsgebundene Fernwärmesysteme gedeckt werden kann.

In einem zweiten Schritt wird bei der Untersuchung der Industrie das verfügbare Abwärmeaufkommen des HT- und MT-Bereichs ermittelt. Die zur Verfügung stehenden Abwärmemengen und installierten Leistungen könnten als Ausgangsbasis einer Fernwärmeversorgung dienen.

### **10.2.1 Wärmebedarf der Industrie in den Mustergemeinden**

Im ersten Schritt der Betrachtung der industriellen Wärmeversorgungsstruktur wird der industrielle Bedarf an Raumwärme, Brauchwarmwasser und NT-Prozesswärme für die einzelnen Branchen und Betriebsklassen bestimmt. Hierzu stehen prinzipiell die in Kap. 4 genannten Methoden mit unterschiedlichen Genauigkeitsstufen zur Verfügung.

Da sich u. a. auch eine komplette Großstadt unter den Modellgemeinden befindet, wird aus Gründen der einfacheren Datenhandhabung und der Anschaulichkeit für die Bestimmung des Bedarfs der Industrie für alle vier betrachteten Gemeinden beispielhaft die mitarbeiterspezifische Wärmebedarfsermittlung (Methode mit geringer Genauigkeit, vgl. Kapitel 4.1) angewandt.

Zunächst werden die an den jeweiligen Standorten vorhandenen Betriebe, deren Branchenzugehörigkeit und deren Mitarbeiterzahl ermittelt. Hierzu können bspw. Daten der jeweiligen Industrie- und Handelskammern (IHK) oder weiterer Wirtschaftsförderungsinstitutionen genutzt werden. Die Ergebnisse der Mitarbeitererfassung für die Musterkommunen sind in Tabelle 10-2 aufgeführt. Es zeigt sich, dass alle drei Gemeinden mit eigener Industriestruktur v. a. von den Betrieben der Metall- und Elektroindustrie (Maschinenbau, Gießerei, Elektronikfertigung) geprägt sind. Gleichzeitig steigt der Anteil der unter „Sonstiges, Unbekannt“ zu verbuchenden Beschäftigten mit wachsender Gemeindegröße.



**Tabelle 10-2:** Mitarbeiterzahlen der Industrie der jeweiligen Modellregionen nach Betriebsart und Größenklasse

Betriebsart	Größenklasse	Mitarbeiter/Betrieb	Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
Bäckerei	klein	≤ 10	350	40	30	0
	mittel	≤ 50	25	0	0	0
	groß	> 50	0	0	0	0
Brauerei	klein	≤ 20	3	0	0	0
	mittel	≤ 80	0	0	0	0
	groß	> 80	150	0	0	0
Fleischerei	klein	≤ 10	155	25	20	0
	mittel	≤ 20	0	0	0	0
	groß	> 20	0	0	0	0
Molkerei	klein	≤ 100	0	0	0	0
	mittel	≤ 200	0	0	0	0
	groß	> 200	220	0	0	0
Druck	klein	≤ 50	53	0	0	0
	mittel	≤ 100	100	0	0	0
	groß	> 100	0	0	0	0
Maschinen- baufabrik	klein	≤ 50	116	135	60	0
	mittel	≤ 250	233	0	0	0
	groß	> 250	3.760	0	1.350	0
Gießerei	klein	≤ 50	66	0	0	0
	mittel	≤ 250	0	300	0	0
	groß	> 250	0	0	0	0
Chemie	klein	≤ 200	20	180	0	0
	mittel	≤ 1.000	0	0	0	0
	groß	> 1.000	0	0	0	0
Kunststoff- betrieb	klein	≤ 50	70	0	30	0
	mittel	≤ 200	0	110	0	0
	groß	> 200	0	0	0	0
Gummiwerk	klein	≤ 250	5	0	0	0
	mittel	≤ 1.000	0	0	0	0
	groß	> 1.000	0	0	0	0
Holztrocknung	klein	≤ 50	0	0	15	0
	mittel	≤ 200	0	0	0	0
	groß	> 200	0	0	0	0
Pelletwerk	klein	≤ 50	0	0	20	0
	mittel	≤ 200	0	0	0	0
	groß	> 200	0	0	0	0
Weberei	klein	≤ 50	0	45	0	0
	mittel	≤ 200	0	0	0	0
	groß	> 200	0	0	0	0
Elektronik- fertigung	klein	≤ 50	71	0	0	0
	mittel	≤ 250	66	60	0	0
	groß	> 250	1.470	0	0	0
Sonstige, Un- bekannt	klein	≤ 50	6.037	1874	8	0
	mittel	≤ 500	1.509	469	0	0
	groß	> 500	553	0	0	0
<b>Summe</b>			<b>15.032</b>	<b>3.238</b>	<b>1.523</b>	<b>0</b>

Aus diesen Werten ergibt sich mit Hilfe der mitarbeiterspezifischen Wärmebedarfsdaten (vgl. Kapitel 4.1 und Tabelle A-2) der in Tabelle 10-3 aufgeschlüsselte NT-Wärme- und -Leistungsbedarf der jeweiligen Betriebsklassen.

**Tabelle 10-3:** NT-Wärmebedarf der Industrie der jeweiligen Modellregionen nach Betriebsart und Größenklasse

Betriebsart	Größen- klasse	Heilbronn		Rottweil		Schwendi		Mauenheim	
		[-]		[-]		[-]		[-]	
		Wärme	Leistung	Wärme	Leistung	Wärme	Leistung	Wärme	Leistung
[-]	[-]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]
Bäckerei	klein	3.393	1.733	388	198	291	149	0	0
	mittel	250	126	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Brauerei	klein	180	65	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	16.687	3.644	0	0	0	0	0	0
Fleischerei	klein	1.737	893	280	144	224	115	0	0
	mittel	3.393	1.733	0	0	0	0	0	0
	groß	250	126	0	0	0	0	0	0
Molkerei	klein	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	14.486	4.000	0	0	0	0	0	0
Druck	klein	123	65	0	0	0	0	0	0
	mittel	237	124	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Maschinen- baufabrik	klein	1.149	604	1.338	702	594	312	0	0
	mittel	2.200	1.132	0	0	0	0	0	0
	groß	27.922	13.774	0	0	10.025	4.945	0	0
Gießerei	klein	2.969	308	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	13.494	1.398	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Chemie	klein	900	300	8.097	2.698	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Kunststoff- betrieb	klein	301	155	0	0	129	66	0	0
	mittel	0	0	419	216	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Gummiwerk	klein	22	11	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Holz- trocknung	klein	0	0	0	0	55	19	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Pelletwerk	klein	0	0	0	0	34	18	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Weberei	klein	0	0	777	403	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektronik- fertigung	klein	588	331	0	0	0	0	0	0
	mittel	516	290	469	264	0	0	0	0
	groß	8.526	4.787	0	0	0	0	0	0
Sonstige, Unbekannt	klein	51.601	23.905	16.018	7.421	68	32	0	0
	mittel	10.759	5.007	3.344	1.556	0	0	0	0
	groß	4.078	1.799	0	0	0	0	0	0
<b>Summe</b>		<b>148.622</b>	<b>63.050</b>	<b>44.623</b>	<b>15.000</b>	<b>11.421</b>	<b>5.657</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Die sich aus den Werten der einzelnen Betriebe ergebenden Summenwerte des NT-Wärmebedarfs der Industrie, aufgeteilt nach Prozesswärme, Raumwärme und Brauchwarmwasserbedarf, sowie die zugehörigen, additiv ermittelten Leistungskennwerte sind in Tabelle 10-4 aufgeführt.

**Tabelle 10-4:** NT-Wärmebedarf der Industrie der jeweiligen Modellregionen

		Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
Wärmebedarf NT-Prozesswärme	[GWh <sub>th</sub> /a]	76,11	26,00	2,41	0
Wärmebedarf Raumwärme	[GWh <sub>th</sub> /a]	62,38	16,84	7,96	0
Wärmebedarf Brauchwarmwasser	[GWh <sub>th</sub> /a]	9,19	1,79	1,05	0
<b>Summe Wärmebedarf</b>	<b>[GWh<sub>th</sub>/a]</b>	<b>148,62</b>	<b>44,62</b>	<b>11,42</b>	<b>0</b>
Leistung NT-Prozesswärme	[MW <sub>th</sub> ]	20,5	5,1	0,6	0
Leistung Raumwärme	[MW <sub>th</sub> ]	32,1	7,6	4,0	0
Leistung Warmwasser	[MW <sub>th</sub> ]	10,4	2,3	1,1	0
<b>Summe Leistung</b>	<b>[MW<sub>th</sub>]</b>	<b>63,1</b>	<b>15,0</b>	<b>5,7</b>	<b>0</b>

Erwartungsgemäß zeigt sich, dass für die betrachteten Gemeinden mit zunehmender Einwohnerzahl auch die Zahl der Arbeitsplätze in der Industrie und damit auch der industrielle Wärmebedarf steigt. In kleinen Gemeinden, wie etwa Mauenheim, sind i. d. R. gar keine industriellen Strukturen vorhanden.

Bei den Summenwerten der Leistung ist zu beachten, dass es sich hierbei um additiv ermittelte Werte handelt, welche ein Maß für die tatsächlich zu installierenden Leistungen sein können. Da hier noch keine Gleichzeitigkeitsindikatoren berücksichtigt sind, spiegeln diese Zahlen nicht die maximal auftretende Last einer entsprechenden Fernwärmeversorgung wider (vgl. Kapitel 6).

Weiterhin ist zu bemerken, dass sowohl bei den Summenwerten des Wärme- als auch des Leistungsbedarfs über alle Temperatur- und Anwendungssegmente hinweg addiert wird. Die sich ergebenden Wärmebedarfswerte der jeweiligen Nichtwohnbereiche werden in Kapitel 10.5 zur Bestimmung der Gesamtwärmebedarfswerte mit den Bedarfswerten des Wohnungssektors kombiniert.

### 10.2.2 Abwärmeaufkommen der Industrie in den Mustergemeinden

Das industrielle Abwärmeaufkommen der Mustergemeinden fokussiert sich auf diejenigen Betriebe mit ganzjährig hohem HT- und MT-Wärmebedarf, die keine Möglichkeit haben, die anfallenden Abwärmemengen betriebsintern (etwa zur Teilabdeckung eines NT-Prozesswärmebedarfs) zu nutzen. Die entsprechenden Branchen, Betriebsarten und –größenklassen sind mit ihrer installierten Wärmeleistung und dem theoretischen Abwärmeaufkommen für die Modellregionen in Tabelle 10-5 aufgestellt.

Dabei sind ausschließlich die theoretisch zur Verfügung stehenden Wärmemengen aufgeführt. Da die einzelnen Prozesse unterschiedlichen zeitlichen Lastprofilen unterliegen und sich teilweise auf mehrere verschiedene Betriebe verteilen (wie etwa die Gießereienabwärme in Rottweil), sind Aussagen zur Leistung auf dieser Datenbasis nicht möglich. Eine Ausnahme bildet lediglich die Gemeinde Schwendi, bei der ein einzelner Betrieb als Abwärmequelle ausgewiesen ist.

Das höchste theoretische Abwärmepotenzial fällt überraschenderweise mit 14,9 GWh<sub>th</sub>/a in Rottweil an. Als Hauptwärmequelle kommt ein Gießereibetrieb in Frage. Das zweithöchste Potenzial weist die Stadt Heilbronn mit einer potenziellen Jahresmenge von 10 GWh<sub>th</sub>/a aus. Das Abwärmepotenzial der Industriebetriebe in Schwendi kommt auf einen Wert von 5,1 GWh<sub>th</sub>/a. Diese Wärme fällt komplett bei einem Pelletwerk an, die theoretisch zur Verfügung stehende Leistung beträgt 1,2 MW<sub>th</sub>. Erwartungsgemäß weist Mauenheim als industriefreie Zone keinerlei industrielles Abwärmepotenzial auf.

**Tabelle 10-5:** Abwärmemengenpotenziale der Industrie der jeweiligen Modellregionen nach Betriebsart und Größenklasse

Betriebsart	Größenklasse	Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
		[MWh <sub>th</sub> /a]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[MWh <sub>th</sub> /a]
Bäckerei	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Brauerei	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Fleischerei	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Molkerei	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Maschinenbaufabrik	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Gießerei	klein	184	0	0	0
	mittel	0	10.232	0	0
	groß	0	0	0	0
Chemie	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Kunststoffbetrieb	klein	0	0	0	0
	mittel	0	1.912	0	0
	groß	0	0	0	0
Gummiwerk	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Holztrocknung	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Pelletwerk	klein	0	0	5.106	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Weberei	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Elektronikfertigung	klein	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0
Sonstige, Unbekannt	klein	0	0	0	0
	mittel	1.182	2.684	0	0
	groß	8.635	0	0	0
<b>Summe</b>		<b>10.001</b>	<b>14.919</b>	<b>5.106</b>	<b>0</b>

### 10.2.3 Wärmebedarf des GHD-Sektors in den Mustergemeinden

Die Ermittlung des Wärmebedarfs der GHD-Betriebe erfolgt ebenfalls nach der Methode mit der geringsten Genauigkeit (vgl. Kapitel 4.2). Zu den Charakteristika des GHD gehört der verschwindend geringe Anteil an Prozesswärme, der über zentrale Versorgungssysteme gedeckt werden könnte. Aus diesem Grund werden für die Bedarfsermittlung des GHD-Sektors nur die Kategorien Raumwärme und Warmwasser berücksichtigt. Gemäß Gleichung (4-13) ergeben sich die Flächengrößen für die einzelnen Gebäudeklassen über die GHD-Beschäftigten (vgl. Tabelle 10-1) und dem im Anhang bei-

gefügten Gebäude-Mitarbeiter-Verteilungsschlüssel (Tabelle A-5). Mit Hilfe der jeweiligen mitarbeiter-spezifischen Flächenbedarfe (Tabelle A-4) und den gebäudetypspezifischen Wärmebedarfe für Heizung und Warmwasser (vgl. Tabelle A-3) können aus diesen Daten die absoluten Wärmebedarfe bestimmt werden.

Für die Gemeinde Mauenheim ergibt sich mit der gewählten Methode eine statistische Verteilung der Gesamtfläche auf mehrere Gebäudetypen, die einen Mittelwert für Gemeinden dieser Größenklasse abbildet. Die dem zu ermittelnden Wärmebedarf zugrunde gelegten Flächenkennwerte für die Gebäudetypen des GHD-Sektors der Modellgemeinden sind in Tabelle 10-6 enthalten. Aus diesen Werten ergeben sich für den Wärmebedarf der jeweiligen GHD-Verbrauchergruppen über die genannten Kennwerttabellen die in Tabelle 10-7 dargestellten Werte.

**Tabelle 10-6:** Verteilungsstruktur GHD in den Modellgemeinden

Gebäudeklasse	Größen- klasse	beheizte Fläche	Heilbronn	Rottweil	Schwen- di	Mauenheim
[-]	[-]	[m <sup>2</sup> ] bzw. Bettenzahl				
Stadthaus mit Geschäften, Wohn- ungen etc., Baujahr bis 1951	klein	≤ 100	3.710	416	69	4
	mittel	≤ 250	11.129	924	137	0
	groß	> 250	3.710	92	0	0
Stadthaus mit Geschäften, Wohn- ungen etc., Baujahr 1952-1977	klein	≤ 100	12.984	1.848	343	6
	mittel	≤ 250	18.549	2.772	274	0
	groß	> 250	11.129	462	0	0
Stadthaus mit Geschäften, Wohn- ungen etc., Baujahr 1978-1995	klein	≤ 100	11.129	1.848	343	7
	mittel	≤ 250	14.839	2.310	274	0
	groß	> 250	11.129	924	0	0
Stadthaus mit Geschäften, Wohn- ungen etc., Baujahr nach 1995	klein	≤ 100	7.419	1.386	69	4
	mittel	≤ 250	7.419	924	137	0
	groß	> 250	7.419	347	0	0
Kaufhaus, Baujahr bis 1951	klein	≤ 200	3.710	347	343	0
	mittel	≤ 1.000	6.492	323	240	0
	groß	> 1.000	2.040	0	0	0
Kaufhaus, Baujahr nach 1951	klein	≤ 200	5.565	693	823	0
	mittel	≤ 1.000	7.419	2.772	549	0
	groß	> 1.000	24.484	0	0	0
Gewerbe-/Industriebau, Baujahr bis 1995	klein	≤ 200	22.258	6.468	1.646	8
	mittel	≤ 1.000	46.371	9.240	2.058	2
	groß	> 1.000	32.460	2.587	0	0
Gewerbe-/Industriebau, Baujahr nach 1995	klein	≤ 200	14.839	3.927	1.201	8
	mittel	≤ 1.000	28.936	4.574	1.029	1
	groß	> 1.000	37.097	2.402	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr bis 1951	klein	≤ 200	1.855	231	206	1
	mittel	≤ 1.000	5.565	462	0	0
	groß	> 1.000	3.710	231	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr 1952-1977	klein	≤ 200	7.419	1.386	274	2
	mittel	≤ 1.000	25.968	2.310	0	0
	groß	> 1.000	14.839	578	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr 1978-1995	klein	≤ 200	11.129	1.848	274	1
	mittel	≤ 1.000	22.258	2.310	0	0
	groß	> 1.000	18.549	1.016	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr nach 1995	klein	≤ 200	3.710	924	206	1
	mittel	≤ 1.000	7.419	924	0	0
	groß	> 1.000	3.710	231	0	0
Kaufhaus, Verkaufs-/Ausstellungs- gebäude, Baujahr 1952-1977	klein	≤ 200	20.032	4.158	617	4
	mittel	≤ 1.000	36.726	6.098	1.358	0
	groß	> 1.000	29.678	1.848	0	0
Kaufhaus, Verkaufs-/Ausstellungs- gebäude, Baujahr 1978-1995	klein	≤ 200	17.807	5.544	988	4
	mittel	≤ 1.000	38.952	9.702	960	0

Gebäudeklasse	Größen- klasse	beheizte Fläche	Heilbronn	Rottweil	Schwen- di	Mauenheim
[-]	[-]	[m <sup>2</sup> ] bzw. Bettenzahl				
	groß	> 1.000	47.299	3.927	0	0
Kaufhaus, Verkaufs-/Ausstellungs- gebäude, Baujahr nach 1995	klein	≤ 200	9.274	1.155	858	2
	mittel	≤ 1.000	27.823	6.930	1.029	0
	groß	> 1.000	33.387	0	0	0
Hotel, Beherbergung, Baujahr bis 1995	klein	≤ 20	278	28	13	0
	mittel	≤ 100	278	24	0	0
	groß	> 100	371	9	0	0
Hotel, Beherbergung, Baujahr nach 1995	klein	≤ 20	278	51	43	0
	mittel	≤ 100	371	28	0	0
	groß	> 100	371	2	0	0

**Tabelle 10-7:** Wärmebedarf des GHD-Sektors der jeweiligen Modellregionen nach Betriebsart und Größenklasse

Gebäudeklasse	Größen- klasse	Heilbronn		Rottweil		Schwendi		Mauenheim	
		Wärme	Leistung	Wärme	Leistung	Wärme	Leistung	Wärme	Leistung
		[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]
Stadthaus mit Geschäften, Wohnungen etc., Baujahr bis 1951	klein	974	667	109	75	18	12	0	0
	mittel	2.923	2.001	243	166	36	25	0	0
	groß	974	667	24	17	0	0	0	0
Stadthaus mit Geschäften, Wohnungen etc., Baujahr 1952-1977	klein	3.728	2.546	531	362	98	67	0	0
	mittel	5.326	3.637	796	544	79	54	0	0
	groß	3.195	2.182	133	91	0	0	0	0
Stadthaus mit Geschäften, Wohnungen etc., Baujahr 1978-1995	klein	1.845	1.282	306	213	57	40	0	0
	mittel	2.460	1.709	383	266	45	32	0	0
	groß	1.845	1.282	153	106	0	0	0	0
Stadthaus mit Geschäften, Wohnungen etc., Baujahr nach 1995	klein	1.230	855	230	160	11	8	0	0
	mittel	1.230	855	153	106	23	16	0	0
	groß	1.230	855	57	40	0	0	0	0
Kaufhaus, Baujahr bis 1951	klein	598	431	56	40	55	40	0	0
	mittel	1.047	754	52	38	39	28	0	0
	groß	329	237	0	0	0	0	0	0
Kaufhaus, Baujahr nach 1951	klein	984	708	123	88	146	105	0	0
	mittel	1.312	944	490	353	97	70	0	0
	groß	4.329	3.115	0	0	0	0	0	0
Gewerbe-/Industriebau, Baujahr bis 1995	klein	2.225	1.601	646	465	165	118	0	0
	mittel	4.635	3.336	924	665	206	148	0	0
	groß	3.244	2.335	259	186	0	0	0	0
Gewerbe-/Industriebau, Baujahr nach 1995	klein	1.128	812	298	215	91	66	0	0
	mittel	2.199	1.583	348	250	78	56	0	0
	groß	2.820	2.029	183	131	0	0	0	0

**Tabelle 10-8:** Wärmebedarf des GHD-Bereichs der jeweiligen Modellregionen

		Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
Wärmebedarf Raumwärme	[GWh <sub>th</sub> /a]	94,60	11,95	1,96	0,01
Wärmebedarf Warmwasser	[GWh <sub>th</sub> /a]	7,70	1,00	0,17	0
<b>Summe Wärmebedarf</b>	<b>[GWh<sub>th</sub>/a]</b>	<b>102,29</b>	<b>12,95</b>	<b>2,13</b>	<b>0,01</b>
Leistung Raumwärme	[MW <sub>th</sub> ]	63,1	8,0	1,3	0,005
Leistung Warmwasser	[MW <sub>th</sub> ]	9,6	1,2	0,2	0
<b>Summe Leistung</b>	<b>[MW<sub>th</sub>]</b>	<b>72,7</b>	<b>9,2</b>	<b>1,5</b>	<b>0,01</b>

Die sich aus den Daten der einzelnen Verbraucherkategorien ergebenden Kennwerte des ortsspezifischen GHD-Gesamtwärmebedarfs sind in Tabelle 10-8 aufgeführt.

Auch hier zeigt sich, dass der Ausbaugrad der GHD-Strukturen von der Gemeindegröße abhängig ist (bspw. Hotels), was sich in einem mit der Einwohnerzahl überproportional ansteigenden Wärmebedarf des GHD widerspiegelt. Sehr kleine Gemeinden, wie etwa Mauenheim, stellen demnach reine Wohnsiedlungen dar, in denen praktisch auch keine Verbraucher aus dem GHD-Sektor vorhanden sind.

**Tabelle 10-9:** Wärmebedarf des GHD-Sektors der jeweiligen Modellregionen nach Betriebsart und Größenklasse

Gebäudeklasse	Größenklasse	Heilbronn		Rottweil		Schwendi		Mauenheim	
		Wärme	Leistung	Wärme	Leistung	Wärme	Leistung	Wärme	Leistung
		[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[[kW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[kW <sub>th</sub> ]
Verwaltungsgebäude, Baujahr bis 1951	klein	299	215	37	27	33	24	0	0
	mittel	1.077	775	89	64	0	0	0	0
	groß	718	517	45	32	0	0	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr 1952-1977	klein	1.574	1.133	294	212	58	42	0	0
	mittel	6.428	4.626	572	412	0	0	0	0
	groß	3.673	2.643	143	103	0	0	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr 1978-1995	klein	1.446	1.041	240	173	36	26	0	0
	mittel	3.115	2.242	323	233	0	0	0	0
	groß	2.966	2.135	163	117	0	0	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr nach 1995	klein	423	304	105	76	23	17	0	0
	mittel	959	690	119	86	0	0	0	0
	groß	508	365	32	23	0	0	0	0
Kaufhaus, Verkaufs-/Ausstellungsgebäude, Baujahr 1952-1977	klein	3.542	2.549	735	529	109	79	0	0
	mittel	6.493	4.673	1.078	776	240	173	0	0
	groß	5.247	3.776	327	235	0	0	0	0
Kaufhaus, Verkaufs-/Ausstellungsgebäude, Baujahr 1978-1995	klein	1.780	1.281	554	399	99	71	0	0
	mittel	3.893	2.802	970	698	96	69	0	0
	groß	4.728	3.402	393	282	0	0	0	0
Kaufhaus, Verkaufs-/Ausstellungsgebäude, Baujahr nach 1995	klein	705	507	88	63	65	47	0	0
	mittel	2.115	1.522	527	379	78	56	0	0
	groß	2.538	1.826	0	0	0	0	0	0
Hotel, Beherbergung, Baujahr bis 1995	klein	455	315	45	31	21	15	0	0
	mittel	455	315	40	27	0	0	0	0
	groß	606	419	15	10	0	0	0	0
Hotel, Beherbergung, Baujahr nach 1995	klein	351	245	64	45	54	38	0	0
	mittel	467	327	35	24	0	0	0	0
	groß	467	327	3	2	0	0	0	0

#### 10.2.4 Wärmebedarf des kommunalen Sektors in den Mustergemeinden

Im Folgenden wird nun der Wärmebedarf der kommunalen Verbraucher der einzelnen Mustergemeinden ermittelt. Analog zum GHD-Sektor wird auch hier beispielhaft die Methode der geringen Genauigkeit angewandt (vgl. Kapitel 4.3). Dementsprechend kommen auch hier die Verteilungsschlüssel auf Mitarbeiterzahlbasis zur Bestimmung des Gebäudebestands (Tabelle A-6 bis Tabelle A-8) zum Einsatz. Die entsprechenden Daten sind in Tabelle 10-10 zusammengeführt. Die erhaltenen Gebäudedaten werden mit den im Anhang beigefügten flächenspezifischen Verbrauchsdaten (Tabellen A-6) kom-

biniert, so dass die Absolutwerte des Wärmebedarfs bestimmt werden können. Die sich ergebenden Rahmendaten des Wärmebedarfs sind in Tabelle 10-11 aufgeführt.

**Tabelle 10-10 :** Verteilungsstruktur für den kommunaler Sektor in den Modellgemeinden

Gebäudeklasse	Größen- klasse	beheizte Fläche	Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
[-]	[-]	[m <sup>2</sup> ] bzw. Schüler- bzw. Betten- bzw. Plätzezahl				
Verwaltungsgebäude, Baujahr bis 1951	klein	≤ 100	1.048	2.130	1.036	0
	mittel	≤ 250	2.794	4.260	0	0
	groß	> 250	0	0	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr 1952-1977	klein	≤ 100	12.716	2.130	622	0
	mittel	≤ 250	12.716	6.390	0	0
	groß	> 250	12.716	0	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr 1978-1995	klein	≤ 100	3.815	2.130	207	0
	mittel	≤ 250	7.630	2.130	0	0
	groß	> 250	7.630	0	0	0
Verwaltungsgebäude, Baujahr nach 1995	klein	≤ 100	0	0	207	0
	mittel	≤ 250	7.630	2.130	0	0
	groß	> 250	7.630	0	0	0
Stadthalle, Gemeindezentrum Baujahr vor 1995	klein	≤ 200	17.305	2.905	1.554	0
	mittel	≤ 1.000	0	2.905	518	0
	groß	> 1.000	17.305	0	0	0
Stadthalle, Gemeindezentrum Baujahr nach 1995	klein	≤ 200	5.538	871	622	0
	mittel	≤ 1.000	0	871	0	0
	groß	> 1.000	8.307	0	0	0
Schwimmbad	klein	≤ 250	303	0	235	0
	mittel	≤ 350	607	615	0	0
	groß	> 350	607	0	0	0
Alters- /Pflegeheim, Baujahr bis 1951	klein	≤ 200	0	0	63	0
	mittel	≤ 1.000	121	256	0	0
	groß	> 1.000	0	0	0	0
Alters- /Pflegeheim, Baujahr 1952-1977	klein	≤ 200	0	0	0	0
	mittel	≤ 1.000	0	256	0	0
	groß	> 1.000	728	0	0	0
Alters- /Pflegeheim, Baujahr 1978-1995	klein	≤ 20	0	0	0	0
	mittel	≤ 100	121	256	0	0
	groß	> 100	0	0	0	0
Alters- /Pflegeheim, Baujahr nach 1995	klein	≤ 20	0	0	63	0
	mittel	≤ 100	243	0	0	0
	groß	> 100	0	0	0	0
Schule, Baujahr vor 1977	klein	≤ 200	506	0	0	0
	mittel	≤ 1.000	8.088	1.709	4.180	0
	groß	> 1.000	10.110	2.051	0	0
Schule, Baujahr 1978-1995	klein	≤ 200	506	0	0	0
	mittel	≤ 1.000	2.022	0	2.090	0
	groß	> 1.000	2.022	1.026	0	0
Schule, Baujahr nach 1995	klein	≤ 200	0	0	0	0
	mittel	≤ 1.000	0	0	0	0
	groß	> 1.000	0	0	0	0
Krankenhaus, Baujahr bis 1951	klein	≤ 200	0	0	0	0
	mittel	≤ 1.000	0	0	0	0
	groß	> 1.000	0	0	0	0
Krankenhaus, Baujahr 1952-1977	klein	≤ 200	0	0	0	0
	mittel	≤ 1.000	0	0	0	0
	groß	> 1.000	1.011	256	0	0
Krankenhaus, Baujahr 1978-1995	klein	≤ 200	0	0	0	0
	mittel	≤ 1.000	202	0	0	0
	groß	> 1.000	0	0	0	0





Gebäudeklasse	Größen- klasse	Heilbronn		Rottweil		Schwendi		Mauenheim	
		Wärme	Leistung	Wärme	Leis-	Wärme	Leistung	Wärme	Leistung
		[MWh <sub>th</sub> /a]	[MW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[MW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[MW <sub>th</sub> ]	[MWh <sub>th</sub> /a]	[MW <sub>th</sub> ]
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	35.355	23.718	8.967	6.015	0	0	0	0
Krankenhaus, Baujahr 1978-1995	klein	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	4.005	2.699	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0
Krankenhaus, Baujahr nach 1995	klein	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0

Der aus den Werten der einzelnen Verbrauchergruppen resultierende Gesamtwärme- und Gesamtleistungsbedarf des kommunalen Sektors der Mustergemeinden ist in Tabelle 10-12 zusammengefasst.

**Tabelle 10-12: Wärmebedarf** des kommunalen Sektors der jeweiligen Modellregionen

		Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
Wärmebedarf Heizung	[GWh <sub>th</sub> /a]	72,4	17,61	4,97	0
Wärmebedarf Warmwasser	[GWh <sub>th</sub> /a]	1,93	0,60	0,19	0
<b>Summe Wärmebedarf</b>	<b>[GWh<sub>th</sub>/a]</b>	<b>74,33</b>	<b>18,22</b>	<b>5,16</b>	<b>0</b>
Leistung Heizung	[MW <sub>th</sub> ]	44,5	10,5	4,2	0
Leistung Warmwasser	[MW <sub>th</sub> ]	2,4	0,8	0,2	0
<b>Summe Leistung</b>	<b>[MW<sub>th</sub>]</b>	<b>46,9</b>	<b>11,2</b>	<b>4,5</b>	<b>0</b>

Es zeigt sich, dass auch der Wärmebedarf des kommunalen Sektors mit steigender Einwohnerzahl überproportional wächst. Damit spiegelt sich auch die Funktion der Städte und Großgemeinden als regionale Verwaltungs-, Bildungs- und Kulturzentren im Wärmebedarf wider.

### 10.3 Wärmebedarfsermittlung des Wohnbereichs

Die sich für die einzelnen Mustergemeinden ergebenden Siedlungstypflächen sind in Tabelle 10-13 aufgeführt. Erwartungsgemäß ergibt sich eine Verteilung, welche die Bevölkerungsgrößen der jeweiligen Gemeinden wiedergibt; allerdings ergibt sich mit zunehmender Einwohnerzahl auch eine dichtere Besiedlung der betrachteten Orte.

**Tabelle 10-13:** Aufteilung der jeweiligen Modellregionen nach Siedlungstyp

Siedlungstypen	Beschreibung	Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
		[ha]	[ha]	[ha]	[ha]
<b>ST0</b>	Freistehende Gebäude	41,2	48,1	5,7	2,6
<b>ST1</b>	Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	109,2	158,2	40,6	4,7
<b>ST2</b>	Einfamilienhäuser- und Zweifamilienhäusersiedlung	640,2	173,0	111,4	13,3
<b>ST3a</b>	Städtischer Dorfkern	261,3	0,0	18,1	9,4
<b>ST3b</b>	Ländlicher Dorfkern	108,2	164,4	0,0	49,6
<b>ST4</b>	Reihenhäuser	309,1	1,4	43,4	5,7
<b>ST5a</b>	Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	155,6	138,8	0,0	0,0

Siedlungs- typen	Beschreibung	Heilbronn	Rottweil	Schwendi	Mauenheim
		[ha]	[ha]	[ha]	[ha]
<b>ST5b</b>	Zeilenbebauung kleinen und großen Mehrfamilienhäuser	69,8	12,8	0,0	0,0
<b>ST6</b>	Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern	76,1	24,6	24,2	0,0
<b>ST7a</b>	Blockbebauung niedriger Dichte	219,8	0,0	29,9	0,0
<b>ST7b</b>	Blockbebauung hoher Dichte	272,1	0,0	17,7	0,0
<b>ST8</b>	Citybebauung	361,1	56,9	48,8	0,0
<b>ST9</b>	Historische Altstadt	233,8	284,1	92,5	0,0
<b>ST10a</b>	Öffentliche Sonderbauten (groß)	226,8	21,0	33,7	0,6
<b>ST10b</b>	Öffentliche Sonderbauten (klein)	111,6	16,1	43,2	2,7
<b>ST11a</b>	Industriebauten	83,7	122,4	21,1	1,3
<b>ST11b</b>	Gewerbliche Sonderbauten/ Dienstleistungsbauten	48,8	23,5	11,1	0,0
<b>ST12</b>	Sonstige Versorgungsgebäude	160,5	18,6	12,7	3,2
<b>Summe</b>		<b>3489.0</b>	<b>1264.0</b>	<b>554.0</b>	<b>93.0</b>

Der sich aus diesen Daten ergebende Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser ist in Tabelle 10-14 dargestellt. Dabei wird außer der Wärmemenge auch die benötigte thermische Leistung aufgeführt.

**Tabelle 10-14:** Wärmebedarf Raumwärme und Brauchwarmwasser der jeweiligen Modellregionen

Gemeindename	Wärmebedarf	Wärmebedarfsleistung
	[GWh <sub>th</sub> ]	[MW <sub>th</sub> ]
Heilbronn, Stadt	2064,8	804.1
Rottweil, Stadt	721.9	293.3
Schwendi	322.5	129.9
Mauenheim	33.8	14.2

Auch beim Wärmebedarf besteht derselbe Zusammenhang zwischen Gemeindegröße und Wärmebedarf wie bei der Siedlungsflächenberechnung. Der einwohnerspezifische Wärmebedarf nimmt ebenfalls mit steigender Gemeindegröße ab.

#### 10.4 Potenzial erneuerbarer Energieträger in den Modellgemeinden

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Potenzialerhebung der erneuerbaren Energieträger für die vier Mustergemeinden vorgestellt und diskutiert. Dabei wird zuerst auf die Holzpotenziale, dann auf die Solarthermie- und anschließend auf die Geothermiepotenziale eingegangen. Zu der Erhebung der Holzpotenziale ist anzumerken, dass hier aufgrund der unzureichenden Datengrundlage keine Annahmen für die Anteile der bereits genutzten Biomassepotenziale gemacht wurden. Die hier vorgestellten Ergebnisse für das Holzpotenzial spiegeln demnach das technische Potenzial wider. Am Ende des Kapitels werden die Ergebnisse der drei Potenzialgruppen zu einer Gesamtbetrachtung zusammengeführt.

Für die vier Beispielmunicipalitäten wurde das Waldholzpotenzial über den Einschlag der Derby-, Brenn-, und Reisholzes auf der Basis der für den Kreis vorliegenden Daten abgeschätzt. Das Landschafts-

pflege-, das Industrierest- und das Altholzpotezial wurden über die einwohnerspezifischen Werte errechnet. Das technische Nachfragepotenzial für Solarthermie wurde mittels der Anzahl der Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser und der entsprechenden spezifischen Wärmebedarfswerte ermittelt. Die Abschätzung des Angebots- und Nachfragepotenzials für Geothermie zur Nutzung mit Erdwärmesonden beruht auf der flächendeckenden Klassifizierung der Untergrundverhältnisse durch das Umweltministerium Baden-Württemberg und der Anzahl der spezifischen Wärmebedarfswerte für Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser.

Für die Gemarkung Mauenheim ergibt sich aufgrund der geringen Größe des Untersuchungsgebiets erwartungsgemäß das geringste Holzpotenzial der vier Beispielgemeinden. Dabei entfällt mit rund 85 % der größte Anteil des Gesamtpotenzials auf das Waldholzpotenzial. Dies entspricht von der Dimension her den Werten des zugehörigen Kreises (Tuttlingen). Dies ist auf den sehr hohen Waldflächenanteil der Gemarkung, der Gemeinde Immendingen und des Kreises zurückzuführen. Mit dem Holzpotenzial innerhalb der Gemarkung Mauenheim können bei einem durchschnittlichen Nutzungsgrad von etwa 85 % etwa 3,4 % des Wärmebedarfes von Mauenheim durch ein Biomasseheizwerk bereitgestellt werden. Wird zudem auf etwa 20 % des Holzpotenzials des Kreises Tuttlingen zugegriffen, so kann der Wärmebedarf damit vollständig gedeckt werden. Das Holzpotenzial der Modellgemeinden ist zusammenfassend in Tabelle 10-15 dargestellt.

In der Gemeinde Schwendi beruht das Gesamtholzpotenzial mit rund 48 % vor allem auf dem Waldholz und mit etwa 38 % auf dem Industrierestholz. Das Landschaftspflegeholz (10 %) und das Restholz (4 %) spielen eine untergeordnete Rolle. Der hohe Anteil an Industrierestholz resultiert aus dem hohen Potenzial dieses Sortimentes im Kreis Biberach. Durch das Holzpotenzial können mit einem Heizwerk in etwa 3,4 % des Wärmebedarfes der Gemeinde aus dem Holzpotenzial der Gemeinde selbst bereitgestellt werden. Wird zudem das Potenzial des Kreises Biberach genutzt, kann damit der Wärmebedarf zu 76 % gedeckt werden. Zur vollständigen Deckung des Wärmebedarfes ist also in diesem Fall zusätzlich ein Teil des Potenzials umliegender Kreise notwendig.

**Tabelle 10-15:** Potenzial Holz in der jeweiligen Modellgemeinde

	im Untersuchungsgebiet	zusätzl. Potenzial im Kreis, in dem das Untersuchungsgebiet liegt	Angrenzende Kreise
	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
<b>Mauenheim</b>	1,10	168,80	1.295,57
<b>Schwendi</b>	18,37	468,61	1.340,02
<b>Rottweil</b>	34,43	250,79	3.175,45
<b>Heilbronn</b>	33,05	0	2.712,05

Das Holzpotenzial der Stadt Rottweil setzt sich zu 49 % aus Waldholz, 21 % aus Landschaftspflegeholz, 20 % aus Industrierestholz und 10 % aus Altholz zusammen. Aufgrund des im Vergleich zum Baden-Württembergischen Mittel relativ hohen Waldanteils in Rottweil ergibt sich auch für den Landkreis Rottweil ein nennenswertes zusätzliches Potenzial. Mit dem Holzpotenzial, das innerhalb der Gemeinde besteht, lassen sich in einem Heizwerk rund 2,9 % und mit dem des Kreises Rottweil 20,0 % des Wärmebedarfes decken. Eine vollständige Deckung des Wärmebedarfes durch die Nutzung von Holz ist demnach für Rottweil nur beim Zugriff auf die Potenziale der umliegenden Kreise möglich.

Das Holzpotenzial für den Stadtkreis Heilbronn setzt sich zu über 47 % aus dem Potenzial an Altholz und rund 28 % an Landschaftspflegeholz zusammen. Aufgrund der geringen Waldflächen und der geringen Anzahl an Holzverarbeitenden Betrieben fällt der Anteil an Waldholz und Industrierestholz hier gering aus. Der Deckungsgrad des Wärmebedarfes aus dem gemeindeeigenen Holzpotenzial be-

trägt 1,0 %. Wird zudem auf das Potenzial des Landkreises Heilbronn zurückgegriffen, können bis zu 70 % des Wärmebedarfs durch Holz gedeckt werden. Für eine 100%ige Deckung ist ein Teil des Potenzials der umliegenden Kreise erforderlich. Aufgrund vergleichbarer, räumlicher Strukturen ist für andere kreisfreie Städte eine ähnliche Potenzialverteilung zu erwarten.

Analog zu den Holzpotenzialen ergibt sich für die Gemarkung Mauenheim aufgrund der vergleichsweise geringen Fläche und Siedlungsdichte des Untersuchungsgebietes das geringste technische Angebotspotenzial für Wärme aus Solarthermie für die vier Mustergemeinden (vgl. Tabelle 10-16). Das höchste Potenzial weist die dicht besiedelte Stadt Heilbronn auf.

**Tabelle 10-16:** Potenzial Solarthermie in der jeweiligen Modellgemeinde

	<b>Technisches Angebotspotenzial</b>	<b>Technisches Nachfragepotenzial Brauchwasser</b>	<b>Technisches Nachfragepotenzial Brauch- und Heizwasser</b>
	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
<b>Mauenheim</b>	4,17	0,56	2,50
<b>Schwendi</b>	19,44	2,22	11,39
<b>Rottweil</b>	60,56	8,33	35,28
<b>Heilbronn</b>	238,06	38,33	139,72

Der Anteil des technischen Nachfragepotenzials für die reine Brauchwasserbereitstellung bei den Mustergemeinden variiert zwischen 11 und 16 % des Angebotspotenzials. Für die Brauch- und Heizwasserbereitstellung liegt der Wert relativ konstant bei rund 58 %.

Damit lassen sich durch eine Brauch- und Heizwasserbereitstellung durch Solarthermie in der Gemarkung Mauenheim 9,2 %, in der Gemeinde Schwendi 2,4 %, in Rottweil 3,5 % und in Heilbronn 4,9 % des Wärmebedarfs decken.

Für eine Nutzung von Geothermie mittels Erdwärmesonden werden in der Gemarkung Mauenheim 100 % der Fläche in die Klasse V eingeordnet und gelten damit für die Nutzung mit Erdwärmesonden als eher ungeeignet (vgl. Tabelle 10-17). Eine andersartige Nutzung der oberflächennahen Erdwärme, z. B. mit Erdwärmekollektoren, ist damit allerdings nicht ausgeschlossen.

**Tabelle 10-17:** Potenzial Geothermie (Erdwärmesonden) in der jeweiligen Modellgemeinde

		<b>Technisches Angebotspotenzial</b>	<b>Technisches Nachfragepotenzial</b>
<b>Mauenheim</b>	[GWh <sub>th</sub> /a]	0,00	0,00
<b>Schwendi</b>	[GWh <sub>th</sub> /a]	221,76	38,1
<b>Rottweil</b>	[GWh <sub>th</sub> /a]	172,92	100,10
<b>Heilbronn</b>	[GWh <sub>th</sub> /a]	320,01	59,90

In der Gemeinde Schwendi fallen 100 % der Fläche in die Klasse II (bis zu 200 m Tiefe günstige Nutzungsbedingungen). Es ergibt sich ein technisches Angebotspotenzial von 221,76 GWh<sub>th</sub> und ein technisches Nachfragepotenzial von 38,1 GWh<sub>th</sub> (Deckungsanteil am Wärmebedarf 8,3 %).

In der Gemeinde Rottweil werden 8 % der Fläche der Klasse II, 71 % der Klasse IV (unter hundert Meter nach Einzelfallprüfung günstige Verhältnisse) und 4 % der Klasse VII (Ausschlussfläche) zugeordnet. Das technische Angebotspotenzial beläuft sich auf 172,92 GWh<sub>th</sub> und das technische Nachfragepotenzial auf 100,1 GWh<sub>th</sub> (Deckungsanteil am Wärmebedarf 9,9 %).

Für die Stadt Heilbronn entfallen 62 % der Fläche auf die Klasse IV und 32 % auf die Klasse VII. Es ergibt sich ein technisches Angebotspotenzial von 320,01 GWh<sub>th</sub> und ein technisches Nachfragepotenzial von 59,90 GWh<sub>th</sub> (Deckungsanteil am Wärmebedarf 2,1 %).

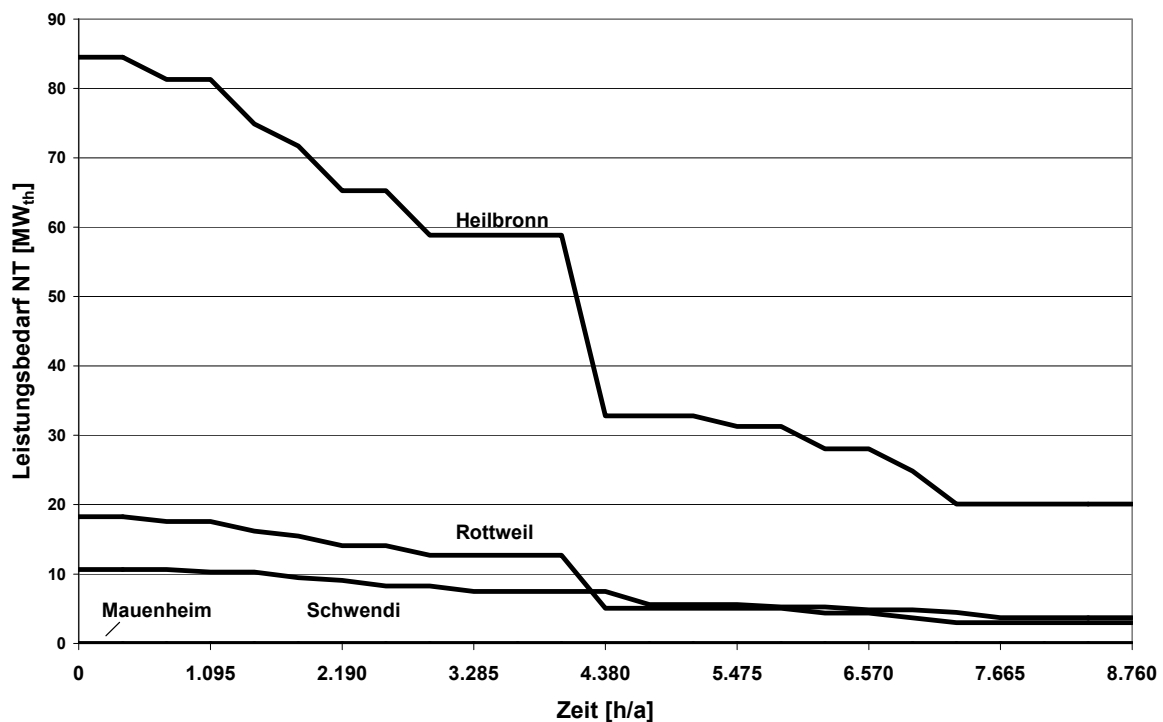
Das Angebotspotenzial ist nur bedingt abhängig von der Größe des Untersuchungsgebietes als vielmehr von der Lage in einem geologisch mehr oder weniger vorteilhaften Gebiet.

Werden die Potenziale der Beispielmunicipalitäten für die unterschiedlichen erneuerbaren Energiequellen zusammengefasst, so ergibt sich für die Gemarkung Mauenheim ein technisch möglicher Deckungsanteil für die Wärmenachfrage von 12,6 %, für die Gemeinde Schwendi von 14,2 %, für die Gemeinde Rottweil von 16,4 % und für die Stadt Heilbronn von 8,0 %. Daraus geht hervor, dass keine der Beispielmunicipalitäten ihren Wärmebedarf autark aus den vorhandenen Potenzialen an (in dieser Leitfadenerfassten) erneuerbaren Energieträgern decken kann. Wird der Radius für das Holzpotenzial auf den Kreis, in dem die Beispielmunicipalitäten liegen, erweitert, so könnten sowohl Mauenheim als auch Schwendi ihren Wärmebedarf theoretisch vollständig aus erneuerbaren Energien decken. In der Gemeinde Rottweil kann dadurch ein Deckungsgrad von 37,5 % erreicht werden. Da Heilbronn selbst eine kreisfreie Stadt darstellt, ergibt sich lediglich bei einer Erweiterung des Radius für das Holzpotenzial auf die umliegenden Kreise eine Erhöhung des Deckungsgrades, der in diesem Falle 89,3 % beträgt. Rottweil kann bei einem Zugriff auf einen Teil der Holzpotenziale der umliegenden Kreise den Wärmebedarf vollständig aus den betrachteten erneuerbaren Energien decken.

### 10.5 Ermittlung des Wärmegesamtbedarfs und seiner zeitlichen Auflösung

In den bisherigen Schritten wurde der jeweils absolute Wärmebedarf der einzelnen Modellgebiete auf Basis der Sektoren mit ihren einzelnen Verbrauchertypen für die jeweiligen Temperatursegmente bestimmt.

Im folgenden Schritt werden diese Jahresverbrauchsdaten zeitlich aufgelöst. Hierzu werden für die einzelnen Monate je ein typischer Tages- und Nachtwert des Verbrauchs für jeden Verbrauchertyp bestimmt (vgl. Kapitel 6.3).



**Abbildung 10-1:** Jahresdauerlinien des Nichtwohnbereichs der vier untersuchten Mustergemeinden

Die sich ergebenden Werte werden für jedes der 24 Zeitsegmente addiert und in Form einer Dauerlinie aufgetragen. Dabei erhält jedes Zeitsegment die Dauer von  $8.760 / 24 = 365$  h zugeordnet. Die sich daraus ergebenden Jahresdauerlinien des NT-Leistungsbedarfs des Nichtwohnbereichs der vier Mustergemeinden sind beispielhaft in Abbildung 10-1 dargestellt.

**Tabelle 10-18:** Vergleich des rechnerisch ermittelten und tatsächlichen Leistungsbedarfs der Modellregionen

		<b>Heilbronn</b>	<b>Rottweil</b>	<b>Schwendi</b>	<b>Mauenheim</b>
Rechnerischer Leistungsbedarf	[MW <sub>th</sub> ]	182,7	35,4	10,67	0,005
Tatsächlicher Leistungsbedarf	[MW <sub>th</sub> ]	84,51	18,25	12,64	0,005
Gleichzeitigkeitsfaktor	[-]	0,46	0,52	0,84	1

Erwartungsgemäß weist Heilbronn als größte Mustergemeinde auch den höchsten Wärmebedarf auf, die übrigen Gemeinden folgen gemäß ihrer Einwohnerzahl. Allerdings macht sich bei Schwendi der Einfluss des hohen Industrieanteils am Wärmebedarf deutlich bemerkbar. Die erkennbaren jahreszeitlichen Unterschiede im Wärmebedarf werden vom Heizwärmebedarf verursacht, während der Bedarf an Warmwasser und NT-Prozesswärme über das Jahr nahezu auf konstantem Niveau verbleibt.

Weiterhin ergeben sich für steigende Verbraucherzahlen bzw. höheren Wärmebedarf generell sinkende Werte für den Gleichzeitigkeitsfaktor, wie von der Theorie vorhergesagt /Recknagel et al 2005/.

## 11 Übertragung der Ergebnisse auf Baden-Württemberg

Nachfolgend werden die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Methoden zur Ermittlung des Wärmebedarfs und der Potenziale für Fernwärme, Biomasse und Solarthermie auf ganz Baden-Württemberg angewendet.

Bei dem verwendeten Verfahren handelt es sich um eine Approximation, die auf aktuellen Statistiken und den Untersuchungen einzelner Gemeinden (der Modellgemeinden) aus Kapitel 10 beruhen, die auf die Gesamtheit der Gemeinden mit Hilfe von Gebietskategorien und Annahmen hinsichtlich der Siedlungsstruktur hochgerechnet werden. Wirtschaftliche Potenziale können hierbei nur im Rahmen von allgemein gehaltenen Annahmen überschlägig abgeschätzt werden, weshalb das Verfahren eine Detailanalyse innerhalb einer Gemeinde zur robusten Entscheidungsfindung nicht ersetzen kann. Das Verfahren dient vielmals dazu einen groben Anhaltswert für die Entwicklung des Nutzwärmebedarfs und der Fernwärmepotenziale zu liefern.

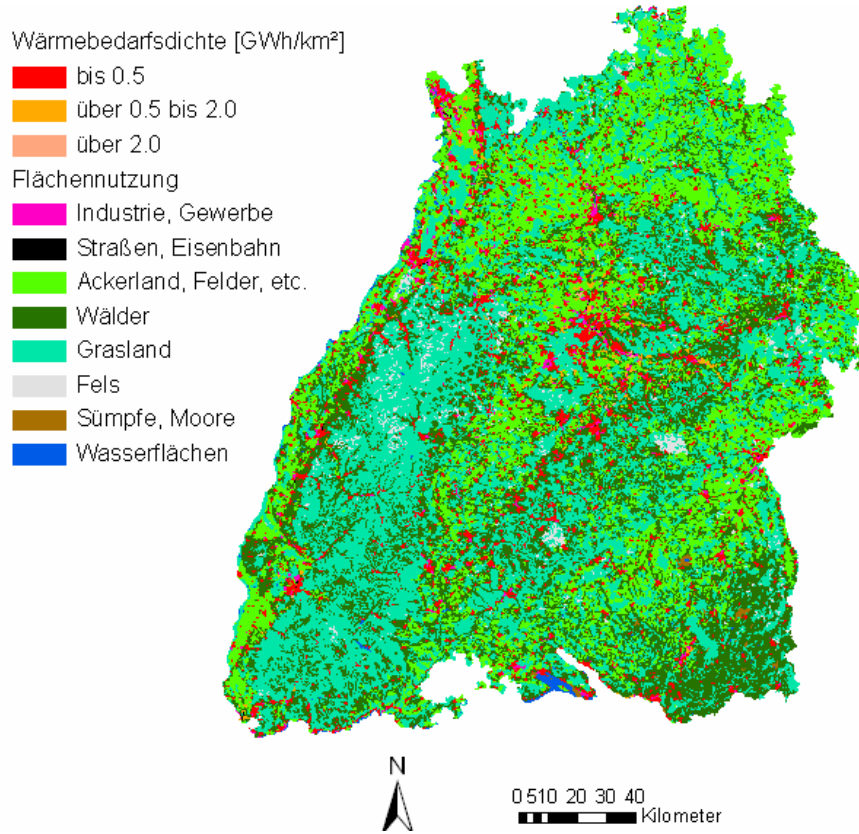
Baden-Württemberg umfasst eine Fläche von 35.742 km<sup>2</sup> und weist eine Einwohnerzahl von 10,7 Millionen auf, die sich auf 1.110 Gemeinden verteilen. Die gesamte Siedlungsfläche beträgt 486.980 ha (13,6 % der Landesfläche), auf Waldflächen entfallen mit 1.275.746 ha 35,7 % der Landesfläche (Daten 2004). Die Zahl der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnisse in Baden-Württemberg beträgt 4.019.126, was einer Beschäftigungsquote von 37,5 % entspricht. Auf die Landwirtschaft entfallen davon 26.153 Beschäftigte (0,7 % aller Beschäftigten in Baden-Württemberg), die Industrie 1.064.437 (26,5 %), den GHD-Sektor 2.679.447 (66,7 %) und den öffentlichen Dienst 246.770 (6,1 %) (Daten für 2004).

In Abbildung 11-1 sind in der Karte Baden-Württembergs die Angaben zur tatsächlichen Bodennutzung und zur Wärmebedarfsdichte aus dem Jahr 2000 farbig hinterlegt.

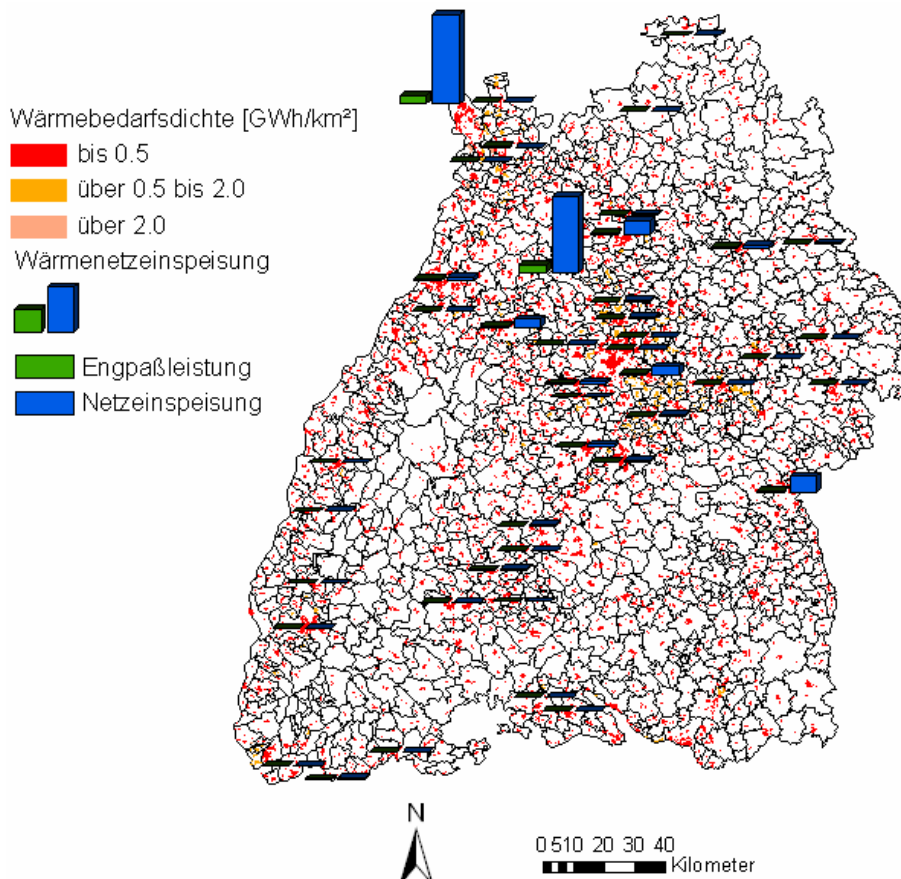
Darin zu erkennen sind die Industrie- und Gewerbeansiedlungen als violett gekennzeichnete Gebiete, Ackerland und Felder als hellgrün, Wälder als dunkelgrün etc. Der Wohnungsbereich wurde in der Karte in drei unterschiedlich große Klassen von Wärmebedarfsdichten zugeordnet. Die Klassen sind in die Bereiche für Gebiete mit einer Wärmebedarfsdichte von bis zu 0,5 GWh/km<sup>2</sup> Siedlungsfläche, von 0,5 bis einschließlich 2,0 GWh/km<sup>2</sup> und in hoch verdichtete Bereiche mit einer Wärmebedarfsdichte von über 2,0 GWh/km<sup>2</sup> unterteilt. In der Karte gut zu erkennen sind die rötlichen Bereiche, die sich um die Ballungszentren von Stuttgart, Mannheim und Freiburg, u. a. konzentrieren. Der gesamte Nutzwärmebedarf des Haushaltssektors beträgt in Baden-Württemberg derzeit etwa 61,4 TWh mit einer gesamten Siedlungsfläche von 4.905 km<sup>2</sup>. Für 201 Gemeinden der insgesamt 1.108 Gemeinden Baden-Württembergs kommt eine theoretische Fernwärmeversorgung aufgrund einer zu geringen Einwohnergröße von „bis 2.000 EW“ und der damit korrelierenden zu geringen Wärmebedarfsdichte nicht in Frage.

In den 44 Gemeinden Baden-Württembergs die im Jahr 2005 nachweislich über eine Fernwärmeversorgung verfügen wurde eine thermische Engpassleistung von mindestens 7,57 GW vorgehalten bei einer Wärmenetzeinspeisung von etwa 10,81 TWh. Aufgrund der z. T. schlechten Datengrundlage hinsichtlich der Engpassleistung und Fernwärmewerte sind die genannten Daten als Mindestwerte aufzufassen. Von den 44 Gemeinden sind 26 Gemeinden durch Fernwärmeunternehmen versorgt, die in der AGFW vertreten sind und deren Angaben aus dem AGFW-Hauptbericht als gesichert anzunehmen sind /AGFW, 2006/. Bei den verbleibenden fernwärmeversorgenden Gemeinden wurden die Daten, da wo diese zugänglich waren, durch eigene Recherche zusammengestellt. In Abbildung 11-2 ist die thermische Engpaßleistung als grüne und die Höhe der Wärmenetzeinspeisung als blaue Säule neben den auch wiederum rötlich dargestellten Wärmebedarfsdichten dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die hohen Wärmenetzeinspeisungen in Mannheim, Heilbronn, Stuttgart und Ulm.

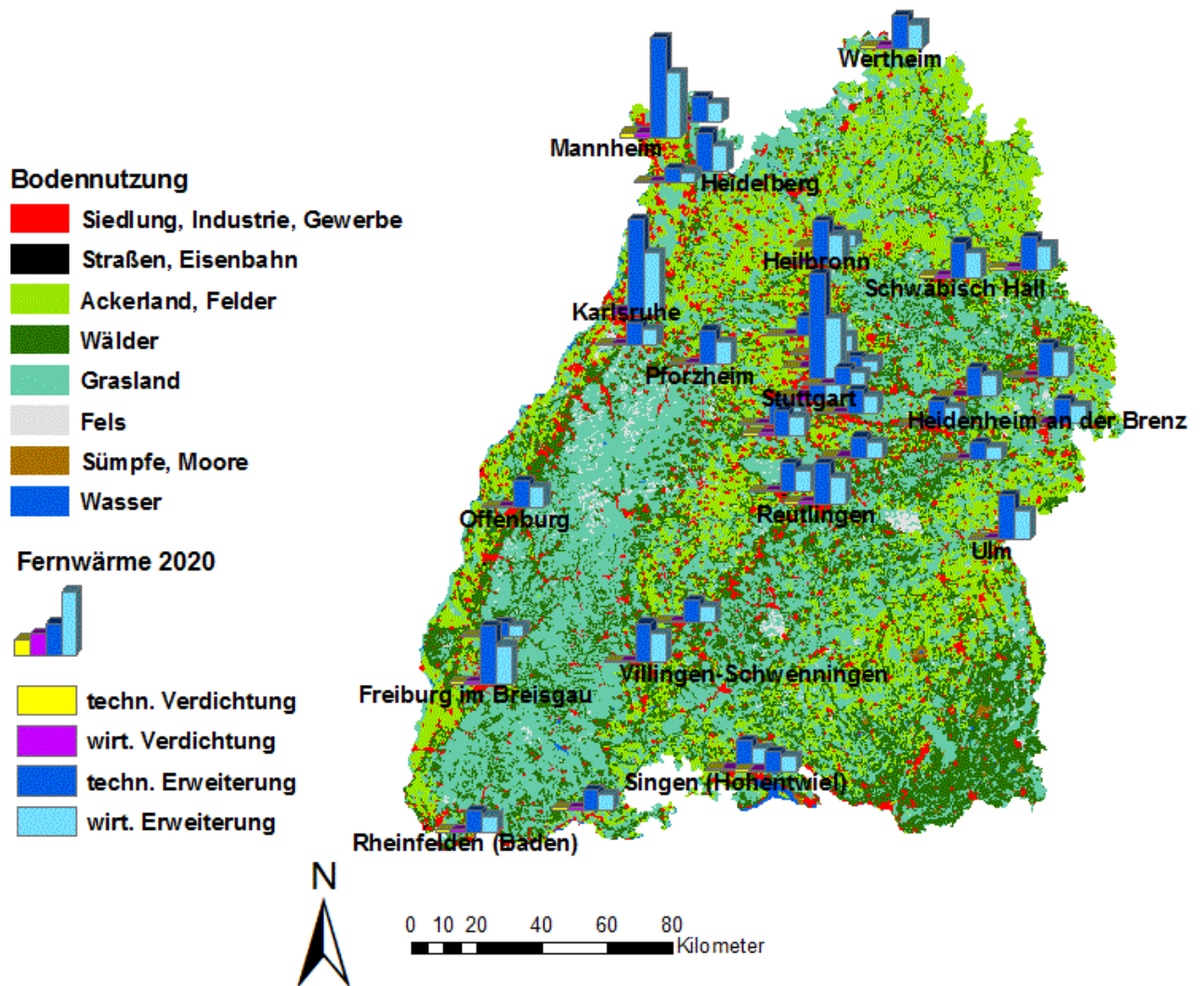




**Abbildung 11-1:** Wärmebedarfsdichte von Siedlungsflächen und Flächennutzung in Baden-Württemberg



**Abbildung 11-2:** Wärmebedarfsdichte von Siedlungsflächen und Fernwärmeversorgung 2005 in Baden-Württemberg



**Abbildung 11-3:** Flächennutzung und Fernwärmepotenziale im Jahr 2020 in Baden-Württemberg

In Abbildung 11-3 sind die theoretisch technischen und wirtschaftlich sinnvollen Fernwärmepotenziale für das Jahr 2020 in Form von Balkendiagramme dargestellt. Es wird hierbei angenommen, dass sich Potenziale nur in jenen Gemeinden ergeben, die im Jahr 2005 über eine Fernwärmeversorgung verfügen (Abbildung 11-2). Gemeinden, die sich im Verlauf der nächsten Jahre für ein Fernwärmeversorgungssystem entscheiden sollten, bleiben darin deshalb unberücksichtigt. Zu unterscheiden sind die Potenziale, die sich aus einer Verdichtung eines bereits bestehenden Netzes ergeben im Unterschied zu Erweiterungspotenzialen, die beim Netzausbau einer bestehenden Fernwärmetrasse potenziell anfallen. Jeweils mit dargestellt sind die wirtschaftlich erschlossenen und sinnvollen Potenziale, die sich dadurch ergeben, dass sich der anlegbare Fernwärmepreis niedriger berechnet als das alternative Vergleichssystem. Im Jahr 2020 bestimmt sich ein Verdichtungspotenzial von Fernwärme zur Deckung von Nutzenergie in Höhe von 242,7 GWh, davon sind 237,6 GWh als wirtschaftliches Potenzial ausgewiesen. Weit aus größer fällt das Fernwärmepotenzial bei der Netzerweiterung an. Hier lassen sich technisch bedingt bis zu etwa 4.114,8 GWh Nutzenergie durch Fernwärme zusätzlich abdecken. Davon wirtschaftlich sinnvoll sind immerhin noch 2.872,1 GWh.

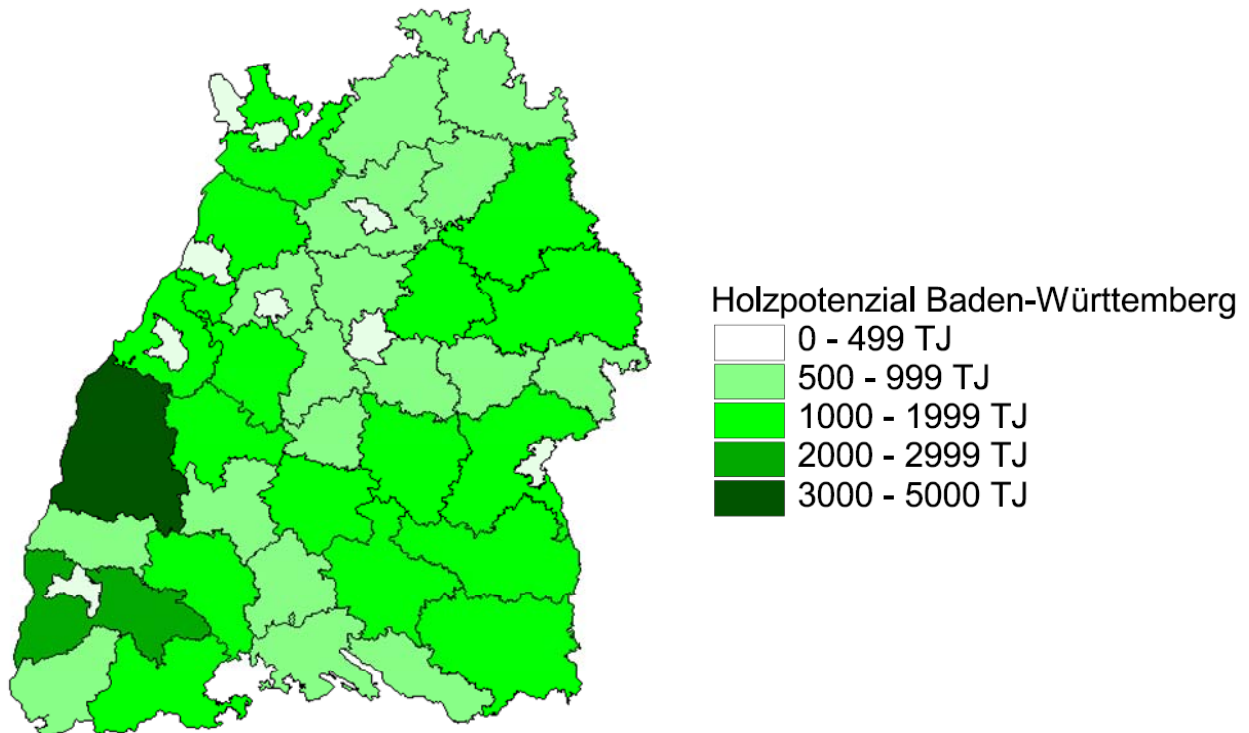
Der auf ganz Baden-Württemberg auf der Basis der Größenverteilung der einzelnen Gemeindeklassen hochgerechnete Wärmebedarf des Nichtwohnbereichs ist in Tabelle 11-1 zusammengestellt.

**Tabelle 11-1:** Wärmebedarf des Nichtwohnbereichs in Baden-Württemberg

Bereich	Beschäftigte	Leistung	Wärmemenge
	[MW <sub>th</sub> ]	[MW <sub>th</sub> ]	[GWh <sub>th</sub> /a]
Industrie	1.064.437	10.395	32.173
GHD	2.679.447	6.339	7.861
kommunaler Sektor	246.770	1.205	1.539
<b>Summe</b>	<b>3.990.654</b>	<b>17.938</b>	<b>41.574</b>

Es ergibt sich eine Dominanz des Industriesektors sowohl bei der Leistungs- als auch bei der Wärmemengennachfrage. Es folgt der GHD-Sektor, der etwas mehr als den halben Leistungsbedarf und etwa ein Viertel des Wärmebedarfs der Industrie aufweist. Ursachen dieser scheinbaren Diskrepanz sind die höheren Nutzungszeiten und das höhere Temperaturniveau industrieller Wärmeanwendungen. Den geringsten Anteil am Wärmebedarf des Nichtwohnbereichs weist sowohl leistungs- als auch wärmemengenseitig der kommunale Bereich auf.

In den Abbildungen 11-4, 11-5 und 11-6 sind die technischen Potenziale der erneuerbaren Energieträger, unterteilt nach Holz, Solarenergie und Erdwärmesonden, dargestellt. Aus den Darstellungen wird ersichtlich, dass die Höhe der Potenziale räumlich stark variiert.

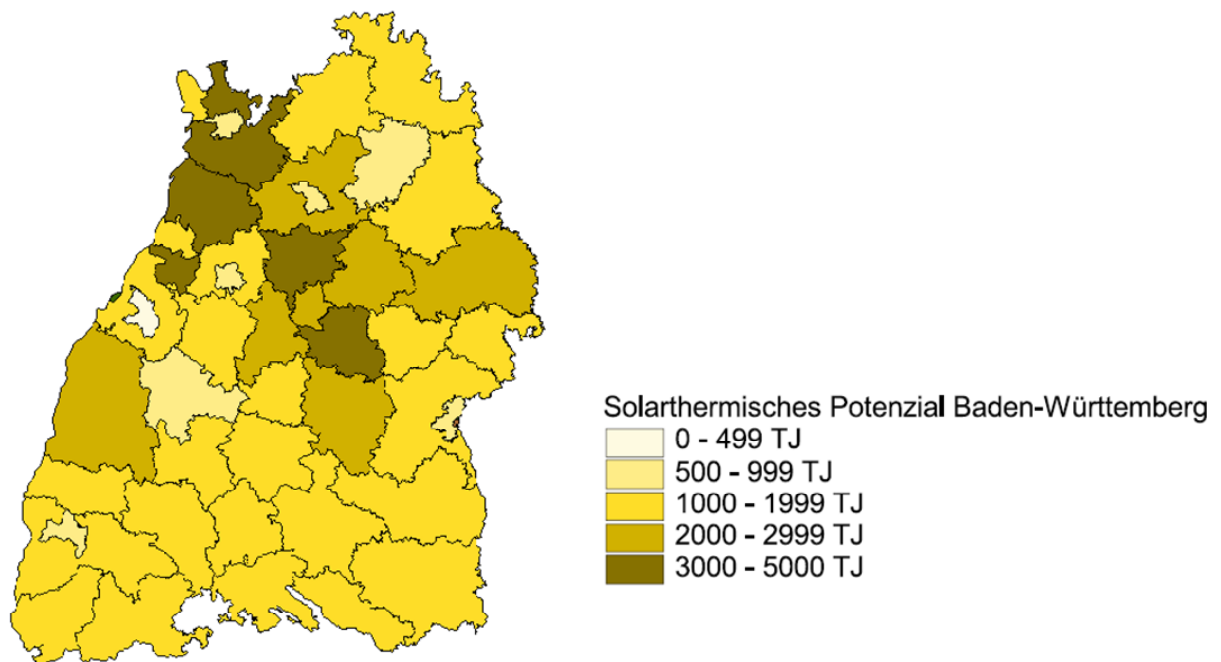


**Abbildung 11-4:** Holzpotenziale in Baden-Württemberg

Das technische Holzpotenzial in Baden-Württemberg – bestehend aus den Sortimenten Waldrestholz, Landschaftspflegeholz, Industrie- und Sägerestholz sowie Altholz – beträgt jährlich rund 74,0 PJ. Entsprechend der in Kapitel 7.2 beschriebenen Methodik beruhen die Daten auf Abschätzungsverfahren mit mittlerer (Waldrestholz) bzw. geringer Genauigkeit (Landschaftspflegeholz, Industrie- und Sägerestholz sowie Altholz). Da über drei Viertel des ermittelten Holzpotenzials auf das Waldrestholz zu-

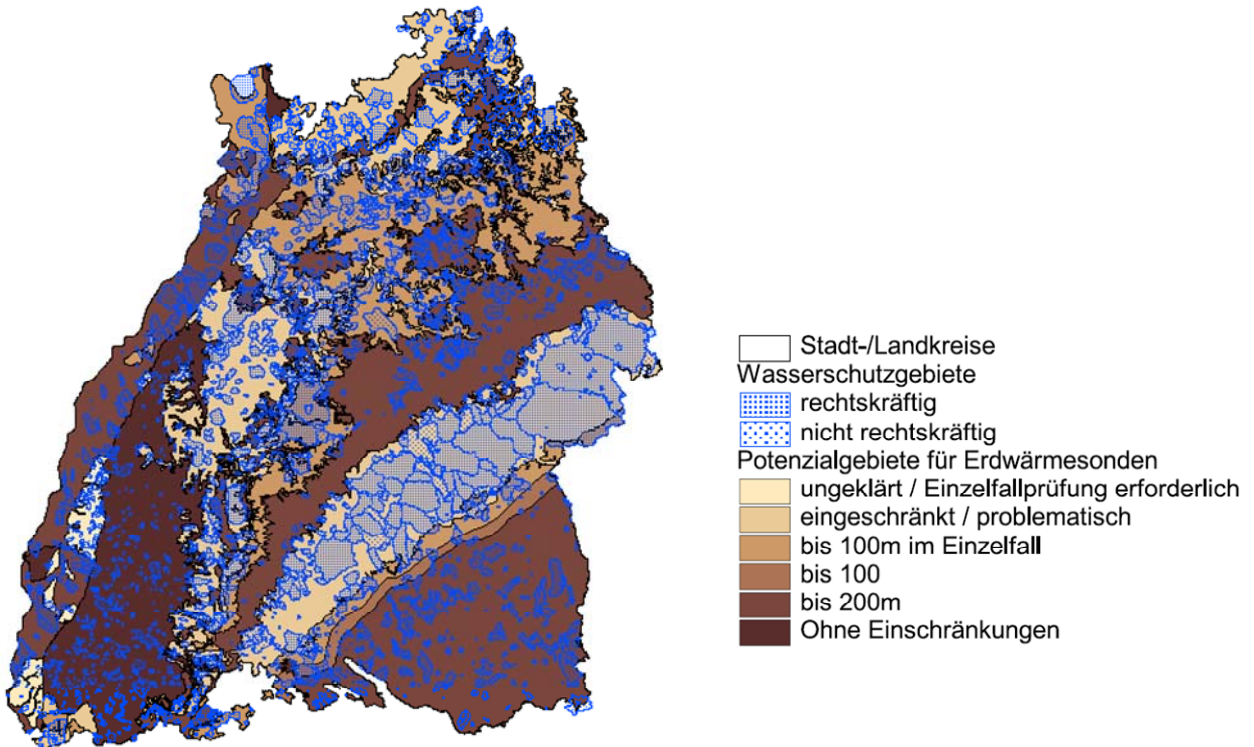
rückzuführen sind, kann die Potenzialgunst von Gemeinden mit großen Waldanteilen – also ländlich strukturierten Gemeinden – erwartungsgemäß als besonders hoch eingestuft werden.

Nach der in Kapitel 7.3 dargestellten Schätzmethode (auf Grundlage der offiziellen Landesstatistiken) ergibt sich für Baden-Württemberg ein solarthermisches Angebotspotenzial von rund 91,2 PJ pro Jahr. Unter Berücksichtigung der nachfrageseitigen Restriktionen kann immerhin noch ein (Nachfrage-) Potenzial in Höhe von 12,9 PJ (für Brauchwasserwärme) bzw. 53,7 PJ (für Brauch- und Heizwasserwärme) ausgemacht werden. Der Großteil des Nachfragepotenzials (rund 65 %) wird auf den Dachflächen von Einfamilienhäusern bereitgestellt. Insofern bestehen vor allem in Gebieten mit geringen Siedlungsdichten hohe Potenziale, da hier der Anteil der Einfamilienhäuser besonders hoch ist. In Abbildung 11-5 spiegelt sich dies nicht wider, da hier der gesamte Gebäudebestand berücksichtigt wurde und das absolute Potenzial dargestellt wird. Aufgrund des insgesamt größeren Gebäudebestands fällt das absolute Potenzial in großen Kreisen z. T. höher aus als in kleinen.



**Abbildung 11-5:** Potenziale der Solarthermie in Baden-Württemberg

Das Potenzial für Erdwärmesonden liegt im Vergleich zum Potenzial für Holz und Solarthermie deutlich höher. Für gesamt Baden-Württemberg kann ein technisches Angebotspotenzial in Höhe von 401,3 PJ und ein technisches Nachfragepotenzial von 121,1 PJ ermittelt werden. Berücksichtigt wurden bei der Potenzialberechnung nur die Teile einer Gemeinde, die innerhalb des Siedlungsgebiets liegen und in denen kein Wasserschutzgebiet besteht (unabhängig ob es bereits rechtskräftig ausgewiesen wurde oder nicht). Der wichtigste Einflussfaktor auf die Höhe der Potenziale sind die Untergrundverhältnisse, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung mittels Eignungsklassen erfasst wurden. In Abhängigkeit von der Eignungsklasse können unterschiedliche Bohrtiefen und damit unterschiedlich hohe Entzugsleistungen realisiert werden.



**Abbildung 11-6:** Potenzial von Erdwärmesonden in Baden-Württemberg

In Tabelle 11-2 sind die Energieträgerpotenziale für Baden-Württemberg zusammengefasst.

**Tabelle 11-2:** Übersicht der Potenziale erneuerbarer Energieträger in Baden-Württemberg

Energiequelle	Potenzial für Baden-Württemberg	
	Angebotspotenzial [PJ/a]	Nachfragepotenzial [PJ/a]
Holz	74,0	---
<i>davon Waldholz</i>	46,3	---
<i>davon Industrierestholz</i>	13,5	---
<i>davon Landschaftspflegeholz</i>	9,3	---
<i>davon Altholz</i>	4,9	---
Solarthermie	91,2	53,7*
Geothermie	401,3	121,1*
<b>Summe</b>	<b>566,5</b>	---

\* = Brauch- und Heizwassernachfrage

## 12 Schlussbetrachtung und Ausblick

Ziel des Projektes ist die Erstellung eines digitalen Wärmeatlanten für Baden-Württemberg. Dieser soll eine fundierte Informationsgrundlage zur räumlichen und zeitlichen Verteilung des Wärmebedarfs in Baden-Württemberg liefern. Hierzu wurden in dem ersten Projektabschnitt die relevanten Grundlagen mit unterschiedlichem Genauigkeitsgrad in Form eines Leitfadens erarbeitet.

Im zweiten Projektabschnitt wurden der Wärmebedarf sowie die jeweiligen technischen Potenziale von Biomasse, Solarthermie und industriellen Abwärmepotenzialen für die vier ausgewählten Mustergemeinden Heilbronn, Rottweil, Schwendi und Mauenheim (Verbandsgemeinde Immendingen) bestimmt. Diese vier Gemeinden sollen unterschiedliche, gleichwohl für Baden-Württemberg typische Kommunengrößen repräsentieren.

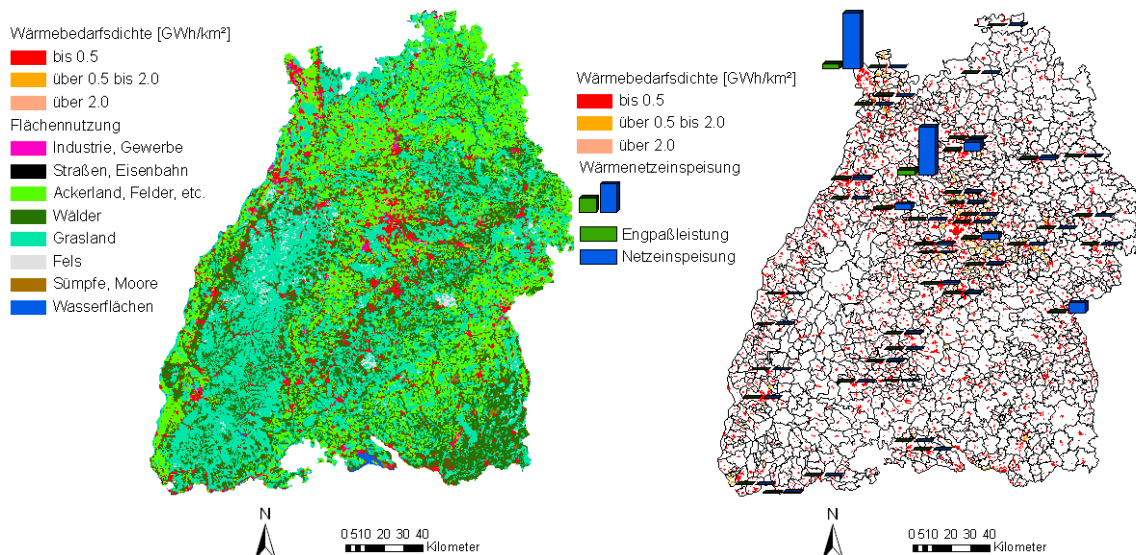
Die Wärmebedarfsdaten wurden separat für die Sektoren Wohnungen, Industrie, GHD und kommunaler Sektor erhoben. Während sich der Wärmebedarf des Wohnungssektors im Wesentlichen proportional zur Einwohnerzahl verhält, ergeben sich im gewerblichen Sektor deutliche Abweichungen, die Rückschlüsse auf das Funktionsspektrum von Kommunen verschiedener Größen zulässt. Während kleine Gemeinden reine Wohnsiedlungen ohne gewerbliche Strukturen darstellen, steigt mit zunehmender Gemeindegröße der Wärmebedarf von Industrie, GHD und kommunalem Sektor überproportional. Im Gegensatz zu den Anteilen von GHD und kommunalem Sektor erreicht die Industrie in Kleinstädten einen Maximalanteil, der bei weiterer Bevölkerungszunahme stagniert bzw. abnimmt. Hintergrund ist die Positionierung der Großstädte als Verwaltungs- und Dienstleistungszentrum zu Lasten der industriellen Produktion. Auch aus diesem Grund ist das vorhandene nutzbare Potenzial industrieller Abwärme in den Großstädten, die eigentlich einen ideal verdichteten, großen NT-Wärmemarkt darstellen, begrenzt.

Aus den in dieser Arbeit durchgeführten Potenzialerhebungen geht hervor, dass keine der Beispielgemeinden ihren Gesamtwärmebedarf für Industrie, GHD, kommunale Einrichtungen und Wohngebäude aus den hier ermittelten Holz-, Solarthermie- und Erdwärmesondenpotenzialen decken kann. Dies ist nur durch den Zugriff auf die Holzpotenziale des Kreises bzw. der umliegenden Kreise oder durch Nutzung weiterer Potenziale (z. B. Halmgutartige Energieträger, Biogas, Tiefengeothermie) möglich. Je nach geographischer Lage und der Flächennutzung stellt dabei entweder die Geothermie oder die Solarthermie die größten Anteile an den gemeindeeigenen Potenzialen. Holz tritt bei einer eher kleinflächigen Betrachtung und der Konzentration auf Gemeindeflächen daher eher in den Hintergrund. Nur durch den Zugriff auf die Holzpotenziale des Kreises bzw. den umliegenden Kreise ist eine vollständige Deckung des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energieträger theoretisch möglich. In diesem Fall nimmt die Bedeutung des Energieträgers Holz schnell die bei weitem wichtigste Rolle unter den erneuerbaren Energien ein. Ein umfassendes Nutzungskonzept sollte sich daher und aus Wirtschaftlichkeitserwägungen vor allem auf den Energieträger Holz stützen. An begünstigten Standorten kann im Einzelfall auch die verstärkte Nutzung von Geothermie eine maßgebliche Rolle spielen. Solarthermie ist als eine unterstützende Maßnahme zu interpretieren, die vor allem in dicht besiedelten Gebieten und größeren Ballungsräumen einen bedeutenden Baustein in einem Gesamtkonzept darstellen kann.

Über das im Rahmen dieser Arbeit ermittelte Potenzial zur Nutzung erneuerbarer Energien hinaus, können weitere erneuerbare Energieträger genutzt werden. So bietet es sich an, z. B. Biogasanlagen verstärkt in die Fernwärmeversorgung einzubinden. Durch die Integration in die Fernwärmeversorgung ist es sowohl möglich, die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen zu erhöhen, als auch ihre Effizienz zu steigern. Im Bereich der biogenen Festbrennstoffe kann mittelfristig auf weitere Energieträger wie Stroh oder Energiepflanzen (z. B. Kurzumtriebsplantagen, Miscanthus) zurückgegriffen werden. Voraussetzung für die Realisierung solcher Vorhaben ist es aber, dass die technischen Probleme (Verschlackung des Kessels, Korrosionsproblemen etc.) gelöst und die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen entstehen/geschaffen werden.

Der Einsatz solarer Nahwärme in saisonalen oder kurzfristigen Speichern sowie die Nutzung der Tiefengeothermie (In Baden-Württemberg kommen dafür grundsätzlich nur die Gebiete des Oberrheingrabens und Ausläufer des Bayrischen Molassebeckens in Frage) sind bisher noch nicht ausgereift bzw. aus Kostensicht noch nicht konkurrenzfähig. Ihre breite Anwendung ist deswegen erst in mittel- bis langfristiger Perspektive realistisch.

Die Ergebnisse für die Modellregionen dienen als näherungsweise Grundlage für die Hochskalierung der Potenziale auf Baden-Württemberg insgesamt. Auch hier werden GIS-Darstellungen genutzt, um die räumliche Verteilung über die Landesfläche anschaulich präsentieren zu können. Ein exemplarisches Ergebnis der Auswertungen anhand der GIS-Karten ist in Abbildung 12-1 dargestellt. Die Wärmebedarfsdichten der Siedlungsgebiete sind in Kategorien von „bis 0,5 GWh/km<sup>2</sup>“, „über 0,5 bis 2,0 GWh/km<sup>2</sup>“ und „über 2,0 GWh/km<sup>2</sup>“ unterteilt. Zusätzlich sind in der linken Karte der Abbildung die gesamten Bodennutzungsflächen von Baden-Württemberg farblich dargestellt. Gut zu erkennen sind die Ballungszentren von Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe und Freiburg mit ihren hohen Wärmebedarfsdichten, die als rote Flächen dargestellt sind.



**Abbildung 12-1:** Wärmebedarfsdichten im Siedlungsbereich, zusätzliche Darstellung der Flächennutzung und der Fernwärme-Engpassleistung bzw. -Netzeinspeisung in Baden-Württemberg

### 13 Literatur

/AGFW 2004/

Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft – AGFW – e.V. Aus Forschung und Entwicklung. Mitteilungen der Forschungsstelle und des Forschungsbeirates der AGFW. Heft 9. Frankfurt, 2004.

/ASUE 2005/

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch ASUE: BHKW-Kenndaten 2005. ASUE. Kaiserslautern 2005

/Beck 2007/

Beck, T.: Parametrische Darstellung von Abschattungseffekten auf die Solareffizienz bei Hausdächern, Diplomarbeit. Karlsruhe. Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft

/Blesl 2000/

Blesl, M.: Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturbedarfs, Dissertation. IER. Stuttgart, 2002

/Blesl et al. 2004/

Blesl, M.; Kempe, S.; Fahl, U., Voß, A.: Die Rolle der KWK und der Fernwärmeversorgung bis 2020, in: AGFW: Pluralistische Wärmeversorgung, Schlussbericht, 2004.

/Brandl 2001/

Brandl, H.: Bäuerlicher Waldbesitz in Baden-Württemberg. Der Bürger im Staat, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, FVA 51, S.59-66

/BREF 2008/

European IPPC Bureau: Reference Document on Best Available Techniques For Energy Efficiency. European IPCC Bureau, Sevilla 2008  
<http://www.bvt.umweltbundesamt.de/sevilla/kurzue.htm>

/DLR 2003/

Erneuerbare Energien für die Region Stuttgart. Stuttgart 2003

/DWD 2006/

Deutscher Wetterdienst: Ausgabe der Klimadaten: Tageswerte. DWD. Offenbach 2006  
[http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/ausgabe\\_tageswerte.htm](http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/ausgabe_tageswerte.htm)

/Fischer 1995/

Fischer, U.: Holzpotentiale für die energetische Nutzung, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung, Freiburg, 1995

/FNR 2005/

Leitfaden Bioenergie, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow ,2005

/Gülec et al. 1994/

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

/Haenel, Staroste 1988/

Atlas of Geothermal Resources in the European Community, Austria and Swizerland, Th. Schäfer, Hannover, 1988

/Hellwig 2003/

Hellwig, M.: Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile. Dissertation. Lehrstuhl Energiewirtschaft und Anwendungstechnik im Institut für Energietechnik der TU München. München 2003



/Hübert 1995/

Hübert, M.: Großflächige Einbindung dezentral verteilter Photovoltaikanlagen in regionale Energieversorgungskonzepte - Einfluß und Auswirkungen auf den Netzbetrieb, Gesamthochschule Paderborn, 1995

/ITAS 2005/

Entwicklung von Szenarien über die Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in zwei baden-württembergischen Regionen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen. Karlsruhe: Abschlussbericht

/Kaltschmitt 1990/

Kaltschmitt, M. : Möglichkeiten und Grenzen einer Stromerzeugung aus Windkraft und Solarstrahlung am Beispiel Baden-Württemberg, Universität Stuttgart, Stuttgart., 1990

/Kaltschmitt, Kayser 1997/

Potentiale Geothermischer Energie in Deutschland – Glückauf 133, Nr. 11, 1997

/Kaltschmitt, Wiese 2003/

Kaltschmitt, M.; Wiese, A.: Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. , Springer, Berlin, 2003

/Landesforstverwaltung BW 2004/

Wald in Baden-Württemberg; auf //www.wald-online-bw.de/2wald/f1waldbawue.htm; zuletzt besucht am 3.9.04

/Landesforstverwaltung BW 2007/

Landesforstverwaltung Baden-Württemberg  
<http://www.wald-online-bw.de/3holz/f1verwendung.htm>

/LfU 2003/

LfU.: Anlagen zur Aufbereitung von Holzabfällen in Baden-Württemberg, , Landesanstalt für Umweltschutz Baden -Württemberg, Karlsruhe, 2003

/LfU 2000/

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung - Milchverarbeitender Betrieb. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Augsburg 2000

/LUBW/

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Wasserschutzgebiete und Wasserschutzgebietszonen in Baden-Württemberg. Karlsruhe: 2007

/Mantau 2004/

Mantau. U.: Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2002. Universität Hamburg Zentrum Holzwirtschaft, Hamburg, 2004

/Meinhardt 2000/

Meinhardt, N. J.: Energieholz in Baden-Württemberg. Potenziale und derzeitige Verwertung. Diplomarbeit, FH Nürtingen, 2000

/Ohl et al. 2007/

Ohl, M.; Blesl, M.; Fahl, U.: Mobile Wärme. Kurzstudie im Auftrag der EnBW AG. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart. Stuttgart 2007

/Pfeifer 1999/

Pfeifer. T: Energiewirtschaftliche Konsequenzen objektbezogener Blockheizkraftwerke. IER, Universität Stuttgart. Stuttgart 1999

/Quaschnig 2000/

Systemtechnik einer klimaverträgliche Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. Düsseldorf 2000

- /Recknagel et al 2005/  
Recknagel; Sprenger; Schramek, E.-R. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Oldenbourg Verlag. München Wien 2005
- /Region Stuttgart 2000/  
Regenerative Energien in der Region Stuttgart – Kriterien und Potenziale, Verband Region Stuttgart, 2000
- /Rensch 2006/  
Rensch, C.: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Solareffizienz von Hausdächern auf Grundlage von ALK und Laserscandaten. Karlsruhe. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
- /Rösch 1996/  
Rösch, C.: Vergleich stofflicher und energetischer Werge zur Verwertung von Bio- und Grünabfällen, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe, 1996
- /Sander 2004/  
Sander, K.: Potenziale und Perspektiven stationärer Brennstoffzellen. Forschungsbericht Nr. 96, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart. Stuttgart 2004
- /Sander; Weber 2002/  
Sander, K.; Weber C.: Analyse der industriellen Nutzenergienachfrage nach Sektoren und Betriebsgrößenklassen. Projektbericht. IER. Stuttgart 2002
- /Scheffler 2002/  
Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlussleistung photovoltaischer Energiewandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten. Dresden
- /Schulz 1933/  
Schulz, E.: Öffentliche Heizkraftwerke und Elektrizitätswirtschaft in Städten. Springer. Berlin 1933
- /Siegmond, Frommherz 2000/  
Forstdirektion Freiburg, Herleitung des verfügbaren Wald- Energieholzpotentials in Baden-Württemberg auf der Basis der Forsteinrichtungsplanung – Abschlussbericht, Freiburg 2000
- /Sochinsky 1918/  
Sochinsky, B.: Die Vorausberechnung der Selbstkosten von Elektrizitätswerken. ETZ 1918, p 125.
- /Staiß 2000/  
Photovoltaik: ein Leitfaden für Anwender, Berlin-Brandenburg, Köln 2000
- /Statistische Ämter/  
Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Statistik lokal. Verschiedene Jahrgänge.
- /Textor 1995/  
Textor, B.: Energiequelle Holz. Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge (AFZ) - Der Wald, Forstdirektion Freiburg, 1995
- /UMBW 2005/  
Umweltministerium Baden-Württemberg: Klimaschutz 2010 Konzept für Baden-Württemberg. Stuttgart 2005
- /Umweltministerium BaWü/  
Umweltministerium Baden-Württemberg: Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden. Erstellt vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau beim Regierungspräsidium Freiburg. Stuttgart 2007

/VDI 3807/

Verein Deutscher Ingenieure : VDI-Richtlinien Energieverbrauchskennwerte für Gebäude,  
Düsseldorf 1994

/Wolf 1959/

Wolf, M.: Enzyklopädie der Energiewirtschaft. Zweiter Band: Belastungskurven und Dauerli-  
nien in der elektrischen Energiewirtschaft.

## A Anhang

Im Anhang sind die in den vorherigen Kapiteln angesprochenen Rahmendaten des Wärmebedarfs der Sektoren Industrie, GHD und der kommunalen Objekten erfasst.

### A.1 Daten der industriellen Wärmenutzung

Die leistungsbezogenen Rahmendaten der industriellen Wärmenutzung sind in Tabelle A-1 branchenspezifisch für verschiedene Betriebsgrößenklassen zusammengefasst. Die Betriebsgrößenklassen sind produktionsmengenabhängig definiert. Neben den Leistungskennwerten für die einzelnen Temperaturbereiche des Wärmebedarfs sind auch typische Vollaststundenwerte der jeweiligen Anlagen aufgeführt.

**Tabelle A-1:** Prozessdaten des Wärmeverbrauchs ausgewählter Branchen

Branche	Prozess	T <sub>0</sub>	ΔT <sub>w</sub>	c <sub>p,w</sub>	x <sub>w</sub>
[-]	[-]	[°C]	[K]	[kJ/kgK]	[-]
Mälzerei	Trocknen (Darren)	85	65	4,19	5,45
Molkerei	CIP	85	75	4,19	0,013
Molkerei (mit Wärmerückgewinnung)	Pasteurisieren	78	5	4,19	0,86
Molkerei	Behälter sterilisieren	120	40	4,19	0,044
Molkerei (ohne Verdampfen, mit Wärmerückgewinnung)	Erwärmen	75	70	4,19	0,18
Molkerei (mit Verdampfen)	Kondensmilchherstellung	100	95	4,19	1,8
Molkerei (mit Verdampfen)	Sauermilchherstellung	70	65	4,19	4,1
Molkerei	Frischkäseherstellung	23	18	4,19	0,81
Molkerei	Weichkäseherstellung	39	34	4,19	0,28
Molkerei	Butterherstellung	13	8	4,19	1,76
Molkerei	Schlagrahmherstellung	40	35	4,19	0,38
Molkerei	Streichrahmherstellung	40	35	4,19	0,32
Molkerei	Joghurtherstellung	40	35	4,19	0,53
Molkerei (mit Verdampfen)	Milchpulverherstellung	200	195	4,19	5,7
Zuckerfabrik (Dünnsaferzeugung, ohne Verdampfen)	Erwärmen	70	50	4,19	6,25
Zuckerfabrik (Dicksaferzeugung, ohne Verdampfen)	Erwärmen (kochen)	100	30	4,19	6,25
Zuckerfabrik (Eindicken, mit Verdampfen, mit Rückgewinnung)	Erwärmen	120	20	4,19	55,3
Bäckerei	Gären	40	20	4,19	1,01
Bäckerei	Bleche reinigen	110	90	4,19	0,11
Bäckerei	Luftfeuchtigkeit koordinieren (mit Teilverdampfung)	110	100	4,19	0,58
Bäckerei	Behälterreinigung (mit Verdampfung)	144	124	4,19	0,06
Bäckerei	Backen (inkl. Teilverdampfung)	300	280	4,19	1,0
Fleischerei	Erwärmen (kochen)	100	90	4,19	7,6
Fleischerei	Räuchern	110	10	4,19	1,72
Brauerei	Würzebereitung (kochen)	100	27	4,19	2,66
Brauerei	CIP Sudhaus	100	89	4,19	0,05
Brauerei	Reinigung Filtration	90	79	4,19	0,007
Brauerei	Spülung Filtration	60	49	4,19	0,004
Brauerei	Reinigen Flaschen	80	68	4,19	0,19
Brauerei	Sterilisieren Abfüllanlage	120	109	4,19	0,35
Brauerei	Aufheizen Flaschenreinigung	80	68	4,19	0,16
Brauerei	Abfüllung Fass	120	109	4,19	0,02
Brauerei	Reinigung Fass	80	69	4,19	0,09
Brauerei	Sterilisieren Fass	120	109	4,19	0,12
Glasindustrie	Vorwärmen (Flachglas)	450	430	0,84	0,9
Glasindustrie	Schmelzen (Flachglas)	1650	1200	0,84	5,0
Glasindustrie	Spannungsfreiglühen (Flachglas)	500	100	0,84	2,57

Branche	Prozess	T <sub>o</sub>	ΔT <sub>w</sub>	c <sub>p,w</sub>	x <sub>w</sub>
[-]	[-]	[°C]	[K]	[kJ/kgK]	[-]
Glasindustrie	Glaserzeugung (Flachglas)	1650	1630	0,84	3,94
Glasindustrie	Vorwärmen (Hohlglas)	450	430	0,84	1,2
Glasindustrie	Schmelzen (Hohlglas)	1650	1200	0,84	2,86
Glasindustrie	Spannungsfreiglühen (Hohlglas)	500	100	0,84	4,29
Glasindustrie	Glaserzeugung (Hohlglas)	1650	1630	0,84	2,37
Keramikindustrie	Granulieren	500	480	0,8	7,27
Keramikindustrie	Trocknen (Keramik)	120	20	0,8	4,07
Keramikindustrie	Brennen (mehrgängig)	1400	1380	0,8	33,7
Keramikindustrie	Keramikherstellung	1400	1380	0,8	30,3
Ziegelindustrie	Homogenisieren (Ziegelindustrie)	60	40	0,84	0,45
Ziegelindustrie	Trocknen (Ziegelindustrie)	120	60	0,84	17,9
Feuerfestindustrie	Brennen	1500	1480	0,8	4,66
Futtertrocknung	Trocknung Grünfutter	370	350	1,05	16,33
Futtertrocknung	Trocknung Grünmais	420	400	1,05	25
Futtertrocknung	Trocknung Hackfrüchte	520	500	1,05	24,76
Futtertrocknung	Trocknung Körner	120	100	1,05	7,61
Futtertrocknung	Trocknung Brot/Backwaren	150	130	1,05	16,11
Futtertrocknung	Trocknung Kartoffelpülpe	570	550	1,05	1,32
Aluminiumverarbeitung	Warmwalzen	500	480	0,9	6,875
Aluminiumverarbeitung	Strangpressen	450	430	0,9	9,77
Aluminiumverarbeitung	Schmieden	500	480	0,9	6,88
Maschinenbau	Lacktrocknung (incl. TNV)	120	100	0,5	93,38
Maschinenbau	Tauchbad	90	70	0,5	101
Maschinenbau	Metalltrocknung	105	85	0,5	23,9
Maschinenbau	Schmieden	1000	980	0,5	8,08
Papierindustrie	Zellstoffherstellung: Kochen	100	80	2,4	36,98
Papierindustrie	Zellstoffherstellung: Ablaugeeindickung	130	40	4,19	19,09
Papierindustrie	Zellstoffherstellung: Verbrennung Ablauge	130	-110	4,19	-3,06
Papierindustrie	Zellstoffherstellung: Trocknung	100	50	4,19	20,52
Papierindustrie	Holzstoffherstellung: Steinschliff	100	80	4,19	0,60
Papierindustrie	Altpapierrecycling: Sekundärfaserproduktion	45	25	4,19	2,41
Papierindustrie	Herstellung von Karton und Pappe: Trocknen	100	80	4,19	12,89
Papierindustrie	Herstellung von Druckpapier: Trocknen	100	80	4,19	10,74
Papierindustrie	Herstellung technischer Papiere Trocknen	100	80	4,19	20,40
Papierindustrie	Herstellung von Hygienepapier: Trocknen	100	80	4,19	11,81
Papierindustrie	Streichen	60	40	4,19	0,17
Papierindustrie	Herstellung von Karton und Pappe Gesamtprozess	100	80	4,19	16,79
Papierindustrie	Herstellung von Druckpapier: T Gesamtprozess	100	80	4,19	13,33
Papierindustrie	Herstellung technischer Papiere Gesamtprozess	100	80	4,19	10,39
Papierindustrie	Herstellung von Hygienepapier: Gesamtprozess	100	80	4,19	13,56
Fahrzeugbau	Lackieren (mehrschichtig)	40	20	0,5	18,65
Fahrzeugbau	Lacktrocknen	200	180	0,5	6,59
Fahrzeugbau	Unterbodenschutz	110	90	0,5	6,16
Fahrzeugbau	Holraumkonservierung	150	130	0,5	2,09
Fahrzeugbau	Peripheriebehandlung	110	90	0,5	2,80
Molkerei	Raumwärme	60	20	4,19	0,06
Mälzerei	Raumwärme	60	20	4,19	2,11
Zuckerfabrik	Raumwärme	60	20	4,19	7,47
Bäckerei	Raumwärme	60	20	4,19	2,11

Branche	Prozess	T <sub>o</sub>	ΔT <sub>w</sub>	c <sub>p,w</sub>	x <sub>w</sub>
[-]	[-]	[°C]	[K]	[kJ/kgK]	[-]
Fleischerei	Raumwärme	60	20	4,19	5,69
Brauerei	Raumwärme	60	20	4,19	0,9
Kalkindustrie	Raumwärme	60	20	4,19	0,08
Feuerfestindustrie	Raumwärme	60	20	4,19	0,08
Maschinenbau	Raumwärme	60	20	4,19	183
Keramikindustrie	Raumwärme	60	20	4,19	5,3
Ziegelindustrie	Raumwärme	60	20	4,19	3,94
Ziegelindustrie	Brennen (Ziegelindustrie)	1100	980	0,84	1,75
Kalksandsteinproduktion	Dampfhärten	200	180	1	1,2
Zementindustrie	Zementherstellung	1700	1680	0,88	1,77
Gießereien	Gusseisen schmelzen	1250	1230	0,53	2,92
Gießereien	Stahl schmelzen	1600	1580	0,5	2,51
Gießereien	Zink schmelzen	1000	980	0,39	1,13
Gießereien	Aluminium schmelzen (Erdgas)	950	930	0,90	6,32
Gießereien	Aluminium schmelzen (Strom)	950	930	0,90	2,15
Gießereien	Kupfer schmelzen (Erdgas)	1150	1130	0,39	22,9
Gießereien	Kupfer schmelzen (Strom)	1150	1130	0,39	2,45
Gießereien	Messing schmelzen	1000	980	0,39	2,35
Stahlindustrie	Kokserzeugung	1200	1180	0,71	4,3
Stahlindustrie	Sintern	3100	3080	0,84	0,58
Stahlindustrie	Roheisenerzeugung	1500	1480	0,46	19,7
Stahlindustrie	Konvertierung	3000	1600	0,5	0,21
Stahlindustrie	Einschmelzen (Elektrostahlerzeugung)	3000	2980	0,5	1,31
Kupferhütten	Primärkupfererzeugung	1150	1130	0,39	14,5
Kupferhütten	Sekundärkupfererzeugung	1150	1130	0,39	36,9
Holzverarbeitung	Trocknen	105	85	1,7	6,23
Holzverarbeitung	Pressen	200	180	1,7	1,18
Holzverarbeitung	Dämpfen	120	100	1,7	8,47
Holzverarbeitung	Beschichten	120	100	1,7	7,41
Kunststoffherstellung	LDPE	100	80	1	0,22
Kunststoffherstellung	HDPE	100	80	2,3	0,2
Kunststoffherstellung	Polypropylen	50	30	1,93	0,72
Kunststoffherstellung	PVC	100	80	1	0,22
Kunststoffherstellung	Polystyrol	220	200	1,34	0,15
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung ABS	225	205	1,47	3,58
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung Acetal Copolymer	225	205	1,47	5,56
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung PMMA	225	205	1,47	3,58
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung Nylon 6.6	280	260	1,67	4,73
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung Polycarbonat	300	280	1,26	3,57
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung LDPE	140	120	2	4,8
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung HDPE	240	220	2,3	5,12
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung Polypropylen	250	230	1,93	4,46
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung Polystyren	200	180	1,34	3,58
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung PVC	180	160	1	3,6
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung Celluloseacetat	195	175	1,51	3,54
Kunststoffverarbeitung	Verarbeitung PPO	310	290	1,34	3,61
Textilverarbeitung	Entschlichten (Viskose)	60	40	4,19	47,2
Textilverarbeitung	Trocknen (Viskose)	100	80	1,05	92
Textilverarbeitung	Verweilen (Viskose, Pad roll Verfahren)	100	80	1,05	5,14
Textilverarbeitung	Waschen (Viskose, Power-texverfahren)	60	40	4,19	22,3
Textilverarbeitung	Fixieren (Viskose)	150	130	1,05	17,72
Textilverarbeitung	Kondensieren (Viskose)	120	100	1,05	0,09
Textilverarbeitung	Entschlichten (Polyester)	60	40	4,19	165
Textilverarbeitung	Trocknen (Polyester)	100	80	1,05	92

Branche	Prozess	$T_o$	$\Delta T_w$	$c_{p,w}$	$x_w$
[-]	[-]	[°C]	[K]	[kJ/kgK]	[-]
Textilverarbeitung	Waschen (Polyester, Power- texverfahren)	60	40	4,19	26,0
Textilverarbeitung	Färben (Polyester, Pad Roll Verfahren)	60	40	4,19	7,10
Textilverarbeitung	Verweilen (Polyester)	100	80	1,05	10,29
Textilverarbeitung	Färben (Polyester, HT- Verfahren)	120	100	4,19	271
Textilverarbeitung	Appretieren (Polyester)	80	60	1,05	23,66
Kalksandsteinproduktion	Raumwärme	60	20	4,19	0,07
Zementindustrie	Raumwärme	60	20	4,19	0,08
Gießereien	Raumwärme	60	20	4,19	0,05
Stahlindustrie	Raumwärme	60	20	4,19	1,14
Kupferhütten	Raumwärme	60	20	4,19	1,1
Holzverarbeitung	Raumwärme	60	20	4,19	68,74
Molkerei	Warmwasser	60	50	4,19	0,02
Mälzerei	Warmwasser	60	50	4,19	0,41
Zuckerfabrik	Warmwasser	60	50	4,19	0,46
Bäckerei	Warmwasser	60	50	4,19	0,41
Fleischerei	Warmwasser	60	50	4,19	2,46
Brauerei	Warmwasser	60	50	4,19	0,018
Keramikindustrie	Warmwasser	60	50	4,19	0,06
Ziegelindustrie	Warmwasser	60	50	4,19	0,002
Kalksandsteinproduktion	Warmwasser	60	50	4,19	0,001
Zementindustrie	Warmwasser	60	50	4,19	1E-04
Gießereien	Warmwasser	60	50	4,19	0,0011
Stahlindustrie	Warmwasser	60	50	4,19	0,06
Kupferhütten	Warmwasser	60	50	4,19	0,06
Holzverarbeitung	Warmwasser	60	50	4,19	1,72
Kalkindustrie	Warmwasser	60	50	4,19	8,7E-05
Feuerfestindustrie	Warmwasser	60	50	4,19	8,7E-05
Stahlverarbeitung	Warmwasser	60	50	4,19	20,86
Papierindustrie	Warmwasser	60	50	4,19	0,86
Kalkindustrie	Brennen (Entsäuern)	1500	1480	0,91	5,17
Metallindustrie	Warmwalzen Stahl	1.100	300	0,5	1,51

**Tabelle A-2:** Durchschnittliche mitarbeiterspezifische thermische Leistung des Wärmebedarfs von Industriebetrieben nach Betriebsgrößenklasse und Anwendungsbereich

Betriebsklasse	Mitarbeiterzahl	Raumwärme	Warmwasser	NT-Prozesswärme	MT-Prozesswärme	HT-Prozesswärme	Vollaststunden Produktion
	[-]	[MWh <sub>th</sub> /(Mitarbeiter·a)]					[h/a]
Zuckerindustrie	alle Größen	6,24	0,22	362,0	73,2	0	2.500
Molkerei	bis 10	9,07	0,31	41	0	0	2.000
	bis 100	9,18	0,32	50	5	0	3.000
	über 500	6,24	0,22	59,4	5,9	0	4.000
Brauerei	bis 10	9,07	0,31	51	12	0	2.000
	bis 100	9,18	0,32	79,1	19,4	0	3.000
	über 500	6,24	0,22	104,8	25,6	0	5.000
Bäckerei	bis 10	9,07	0,31	0,31	5	0	1.000
	bis 100	9,18	0,32	0,48	8,33	0	2.000
	über 500	6,24	0,22	1,9	32,9	0	5.000
Mälzerei	bis 10	122,5	60,0	1.030	0	0	6.000
	bis 100	122,5	60,0	1.133	0	0	6.000
	über 500	122,5	60,0	1.236	0	0	6.000
Futtertrocknung	bis 10	0	0,31	1.334	0	0	2.000
	bis 100	0	0,32	2.084	0	0	2.250
	über 500	0	0,22	2.751	0	0	2.500
Feuerfestherstellung	bis 10	9,56	0,35	0	0	276	4.000
	bis 100	13,31	0,52	0	0	317	5.000
	über 500	8,55	0,34	0	0	353	5.000
Ziegelherstellung	bis 10	9,56	0,35	144	0	480	4.000
	bis 100	13,31	0,52	235	0	784	6.500
	über 500	8,55	0,34	276	0	920	7.000
Keramikherstellung	bis 10	9,56	0,35	0	0	165	3.000
	bis 100	13,31	0,52	0	0	297	4.000
	über 500	8,55	0,34	0	0	413	4.000
Kalkherstellung	bis 10	9,56	0,35	0	0	2.244	5.000
	bis 100	13,31	0,52	0	0	2.630	6.000
	über 500	8,55	0,34	0	0	3.056	7.000
Glasfabrik	bis 10	9,56	0,35	0	14	135	6.000
	bis 100	13,31	0,52	0	21	210	7.500
	über 500	8,55	0,34	0	31	308	8.000
Zementfabrik	bis 10	9,56	0,35	0	0	2.545	6.000
	bis 100	13,31	0,52	0	0	3.253	6.500
	über 500	8,55	0,34	0	0	3.599	7.000
Papierfabrik	bis 10	16,62	0,64	453	0	0	4.000
	bis 100	18,07	0,78	691	0	0	4.500
	über 500	9,52	0,4	828	0	0	5.000
Druckerei	bis 10	2,21	0,11	0	0	0	2.000
	bis 100	2,26	0,11	0	34,5	0	3.000
	über 500	1,7	0,09	0	55,2	0	5.000
Gießerei	bis 25	7,24	1,04	0	0	40	4.000
	bis 100	7,24	1,04	0	0	48	5.000
	> 100	7,24	1,04	0	0	55	5.000
Stahlwerk	bis 500	16,09	0,92	0	0	1.891	6.000
	bis 1.000	15,15	0,82	0	0	2.743	6.000
	> 1.000	15,08	0,82	0	0	3.100	7.000
Aluminiumwerk	bis 500	15,08	0,82	0	0	1.055	6.000
	bis 1000	15,15	0,82	0	0	1.143	6.500
	> 1.000	15,08	0,82	0	0	1.143	6.000
Chemiewerk	bis 50	13,90	0,36	31	48	0	2.500
	bis 1000	13,29	0,39	48	127	0	4.500
	>1.000	16,55	0,5	31	48	127	6.000
Raffinerie	bis 100	13,90	0,36	0	1.165	0	6.000
	bis 1.000	13,29	0,39	0	1.282	0	6.500



Betriebsklasse	Mitarbeiter- zahl	Raum- wärme	Warm- wasser	NT- Prozesswärme	MT- Prozesswärme	HT- Prozesswärme	Vollastunden Produktion
	[-]	[MWh <sub>th</sub> /(Mitarbeiter·a)]					[h/a]
	>1.000	8,55	0,5	0	1.445	0	7.000
Kunststoffver- arbeitung	bis 10	4,18	0,13	0	660	0	2.500
	bis 100	3,69	0,1	0	907	0	3.000
	>100	2,79	0,1	0	1.081	0	3.500
Fahrzeugbau	bis 1.000	8,99	1,22	3	3	5	3.500
	bis 10.000	8,97	1,25	3	3	5	3.750
	>10.000	3,16	0,44	3	3	5	4.000
Holzverarbeitung	bis 50	1,58	0,1	2	0	0	1.500
	bis 100	1,82	0,15	2,5	0	0	2.000
	>100	1,2	0,08	3,5	0	0	3.000

## A.2 GHD-Sektor

Tabelle A-3 Kennziffern des Wärmebedarfs für verschiedene Gebäudetypen des GHD-Sektors

Gebäudetyp	Baujahr	Größe	Spez. Verbrauch Heizung	Vollaststunden Heizung	Spez. Verbrauch Warmwasser	Vollaststunden Warmwasser
			[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants etc.	bis 1951	klein (<100 m <sup>2</sup> )	254	1.500	8	800
		mittel (100-250 m <sup>2</sup> )	254	1.500	8	800
		groß (>250 m <sup>2</sup> )	254	1.500	8	800
	1952-1977	klein (<100 m <sup>2</sup> )	280	1.500	8	800
		mittel (100-250 m <sup>2</sup> )	280	1.500	8	800
		groß (>250 m <sup>2</sup> )	280	1.500	8	800
	1978-1995	klein (<100 m <sup>2</sup> )	158	1.500	8	800
		mittel (100-250 m <sup>2</sup> )	158	1.500	8	800
		groß (>250 m <sup>2</sup> )	158	1.500	8	800
	nach 1995	klein (<100 m <sup>2</sup> )	120	1.500	8	800
		mittel (100-250 m <sup>2</sup> )	120	1.500	8	800
		groß (>250 m <sup>2</sup> )	120	1.500	8	800
Kaufhaus	bis 1951	klein (<200 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
	nach 1951	klein (<200 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
Gewerbe-/Industriebau	vor 1995	klein (<200 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
	nach 1995	klein (<200 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
Verwaltungsgebäude	bis 1951	klein (<200 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
	1952-1977	klein (<200 m <sup>2</sup> )	161	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	161	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	161	1.500	8	800
	1978-1995	klein (<200 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
	nach 1995	klein (<200 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
Verkaufs-/Ausstellungsgebäude	vor 1978	klein (<200 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	146	1.500	8	800
	1978-1995	klein (<200 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
	nach 1995	klein (<200 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		mittel (200-1.000 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
			[kWh <sub>th</sub> /Bett]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /Bett]	[h/a]
Hotel, Beherbergung	vor 1995	klein (<20 Betten)	1.565	1.500	160	800
		mittel (20-100 Betten)	1.565	1.500	160	800
		groß (>100 Betten)	1.565	1.500	160	800
	nach 1995	klein (<20 Betten)	1.190	1.500	160	800
		mittel (20-100 Betten)	1.190	1.500	160	800
		groß (>100 Betten)	1.190	1.500	160	800

**Tabelle A-4:** Mitarbeiterspezifischer Flächenbedarf der Gebäudetypen des GHD-Sektors in Abhängigkeit von der Gemeindegrößenklasse

		Großstadt	Kleinstadt	große Gemeinde	mittlere Gemeinde	kleine Gemeinde
		> 50.000	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000	bis 1.000
		[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]
Gebäudetypen GHD	Einwohnerzahl					
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Baujahr bis 1951	klein	10	10	10	10	10
	mittel	10	10	10	10	10
	groß	10	10	10	10	10
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Baujahr 1952-1977	klein	10	10	10	10	10
	mittel	10	10	10	10	10
	groß	10	10	10	10	10
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Baujahr 1978-1995	klein	10	10	10	10	10
	mittel	10	10	10	10	10
	groß	10	10	10	10	10
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Baujahr nach 1995	klein	10	10	10	10	10
	mittel	10	10	10	10	10
	groß	10	10	10	10	10
Kaufhaus Baujahr bis 1951	klein	25	25	25	25	25
	mittel	35	35	35	35	35
	groß	55	55	55	55	55
Kaufhaus Baujahr 1952-1977	klein	30	30	30	30	30
	mittel	40	40	40	40	40
	groß	60	60	60	60	60
Gewerbe-/Industriebau Baujahr 1978-1995	klein	20	20	20	20	20
	mittel	25	25	25	25	25
	groß	35	35	35	35	35
Gewerbe-/Industriebau Baujahr nach 1995	klein	25	25	25	25	25
	mittel	30	30	30	30	30
	groß	40	40	40	40	40
Hotel, Beherbergung Baujahr vor 1995	klein	45	55	100	100	100
	mittel	30	35	0	0	0
	groß	25	10	0	0	0
Hotel, Beherbergung Baujahr nach 1995	klein	30	55	100	100	100
	mittel	30	35	0	0	0
	groß	40	10	0	0	0
Verwaltungsgebäude Baujahr bis 1951	klein	10	10	10	10	10
	mittel	12	12	12	12	12
	groß	12	12	12	12	12
Verwaltungsgebäude Baujahr 1952-1977	klein	12	12	12	12	12
	mittel	14	14	14	14	14
	groß	14	14	14	14	14
Verwaltungsgebäude Baujahr 1978-1995	klein	13	13	13	13	13

		Großstadt	Kleinstadt	große Ge- meinde	mittlere Gemeinde	kleine Ge- meinde
Einwohner- zahl		> 50.000	15.000- 50.000	5.000-15.000	1.000-5.000	bis 1.000
Gebäudetypen GHD		[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]
	mittel	14	14	14	14	14
	groß	16	16	16	16	16
Verwaltungsgebäude Baujahr nach 1995	klein	15	15	15	15	15
	mittel	17	17	17	17	17
	groß	18	18	18	18	18
Verkaufs- /Ausstellungsgebäude Baujahr 1952-1977	klein	45	45	45	45	45
	mittel	66	66	66	66	66
	groß	80	80	80	80	80
Verkaufs- /Ausstellungsgebäude Baujahr 1978-1995	klein	48	48	48	48	48
	mittel	70	70	70	70	70
	groß	85	85	85	85	85
Verkaufs- /Ausstellungsgebäude Baujahr nach 1995	klein	50	50	50	50	50
	mittel	75	75	75	75	75
	groß	90	90	90	90	90

**Tabelle A-5:** Gemeindegößenabhängiger Beschäftigungsschlüssel für verschiedene Gebäudetypen des GHD-Sektors

Gebäudetyp GHD	Einwohnerzahl	Großstadt	Klein-stadt	große Ge-meinde	mittlere Gemeinde	kleine Ge-meinde
		> 50.000	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000	bis 1.000
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Baujahr bis 1951	klein	1	1	1	4	10
	mittel	3	2	2	5	0
	groß	1	0	0	0	0
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Baujahr 1952-1977	klein	3,5	4	5	3	14
	mittel	5	6	4	4	0
	groß	3	1	0	0	0
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Baujahr 1978-1995	klein	3	4	5	5	18
	mittel	4	5	4	6	0
	groß	3	2	0	0	0
Stadthaus mit Läden, Büros, Wohnungen, Restaurants Baujahr nach 1995	klein	2	3	1	4	11
	mittel	2	2	2	4	0
	groß	2	1	0	0	0
Kaufhaus Baujahr bis 1951	klein	0,4	0,30	2	0	0
	mittel	0,5	0,20	1	0	0
	groß	0,1	0,00	0	0	0
Kaufhaus Baujahr 1952-1977	klein	0,5	0,50	4	0	0
	mittel	0,5	2	2	0	0
	groß	1,1	0	0	0	0
Gewerbe-/Industriebau Baujahr 1978-1995	klein	3	7	12	13	10
	mittel	5	8	12	8	2
	groß	2,5	2	0	0	0
Gewerbe-/Industriebau Baujahr nach 1995	klein	1,6	3	7	14	8
	mittel	2,6	3	5	3	1
	groß	2,5	1	0	0	0
Hotel, Beherbergung Baujahr vor 1995	klein	0,5	0	1	1	4
	mittel	0,5	0	0	1	2
	groß	0,5	0	0	0	0
Hotel, Beherbergung Baujahr nach 1995	klein	0,5	0	1	1	1
	mittel	0,5	0	0	1	2
	groß	0,5	0	0	0	0
Verwaltungsgebäude Baujahr bis 1951	klein	0,5	1	3	3	3
	mittel	1,5	1	0	0	0
	groß	1	1	0	0	0
Verwaltungsgebäude Baujahr 1952-1977	klein	2	3	4	3	4
	mittel	7	5	0	1	0
	groß	4	1	0	0	0
Verwaltungsgebäude Baujahr 1978-1995	klein	3	4	4	3	3
	mittel	6	5	0	1	0
	groß	5	2	0	0	0
Verwaltungsgebäude Baujahr nach 1995	klein	1	2	3	2	2
	mittel	2	2	0	1	0
	groß	1	1	0	0	0
Verkaufs-/Ausstellungsgebäude Baujahr 1952-1977	klein	1,2	2	2	3	2
	mittel	1,5	2	3	1	0
	groß	1	1	0	0	0

Gebäudetyp GHD	Einwohnerzahl	Großstadt	Klein-stadt	große Ge-meinde	mittlere Gemeinde	kleine Ge-meinde
		> 50.000	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000	bis 1.000
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Verkaufs-/Ausstellungsgebäude Baujahr 1978-1995	klein	1	3	3	4	2
	mittel	1,5	3	2	1	0
	groß	1,5	1	0	0	0
Verkaufs-/Ausstellungsgebäude Baujahr nach 1995	klein	0,5	1	3	2	1
	mittel	1	2	2	0	0
	groß	1	0	0	0	0

## A.3 Öffentlicher Sektor

Tabelle A-6: Kennziffern des Wärmebedarfs für verschiedene Gebäudetypen des öffentlichen Sektors

Gebäudetyp	Baujahr	Größe	Spez. Verbrauch Heizung	Volllaststunden Heizung	Spez. Verbrauch Warmwasser	Volllaststunden Warmwasser
		[-]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]
Verwaltungsgebäude	bis 1951	klein (<100 m <sup>2</sup> )	147	1.500	8	800
		mittel (100-500 m <sup>2</sup> )	147	1.500	8	800
		groß (>500 m <sup>2</sup> )	147	1.500	8	800
	1952-1977	klein (<100 m <sup>2</sup> )	161	1.500	8	800
		mittel (100-500 m <sup>2</sup> )	161	1.500	8	800
		groß (>500 m <sup>2</sup> )	161	1.500	8	800
	1978-1995	klein (<100 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		mittel (100-500 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		groß (>500 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
	nach 1995	klein (<100 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		mittel (100-500 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		groß (>500 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
Stadthalle, Gemeindezentrum	vor 1995	klein (<500 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		mittel (500-1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	91	1.500	8	800
	nach 1995	klein (<500 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		mittel (500-1.000 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
		groß (>1.000 m <sup>2</sup> )	69	1.500	8	800
			[kWh/m <sup>2</sup> Wasserfläche]	[h/a]	[kWh/m <sup>2</sup> Wasserfläche]	[h/a]
Schwimmbad	alle Baujahre	klein (<250 m <sup>2</sup> )	3.000	1.500	1.650	2.250
		mittel (250-350 m <sup>2</sup> )	3.000	1.500	1.650	2.500
		groß (>350 m <sup>2</sup> )	3.000	1.500	1.650	2.750
			[kWh <sub>th</sub> /Platz]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /Platz]	[h/a]
Alters- /Pflege- und sonstige Heime	bis 1951	klein (<50 Plätze)	2.525	2.200	349	800
		mittel (50-150 Plätze)	2.525	2.200	349	800
		groß (>150 Plätze)	2.525	2.200	349	800
	1952-1977	klein (<50 Plätze)	2.768	2.200	349	800
		mittel (50-150 Plätze)	2.768	2.200	349	800
		groß (>150 Plätze)	2.768	2.200	349	800
	1978-1995	klein (<50 Plätze)	1.565	2.200	349	800
		mittel (50-150 Plätze)	1.565	2.200	349	800
		groß (>150 Plätze)	1.565	2.200	349	800
	nach 1995	klein (<50 Plätze)	1.190	2.200	349	800
		mittel (50-150 Plätze)	1.190	2.200	349	800
		groß (>150 Plätze)	1.190	1.500	349	800
Schule	vor 1978	klein (<200 Schüler)	788	1.100	18	800
		mittel (200-500 Sch.)	788	1.100	18	800
		groß (>500 Schüler)	788	1.100	18	800
	1978-1995	klein (<200 Schüler)	445	1.100	18	800
		mittel (200-500 Sch.)	445	1.100	18	800
		groß (>500 Schüler)	445	1.100	18	800
	nach 1995	klein (<200 Schüler)	339	1.100	18	800
		mittel (200-500 Sch.)	339	1.100	18	800
		groß (>500 Schüler)	339	1.100	18	800
			[kWh <sub>th</sub> /Bett]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /Bett]	[h/a]
Krankenhaus	bis 1951	klein (<80 Betten)	31.830	1.500	80	800
		mittel (80-400 Betten)	31.830	1.500	80	800
		groß (>400 Betten)	31.830	1.500	80	800
	1952-1977	klein (<80 Betten)	34.890	1.500	80	800
		mittel (80-400 Betten)	34.890	1.500	80	800

Gebäudetyp	Baujahr	Größe	Spez. Verbrauch Heizung	Volllaststunden Heizung	Spez. Verbrauch Warmwasser	Volllaststunden Warmwasser
		[-]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]	[kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> ]	[h/a]
	1978-1995	groß (>400 Betten)	34.890	1.500	80	800
		klein (<80 Betten)	19.725	1.500	80	800
		mittel (80-400 Betten)	19.725	1.500	80	800
	nach 1995	groß (>400 Betten)	19.725	1.500	80	800
		klein (<80 Betten)	15.000	1.500	80	800
		mittel (80-400 Betten)	15.000	1.500	80	800
		groß (>400 Betten)	15.000	1.500	80	800

**Tabelle A-7** Gemeindegroßenklassenabhängige spezifische Flächenbedarfsdaten des öffentlichen Sektors nach Gebäudetypen

Gebäudetypen kommunale Gebäude		Großstadt	Kleinstadt	große Gemeinde	mittlere Gemeinde	kleine Gemeinde
		Einwohnerzahl	> 50.000	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000
		[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]
Verwaltungsgebäude Baujahr bis 1951	klein	10	10	10	10	10
	mittel	12	12	12	12	12
	groß	12	12	12	12	12
Verwaltungsgebäude Baujahr 1952-1977	klein	12	12	12	12	12
	mittel	14	14	14	14	14
	groß	14	14	14	14	14
Verwaltungsgebäude Baujahr 1978-1995	klein	13	13	13	13	13
	mittel	14	14	14	14	14
	groß	16	16	16	16	16
Verwaltungsgebäude Baujahr nach 1995	klein	15	15	15	15	15
	mittel	17	17	17	17	17
	groß	18	18	18	18	18
Stadthalle Baujahr vor 1995	klein	100	100	100	100	100
	mittel	100	100	100	100	100
	groß	100	100	100	100	100
Stadthalle Baujahr nach 1995	klein	120	120	120	120	120
	mittel	120	120	120	120	120
	groß	120	120	120	120	120
Alters- /Pflegeheim Baujahr bis 1951	klein	18	18	18	18	18
	mittel	20	80	80	80	80
	groß	22	80	80	80	80
Alters- /Pflegeheim Baujahr 1952-1977	klein	19	19	19	19	19
	mittel	23	23	23	23	23
	groß	25	25	25	25	25
Alters- /Pflegeheim Baujahr 1978-1995	klein	20	20	20	20	20
	mittel	24	24	24	24	24
	groß	28	28	28	28	80
Alters- /Pflegeheim Baujahr nach 1995	klein	20	20	20	20	20
	mittel	22	22	22	22	22
	groß	25	25	25	25	25
Schule Baujahr vor 1977 [m <sup>2</sup> /Schüler]	klein	7	7	7	7	7
	mittel	7	7	7	7	7



Gebäudetypen kommunale Gebäude		Großstadt	Kleinstadt	große Gemeinde	mittlere Gemeinde	kleine Gemeinde
	Einwohnerzahl	> 50.000	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000	bis 1.000
		[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]	[m <sup>2</sup> /Mitarb]
	groß	7	7	7	7	7
Schule Baujahr 1978-1995 [m <sup>2</sup> /Schüler]	klein	7	7	7	7	7
	mittel	7	7	7	7	7
	groß	7	7	7	7	7
Schule Baujahr nach 1995 [m <sup>2</sup> /Schüler]	klein	7	7	7	7	7
	mittel	7	7	7	7	7
	groß	7	7	7	7	7
Krankenhaus Baujahr bis 1951 [Bettenzahl]	klein	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0
Krankenhaus Baujahr 1952-1977 [Bettenzahl]	klein	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0
	groß	1011	1213,2	0	0	0
Krankenhaus Baujahr 1978-1995 [Bettenzahl]	klein	0	0	0	0	0
	mittel	202,2	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0
Krankenhaus Baujahr nach 1995 [Bettenzahl]	klein	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0
Schwimmbad [m <sup>2</sup> /Einwohner]	klein	0	0	0,04	0	0
	mittel	0,01	0,02	0	0	0
	groß	0,01	0	0	0	0

**Tabelle A-8:** Gemeindegößenklassenabhängiger Mitarbeiterverteilungsschlüssel des öffentlichen Sektors nach Gebäudetypen

Gebäudetypen kommunale Gebäude		Großstadt	Kleinstadt	große Gemeinde	mittlere Gemeinde	kleine Gemeinde
		> 50.000 Einwohner	15.000-50.000	5.000-15.000	1.000-5.000	bis 1.000
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
Verwaltungsgebäude Baujahr bis 1951	klein	0,014	0,1	0,5	0,35	0,4
	mittel	0,037	0,2	0,00	0,1	0,00
	groß	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verwaltungsgebäude Baujahr 1952-1977	klein	0,166	0,1	0,3	0,3	0,2
	mittel	0,166	0,3	0,00	0,1	0
	groß	0,166	0,00	0,00	0,00	0,00
Verwaltungsgebäude Baujahr 1978-1995	klein	0,050	0,1	0,1	0,1	0,35
	mittel	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00
	groß	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00
Verwaltungsgebäude Baujahr nach 1995	klein	0,00	0,00	0,1	0,05	0,05
	mittel	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00
	groß	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00
Stadthalle Baujahr vor 1995	klein	0,04	0,07	0,21	0,27	0,45
	mittel	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
	groß	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Stadthalle Baujahr nach 1995	klein	0,01	0,02	0,07	0,03	0,05
	mittel	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	groß	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Alters- /Pflegeheim Bau- jahr bis 1951	klein	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	mittel	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	groß	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alters- /Pflegeheim Bau- jahr 1952-1977	klein	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	mittel	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	groß	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Alters- /Pflegeheim Bau- jahr 1978-1995	klein	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	mittel	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	groß	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Alters- /Pflegeheim Bau- jahr nach 1995	klein	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	mittel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	groß	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Schule Baujahr vor 1977]	klein	0,0042	0,00	0,00	0,07	0,07
	mittel	0,0667	0,07	0,67	0,00	0,00
	groß	0,0833	0,08	0,00	0,00	0,00
Schule Baujahr 1978- 1995	klein	0,0042	0,00	0,00	0,00	0,00
	mittel	0,0167	0,00	0,33	0,00	0,00
	groß	0,0167	0,04	0,00	0,00	0,00
Schule Baujahr nach 1995	klein	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00
	mittel	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00
	groß	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00
	mittel	0,0042	0,00	0,00	0,07	0,07
	groß	0,0667	0,07	0,67	0,00	0,00

## A.4 Zeitliche Auflösung

Tabelle A-9: Koeffizienten und Wochentagsfaktoren der betrachteten Objektgruppen /Hellwig 2003/

Kategorie	Koeffizienten				Wochentagsfaktoren							
	A	B	C	D	F <sub>Mo</sub>	F <sub>Di</sub>	F <sub>Mi</sub>	F <sub>Do</sub>	F <sub>Fr</sub>	F <sub>Sa</sub>	F <sub>So</sub>	
Haushalte	EFH Alt	3,130	-37,19	5,752	0,0983	1	1	1	1	1	1	1
	EFH Neu	2,794	-37,18	5,403	0,1714	1	1	1	1	1	1	1
	MFH Alt	2,496	-34,74	5,661	0,1021	1	1	1	1	1	1	1
	MFH Neu	2,059	-34,66	6,427	0,2807	1	1	1	1	1	1	1
Gewerbe, Handel und Dienstleistung	Kategorie 1 (Metall & Kfz)	2,754	-34,76	6,628	0,0558	1,1074	1,0589	1,0345	0,9999	1,0919	0,9120	0,8460
	Kategorie 2 (Papier & Druck)	2,578	-34,73	6,481	0,1408	1,0214	1,0866	1,0720	1,0557	1,0117	0,9001	0,8511
	Kategorie 3 (Einzelhandel)	3,318	-36,28	7,096	0,0334	1,0692	1,0700	1,0589	1,0478	1,0449	0,9123	0,7982
	Kategorie 4 (Großhandel)	4,153	-38,13	7,595	0,0681	0,9761	0,9395	0,9649	0,9965	0,9899	1,0647	1,0617
	Kategorie 5 (Sonstige betr. Dienstl.)	2,918	-36,18	5,927	0,1152	1,1052	1,0657	1,0378	1,0622	1,0266	0,7629	0,8980
	Kategorie 6 (Gebietsk. & Sozialversich.)	2,787	-35,55	6,295	0,0996	1,0454	1,0509	1,0643	1,0611	0,9997	0,8638	0,9162
	Kategorie 7 (Kreditanst. & Versicherungen)	2,803	-36,59	5,538	0,1498	1,0864	1,0530	1,0449	1,0551	0,9627	0,8629	0,9353
	Kategorie 8 (Beherbergung)	2,010	-35,25	6,154	0,3295	0,9767	1,0389	1,0028	1,0162	1,0024	1,0043	0,9584
	Kategorie 9 (Gaststätten)	2,285	-36,29	6,589	0,3151	0,9322	0,9894	1,0033	1,0109	1,0180	1,0356	1,0091
	Kategorie 10 (Bäckereien)	0,652	-37,17	5,597	0,8221	1,0848	1,1211	1,0769	1,1353	1,1402	0,4852	0,9584
	Kategorie 11 (Wäschereien)	0,766	-36,02	4,866	0,8049	1,2457	1,2615	1,2707	1,2430	1,1276	0,3677	0,4615
	Kategorie 12 (Organisationen oh. Erw.zw. & Heime)	2,421	-34,76	7,010	0,1934	1,0081	1,0538	1,0203	1,0329	0,9814	0,9208	0,9807
	Kategorie 13 (Gartenbau)	3,390	-39,29	4,491	0,0835	0,9897	0,9627	1,0507	1,0552	1,0297	0,9767	0,9360

Tabelle A-10: Maximallastbezogene Lastverteilung des Raumwärmebedarfs von Industriebetrieben

Verbraucher	Größen- klasse	Raumwärmelast Tag [-]												Raumwärmelast Nacht [-]												
		Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Jul.	Aug.	Sep.	Oktober	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Jul.	Aug.	Sep.	Oktober	Nov.	Dez.	
Ziegelei	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Zementwerk	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Kalksand- steinwerk	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Kalkwerk	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Feuerfesther- stellung	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Glasfabrik	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Keramikher- stellung	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Papierfabrik	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Zellstoffher- stellung	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Bäckerei	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Brauerei	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Metzgerei	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8

Tabelle A-11: Maximallastbezogene Lastverteilung des Raumwärmebedarfs von Industriebetrieben

Verbraucher	Größen- klasse	Raumwärmelast Tag [-]												Raumwärmelast Nacht [-]											
		Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Oktober	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Oktober	Nov.	Dez.
Mälzerei	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Molkerei	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zuckerfabrik	klein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Grünfütter- trocknung	klein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grünmais- trocknung	klein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hackfrüchte- trocknung	klein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Körnertrock- nung	klein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Backwaren- trocknung	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kartoffelpul- petrocknung	klein	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Druckerei	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektrostahl- werk	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8
Stahlwerk	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.7	0.8



Tabelle A-13: Maximallastbezogene Lastverteilung des Raumwärmebedarfs von Industriebetrieben

Verbraucher	Größen- klasse	Raumwärmelast Tag [-]												Raumwärmelast Nacht [-]											
		Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Spanplatten- werk	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
Kunstfaser- herstellung	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
Weberei	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
Elektronik- fertigung	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
Sonsti- ges/Unbe- kannnt	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
Kunststoffver- arbeitung	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8
Gummiver- arbeitung	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,6	0,8

Tabelle A-14: Maximallastbezogene Lastverteilung des Raumwärmebedarfs im GHD-Sektor

Verbraucher	Größen- klasse	Raumwärmelast Tag [-]												Raumwärmelast Nacht [-]												
		Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Stadthaus... Bj. vor 1951	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Stadthaus... Bj. 1952-1977	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Stadthaus... Bj. 1978-1995	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Stadthaus... Bj. nach 1995	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Kaufhaus, Bj. Bis 1951	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Kaufhaus Bj. nach 1951	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Gewerbebau Bj. vor 1995	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Gewerbebau Bj nach 1995	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Hotel... Bj vor 1995	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Hotel... Bj. nach 1995	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Verwaltungs- geb. bis 1951	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
Verwaltungs- geb. 1952-77	klein	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	mittel	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2
	groß	0.8	0.8	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.8	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.2



**Tabelle A-15:** Maximallastbezogene Lastverteilung des Raumwärmebedarfs im GHD-Sektor

Verbraucher	Größen- klasse	Raumwärmelast Tag [-]												Raumwärmelast Nacht [-]											
		Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Verwaltungs- geb. 1978-95	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
Verwaltungs- geb. nach 95	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
Verkaufsgeb. vor 1978	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
Verkaufsgeb. 1987-1995	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2
Verkaufsgeb. nach 1995	klein	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,1
	mittel	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,1
	groß	0,8	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,65	0,8	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,1



Tabelle A-17: Maximallastbezogene Lastverteilung des Raumwärmebedarfs im kommunalen Sektor

Verbraucher	Größen- klasse	Raumwärmelast Tag [-]												Raumwärmelast Nacht [-]											
		Jan.	Feb.	Mär	Apr	Mai	Juni	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan.	Feb.	Mär	Apr	Mai	Juni	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Schule Bj nach 1995	klein	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	
	mittel	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	
	groß	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	
Krankenhaus Bj. vor 1952	klein	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
	mittel	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
	groß	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
Krankenhaus 1952-1977	klein	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
	mittel	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
	groß	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
Krankenhaus 1978-1995	klein	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
	mittel	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
	groß	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
Krankenhaus nach 1995	klein	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
	mittel	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
	groß	0,9	0,9	0,7	0,3	0	0	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0,3	0,5	0,9	0,9	
Schwimm- bad	klein	0,9	0,9	0,8	0,5	0	0,1	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	
	mittel	0,9	0,9	0,8	0,5	0	0,1	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	
	groß	0,9	0,9	0,8	0,5	0	0,1	0	0	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	











































