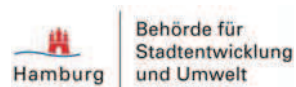
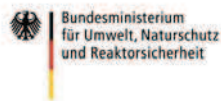


**Auftraggeber**

**Zukunftsrat Hamburg**

**Gefördert durch:**



Bingo! Die Umweltlotterie  
Schleswig-Holstein und Mecklenburg Vorpommern



Norddeutsche Stiftung für  
Umwelt und Entwicklung

**Bericht**

Dr. Karin Jahn, Dr.-Ing. Bernd Eikmeier,  
Dipl.-Ing. Heidi Ludewig, Sabine Eilmes M.A.

## **Entwicklung der Energieversorgung in Norddeutschland**

Perspektiven des Wärmemarktes bis 2020

21.09.09

College Ring 2

28759 Bremen

Tel 0421-200-4888

Fax 0421-200-4877

Email [info@bremer-energie-institut.de](mailto:info@bremer-energie-institut.de)

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den AutorInnen

## Executive Summary

In der Vorläuferstudie, die im Sommer 2007 vom Zukunftsrat Hamburg vorgestellt wurde, hat das Bremer Energie Institut in Zusammenarbeit mit dem arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik die zukünftige Entwicklung der Stromversorgung in der norddeutschen Region eingehend beleuchtet. [BEI, 2007] Während sich diese erste Studie auf den Stromsektor beschränkte, wurde in der nun vorliegenden der Wärmebereich untersucht. Auch in diesem Bereich sind in den kommenden Jahren Veränderungen der Energieversorgung zu erwarten: So wird z.B. mit dem Anfang 2009 in Kraft getretenen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) eine deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung und durch die Aktualisierung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) eine Stärkung der Kraft-Wärme-Kopplung angestrebt. Betrachtet werden - wie in der vorangegangenen Studie zum Stromsektor – die fünf Bundesländer des norddeutschen Raumes. Beide Studien ergeben zusammen somit ein Gesamtbild für die Entwicklung der Energieversorgung und eine Grundlage für die Gestaltung der Energiepolitik in der norddeutschen Region in den kommenden Jahren.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie sind:

- Insgesamt wird ein Rückgang des Wärmebedarfs erwartet, bis 2020 um 11,5%. Bei den Haushalten wird von einer Reduktion um ca. 13% ausgegangen, im GHD-Bereich sogar von einem Rückgang von fast 33%. Für die Industrie wird dagegen nach einem leichten Rückgang aufgrund der Auswirkungen der Wirtschaftskrise ab 2010 wieder mit einem Anstieg der Produktivität und damit einhergehend mit einem zunehmenden Wärmebedarf gerechnet. Die Zunahme bis 2020 gegenüber 2005 wird auf knapp 4% geschätzt (siehe Abbildung I).

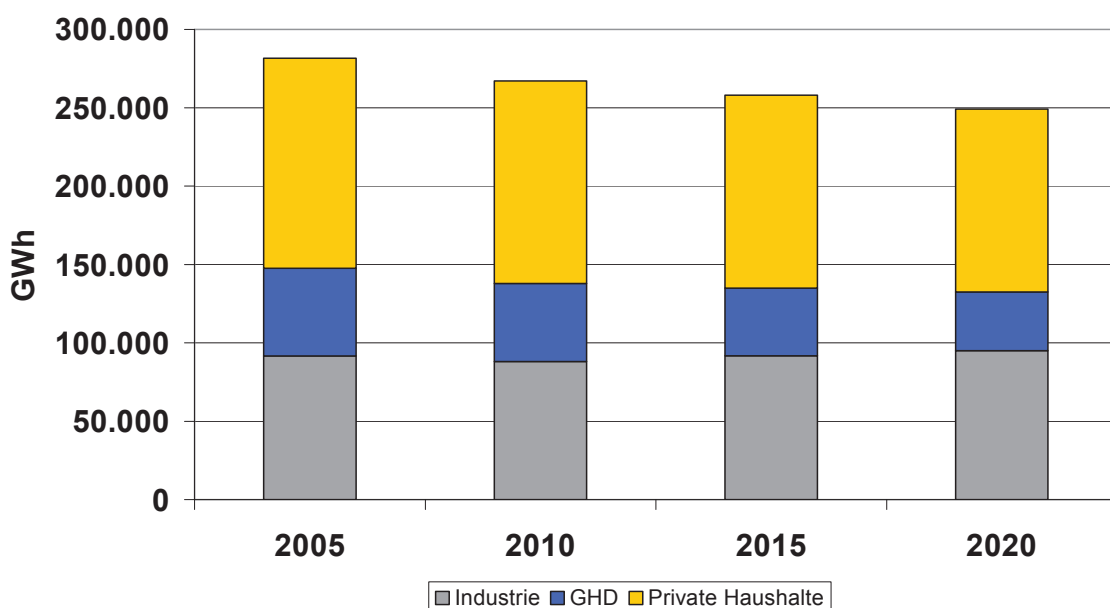


Abbildung I: Entwicklung des Endenergiebedarfs für Wärme im Untersuchungsgebiet bis 2020

## Executive Summary

- Insgesamt tragen erneuerbare Energieträger heute ca. 8.600 GWh Endenergie zur Wärmebereitstellung bei. Der Beitrag der erneuerbaren Energieträger zur Endenergie Wärme beläuft sich derzeit in den fünf norddeutschen Bundesländern auf 3,4% und liegt damit deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von 7,4% im Jahr 2008. [BMU 2009a] Die dominierende erneuerbare Energiequelle ist die Biomasse: Im Untersuchungsgebiet liefert sie ca. 90% der erneuerbar erzeugten Wärme. Bis 2020 wird sich die Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energien mehr als verdoppeln. Erneuerbare Energien werden dann rund 7,5% des Endenergiebedarfs für Wärme in den fünf norddeutschen Bundesländern erzeugen.
- Das wirtschaftliche Potenzial der Kraft-Wärme-Kopplung der fünf norddeutschen Bundesländer beträgt im Jahr 2005 insgesamt rund 57.000 GWh/a, wobei auf die leitungsgebundene Wärmeversorgung (Fernwärme-KWK) zwei Drittel des Gesamtpotenzials entfallen, gefolgt von der Industrie mit rund einem Viertel. Das Potenzial wird durch Abnahme des Wärmebedarfs im zunehmend sanierten Gebäudebestand sowie Effizienzsteigerungen in Industrie und Gewerbe bis 2020 auf ca. 51.000 GWh/a abnehmen. Derzeit ist weniger als die Hälfte dieses Potenzials ausgeschöpft (siehe Tabelle I).

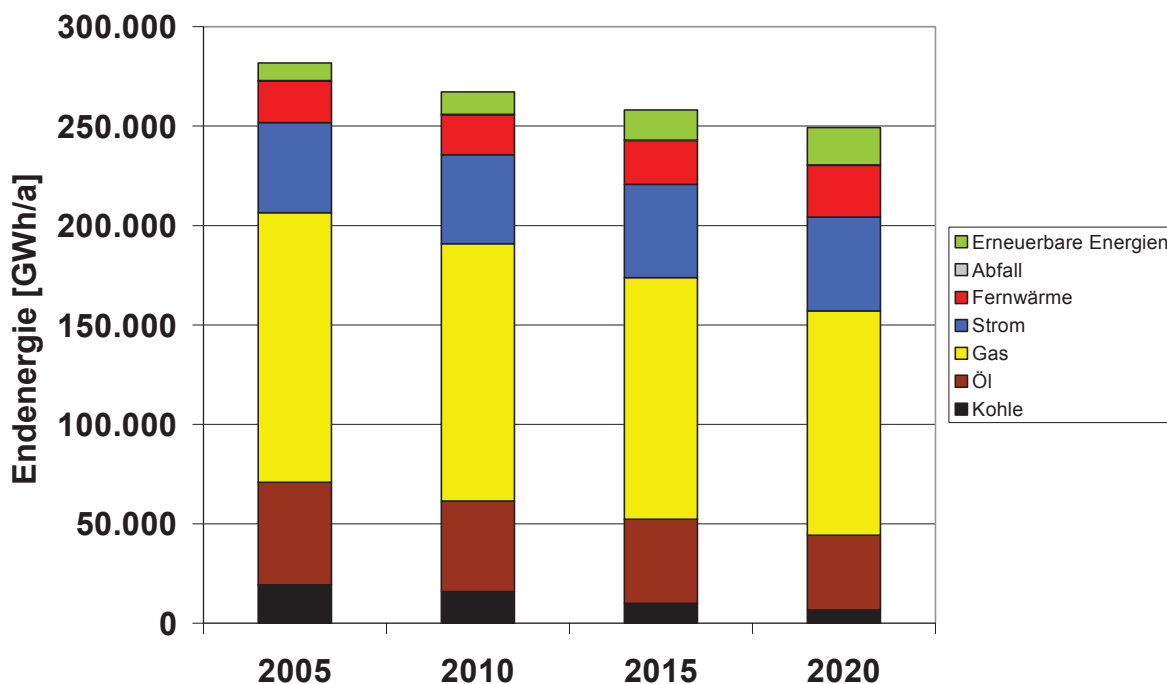
Trotz des Ziels der Verdopplung der KWK-Stromerzeugung wird nur ein geringer Anstieg bei der KWK-Wärme zu verzeichnen sein. Die Ausschöpfung des Potenzials wird um weniger als 10% über dem Niveau von 2005 liegen. Dieser geringe Anstieg ist bedingt durch die Tatsache, dass der Ausbau im Strombereich durch höhere Stromkennzahlen der Anlagen und durch Abbau von Überdimensionierungen im Bereich der Fernwärme-KWK realisiert wird, die installierte thermische Leistung jedoch nicht zunehmen wird.

**Tabelle I: KWK-Potenziale in Norddeutschland im Jahr 2005**

	Nutzwärme [GWh/a]	davon Bestand [GWh/a]
Fernwärme-KWK (Wohngebäude + GHD)	37.700	12.300
Industrielle KWK	14.900	11.400
KWK in Nichtwohngebäuden im Sektor GHD	4.300	k.A.
<b>Gesamtpotenzial</b>	<b>56.900</b>	<b>23.700</b>

- Die Entwicklung des Endenergiemixes bis zum Jahr 2020 zeigt, dass bei den fossilen Energieträgern ein merklicher Rückgang bis 2020 erkennbar ist – abgesehen vom Strom, dessen absoluter Beitrag in etwa konstant bleibt (siehe Abbildung II). Am deutlichsten ist die Abnahme bei der Kohle. Mit einem Anteil von weniger als 3% spielt sie in 2020 kaum noch eine Rolle bei der Wärmebereitstellung. Eine deutliche Zunahme haben dagegen die erneuerbaren Energien zu verzeichnen. Ihr Anteil steigt von ca. 3% in 2005 auf 7,5% in 2020. Auch bei der Fernwärme ist eine Zunahme um etwa ein Drittel zu erwarten.

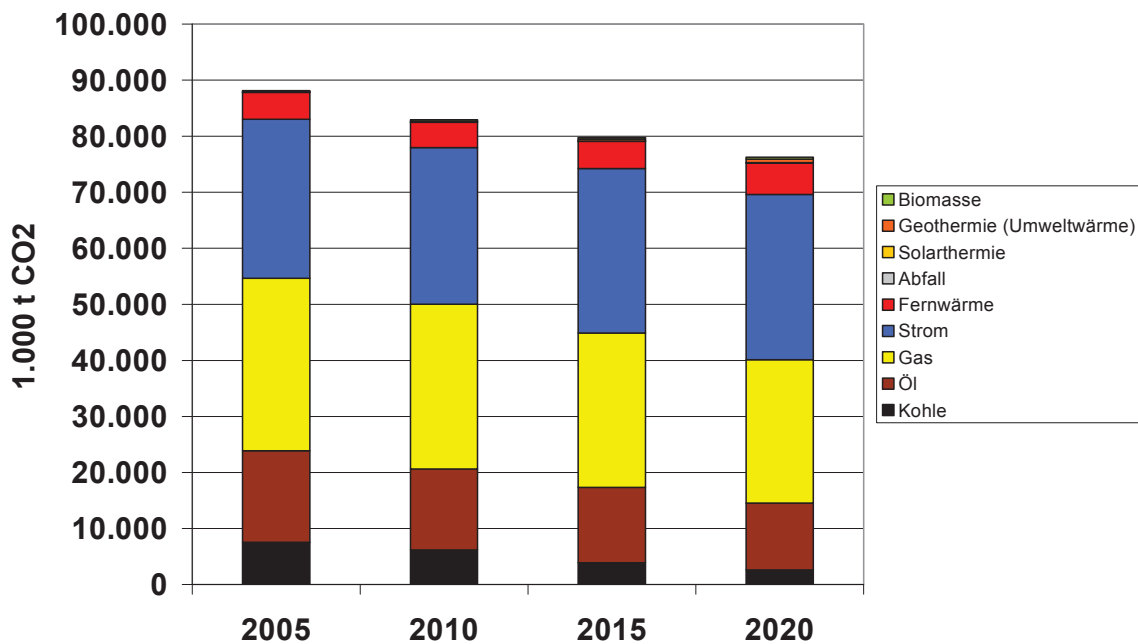
## Executive Summary



**Abbildung II: Entwicklung des Energiemixes der norddeutschen Bundesländer von 2005 bis 2020**

- Für die Versorgungssicherheit des ermittelten Energiemix Wärme spielt der zunehmende Einsatz erneuerbarer Energieträger eine wichtige Rolle. Erneuerbare Energieträger sind im Gegensatz zu fossilen Energieträgern und konventionellen Kernbrennstoffen, deren Vorkommen bei kontinuierlicher Entnahme stetig abnimmt, nicht erschöpfbar und können - im Gegensatz zu Erdgas und Erdöl - überwiegend aus heimischer Quelle bezogen werden. Dadurch verringert sich die Importabhängigkeit fossiler Energieträger. Trotz dieser positiven Effekte zeigt der Blick auf den für die norddeutschen Bundesländer ermittelten Energiemix Wärme, dass die Importabhängigkeit von Erdgas durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger bis zum Jahr 2020 nur in begrenztem Umfang reduziert werden kann. Die Importabhängigkeit von Erdgas stellt ein durchaus kalkulierbares Risiko dar, da die deutschen Gasversorgungsunternehmen mit verschiedenen Sicherungsmaßnahmen dem entgegen wirken. Hierzu zählen neben der Fortführung der Inlandsförderung von Erdgas insbesondere stabile Beziehungen zu Lieferanten und der Abschluss langfristiger Gaslieferverträge, Diversifikation von Bezugsquellen und Transportwegen und Verlässlichkeit der Versorgungsinfrastruktur durch Untertagespeicher.
- Für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Wärmebereitstellung wurde bis 2020 gegenüber 2005 ein Rückgang um 13,5% abgeschätzt. Dieser ist überwiegend bedingt durch den Rückgang des Endenergiebedarfs, den Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmebereich sowie die Abnahme des Einsatzes von Kohle und Öl.

## Executive Summary



**Abbildung III: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Wärmebereitstellung im Untersuchungsgebiet**

- Die Integration eines Wärmespeichers in ein bestehendes System kann zu einer besseren Ausnutzung von Abwärmepotenzialen beitragen. Dies erfordert grundsätzlich die Betrachtung des Gesamtsystems über den kompletten Be- und Entladezyklus. Ein effektiver Speichereinsatz ist wesentlich abhängig von einer optimalen Abstimmung des Speichers und der Wärme abgebenden und Wärme aufnehmenden Prozesse. Eine isolierte Entwicklung des Speichers führt in der Regel nicht zu einem optimalen System. Ein Vergleich von verschiedenen Speicherkonzepten hinsichtlich des Platzbedarfs und der Kosten ist in Tabelle II dargestellt.

**Tabelle II: Vergleich verschiedener Speicherkonzepte [BMVIT, 2005]**

		Speichertemperatur (am Ende der Beladung)	
		200°C	
Speicher		Volumenbedarf in m <sup>3</sup>	
Dampfspeicher		1,6	
Druckwasserspeicher		1,6	
Thermoölspeicher		3,3	
Feststoffspeicher		4,2	
Latentwärmespeicher		0,7	
System	Komponente	Investitionskosten	
		€/m <sup>3</sup>	€/100 kWh
Dampfspeicher	Druckbehälter	865	1.380
Druckwasserspeicher	Druckbehälter	865	1.380
Thermoölspeicher	Behälter	400	3.630
	Öl	700	
Feststoffspeicher	Beton	200	1.680
	Rohrregister	200	
Latentwärmespeicher	PCM	1.500	1.650
	Druckbehälter	865	

## Executive Summary

- Bis 2020 können nur etwa 10% des abgeschätzten Potenzials der Biomasse für Wärmebereitstellung in der Stadt Hamburg erschlossen werden. Ein größerer Anteil wäre nur zu erzielen, wenn eine intensive Kooperation mit den umliegenden Bundesländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen auf dem Gebiet der Biomassennutzung erfolgen würde.
- Die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten akzeptablen Transportentfernungen von Biomasse variieren stark mit dem eingesetzten Energieträger und dem Transportmittel. Für Gülle liegen diese z.B. im Bereich von 5 bis 10 km, weswegen in der Regel Gülle nur von lokal vorhandenen Tierbeständen genutzt werden kann, im Fall von Hackholzschnitzeln deutlich weitere Transportentfernungen noch rentabel sind, insbesondere, wenn sie per Bahn oder Schiff transportiert werden. Der Aufbau einer geeigneten Transportlogistik ist in jedem Fall eine wesentliche Voraussetzung für die intensivere Nutzung der Biomasse aus der Metropolregion Hamburg im Gebiet des Stadtstaates Hamburg. Dies kann nur in Kooperation mit den Akteuren in den umgebenden Bundesländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen erfolgen.
- Die Mitwirkung der Länder ist für die Erreichung der in der Studie skizzierten Ziele unabdingbar. Die Analyse der Klimaschutzprogramme der fünf Bundesländer hat gezeigt, dass insbesondere im Land Hamburg sehr gute Chancen bestehen, die in dieser Studie abgeschätzten CO<sub>2</sub>-Reduktionen zu erreichen. Im Fall des Landes Niedersachsen bestehen jedoch derzeit Zweifel, ob die aktuell bekannten Aktivitäten des Landes ausreichend sind, um Einsparpotenziale in erheblichem Umfang zu erschließen.
- Die Untersuchungsregion ist hinsichtlich ihrer Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur repräsentativ für Flächenländer mit einigen großen Zentren. Auch bezüglich der Verfügbarkeit der erneuerbaren Energieressourcen für die Wärmebereitstellung nimmt die norddeutsche Region, anders als beim Strom, keine Sonderstellung ein. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind daher auch auf andere Regionen in der Bundesrepublik übertragbar. Eine direkte Übertragung der Studienergebnisse auf kleine Regionen oder einzelne Städte kann aber zu Fehleinschätzungen führen kann, da die Gegebenheiten vor Ort deutlich von der Situation im Untersuchungsgebiet der Studie abweichen können.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Hintergrund und Ziele der Studie .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>Rahmendaten der Studie.....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>Wärmebedarf im Untersuchungsgebiet.....</b>	<b>23</b>
3.1	Wärmebedarf Privater Haushalte .....	23
3.1.1	Methodik Endenergiebedarf Raumwärme und Brauchwasserbereitung	23
3.1.1.1	Endenergiebedarf Raumwärme .....	23
3.1.1.2	Brauchwassererwärmung.....	24
3.1.2	Ergebnisse Endenergiebedarf Raumwärme und Brauchwasserbereitung Privater Haushalte.....	25
3.2	Wärmebedarf Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) .....	28
3.2.1	Methodik.....	28
3.2.2	Ergebnisse Endenergiebedarf Wärme von Gewerbe/Handel/Dienst- leistungen (GHD) .....	30
3.3	Wärmebedarf Industrie .....	33
3.3.1	Methodik Industrie.....	33
3.3.2	Ergebnisse Industrie .....	34
3.4	Gesamtwärmebedarf im Untersuchungsgebiet .....	38
<b>4</b>	<b>Wärmebereitstellung .....</b>	<b>39</b>
4.1	Erneuerbare Energien .....	39
4.1.1	Ermittlung des Ist-Zustandes .....	39
4.1.2	Entwicklung erneuerbarer Energien im Wärmebereich.....	40
4.2	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) .....	47
4.2.1	Grundsätzliche methodische Vorgehensweise .....	47
4.2.2	Fernwärme-KWK.....	49
4.2.3	Industrielle KWK.....	55
4.2.4	KWK-Potenziale in Nichtwohngebäuden im GHD-Sektor .....	57
4.2.5	Gesamtpotenzial der KWK in Norddeutschland.....	58
4.2.6	Entwicklung bis 2020 .....	59
4.2.7	KWK Anlagen und Erneuerbare Energien .....	60
4.3	Energiemix der Wärmebereitstellung.....	60
<b>5</b>	<b>Chancen und Risiken des künftigen Energiemixes Wärme.....</b>	<b>62</b>
5.1	Die Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Wärmebereitstellung im Untersuchungsgebiet.....	62
5.2	Der Energiemix Wärme und Versorgungssicherheit.....	63
5.3	Risiken durch die Vorrangstellung des Energieträgers Erdgas im Energiemix Wärme .....	65
5.3.1	Stabile Beziehungen zu Lieferanten und der Abschluss langfristiger Gaslieferverträge.....	66



5.3.2	Diversifikation von Bezugsquellen und Transportwegen.....	67
5.3.3	Verlässlichkeit der Versorgungsinfrastruktur durch Untertagespeicher	67
5.3.4	Fazit .....	67
<b>6</b>	<b>Detailuntersuchungen .....</b>	<b>69</b>
6.1	Fernwärme: Status quo in Hamburg und Voraussetzungen für einen Ausbau.	69
6.1.1	Derzeitiger Stand der Fernwärme in Hamburg.....	69
6.1.2	Voraussetzungen für einen Ausbau von Fernwärme .....	75
6.1.3	Perspektiven für einen Fernwärmeausbau in Hamburg .....	80
6.2	Die Rolle von Energiespeichern bei der verstärkten Nutzung Erneuerbarer Energien und der Erschließung von Abwärmepotenzialen .....	80
6.2.1	Einleitung und Motivation .....	80
6.2.2	Speicherkonzepte.....	81
6.2.3	Kapazitive Wärmespeicher.....	82
6.2.3.1	Hochtemperaturwärmespeicher .....	82
6.2.3.2	Flüssige Speichermedien (ohne Wasser) .....	83
6.2.3.3	Langzeitwärmespeicher .....	84
6.2.4	Latentwärmespeicher .....	86
6.2.5	Thermochemische Speicher - Sorptionsspeicher.....	88
6.2.6	Geeignete Wärmeabnehmer .....	88
6.2.6.1	Niedertemperatur .....	88
6.2.6.2	Hochtemperatur.....	90
6.2.7	Vergleich von Speicherkonzepten.....	91
6.2.7.1	Mobile Wärmespeicherung.....	92
6.2.7.2	Wirtschaftlichkeit .....	93
6.3	Untersuchung lokaler, regionaler und überregionaler Aspekte der Wärmebereitstellung ausgewählter Techniken – Beispiel Biomasse.....	99
6.4	Einfluss der Klimaschutzprogramme der Bundesländer .....	102
6.5	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen .....	104
<b>7</b>	<b>Fazit und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>105</b>
7.1	Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse der Studie .....	105
7.2	Empfehlungen an die Politik .....	107
	<b>Literatur .....</b>	<b>110</b>





## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Wohnfläche der Wohngebäude nach Bundesländern.....	21
Abbildung 2-2:	Aktuelle Trendschätzung der Wirtschaftsentwicklung [BEI 2009] .....	22
Abbildung 3-1:	Endenergiebedarf für Raumheizung – Ist-Zustand (2005).....	25
Abbildung 3-2:	Endenergiebedarf für Raumheizung – Entwicklung bis 2020.....	26
Abbildung 3-3:	Entwicklung des Endenergiebedarfs für Brauchwasserbereitung in Norddeutschland bis 2020.....	27
Abbildung 3-4:	Endenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung bis 2020	28
Abbildung 3-5:	Endenergieverbrauch im GHD-Sektor nach Bundesländern und Energieträger (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005).....	31
Abbildung 3-6:	Endenergiebedarf im GHD-Sektor nach Wirtschaftszweigen (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005) .....	32
Abbildung 3-7:	Entwicklung des Endenergiebedarfs für Wärme im Bereich GHD bis 2020 .....	33
Abbildung 3-8:	Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich Industrie nach Brennstoffen (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005).....	35
Abbildung 3-9:	Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich Industrie nach Wirtschaftszweigen (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005).....	36
Abbildung 3-10:	Entwicklung des Endenergiebedarfs Wärme im Bereich Industrie.....	37
Abbildung 3-11:	Entwicklung des Endenergiebedarfs für Wärme im Untersuchungsgebiet bis 2020.....	38
Abbildung 4-1:	Ist-Zustand der Nutzung erneuerbarer Energien (2005/2006) zur Wärmebereitstellung in den norddeutschen Bundesländern (Endenergie)	39
Abbildung 4-2:	Entwicklung des Beitrags erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung in den norddeutschen Bundesländern bis 2020 (Endenergie) .....	41
Abbildung 4-3:	Entwicklung des Beitrags erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung in den norddeutschen Bundesländern bis 2020 (Endenergie) – ohne Biomasse.....	42
Abbildung 4-4:	Anteil der verschiedenen erneuerbaren Energieträger an der Wärmeerzeugung – 2005 und 2020.....	43
Abbildung 4-5:	Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Bremen .....	44



Abbildung 4-6:	Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Hamburg .....	45
Abbildung 4-7:	Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Mecklenburg-Vorpommern .....	45
Abbildung 4-8:	Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Niedersachsen.....	46
Abbildung 4-9:	Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Schleswig-Holstein .....	46
Abbildung 4-10:	Schema des Modells zur Ermittlung der KWK-Fernwärme-potenziale ..	49
Abbildung 4-11:	Fernwärme-Potenziale in Norddeutschland .....	52
Abbildung 4-12:	Sensitivität des wirtschaftlichen KWK-Potenzials .....	53
Abbildung 4-13:	Fernwärme-Potenziale nach Bundesländern .....	54
Abbildung 4-14:	Fernwärme-Ausbaupotenziale nach Bundesländern .....	54
Abbildung 4-15:	Methodische Vorgehensweise zur Ableitung des Wärmebedarfes und der technischen KWK-Potenziale in der Industrie [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] .....	55
Abbildung 4-16:	Verteilung des Wärmebedarfs nach Temperaturniveau und Industriebranchen für 2001 [Wagner et al., 2002].....	56
Abbildung 4-17:	KWK-Potenziale in der Industrie nach Bundesländern .....	57
Abbildung 4-18:	Aufteilung der KWK-Potenziale auf die fünf norddeutschen Länder .....	58
Abbildung 4-19:	Entwicklung des Energiemixes der Norddeutschen Bundesländer von 2005 bis 2020.....	61
Abbildung 5-1:	Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Wärmebereitstellung im Untersuchungsgebiet .....	63
Abbildung 5-2:	Statistische Reichweiten nicht erneuerbarer Energieträger in Jahren, bezogen auf die Förderung des Jahres 2007, bzw. 2005 (Uran) [BMWI, 2009 b] .....	64
Abbildung 5-3:	Erdgasversorgung Deutschland 2008 [BMWI, 2009a] .....	66
Abbildung 6-1:	Anteile an der Nettowärmeerzeugung in eigenen Anlagen in Hamburg 2007 [AGFW, 2009] .....	70
Abbildung 6-2:	Brennstoffeinsatz für die Fernwärmeerzeugung in eigenen Anlagen in Hamburg 2007 [AGFW, 2009].....	71
Abbildung 6-3:	Strukturen von Siedlungstypen .....	76
Abbildung 6-4:	Fernwärme-KWK-Erzeugungskosten in Abhängigkeit vom Wärmeabsatz (Nutzenergie) [Eikmeier et al., 2006].....	78



Abbildung 6-5: Investitionskosten von Langzeitwärmespeichern [Solites, 2007].....	86
Abbildung 6-6: Kosten mobiler Latentwärme in Abhängigkeit von Transportentfernung und Auslastung (ohne KWK-Bonus).....	95
Abbildung 6-7: Kosten mobiler Latentwärme in Abhängigkeit von Transportentfernung und Auslastung (mit KWK-Bonus).....	96



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Bevölkerungsstand und -entwicklung bis 2020 in Norddeutschland [Destatis, 2007] .....	20
Tabelle 3-1:	Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich GHD in Norddeutschland (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005).....	30
Tabelle 3-2:	Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich Industrie nach Brennstoffen (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005) .....	34
Tabelle 4-1:	Energieträgerpreisentwicklung bis 2040 (in realen Preisen 2005).....	48
Tabelle 4-2:	Fernwärme-Potenziale - Wohngebäude+GHD- in Norddeutschland im Jahr 2005 .....	51
Tabelle 4-3:	KWK-Potenziale in Norddeutschland im Jahr 2005 .....	58
Tabelle 4-4:	Anteil der Energieträger an der Wärmebereitstellung in 2005 und 2020 .....	61
Tabelle 5-1:	Spezifische Emissionen der Wärmebereitstellung nach Endenergieträgern [GEMIS 4.4, 2008].....	62
Tabelle 5-2:	Weltweite Gasproduktion und Reserven 2008 [BP, 2009] .....	65
Tabelle 6-1:	Fernwärme in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009] .....	69
Tabelle 6-2:	Wärmenetzeinspeisung in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009] .....	69
Tabelle 6-3:	Eigene Anlagen zur Fernwärmeerzeugung in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009].....	70
Tabelle 6-4:	CO <sub>2</sub> -Emissionen der Fernwärmeerzeugung inklusive Fremdbezug in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009].....	71
Tabelle 6-5:	Fernwärmenetze in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009] .....	72
Tabelle 6-6:	Anlagen zur Fernwärmeerzeugung in Netzen der E.ON Hanse Wärme in Hamburg [E.ON Hanse Wärme, 2009] .....	72
Tabelle 6-7:	Eigenerzeugung und Fremdbezug der E.ON Hanse Wärme in Hamburg.....	73
Tabelle 6-8:	Wärmenetzeinspeisung der E.ON Hanse Wärme in Hamburg .....	73
Tabelle 6-9:	Fernwärmeversorgung in Hamburg – Wichtigste Fakten.....	74
Tabelle 6-10:	Fernwärmenetze im Vergleich .....	74
Tabelle 6-11:	Typische Parameter für Siedlungstypen .....	77



Tabelle 6-12:	Anwendungsfelder von Regeneratoren [Streuber, 2001].....	83
Tabelle 6-13:	Flüssige Speichermedien für den Mitteltemperaturbereich.....	84
Tabelle 6-14:	Auslegungsdaten und realisierte Projekte von Langzeitwärmespeichern	85
Tabelle 6-15:	Phase Change Materials (PCM).....	87
Tabelle 6-16:	Daten von Latentwärmespeichercontainern Modell „Fa. Schneider“ [Storch u. Hauer, 2005] [Fischer, 2006] .....	87
Tabelle 6-17:	Energiebedarfswerte einiger geeigneter Abnehmer von Niedertemperaturwärme; [Kubessa, 1998] [EWU, 1999] .....	90
Tabelle 6-18:	Vergleich verschiedener Speicherkonzepte [BMVIT, 2005].....	92
Tabelle 6-19:	Latentwärmetransport .....	93
Tabelle 6-20:	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Latentwärmetransport..	94
Tabelle 6-21:	Wärmekosten mobiler Latentwärme <i>ohne</i> KWK-Bonus in Abhängigkeit von Entfernung und Auslastung .....	95
Tabelle 6-22:	Wärmekosten mobiler Latentwärme <i>mit</i> KWK-Bonus in Abhängigkeit von Entfernung und Auslastung .....	96
Tabelle 6-23:	Gaspreise und Wärmekosten in der Industrie nach Abnehmerklassen; [Eurostat, 2006] und eigene Berechnungen.....	97
Tabelle 6-24:	Datengrundlage der Berechnung der Wärmekosten aus gekoppelter Erzeugung vor Ort beim Abnehmer.....	98
Tabelle 6-25:	Optionen für Kooperationsformen bei verschiedenen Energieträgern ...	99
Tabelle 6-26:	Abschätzung des Potenzials der Biomasse für die Wärmebereitstellung in Hamburg (inkl. Bezug aus Metropolregion) .....	100
Tabelle 6-27:	Ziele der Klimaschutzkonzepte der Länder mit Relevanz für den Wärmebereich .....	103



## 1 Hintergrund und Ziele der Studie

Internationaler Klimaschutz gilt weltweit als eine der größten globalen Herausforderungen im 21. Jahrhundert. Die Dringlichkeit dieses Themas wurde insbesondere durch den 4. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschuss über Klimaveränderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) von 2007 verdeutlicht, der den fortschreitenden Klimawandel und den Einfluss den Menschen auf diese Veränderung endgültig wissenschaftlich belegt hat. [BMW i 2009c]

Um dem Klimawandel entgegenzuwirken und inakzeptable Folgen und Risiken des Klimawandels zu vermeiden, verfolgt die Europäische Union das Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf weniger als 2° C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Mittel- und langfristige Ziele sind dabei notwendig, um gleichzeitig eine Stabilisierung der Treibhausgasemissionen zu erreichen.

Der Energiepolitik kommt bei der Bewältigung dieser Herausforderungen eine zentrale Rolle zu, da die Verbrennung fossiler Kraftstoffe erheblich zum Klimawandel beiträgt. Die Nutzung fossiler Kraftstoffe im Verkehr, bei privaten Haushalten und bei der Verstromung von Kohle, Gas und Öl zählt zu den Hauptverursachern des vom Menschen verursachten Klimawandels. Wirksamer Klimaschutz steht daher in unmittelbarer Verbindung mit einer nachhaltigen Energiepolitik. Neben dem Klimaschutz stellen auch die weltweit steigende Energienachfrage nach begrenzt vorhandenen Rohstoffen sowie steigende Energiepreise, insbesondere bei Öl und Gas, wichtige Treiber für eine nachhaltige Energieversorgung dar. [BMU, 2009b]

Als weltweit größte Emittenten von Treibhausgasen stehen insbesondere die Industrieländer in der gesamtgesellschaftlichen Verantwortung, verbindliche Regelungen zum Klimaschutz und einer nachhaltigen Energieversorgung zu vereinbaren und umzusetzen. Erstmals haben sich die Industriestaaten mit dem 1997 ausgehandelten „Kyoto-Protokoll“ zum UN-Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen dazu verpflichtet, die Emissionen von sechs Treibhausgasen von 2008 bis 2012 um mindestens 5% gegenüber dem Niveau von 1990 zu senken. Der Zielwert für Deutschland liegt bei einer Emissionsminderung um 21% bis 2020 gegenüber 1990. Von 1994 bis 2006 hat Deutschland seine Treibhausgasemissionen um fast 19 % verringert, so dass die deutsche Bundesregierung mit der Einhaltung ihres nationalen Klimaschutzziels bis 2010 rechnet. Die Verhandlungen über ein internationales Klimaschutzabkommen für die Zeit nach 2012 sollen auf der 5. Vertragsstaatenkonferenz des Kyoto-Protokolls in Kopenhagen im Dezember 2009 abgeschlossen werden. [BMW i, 2009d]

Auf Ebene der Europäischen Union hat der Europäische Rat der Staats- und Regierungschefs bereits im Frühjahr 2007 unter deutscher Präsidentschaft die Weichen für eine integrierte europäische Klima- und Energiepolitik gestellt. Dazu gehören anspruchsvolle Klimaschutzziele ebenso, wie Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz. Ende Dezember 2008 wurde das Europäische Energie- und Klimapakete („EU green package“) vom Europäischen Parlament verabschiedet. Das Paket umfasst insgesamt sechs Bestandteile, darunter Regelungen über die dritte Phase des Treibhausgas-Emissionshandelssystems sowie zur Abtrennung und geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> im Prozess der Stromerzeugung (sogenannte CCS-Technologie). Mit den Maßnahmen des Energie- und Klimapakets will die EU ihre 20/20/20-Ziele bis 2020 - unabhängig vom Ausgang internationaler Klimaschutzverhandlungen - erreichen: Minderung der Treibhausgasemissionen um 20 % gegenüber dem Niveau von 1990, Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch auf 20 % und Senkung des gesamten Energieverbrauchs um 20 % gegenüber dem für 2020 prognostizierten Wert durch eine Verbesserung der Energieeffizienz.



Zur Umsetzung des Klimaschutzes in Deutschland verfolgt die Bundesregierung einen Mix von Maßnahmen und Instrumenten, die im Kontext des Leitbilds einer nachhaltigen Entwicklung stehen. Eine ambitionierte Strategie zur Steigerung der Energieeffizienz und der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien sind nach Einschätzung des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie zentrale Leitlinien, um die Emission der Treibhausgase weiter zu reduzieren. [BMW, 2007b] Zu den zentralen Themen und Feldern der deutschen Klimaschutzpolitik zählen unter anderem das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP), die Förderung der erneuerbaren Energien, der Emissionshandel, das Thema Energieeffizienz, Klimaschutzinitiativen sowie die Roadmap Energiepolitik 2020. [BMU, 2009c]

Mit dem Beschluss des Integrierten Energie- und Klimaprogramm [BMW, 2007] hat die deutsche Bundesregierung ihre Leitlinien einer nachhaltigen Energieversorgung in die Tat umgesetzt, zentrale Entscheidungen für den Ausbau einer klimaverträglichen Energieversorgung in Deutschland getroffen und europäische Richtungsentscheidungen auf nationaler Ebene durch ein konkretes Maßnahmenprogramm umgesetzt. Das IEKP wurde Anfang Dezember 2007 durch das deutsche Bundeskabinett, zum Auftakt der Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Bali, beschlossen. Insgesamt umfasst das IEKP 29 Maßnahmen zugunsten von mehr Energieeffizienz und dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien in Deutschland. Die Umsetzung des Energie- und Klimaprogramms ist so ausgerichtet, dass die Klimaziele in einem kontinuierlichen Prozess bis 2020 erreicht werden sollen. Zu den Maßnahmen des IEKP zählen unter anderem der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung an der Stromerzeugung auf einen Anteil von 25% an der Stromerzeugung sowie eine Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch auf 14% im Jahr 2020. [BMW, 2007b] Mit dem Anfang 2009 in Kraft getretenen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) und durch die Aktualisierung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) wurden bereits wichtige Teilziele des IEKP erreicht.

Der Ausbau erneuerbarer Energien kann über die Substitution von fossilen Energieträgern erheblich zur Reduktion von Treibhausgasemissionen beitragen. Zielsetzung der Bundesregierung ist es, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung bis 2010 auf mindestens 12,5 % zu erhöhen. Dieses Ziel wurde bereits im Jahr 2007 überschritten. In dem Anfang 2009 neu gefassten EEG hat sich die Bundesregierung das neue Ziel gesetzt, den Anteil erneuerbarer Energien im Strombereich bis zum Jahr 2020 auf mindestens 30% zu erhöhen. [BMU, 2009c] Auf Ebene der Europäischen Union wurden die Ziele zum Ausbau erneuerbarer Energien Ende Juni über die EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (2009/28/EG) neu geregelt. Anvisiert wird per Richtlinie eine Abdeckung des gesamten Endenergieverbrauchs der EU aus erneuerbaren Energien in Höhe von 20% bis 2020. Für Deutschland wurde ein Ziel von 18% festgeschrieben. [BMU, 2009c]

Über die Umsetzung des Emissionshandels zielt die Bundesregierung darauf ab, einen zusätzlichen Anreiz für mehr Energieeffizienz und zur Verminderung des Energieverbrauchs in Deutschland zu schaffen, indem effiziente Technologien und CO<sub>2</sub>-arme Brennstoffe verstärkt genutzt werden. Mit dem Einsatz des Emissionshandels als marktwirtschaftlichem Instrument will die Bundesregierung ihre beschlossenen Ziele – vor allem der Effizienzsteigerung von 3% pro Jahr und Senkung der Treibhausgasemissionen um 40% bis 2020 gegenüber 1990 - erreichen. [BMU, 2009c]

Im Bereich der Energieeffizienz verfolgt die Bundesregierung die Zielsetzung, die Energieproduktivität bis zum Jahr 2020 gegenüber 1990 zu verdoppeln. Dazu ist aus Sicht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit eine Erhöhung der Energieeffizienz über die gesamte Energiekette notwendig. [BMU, 2009c]



Als weiteres Instrument des Klimaschutzes setzt die Bundesregierung über nationale und internationale Klimaschutzinitiativen vielfältige Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien um. Im Jahr 2008 hat die deutsche Bundesregierung insgesamt 400 Mio. € in Klimaschutzinitiativen investiert. [BMU, 2009c]

Mit ihrer Roadmap Energiepolitik 2020 hat die Bundesregierung Anfang 2009 ein energiepolitisches Gesamtkonzept bis zum Jahr 2020 aufgestellt, welches die aufgeführten Ziele in den Bereichen KWK, Treibhausgasemissionen, Energieproduktivität und erneuerbare Energien zusammenführt.

Die Erreichung der von Seiten der Politik formulierten Ziele erfordert die Mitwirkung eines breiten Spektrums von Akteuren. Klimaschutz und die Realisierung einer nachhaltigen Energieversorgung sind gesamtgesellschaftliche Aufgaben, die nicht alleine von der deutschen Bundesregierung bewältigt werden können. Nach Einschätzung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sind vielmehr Wirtschaft, Länder und Kommunen aufgefordert, ihrerseits den notwendigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. [BMWi, 2007b] Hierbei werden vor allem Maßnahmen im Bereich der Stromerzeugung und Nutzung sowie in den Bereichen Wärmenutzung und Verkehr benötigt.

Vor diesem Hintergrund hat das Bremer Energie Institut in Zusammenarbeit mit dem arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik die zukünftige Entwicklung der Stromversorgung in der norddeutschen Region in der Vorläuferstudie, die im Sommer 2007 vom Zukunftsrat Hamburg vorgestellt wurde, eingehend beleuchtet. Für die fünf Bundesländer Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein wurde untersucht, welche Rolle der geplante Zubau konventioneller Kraftwerke spielen wird und in welchem Umfang die Nutzung erneuerbarer Energien, der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung sowie Energieeffizienzmaßnahmen dazu beitragen können, die angestrebten Klimaschutzziele zu erreichen. Zentrale Aussage dieser Untersuchung war, dass sich Norddeutschland durch den geplanten Bau zahlreicher fossiler Kraftwerkskapazitäten, aber auch auf Grund des angestrebten massiven Ausbaus der Offshore-Windparkenergie in Zukunft zu einer Stromexportregion entwickeln wird und Politik und Energiewirtschaft vor der Aufgabe, stehen, die hierfür erforderlichen Rahmenbedingungen zu entwickeln. Aus den Ergebnissen der Untersuchung wurden Handlungsempfehlungen für Länder und Kommunen abgeleitet. [BEI, 2007]

Während sich diese erste Studie auf den Stromsektor beschränkte, wurde in der nun vorliegenden Untersuchung der Wärmebereich untersucht. Betrachtet wurden - wie in der vorangegangenen Studie zum Stromsektor - die fünf Bundesländer des norddeutschen Raumes. Auch im Wärmebereich sind in den kommenden Jahren Veränderungen der Energieversorgung zu erwarten: So wird z.B. mit dem Anfang August verabschiedeten Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) eine deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung und durch die Aktualisierung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes eine Stärkung der Kraft-Wärme-Kopplung angestrebt. Ziel der Bundesregierung ist die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien an der Wärmebereitstellung in Deutschland auf 14% in 2020 und der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung auf einen Anteil von 25% an der Stromerzeugung.

Veränderungen in der Wärmeerzeugung hängen - stärker als im Strommarkt - von strukturellen lokalen und regionalen Rahmenbedingungen ab. Daher kommt in diesem Bereich dem Handeln der Bundesländer eine besondere Bedeutung zu. Die Ergebnisse der Studie werden deshalb zum einen für die Untersuchungsregion als Ganzes, zum anderen aber auch getrennt nach den fünf Bundesländern dargestellt. Hierdurch werden die Spezifika



der einzelnen Bundesländer verdeutlicht und somit Hinweise für eine differenzierte Gestaltung der energiepolitischen Rahmenbedingungen in den Ländern gegeben.

Eine besondere Rolle spielen bei der Frage einer zukunftsfähigen Wärmeversorgung die Stadtstaaten aufgrund ihrer, von der der Flächenländer abweichenden Struktur. Daher wird in der Studie anhand ausgewählter Aspekte exemplarisch für das Bundesland Hamburg die Bedeutung der Stadt-Land-Beziehung bei der Wärmeversorgung untersucht.

Für den Wärmemarkt hat Hamburg aufgezeigt, dass es hier nennenswerte Beiträge zu einer zukunftsfähigen Energieversorgung leisten will und mit seinem Klimaschutzkonzept eine Änderung des Energiemixes in der Wärmeerzeugung anstrebt. Neben der Erschließung von Einsparpotenzialen werden hier der Ausbau der Fernwärmeversorgung und eine stärkere Nutzung erneuerbarer Energien zum Ziel gesetzt. Diese Ziele erfordern in manchen Bereichen jedoch eine Zusammenarbeit mit den benachbarten Ländern. Besonders deutlich wird dies bei der Nutzung der Biomasse. Sie kann sehr wohl in Hamburg genutzt, aber nicht in ausreichendem Maße erzeugt werden. Dies verdeutlicht die Bedeutung der Stadt-Land-Beziehung für die erneuerbare Wärmeversorgung der Stadtstaaten.

In der Studie wird die Stadt-Land-Beziehung für ausgewählte Aspekte anhand von Fallbeispielen untersucht. Die Ergebnisse können über Hamburg hinaus auch für andere Städte wertvolle Hinweise für die zukünftige Gestaltung ihrer Wärmeversorgung liefern.

Auf der Basis der Studienergebnisse wurden Handlungsempfehlungen für die Politik in den Bundesländern des norddeutschen Raumes entwickelt, wie die angestrebten Einsparziele erreicht und die Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung und der Ausbau erneuerbarer Energien im Wärmebereich vorangetrieben werden können.

Die beiden Studien zum Strom- und Wärmebereich ergeben zusammen ein Gesamtbild für die Entwicklung der Energieversorgung und eine Grundlage für die Gestaltung der Energiepolitik in der norddeutschen Region auf Ebene von Ländern und Kommunen in den kommenden Jahren. Eine Studie für den Bereich Verkehr steht noch aus.



## 2 Rahmendaten der Studie

Die wichtigsten Rahmendaten, die der Studie zugrunde liegen, sind in Tabelle 2-1, bzw. Abbildung 2-1 und 2-2 zusammengestellt.<sup>1</sup> Dies sind:

- Bevölkerungsstand und Bevölkerungsentwicklung in den fünf norddeutschen Bundesländern bis 2020,
- Wohnungsbestand in den fünf Bundesländern,
- Wirtschaftsentwicklung bis 2020.

Für die Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung in den untersuchten Bundesländern wurden die Ergebnisse der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung herangezogen. [Destatis, 2007]

**Tabelle 2-1: Bevölkerungsstand und -entwicklung bis 2020 in Norddeutschland [Destatis, 2007]**

	HB	HH	MV	NDS	SH	Norddeutschland
Jahr	Einwohnerzahl in 1.000					
2005	663	1.744	1.707	7.994	2.833	14.941
2006	664	1.754	1.694	7.983	2.834	14.929
2007	663	1.758	1.676	7.969	2.835	14.901
2008	664	1.765	1.661	7.959	2.838	14.887
2009	664	1.772	1.646	7.947	2.840	14.869
2010	664	1.778	1.632	7.933	2.842	14.849
2011	664	1.784	1.619	7.917	2.843	14.827
2012	663	1.788	1.607	7.899	2.843	14.800
2013	663	1.792	1.596	7.880	2.841	14.772
2014	663	1.796	1.586	7.858	2.839	14.742
2015	663	1.799	1.577	7.835	2.835	14.709
2016	663	1.801	1.568	7.812	2.831	14.675
2017	662	1.803	1.560	7.787	2.826	14.638
2018	662	1.804	1.552	7.762	2.820	14.600
2019	662	1.805	1.545	7.736	2.813	14.561
2020	662	1.806	1.538	7.709	2.806	14.521

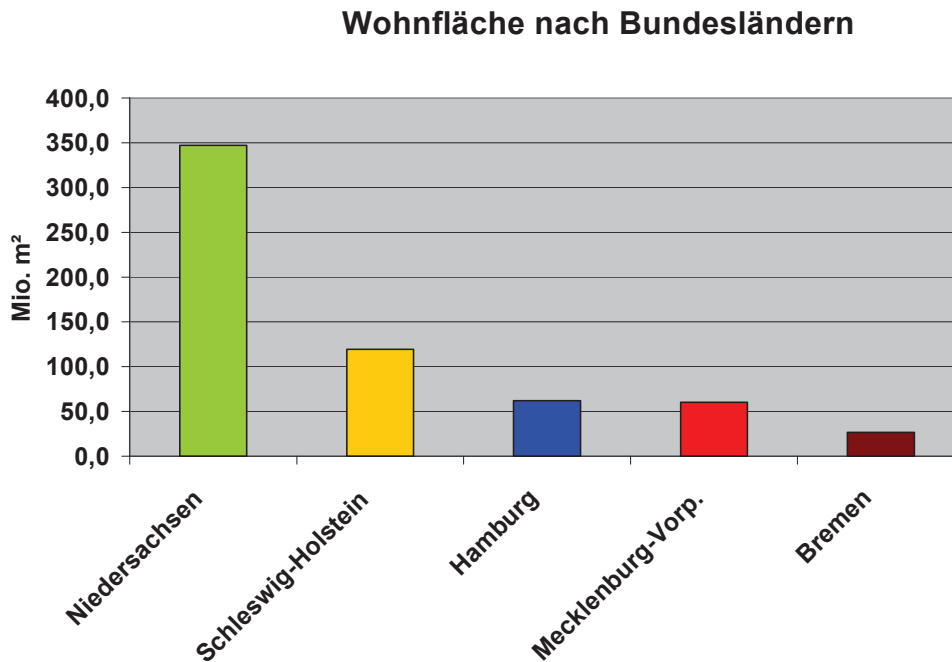
Abweichend hiervon wurde für das Bundesland Bremen die aktuelle Fortschreibung des dortigen Statistischen Landesamtes zugrunde gelegt. [StaLa HB, 2009a.] Man kann feststellen, dass die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet bis 2020 leicht abnimmt (-2,8%). Nur für Hamburg - als einziges der fünf Bundesländer - wird eine Zunahme der Bevölkerung erwartet (+3,6%). Einen deutlichen Bevölkerungsrückgang wird dagegen Mecklenburg-Vorpommern zu verzeichnen haben (-9,9%).

Die Daten zum Wohnungsbestand sind die maßgeblichen Bestimmungsgrößen für den Raumwärmebedarf der privaten Haushalte. Die Angaben zum Wohnungsbestand entstammen den Zusatzerhebungen zum Mikrozensus aus dem Jahr 2006 [MZ, 2006]. Hier

<sup>1</sup> Details zur Struktur des Wohnungsbestandes siehe Anhang.



ist der Bestand der bewohnten Wohneinheiten nach Gebäudegröße, Baujahr und Fläche aufgegliedert.<sup>2</sup> Insgesamt beläuft sich derzeit (2006) die Wohnfläche im Untersuchungsgebiet auf 615,1 Mio. m<sup>2</sup>, siehe auch Abbildung 2-1.



**Abbildung 2-1: Wohnfläche der Wohngebäude nach Bundesländern**

Die Wirtschaftsentwicklung ist relevant für die Abschätzung des Wärmebedarfs im Sektor Industrie. Aussagen zur wirtschaftlichen Entwicklung sind aufgrund der Auswirkungen der Wirtschaftskrise derzeit mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet. Ziel der Studie ist jedoch nicht eine Prognose der Wirtschaftsentwicklung, sondern Aussagen zur Entwicklung des Wärmemarktes im norddeutschen Raum. Daher ist in diesem Kontext keine exakte Prognose der Wirtschaftsentwicklung zu erarbeiten, sondern es müssen plausible Annahmen für deren Verlauf im Untersuchungszeitraum getroffen werden. Für die weiteren Betrachtungen im Industriesektor wird von der in Abbildung 2-2 dargestellten Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes (BIP) ausgegangen. [BEI, 2009] Diese ist durch einen starken Einbruch aufgrund der Wirtschaftskrise in 2008 und 2009 gekennzeichnet. In 2010 ist eine Stagnation auf dem Niveau von 2005 zu verzeichnen. Danach wächst die Wirtschaft wieder und zwar mit dem von [EWI, Prognos 2007] ursprünglich ab 2005 prognostizierten Zuwachs. Das bedeutet, dass auch in 2020 noch Nachwirkungen der Wirtschaftskrise spürbar sein werden und das Bruttoinlandsprodukt unter dem vor der Wirtschaftskrise erwarteten Niveau liegt.

<sup>2</sup> Diese Datenstruktur ermöglicht für jedes Bundesland eine individuelle Abschätzung des Raumwärmebedarfs.

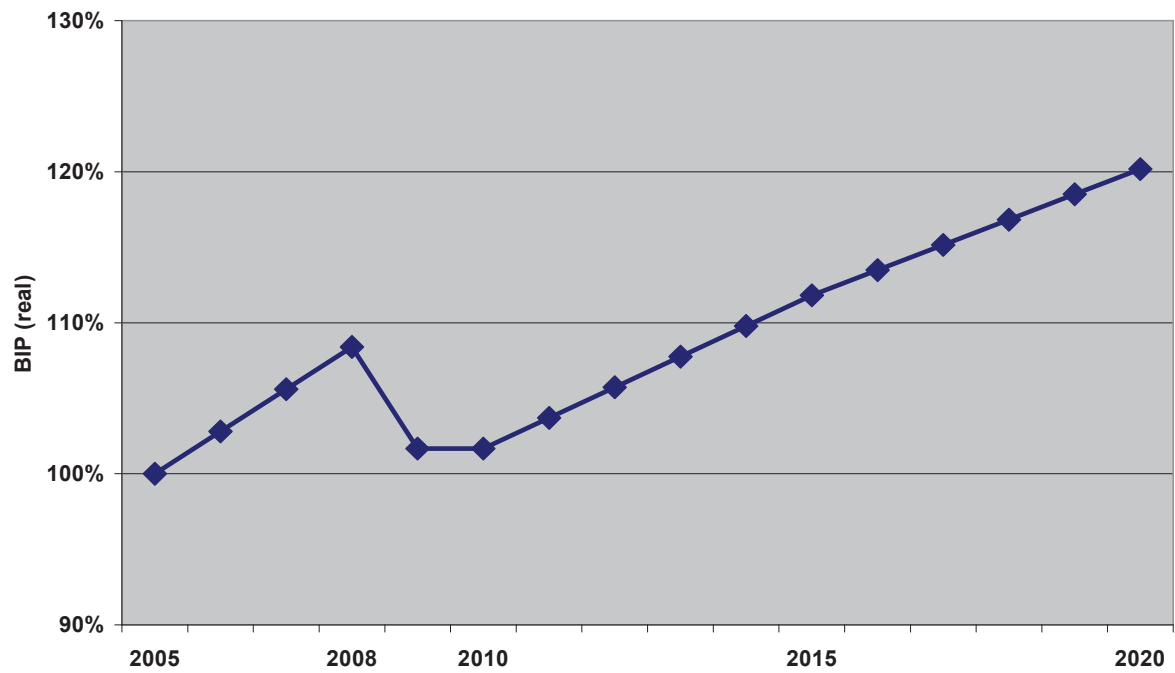


Abbildung 2-2: Aktuelle Trendschätzung der Wirtschaftsentwicklung [BEI 2009]



## 3 Wärmebedarf im Untersuchungsgebiet

### 3.1 Wärmebedarf Privater Haushalte

#### 3.1.1 Methodik Endenergiebedarf Raumwärme und Brauchwasserbereitung

##### 3.1.1.1 Endenergiebedarf Raumwärme

Der Wärmebedarf Privater Haushalte teilt sich auf in den Raumwärmebedarf und den Wärmebedarf für die Brauchwasserbereitung. Für beide Komponenten wurde zunächst eine „Bottom-up“-Betrachtung durchgeführt. Diese wird im Folgenden beschrieben. Das so erhaltene Ergebnis für das Jahr 2005/2006 für den Wärmebedarf der Privaten Haushalte wurde mittels eines Korrekturfaktors mit dem Wert abgeglichen, der sich aus den Energiestatistiken der Länder („Top-Down-Ansatz“) für den Endenergieverbrauch für Wärme ergibt.<sup>3</sup> Dieser Abgleich ist erforderlich, da – wie im Folgenden dargestellt – für die Abschätzung des Wärmebedarfs in der „Bottom-up-Analyse“ bei einigen Kennzahlen bundesdeutsche Durchschnittswerte angenommen wurden, die von den Eigenschaften des in den Bundesländern vorhandenen Wohngebäudebestandes abweichen können.<sup>4</sup>

Der Endenergiebedarf für Raumwärme wird durch drei Faktoren bestimmt:

- die beheizte Wohnfläche,
- den Dämmstandard der Gebäude,
- den Wirkungsgrad der Heizsysteme.

Die beheizte Wohnfläche wurde anhand der Daten aus der Zusatzerhebung zum Mikrozensus aus dem Jahr 2006 ermittelt.<sup>5</sup> [MZ, 2006] Demnach beträgt die Wohnfläche im Untersuchungsgebiet 615,1 Mio. m<sup>2</sup>. Mehr als die Hälfte davon (56%) befinden sich in Niedersachsen.

Der Dämmstandard eines Gebäudes hängt maßgeblich vom Gebäudetyp (Einfamilienhaus, Zweifamilienhaus, kleines Mehrfamilienhaus etc.) sowie vom Alter des Gebäudes ab.<sup>6</sup> Daher wurden in den vergangenen Jahren Gebäudetypologien entwickelt. Diese klassifizieren die Gebäude nach Art des Gebäudetyps und nehmen eine Zuordnung zu Baualterklassen vor. Je nach Gebäudetyp und Baualterklasse werden diesen verschiedenen Gebäudearten nun typische Gebäudevertreter zugeordnet, die u.a. durch einen spezifischen Heizwärmebedarf charakterisiert sind.

---

<sup>3</sup> Zur Aufteilung der häufig nur als Summe für Haushalte und Gewerbe/Handel/Dienstleistungen angegebenen Werte siehe Kapitel 3.2

<sup>4</sup> Dies trifft insbesondere auf den spezifischen Nutzenergiebedarf für Raumheizung der verschiedenen Gebäudetypen zu, die nicht in allen Bundesländern den selben Dämm-, bzw. Sanierungsstandard aufweisen wie der Bundesdurchschnitt.

<sup>5</sup> Im Mikrozensus finden sich Angaben zur bewohnten Wohnfläche. Es wird für die weiteren Betrachtungen davon ausgegangen, dass diese Fläche auch beheizt wird.

<sup>6</sup> Auch der Sanierungszustand spielt eine Rolle. Dem wird dadurch Rechnung getragen, dass in gängigen Gebäudetypologien ein durchschnittlicher Sanierungsgrad im Gebäudebestand im Wert für den spezifischen Heizwärmebedarf der Gebäude berücksichtigt wird.



Die Angaben zur Wohnfläche sind im Mikrozensus einzelnen Gebäudetypen und Baualterklassen zugeordnet. Daher kann mit Annahmen zum spezifischen Heizwärmebedarf eine Abschätzung des Energiebedarfs für Raumwärmebedarf erfolgen. Für die vorliegende Studie wurde von durchschnittlichen spezifischen Nutzenergiebedarfswerten für Raumheizung für die alten Bundesländer ausgegangen. [MZ, 2006] Berücksichtigt man nun noch den durchschnittlichen Wirkungsgrad der zur Raumheizung eingesetzten Systeme, erhält man den Endenergiebedarf für die Raumheizung. In dieser Studie wurde entsprechend den Annahmen von [EWI, Prognos 2007] von einem durchschnittlichen Wirkungsgrad der für Raumheizung eingesetzten Anlagen von 82% ausgegangen. Die so ermittelten Werte dieser „Bottom-up-Analyse“ wurden mittels eines Korrekturfaktors mit den statistischen Daten für den Endenergieverbrauch Wärme der Privaten Haushalte abgeglichen. Dieser Korrekturfaktor ist erforderlich, da die verschiedenen Gebäudetypen nicht in allen Bundesländern denselben Dämm-, bzw. Sanierungsstandard aufweisen wie der Bundesdurchschnitt.

Für die Prognose der Entwicklung des Endenergiebedarfs für Raumheizung in Wohngebäuden wurde auf die Untersuchung von [EWI, Prognos, 2007] zurückgegriffen. Hierin werden unterschiedliche Szenarien untersucht. Unter anderem auch das Szenario KV 3%, das die Realisierung der aktuellen Koalitionsvereinbarung skizziert. KV 3% setzt eine Steigerung der Energieproduktivität von jährlich 3% voraus. Aufgrund der bisherigen Entwicklung der Energieproduktivität bezweifeln die Autoren die Umsetzbarkeit dieses Szenarios. Als wahrscheinlicher wird das 2%-Szenario eingeschätzt, das ausgehend von 2005 eine jährliche Steigerung der Energieproduktivität um 2% bis zum Jahr 2020 vorsieht. Das Szenario beinhaltet die energetische Veränderung des Gebäudebestandes (Sanierung und Neubau), die Senkung des Stromverbrauchs von Haushaltsgeräten und die Minderung des Kraftstoffverbrauchs.

Um die Ziele der Koalitionsvereinbarung zu erreichen, wurde einerseits die Energieeinsparverordnung (EnEV) weiterentwickelt, aber auch die Aktivitäten des Bundes bei der Gebäudesanierung verstärkt.

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs für Raumwärme auf Grundlage des 2%-Szenarios ist im Anhang in der Tabelle A-2 dargestellt. Bei der Übertragung dieses Trends auf die einzelnen Bundesländer wurde die Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt, sofern sie von dem in [EWI, Prognos, 2007] angenommenen Trend abweicht.

### 3.1.1.2 Brauchwassererwärmung

Der Energiebedarf für die Brauchwassererwärmung wird von der Zahl der Personen im Untersuchungsgebiet bestimmt. Der Brauchwasserbedarf im Untersuchungsgebiet wurde anhand der Bevölkerungszahl unter Zugrundelegung des bundesdeutschen Durchschnittswertes für den spezifischen Nutzwärmebedarf von 541 kWh/Person, sowie unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Brauchwasserbereitung (siehe Anlage, Tabelle A.3) ermittelt.

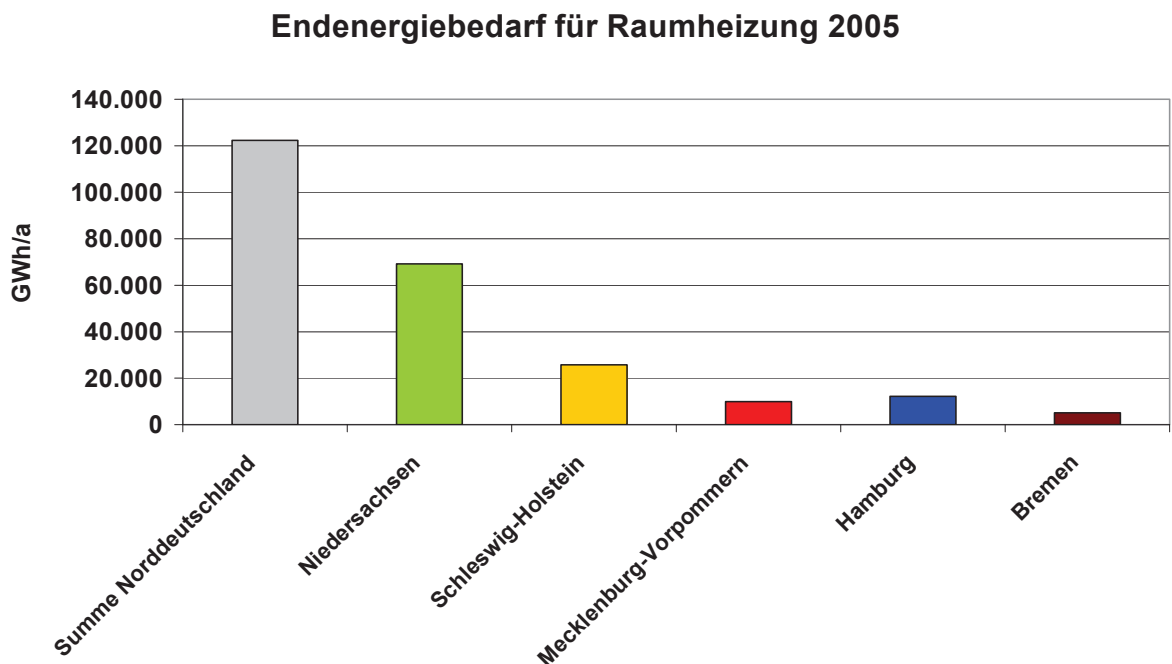
Für die Prognose der Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Brauchwasserbereitung wurde von der in Tabelle 2-1 dargestellten Bevölkerungsentwicklung ausgegangen. Der spezifische Endenergiebedarf pro Person für die Brauchwasserbereitung wurde für den Betrachtungszeitraum als konstant angesetzt.



### 3.1.2 Ergebnisse Endenergiebedarf Raumwärme und Brauchwasserbereitung Privater Haushalte

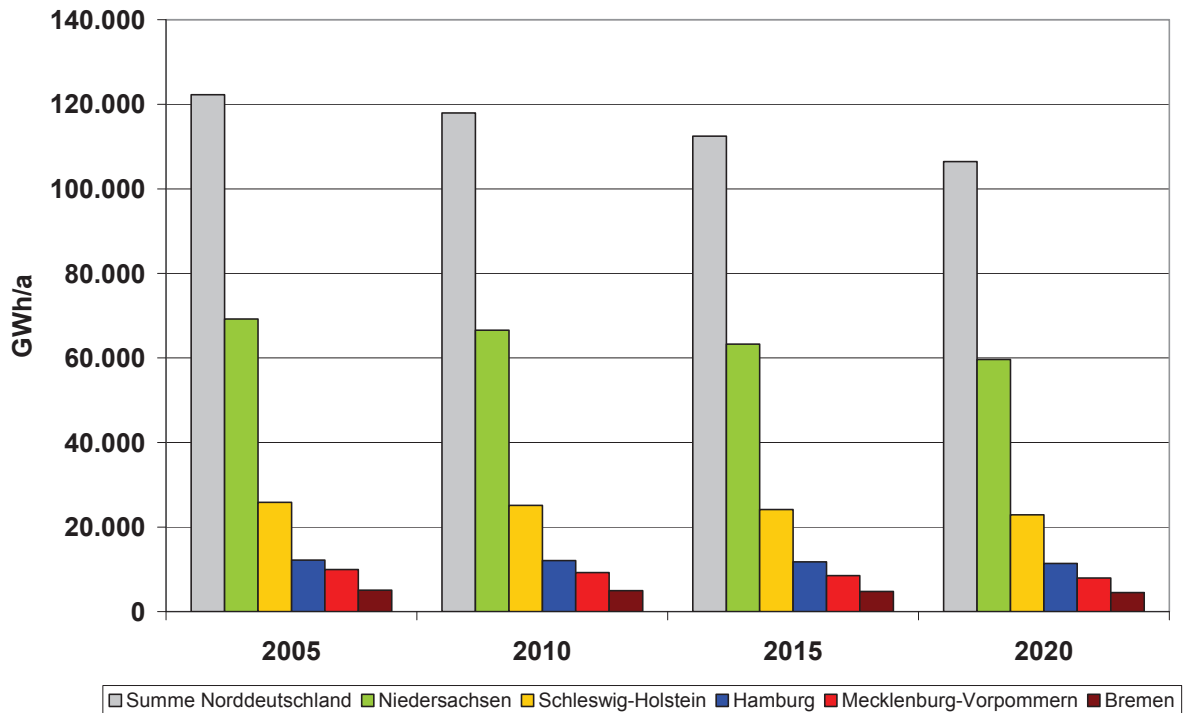
Das Ergebnis für den Endenergiebedarf für Raumheizung im Ist-Zustand (2005) ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

Der Endenergiebedarf für Raumheizung im Untersuchungsgebiet wurde für 2005 auf gut 122.000 GWh geschätzt. Davon entfallen ca. 57% auf Wohngebäude in Niedersachsen, etwa 21% auf solche in Schleswig-Holstein, 8% auf Mecklenburg-Vorpommern, 10% auf Hamburg und nur ca. 4% auf Bremen.



**Abbildung 3-1: Endenergiebedarf für Raumheizung – Ist-Zustand (2005)**

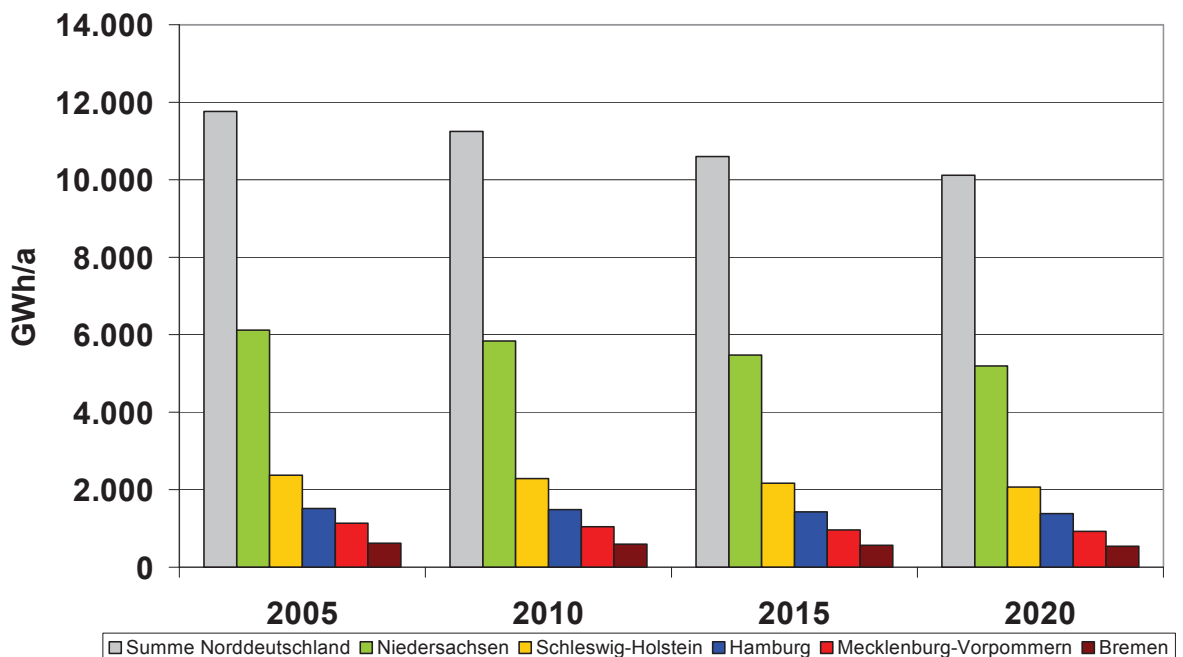
Für die Prognose der Entwicklung des Endenergiebedarfs für Raumheizung in Wohngebäuden wurde - ausgehend vom zuvor ermittelten Endenergieverbrauch - der im 2%-Szenario von [EWI, Prognos, 2007] skizzierte Pfad unter Berücksichtigung der Bevölkerungsentwicklung auf die Bundesländer übertragen. Die Ergebnisse dieser Abschätzung sind für das Untersuchungsgebiet und die fünf Bundesländer in Abbildung 3-2 dargestellt.



**Abbildung 3-2: Endenergiebedarf für Raumheizung – Entwicklung bis 2020**

Der Endenergiebedarf für Raumwärme im gesamten Untersuchungsgebiet nimmt demnach bis 2020 um gut 13% ab im Vergleich zu 2005. Die Entwicklung verläuft aufgrund der etwas unterschiedlichen Gebäudestruktur, insbesondere aber wegen der Unterschiede in der Bevölkerungsentwicklung nicht in allen Bundesländern gleich. Während Bremen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein etwa dem Trend des Gesamtgebietes folgen, fällt die Abnahme in Mecklenburg-Vorpommern aufgrund des stärkeren Bevölkerungsrückgangs mit 20% deutlich größer aus. Hamburg dagegen hat wegen der Zunahme der Bevölkerung nur einen Rückgang von knapp 7% zu verzeichnen.

Für den Endenergiebedarf der Brauchwasserbereitung im Untersuchungsgebiet ergibt sich mit der in Kapitel 3.1.1.2 geschilderten Vorgehensweise die in Abbildung 3-3 dargestellte Entwicklung bis 2020.



**Abbildung 3-3: Entwicklung des Endenergiebedarfs für Brauchwasserbereitung in Norddeutschland bis 2020**

Der Endenergiebedarf für Brauchwasserbereitung im Untersuchungsgebiet wurde für 2005 auf knapp 12.000 GWh abgeschätzt. Bis 2020 wird er um etwa 14% zurückgehen. Dies ist zum einen auf den Rückgang der Bevölkerung zurückzuführen. Zum anderen wird auch eine deutliche Verbesserung des Wirkungsgrades der Brauchwasserbereitung, z.B. durch Erneuerung der Heizungsanlage und verbesserte Wärmedämmung der Speicher erwartet. (siehe Anhang, Tabelle A.3). Den weitaus größten Endenergiebedarf bei der Brauchwasserbereitung weist Niedersachsen als bevölkerungsreichstes Land auf.

Den Einfluss der Bevölkerungsentwicklung auf den Endenergiebedarf für die Brauchwasserbereitung kann man insbesondere durch den Vergleich der Trends für Hamburg und Mecklenburg-Vorpommern erkennen. Bei diesen Ländern ist der Unterschied im Energiebedarf für die Brauchwasserbereitung in 2020 deutlich größer als in 2005. Bedingt ist diese Entwicklung durch die prognostizierte Bevölkerungsabnahme in Mecklenburg-Vorpommern und die gleichzeitige Zunahme der Bevölkerung in Hamburg (siehe Tabelle 2-1).

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die gesamte Wärmebereitstellung – Raumwärme und Brauchwasserbereitung - in privaten Haushalten ist in Abbildung 3-4 zusammengefasst. Der Endenergiebedarf für Wärmebereitstellung in privaten Haushalten geht im gesamten Untersuchungsgebiet demnach von 134.000 GWh um 13,3% auf 116.000 GWh zurück. Wie bereits für die Raumwärme dargestellt, folgen dabei Bremen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein dem Trend im Untersuchungsgebiet. Die Abnahme in Hamburg liegt mit 6,9% deutlich darunter, während der abgeschätzte Rückgang für Mecklenburg-Vorpommern mit 20% erheblich höher ausfällt. Auch hier sind die Unterschiede in der Bevölkerungsentwicklung die wesentliche Ursache für die Unterschiede.

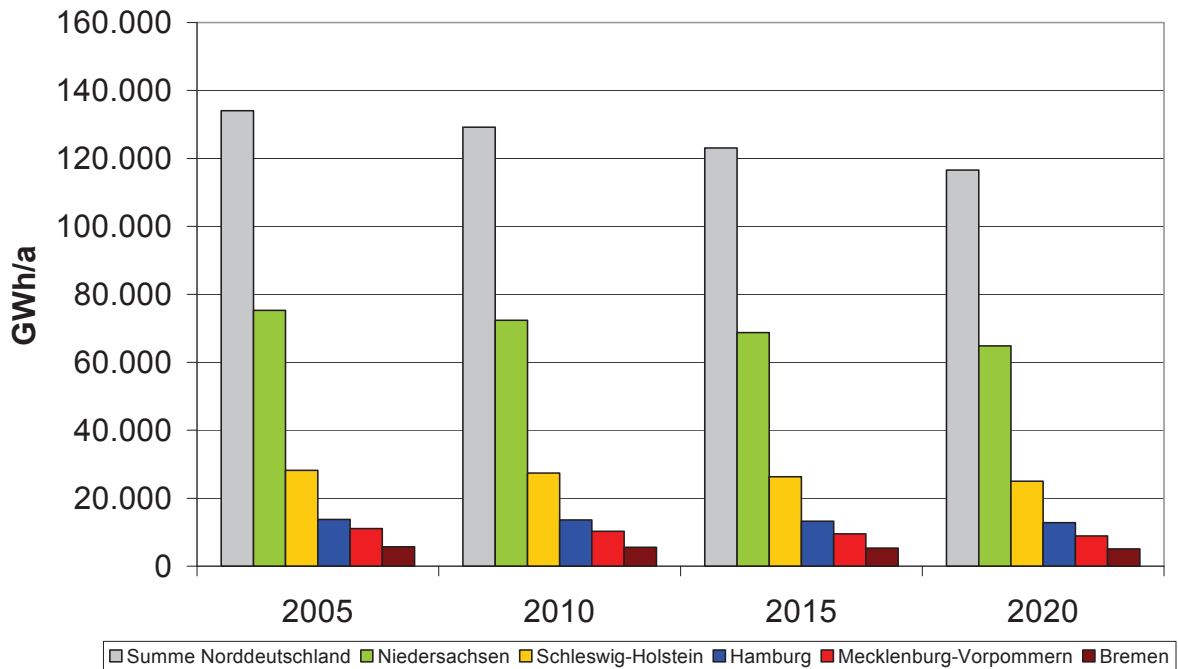


Abbildung 3-4: Endenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung bis 2020

## 3.2 Wärmebedarf Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD)

### 3.2.1 Methodik

Die Berechnung des Endenergieverbrauchs für Wärme erfolgte im Bereich GHD auf Grundlage der Energiebilanzen der fünf Bundesländer. Für Mecklenburg-Vorpommern lag die aktuellste Bilanz von 2005 vor, für die anderen Bundesländer wurde die Bilanz von 2006 verwendet.

In den Energiebilanzen wird der Endenergieverbrauch gesondert nach Brennstoffen ausgewiesen, allerdings wird häufig nur eine Summe für GHD und Haushalte angegeben. Um den Verbrauch auf die Bereiche GHD und Haushalte entsprechend den Gegebenheiten des jeweiligen Bundeslandes aufzuteilen, wurde ein Strukturindikator verwendet.

Der Indikator gibt die Relation zwischen einem Bundesland und Gesamtdeutschland hinsichtlich typischer Strukturen wieder. In diesem Fall wird das Größenverhältnis der Beschäftigten im Bereich GHD zu den Einwohnern eines Bundeslandes in Relation zu dem entsprechenden Verhältnis auf Bundesebene gesetzt.

Unter der Annahme, dass das Größenverhältnis auch für den Endenergieverbrauch im Bereich GHD und in den privaten Haushalten (PHH) auf Bundesebene gilt, kann mit dem Indikator der Endenergieverbrauch auf Bundeslandebene auf die Bereiche GHD und private Haushalte aufgeteilt werden.



$$I_{\text{GHD, Land}} = \frac{\frac{\text{Besch}_{\text{GHD, Land}}}{\text{Einwohner}_{\text{Land}}}}{\frac{\text{Besch}_{\text{GHD, Bund}}}{\text{Einwohner}_{\text{Bund}}}} = \frac{\frac{\text{EE}_{\text{GHD, Land}}}{\text{EE}_{\text{PHH, Land}}}}{\frac{\text{EE}_{\text{GHD, Bund}}}{\text{EE}_{\text{PHH, Bund}}}}$$

mit

- $I_{\text{GHD, Land}}$ : Landesspezifischer Strukturindikator,  
Besch: Anzahl der Beschäftigten,  
EE: Endenergieverbrauch eines Brennstoffs,  
PHH: Private Haushalte.

Die Strukturindikatoren wurden für jede Brennstoffart in den Bundesländern getrennt berechnet. Allerdings wurde der GHD-Anteil am Endenergieverbrauch nur dann mittels Indikator bestimmt, wenn eine Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf GHD und PHH in den Energiebilanzen unvollständig oder gar nicht erfolgt war.

Im nächsten Schritt wurden die über 30 möglichen Brennstoffarten der Energiebilanzen zu sechs Hauptgruppen zusammengefasst:

- Kohle,
- Öl,
- Gas,
- Erneuerbare Energien,
- Strom und
- Fernwärme.

Brennstoffe, die nicht zur Wärmeerzeugung verwendet werden, wie z.B. Kraftstoffe wurden in den weiteren Berechnungen nicht weiter berücksichtigt. Nach Tzschentschler [BWK, 2008] werden Kohle, Öl, Erneuerbare Energien und Fernwärme im Bereich GHD in Deutschland vollständig zur Wärmeerzeugung eingesetzt. Gase werden zu einem vernachlässigbar kleinen Prozentsatz von 0,2% für Beleuchtung eingesetzt und können daher vollständig der Wärmeerzeugung zugerechnet werden.

Deutschlandweit wird im GHD-Sektor 31,3% des Stromverbrauchs für die Erzeugung von Raum- und Prozesswärme verwendet [BWK, 2008]. Außerdem wird Strom, der für die Erzeugung von mechanischer Energie verwendet wird, im Bereich GHD in Deutschland zu 31,5% in Wärme umgewandelt. [BMWi 2008]. Daraus resultiert, dass insgesamt 43,9% des Stromverbrauchs im GHD-Sektor für die Wärmeerzeugung eingesetzt wird.

Um den Endenergiebedarf für Wärme innerhalb des GHD-Sektors auch getrennt nach Wirtschaftszweigen darzustellen, wurde anhand von spezifischen Wärmebedarfswerten von Beschäftigten und der statistisch erfassten Anzahl an Erwerbstätigen innerhalb der verschiedenen Wirtschaftszweige der Wärmebedarf berechnet. Angaben zum spezifischen Wärmebedarf eines Beschäftigten in den betroffenen Wirtschaftszweigen und getrennt nach Energieträgern wurden einer Studie des Fraunhofer Instituts [ISI, 2004] entnommen. Die Plausibilität der Hochrechnung wurde durch einen Abgleich mit den Energiebilanzen der Bundesländer sicher gestellt.

Die Entwicklung des Wärmebedarfs im Bereich GHD bis 2020 wurde auf Grundlage von vorliegenden Szenarien zur Entwicklung von Erwerbstätigenzahlen der betreffenden Wirt-



schaftszweige in Deutschland [EWI/Prognos, 2007] und der dort ebenfalls prognostizierten Steigerung der Strom- und Brennstoffproduktivität abgeschätzt.<sup>7</sup>

### 3.2.2 Ergebnisse Endenergiebedarf Wärme von Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD)

In der Tabelle 3-1 ist der Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich GHD getrennt nach Brennstoffen dargestellt. Der Gesamtendenergieverbrauch der fünf norddeutschen Bundesländer betrug im GHD-Sektor fast 56.000 GWh. Gas war mit fast 25.000 GWh der am häufigsten verwendete Energieträger zur Wärmeerzeugung, sein Anteil am Gesamtendenergieverbrauch betrug ca. 45%. Die Energieträger Öl und Strom wurden mit ungefähr 13.000 GWh bzw. 10.000 GWh zur Wärmeversorgung verwendet; dies entspricht 23% bzw. 18% des Gesamtverbrauchs. Fernwärme war mit 7.000 GWh bzw. 13% am Endenergieverbrauch beteiligt. Der Anteil der Kohle und der Erneuerbaren Energien am Gesamtverbrauch lag jeweils unter 1%.

**Tabelle 3-1: Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich GHD in Norddeutschland (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005)**

	Kohle	Öl	Gas	Erneuerbare	Strom	Fernwärme	Gesamt
	<b>Endenergieverbrauch in GWh</b>						
Bremen	12	668	1.317	1	562	431	2.990
Hamburg	12	1.320	2.944	2	1.431	2.225	7.935
Mecklenburg-Vorpommern	42	1.206	2.473	10	1.056	985	5.773
Niedersachsen	268	7.073	15.170	146	5.340	2.827	30.823
Schleswig-Holstein	23	2.813	3.034	29	1.843	617	8.360
<b>Insgesamt</b>	<b>357</b>	<b>13.080</b>	<b>24.938</b>	<b>187</b>	<b>10.232</b>	<b>7.085</b>	<b>55.880</b>

<sup>7</sup> Bei der Entwicklung der erneuerbaren Energien wurde vorausgesetzt, dass sich die Steigerung der Energieproduktivität mindestens vergleichbar zu anderen Energieträgern entwickelt.



Die Anteile der fünf norddeutschen Bundesländer am Endenergieverbrauch im GHD-Sektor sind in Abbildung 3-5 dargestellt. Mehr als die Hälfte des Energieverbrauchs, d.h. fast 31.000 GWh, fielen in Niedersachsen an, wobei ebenfalls insbesondere Gas zur Wärmeerzeugung genutzt wurde. Die beiden anderen Flächenländer Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein sind mit nur 10% bzw. 15% am Energieverbrauch beteiligt. In den Stadtstaaten Hamburg und Bremen wurden 14% bzw. 5% der Endenergie verbraucht. In allen Bundesländern ist Gas der am häufigsten verwendete Energieträger.

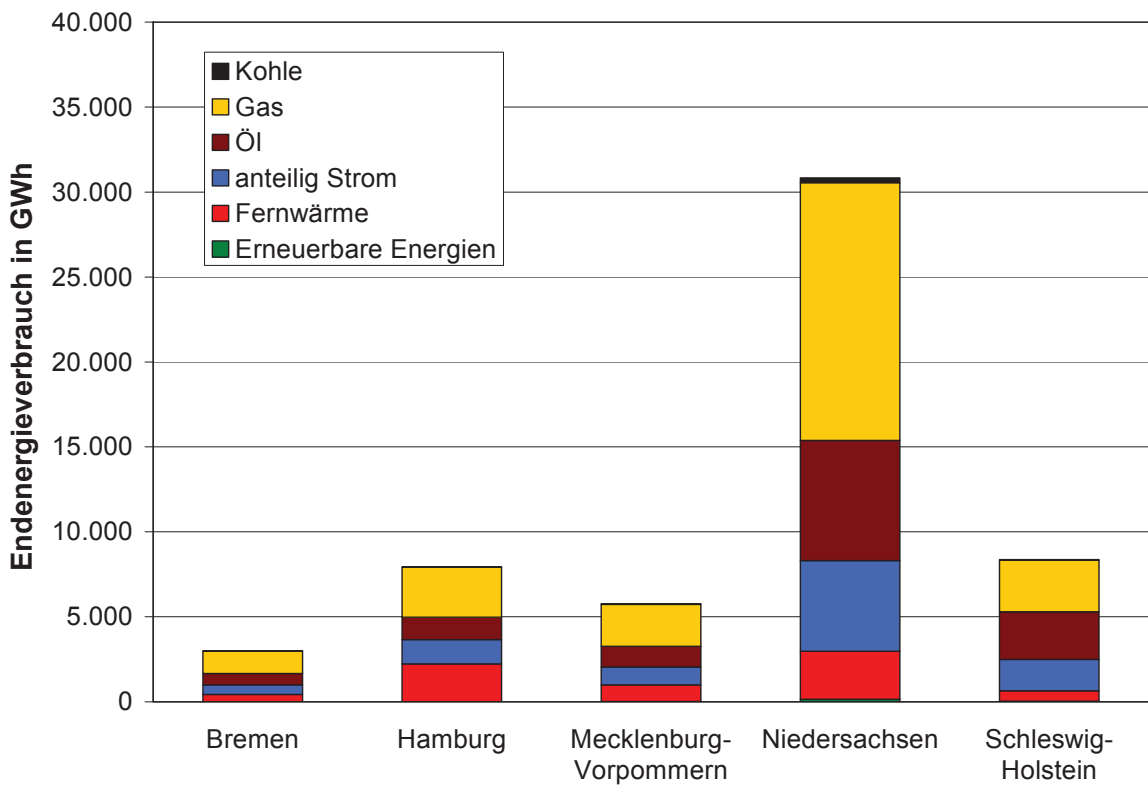
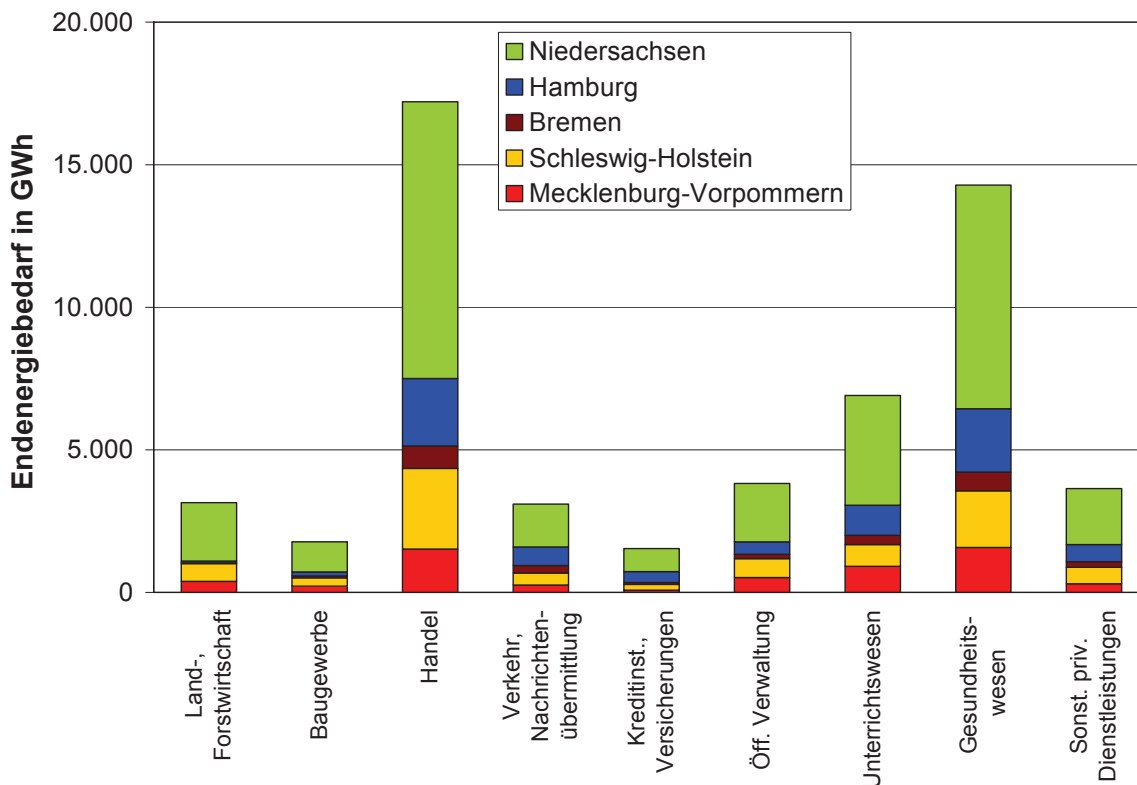


Abbildung 3-5: Endenergieverbrauch im GHD-Sektor nach Bundesländern und Energieträger (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005)



In der Abbildung 3-6 ist der Endenergiebedarf im GHD-Sektor getrennt nach Wirtschaftszweigen dargestellt. Der Bereich Handel weist aufgrund der hohen Anzahl an Erwerbstätigen mit mehr als 17.000 GWh den höchsten Endenergiebedarf auf. Das Gesundheitswesen ist gekennzeichnet durch einen hohen spezifischen Energiebedarf pro Beschäftigtem und weist daher mit mehr als 14.000 GWh den zweithöchsten Energiebedarf aus. Das Unterrichtswesen folgt mit knapp 7.000 GWh. Alle anderen Wirtschaftszweige weisen einen Wärmebedarf von unter 5.000 GWh auf.



**Abbildung 3-6: Endenergiebedarf im GHD-Sektor nach Wirtschaftszweigen (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005)**

Die Ergebnisse der zwei unabhängig voneinander berechneten Entwicklungen des Endenergiebedarfs Wärme im GHD-Sektor sind in Abbildung 3-7 dargestellt. Die roten Säulen repräsentieren die Entwicklung des Endenergiebedarfs in Bezug auf die Veränderung der Beschäftigtenzahlen in den betreffenden Wirtschaftszweigen. Man erkennt, dass sich die Beschäftigtenzahlen bis 2020 nur unwesentlich verändern und den Wärmebedarf insgesamt um nur 2.000 GWh anheben (siehe hierzu auch Tabelle A.4 im Anhang).

Die grauen Säulen zeigen den Rückgang des Endenergiebedarfs auf Grundlage der Steigerungen der Strom- und Brennstoffproduktivität ([EWI/Prognos, 2007], 2%-Szenario) unter Berücksichtigung der Entwicklung der Beschäftigtenzahlen. Demnach sinkt der Endenergiebedarf im GHD-Sektor zwischen 2005 und 2020 von rund 56.000 GWh auf 37.000 GWh ab. Maßgeblich verantwortlich hierfür sind hochwertige Sanierungen im Gebäudebestand, die zu einer Reduzierung des Energiebedarfs für die Erzeugung von Raumwärme um 28% führen [EWI/Prognos, 2007].

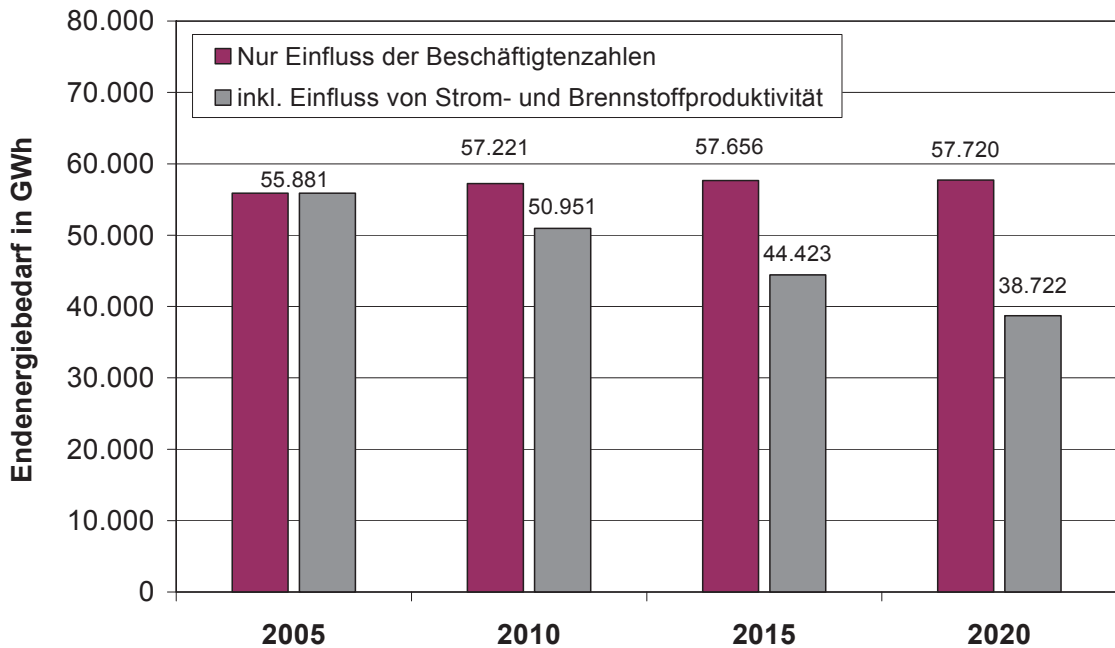


Abbildung 3-7: Entwicklung des Endenergiebedarfs für Wärme im Bereich GHD bis 2020

### 3.3 Wärmebedarf Industrie

#### 3.3.1 Methodik Industrie

Der Endenergieverbrauch in der Industrie (Produzierendes Gewerbe und Bergbau) in Norddeutschland wurde getrennt nach Wirtschaftszweigen den Energiebilanzen der fünf Bundesländer entnommen [Hamburg, 2008a], [MWAT MV, 2007], [MWWV SH, 2006], [Nds. Umwelt, 2008], [StaLa HB, 2009b]. Die einzelnen Brennstoffarten der Energiebilanzen wurden analog zum Vorgehen des Kapitels GHD zusammengefasst.

Nach Tzscheutschler [BWK, 2008] werden im Industrie-Sektor in Deutschland Kohle, Erneuerbare Energien und Fernwärme vollständig zur Wärmeerzeugung eingesetzt. Gas und Öl werden nur zu einem unbedeutenden Prozentsatz von 0,5% für mechanische Energien eingesetzt. Sie werden daher vollständig der Wärmeerzeugung zugerechnet.

Zur Erzeugung von Raum- und Prozesswärme wird anteilig auch Strom verwendet; der Anteil am Gesamtstromverbrauch beträgt in Deutschland im Bereich Industrie 27,5% [BWK, 2008]. Hinzu kommt der Wärmeanteil an der mechanischen Energie, der im Bereich Industrie in Deutschland mit 2,4% angegeben wird [BMW, 2008]. Daraus errechnet sich ein Anteil von 29% am Gesamtstromverbrauch der Industrie, der zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird.

Die Entwicklung des Wärmebedarfs im Industrie-Sektor in Norddeutschland bis 2020 wurde auf Grundlage von vorliegenden Energieszenarien zur Bruttowertschöpfung in Deutschland abgeschätzt [EWI/Prognos, 2007]. Angaben zur spezifischen Entwicklung der Industrieproduktion in den fünf norddeutschen Bundesländern liegen nicht vor. Um die



Einflüsse der aktuellen Wirtschaftskrise zu berücksichtigen, wurden Annahmen zu den möglichen Auswirkungen getroffen. Das BEI geht von einer Parallelentwicklung zu den bislang veröffentlichten Prognosen aus [BEI, 2009]. Dabei fällt, wie in Abbildung 2-2 dargestellt, das Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Jahr 2009 auf das Niveau von 2005 ab, stagniert dort bis 2010 und steigt danach mit den vor der Wirtschaftskrise prognostizierten Wachstumsraten wieder an. D.h., dass ab 2010 eine Parallelentwicklung zur ursprünglichen Prognose erfolgt, aber auf niedrigerem Niveau.

Neben den Auswirkungen der Wirtschaftsentwicklung wurde eine Steigerung der Energieproduktivität um jährlich 2% [EWI/Prognos, 2007] bei der Berechnung des Endenergiebedarfs im Bereich Industrie bis 2020 berücksichtigt.

### 3.3.2 Ergebnisse Industrie

In der Tabelle 3-2 ist der Endenergieverbrauch für Wärme getrennt nach Brennstoffen in den Jahren 2005 bzw. 2006 dargestellt. Die Angaben beziehen sich auf den Energieverbrauch der Industrie in den fünf norddeutschen Bundesländern.

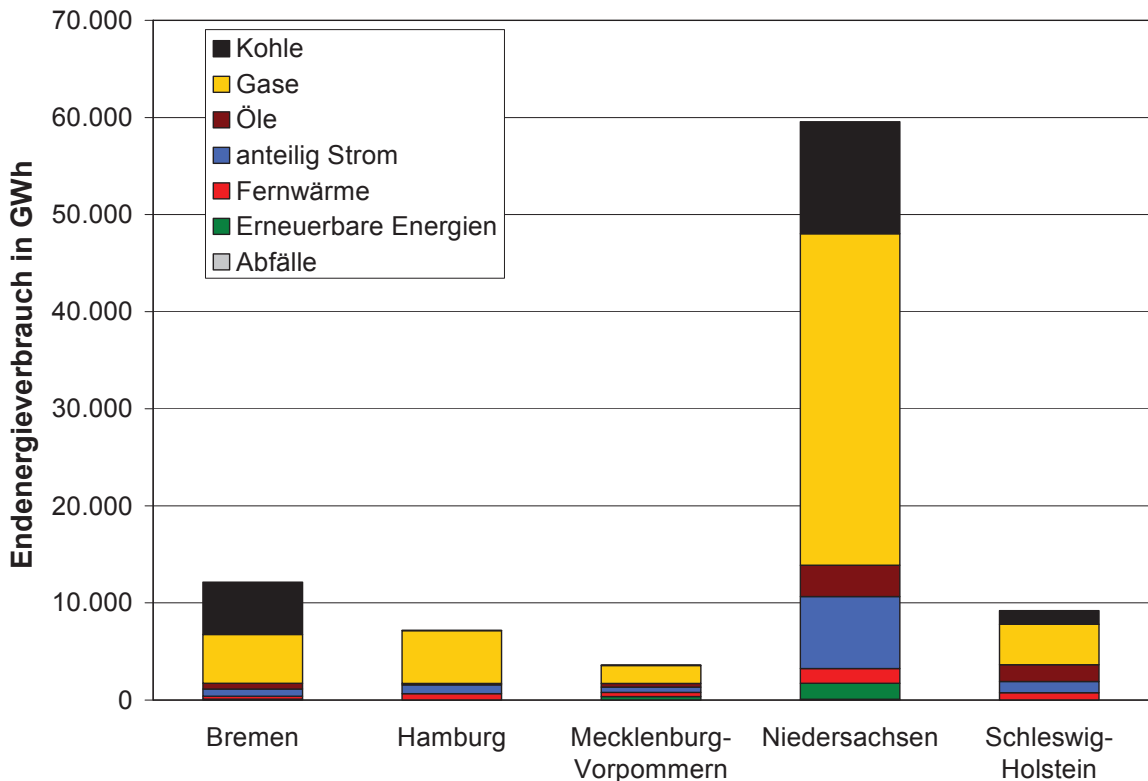
**Tabelle 3-2: Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich Industrie nach Brennstoffen (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005)**

	Kohle	Öl	Gas	Erneuerbare	Strom	Fernwärme	Abfälle	Gesamt
	<b>Endenergieverbrauch in GWh</b>							
Bremen	5.394	602	5.016	0,3	721	308	94	<b>12.135</b>
Hamburg	42	147	5.438	-	908	648	-	<b>7.183</b>
Mecklenburg-Vorpommern	66	375	1.838	356	536	440	-	<b>3.610</b>
Niedersachsen	11.531	3.225	34.156	1.656	7.416	1.511	71	<b>59.564</b>
Schleswig-Holstein	1.391	1.749	4.154	-	1.145	753	-	<b>9.193</b>
<b>Insgesamt</b>	<b>18.423</b>	<b>6.097</b>	<b>50.602</b>	<b>2.012</b>	<b>10.726</b>	<b>3.659</b>	<b>166</b>	<b>91.685</b>

Der Gesamtendenergieverbrauch für Wärme betrug im Industrie-Sektor knapp 92.000 GWh. Gas ist mit einem Anteil von 55% bzw. etwas mehr als 50.000 GWh wie auch im Bereich GHD der am stärksten eingesetzte Energieträger. Im Unterschied zum GHD-Sektor, in dem Kohle so gut wie gar nicht zur Wärmeerzeugung eingesetzt wurde, wurden in der Industrie rund 20% des Wärmebedarfs bzw. mehr als 18.000 GWh durch Kohle gedeckt. Strom war mit knapp 11.000 GWh zu rund 12% und Öl mit 6.000 GWh zu 7% an der Wärmeerzeugung beteiligt. Die restlichen Energieträger deckten insgesamt rund 6% des Gesamtendenergieverbrauchs, wobei Fernwärme mit knapp 4% den größten Anteil hatte.



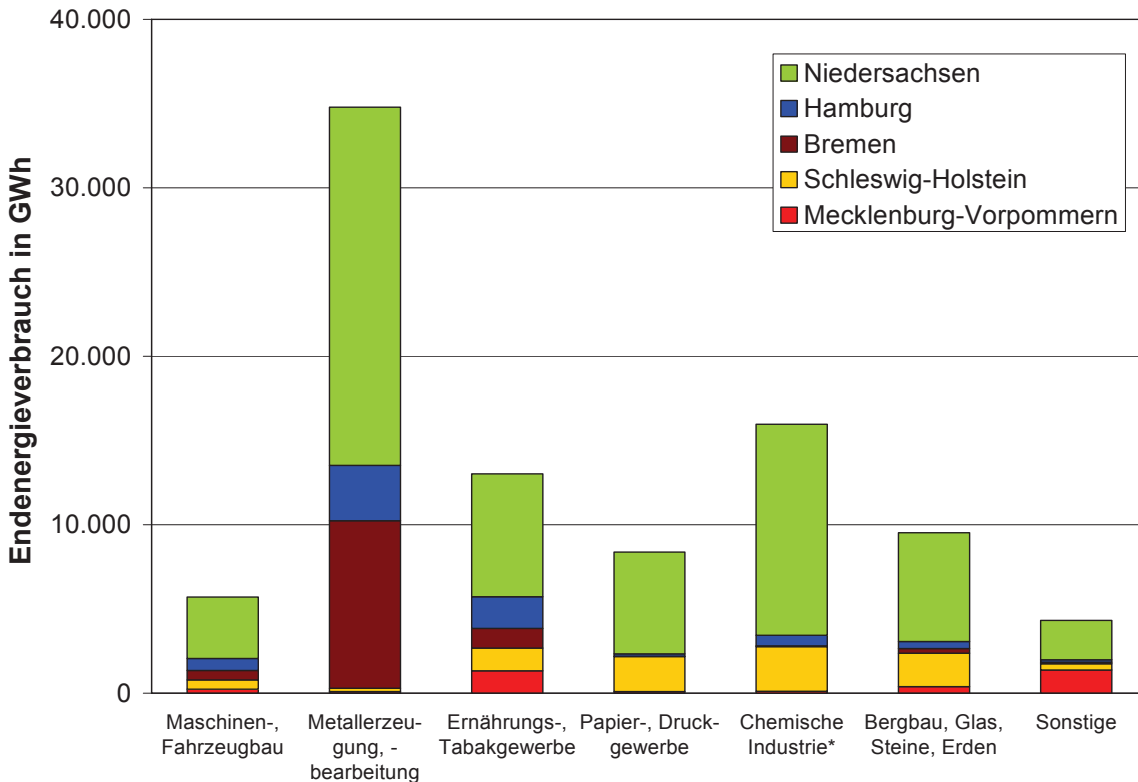
Die Anteile der fünf norddeutschen Bundesländer am Gesamtendenergieverbrauch der Industrie zeigt die Abbildung 3-8. Wie auch im Sektor GHD ist Niedersachsen das Bundesland mit dem höchsten Energieverbrauch. Knapp 60.000 GWh Wärme wurden hier verbraucht, dies entspricht einem Anteil von 65% am Gesamtenergieverbrauch des Sektors. Der Stadtstaat Bremen ist aufgrund der dort ansässigen Stahlindustrie mit mehr als 12.000 GWh der zweitgrößte Energiekonsument im Industriesektor.



**Abbildung 3-8: Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich Industrie nach Brennstoffen (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005)**

Die Aufschlüsselung des Endenergieverbrauchs nach Wirtschaftszweigen innerhalb der Industrie ist in Abbildung 3-9 dargestellt. Man erkennt, dass die Branche Metallerzeugung und -bearbeitung mit knapp 35.000 GWh der größte Energieverbraucher ist. Insbesondere in Niedersachsen und Bremen ist diese Branche durch die Stahlerzeugung und die Zulieferbetriebe für den Automobilbau gekennzeichnet. Die Chemische Industrie<sup>8</sup> stellt mit ungefähr 16.000 GWh den zweitgrößten Energieverbraucher dar. Darauf folgen das Ernährungs- und Tabakgewerbe mit ca. 13.000 GWh und der Bergbau inkl. des Glasgewerbes mit fast 10.000 GWh (siehe hierzu auch Tabelle A.5 im Anhang).

<sup>8</sup> hier der Übersichtlichkeit halber mit dem WZ Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren zusammen gefasst



**Abbildung 3-9: Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich Industrie nach Wirtschaftszweigen (HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005)**

Die Ergebnisse der ermittelten Entwicklung des Endenergiebedarfs Wärme im Industrie-Sektor sind in Abbildung 3-10 dargestellt. Die roten Säulen repräsentieren die Entwicklung des Energiebedarfs unter dem Einfluss der Wirtschaftsentwicklung. Der Anstieg des Energieverbrauchs zwischen 2005 und 2008 ist in der Darstellung nicht enthalten.<sup>9</sup> Als Folge der Wirtschaftskrise sinkt der Endenergieverbrauch zwischen 2008 und 2009 auf das Niveau von 2005, stagniert in 2010 bei rund 92.000 GWh und steigt im Anschluss entsprechend der angenommenen Parallelentwicklung auf über 107.000 GWh in 2020 an (siehe hierzu auch Tabelle A.6 im Anhang).

Zusätzlich wurde eine Steigerung der Energieproduktivität bei der Wärmeerzeugung in Höhe von 2% angenommen. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abbildung 3-10 durch die grauen Säulen wieder gegeben. Man erkennt, dass der Endenergiebedarf im Jahr 2010 bei stagnierendem Bruttoinlandsprodukt durch die Umsetzung von Einspar- bzw. Effizienzmaßnahmen zunächst absinkt und danach durch die anziehende Wirtschaftsentwicklung auf 95.000 GWh ansteigt (siehe hierzu auch Tabelle A.7 im Anhang).

<sup>9</sup> siehe hierzu Abbildung 2.1

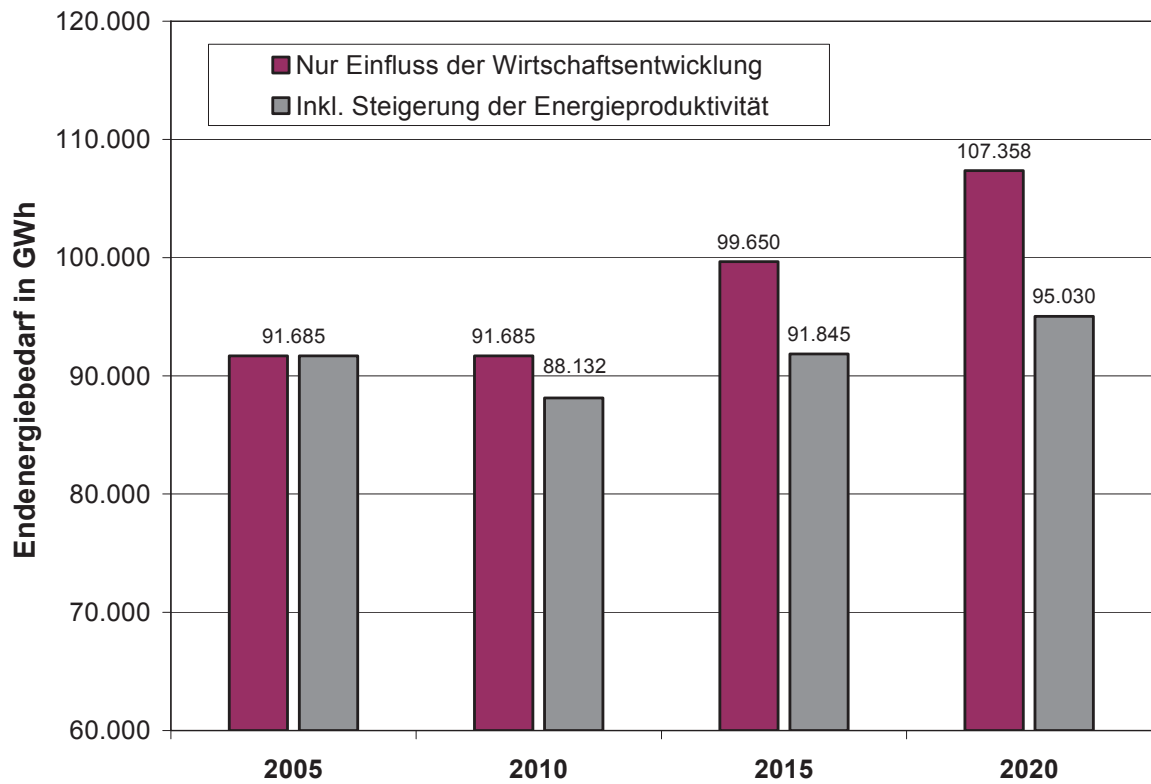
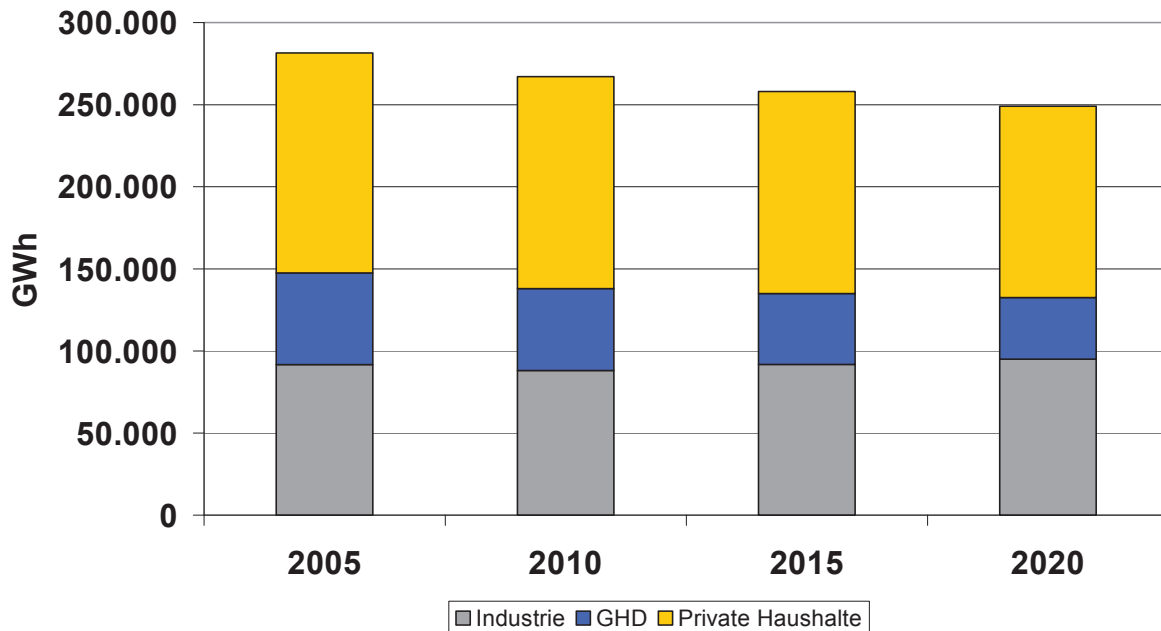


Abbildung 3-10: Entwicklung des Endenergiebedarfs Wärme im Bereich Industrie



### 3.4 Gesamtwärmebedarf im Untersuchungsgebiet

Fasst man die in den vorangegangenen Kapiteln aufgezeigte Entwicklung des Endenergiebedarfs zusammen, ergibt sich der in Abbildung 3-11 gezeigte Trend für den Endenergiebedarf Raumwärme in den fünf betrachteten Bundesländern.



**Abbildung 3-11: Entwicklung des Endenergiebedarfs für Wärme im Untersuchungsgebiet bis 2020**

Insgesamt wird ein Rückgang des Wärmebedarfs erwartet, bis 2020 um 11,5%. Dabei ist erkennbar, dass der Wärmebedarf der beiden Sektoren „Private Haushalte“ und GHD bis 2020 rückläufig sein wird: Bei den Haushalten wird von einer Reduktion um ca. 13% ausgegangen, im GHD-Bereich sogar von einem Rückgang von fast 33%. Maßgeblich für den starken Rückgang im GHD-Bereich sind im Wesentlichen die erwarteten hochwertigen Sanierungen im Gebäudebestand sowie effizientere Heizsysteme. (siehe auch Kapitel 3.2)

Für die Industrie wird dagegen nach einem leichten Rückgang aufgrund der Auswirkungen der Wirtschaftskrise ab 2010 wieder mit einem Anstieg der Produktivität und damit einhergehend mit einem zunehmenden Wärmebedarf gerechnet. Die Zunahme bis 2020 gegenüber 2005 wird auf knapp 4% geschätzt.



## 4 Wärmebereitstellung

### 4.1 Erneuerbare Energien

Für die fünf untersuchten norddeutschen Bundesländer wurde zunächst der Ist-Zustand der Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärmeerzeugung anhand der Energiebilanzen der Länder ermittelt. Auf der Basis dieser Daten wurde unter Zugrundelegung der Ausbaupfade, die in einschlägigen Studien aufgezeigt wurden, eine Prognose für die Entwicklung erneuerbarer Energien in der Wärmebereitstellung erarbeitet. Nicht berücksichtigt ist dabei die Wärme aus erneuerbaren Energieträgern – zumeist Biomasse –, die in Fern- und Nahwärmesystemen genutzt wird. Diese Anteile sind im Endenergieträger „Fernwärme“ enthalten, da sie in Statistiken nicht gesondert ausgewiesen werden. (siehe dazu auch Kapitel 4.2)

#### 4.1.1 Ermittlung des Ist-Zustandes

Der Ist-Zustand wurde auf der Basis der publizierten Energiestatistiken der einzelnen Bundesländer ermittelt. [StaLa HB, 2009b], [Hamburg, 2008a], [MWAT MV, 2007], [Nds. Umwelt, 2008], [MWWV SH, 2006] Die Energiestatistiken beziehen sich zum überwiegenden Teil auf das Jahr 2006; nur im Fall von Mecklenburg-Vorpommern wurden die statistischen Daten für 2005 herangezogen. Lediglich in den Energiebilanzen der Länder Bremen und Niedersachsen findet sich eine für die Studie ausreichende Differenzierung nach unterschiedlichen erneuerbaren Energien. Daher wurden ergänzende Informationen aus [StatLa Nds., 2009], [Stat.La Nord, 2009] herangezogen.

Das Ergebnis für den Ist-Zustand der Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärmebereitstellung in den fünf norddeutschen Bundesländern ist in Abbildung 4-1 dargestellt.

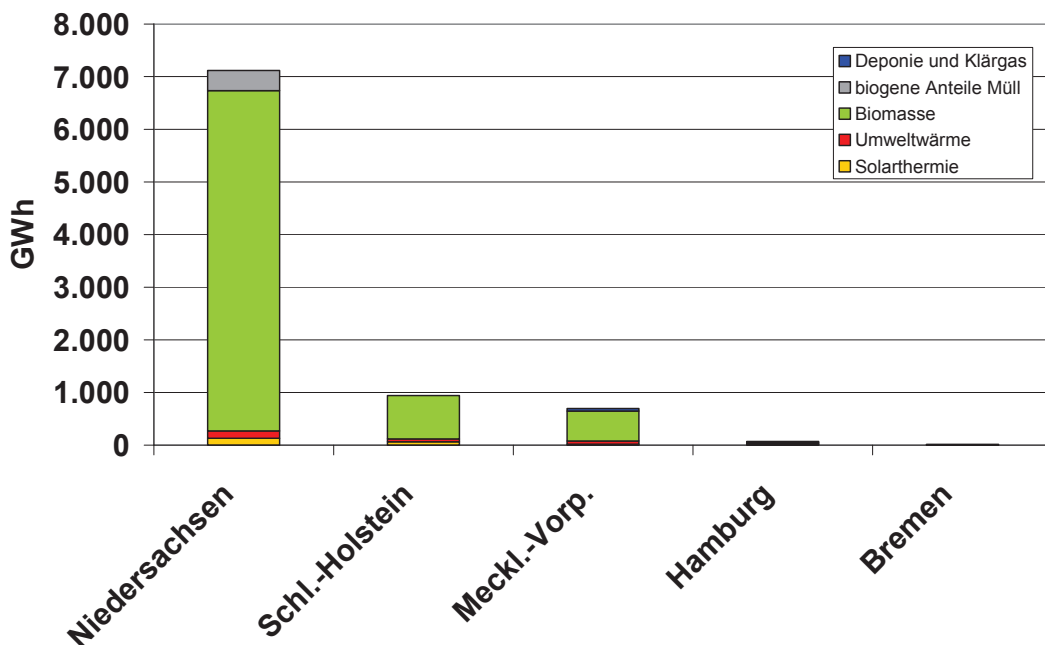


Abbildung 4-1: Ist-Zustand der Nutzung erneuerbarer Energien (2005/2006) zur Wärmebereitstellung in den norddeutschen Bundesländern (Endenergie)



Insgesamt tragen erneuerbare Energieträger heute ca. 8.600 GWh Endenergie zur Wärmebereitstellung bei. Die dominierende erneuerbare Energiequelle ist dabei die Biomasse: im Untersuchungsgebiet liefert sie ca. 90% der erneuerbar erzeugten Wärme. Der Beitrag der erneuerbaren Energieträger zur Endenergie Wärme beläuft sich derzeit in den fünf norddeutschen Bundesländern auf 3% und liegt damit deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von 6,1% im Jahr 2006. [BMU, 2008]

Fast 80% der Wärme aus erneuerbaren Energieträgern entfällt auf Niedersachsen, die Beiträge der anderen Bundesländer sind deutlich geringer: Schleswig-Holstein 11%, Mecklenburg-Vorpommern 8% und Hamburg und Bremen weniger als 1%.

### 4.1.2 Entwicklung erneuerbarer Energien im Wärmebereich

Für die Entwicklung erneuerbarer Energien wurden in den vergangenen Jahren mehrere Studien erstellt, die alle einen deutlichen Ausbau für wahrscheinlich halten, sich jedoch im Umfang des Ausbaus unterscheiden. Besonders zu erwähnen sind hier [Nitsch, 2008], [EWI, Prognos, 2007].

Für die vorliegende Studie wird der in [Nitsch, 2008] dargestellte Ausbaupfad des Leitszenarios 2008 zugrunde gelegt und die dort skizzierte Entwicklung auf die Bundesländer des Untersuchungsgebiets übertragen. Die Studie von [Nitsch, 2008] hatte die Aufgabe zu untersuchen, wie die Treibhausgasemissionen bis 2050 in Deutschland auf rund 20% des Werts von 1990 gesenkt werden können. Berücksichtigt wurden dabei neben den Trendentwicklungen auch die Ziele der Bundesregierung für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Steigerung der Energieproduktivität und der Beitrag der erneuerbaren Energien im Jahr 2020, wie sie in den Beschlüssen der Bundesregierung, den einschlägigen Gesetzen und den Regelungen der EU-Kommission festgelegt sind. Es wurde weiterhin davon ausgegangen, dass an dem gesetzlich festgelegten Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie festgehalten wird.

Die Übertragung dieses Szenarios auf die untersuchten Bundesländer beinhaltet somit die Berücksichtigung

- der energiepolitischen Zielsetzungen der Bundesregierung gemäß dem nationalen Energieeffizienz-Aktionsplan (EEAP) sowie entsprechend dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP),
- der einschlägigen Gesetze und den Regelungen der EU-Kommission.

Die Auswirkungen darüber hinausgehender Programme der einzelnen Länder werden gesondert in Kapitel „Auswirkungen der Maßnahmen der Länder“ dargelegt.

Ausgehend von dem in Abbildung 4-1 dargestellten Ist-Zustand ergibt sich somit die in Abbildung 4-2 vorgestellte Entwicklung der Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energien. Abbildung 4-2 verdeutlicht, dass sich die Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energien bis 2020 mehr als verdoppeln wird. Erneuerbare Energien werden dann rund 7,5% des Endenergiebedarfs für Wärme in den fünf norddeutschen Bundesländern erzeugen.

Die Biomasse wird auch in 2020 mit knapp 70% den größten Anteil an der erneuerbaren Wärmeerzeugung stellen. Ein deutliches Wachstum wird aber auch für die Solarthermie und die Geothermie erwartet. Der Anteil der Solarthermie wird von heute knapp 3% auf gut 8% in 2020 zunehmen. Für die Geothermie ist sogar noch von einem stärkeren Ausbau auszugehen: von derzeit ca. 3% auf über 20% in 2020. Für die Beiträge der anderen



erneuerbaren Energieträger, Deponie- und Klärgas, Klärschlamm sowie biogenen Abfälle wurde angenommen, dass sie in Zukunft nicht stärker genutzt werden als derzeit. Die Entwicklung der Energieträger Solarthermie und Geothermie ist deutlicher in Abbildung 4-3 zu erkennen, in der die Anteile der Biomasse nicht aufgenommen wurden.

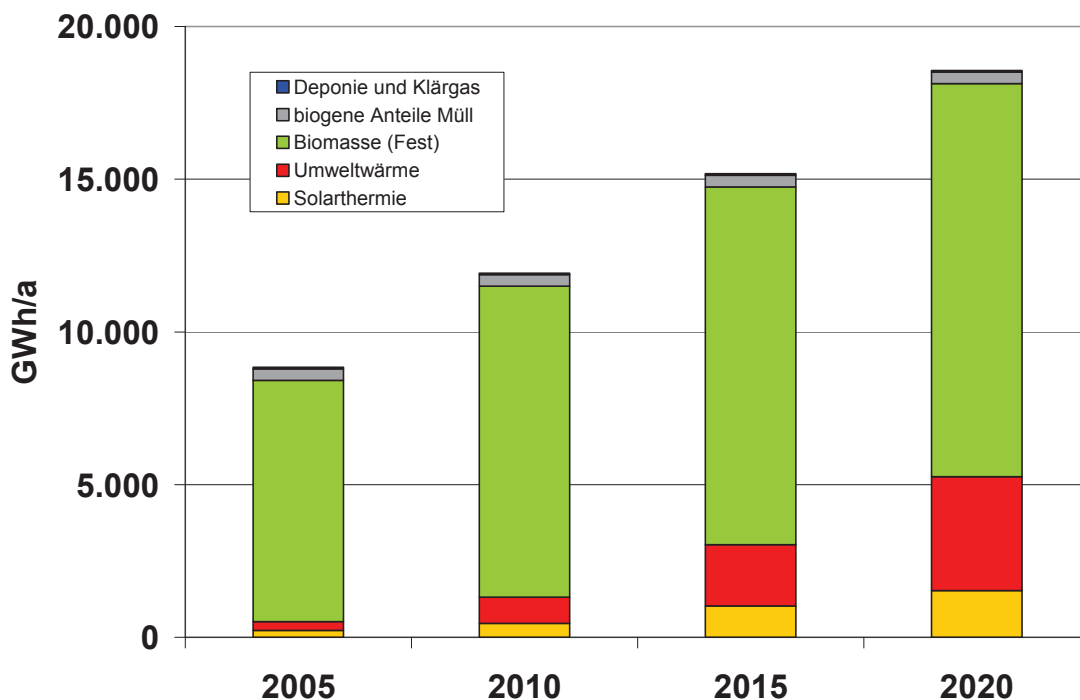


Abbildung 4-2: Entwicklung des Beitrags erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung in den norddeutschen Bundesländern bis 2020 (Endenergie)

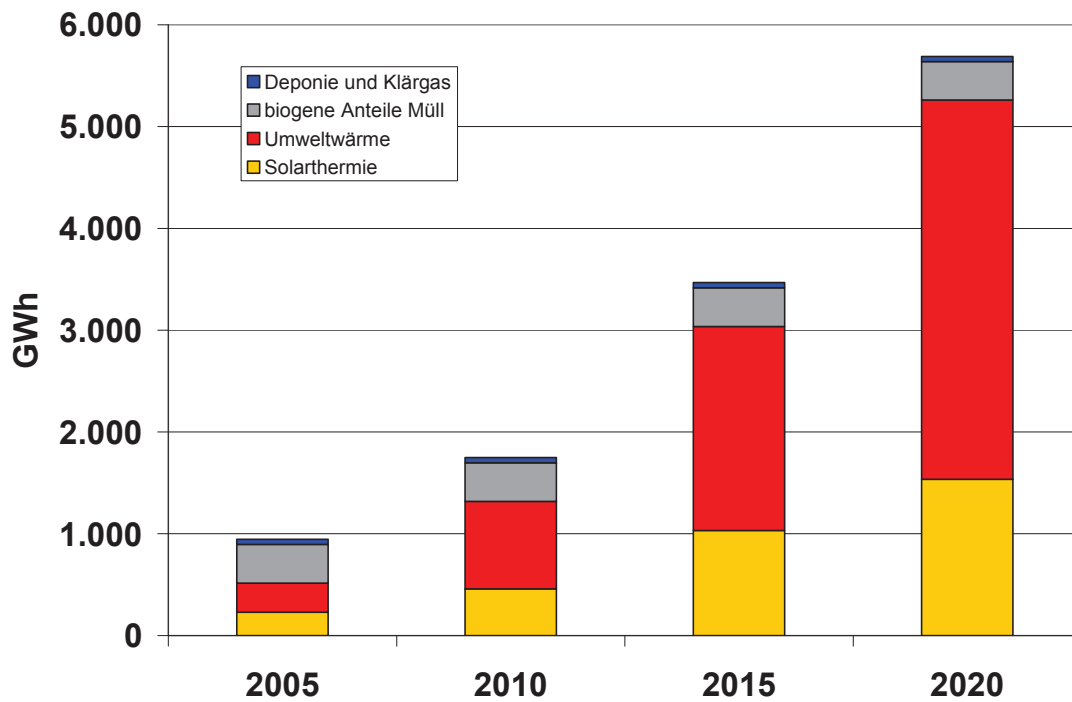
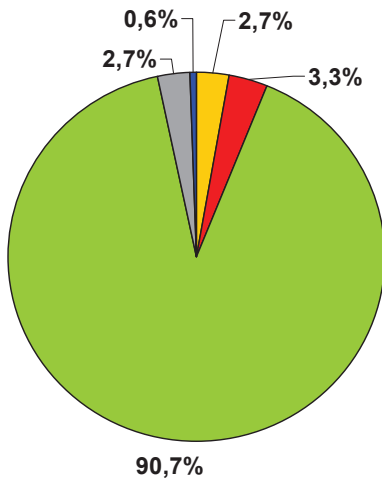


Abbildung 4-3: Entwicklung des Beitrags erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung in den norddeutschen Bundesländern bis 2020 (Endenergie) – ohne Biomasse



Die Veränderung der Anteile der verschiedenen Energieträger an der erneuerbaren Wärmeerzeugung lässt Abbildung 4-4 klar erkennen. War es in 2005 fast nur Biomasse, die zur Wärmeerzeugung eingesetzt wurde, so holen bis 2020 die anderen erneuerbaren Energien deutlich auf.

Anteil Erneuerbarer Energien - 2005



Anteil Erneuerbarer Energien - 2020

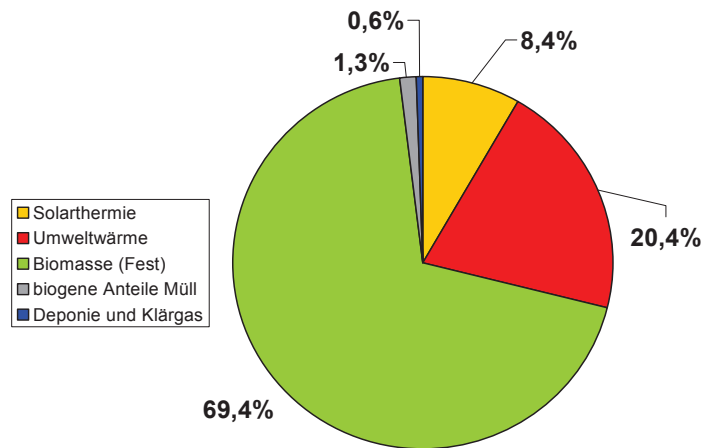


Abbildung 4-4: Anteil der verschiedenen erneuerbaren Energieträger an der Wärmeerzeugung – 2005 und 2020

In den folgenden fünf Abbildungen ist die Entwicklung der erneuerbaren Energieträger Solarthermie, Geothermie (=Umweltwärme) und Biomasse, für die bis 2020 noch eine Zunahme erwartet wird, für die einzelnen Bundesländer dargestellt.

Der Vergleich der Abbildungen 4-5 bis 4-9 zeigt deutlich den unterschiedlichen Beitrag der drei erneuerbaren Energieträger in den Stadt- und Flächenstaaten. In letzteren liefert die Biomasse die größten Beiträge, in den Stadtstaaten Bremen und Hamburg ist der Beitrag der Biomasse nur von untergeordneter Bedeutung. Hier wird die Wärmebereitstellung auf erneuerbarer Basis derzeit und in Zukunft überwiegend durch solarthermische Anlagen und die Nutzung der Geothermie erfolgen.

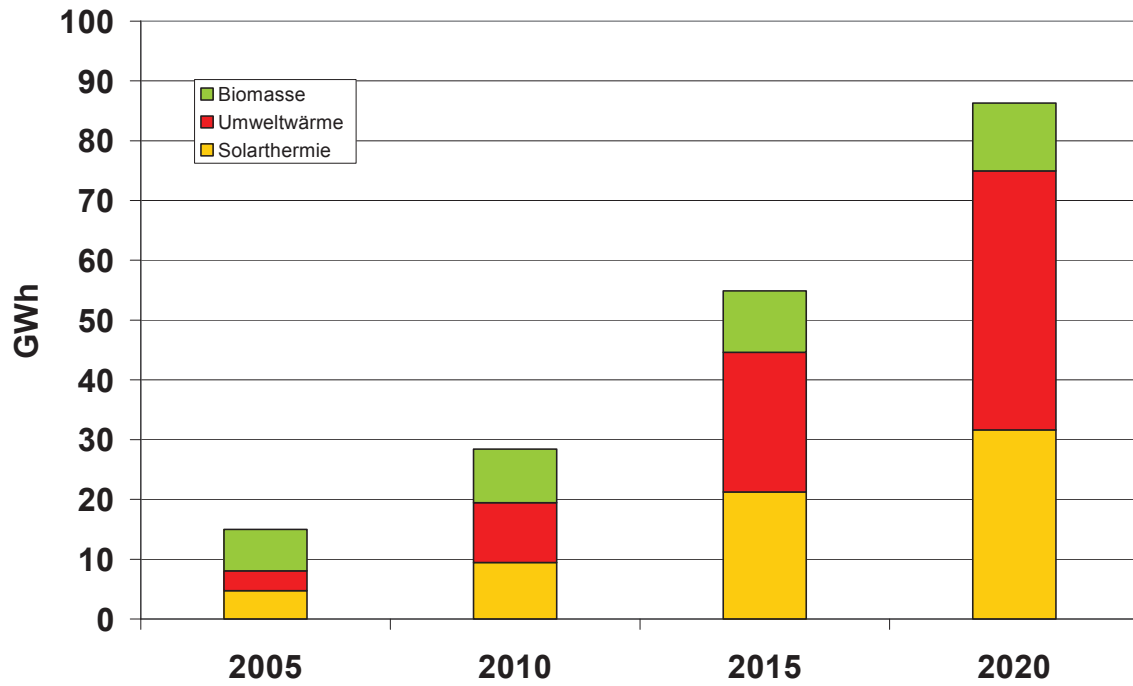


Abbildung 4-5: Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Bremen

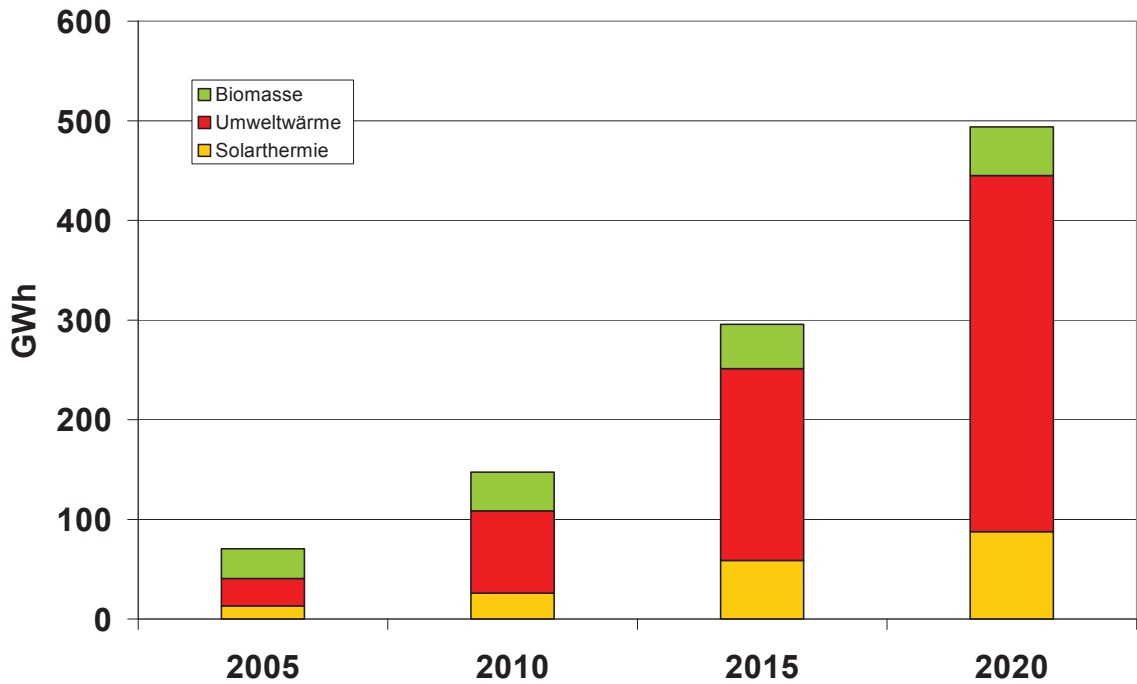


Abbildung 4-6: Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Hamburg

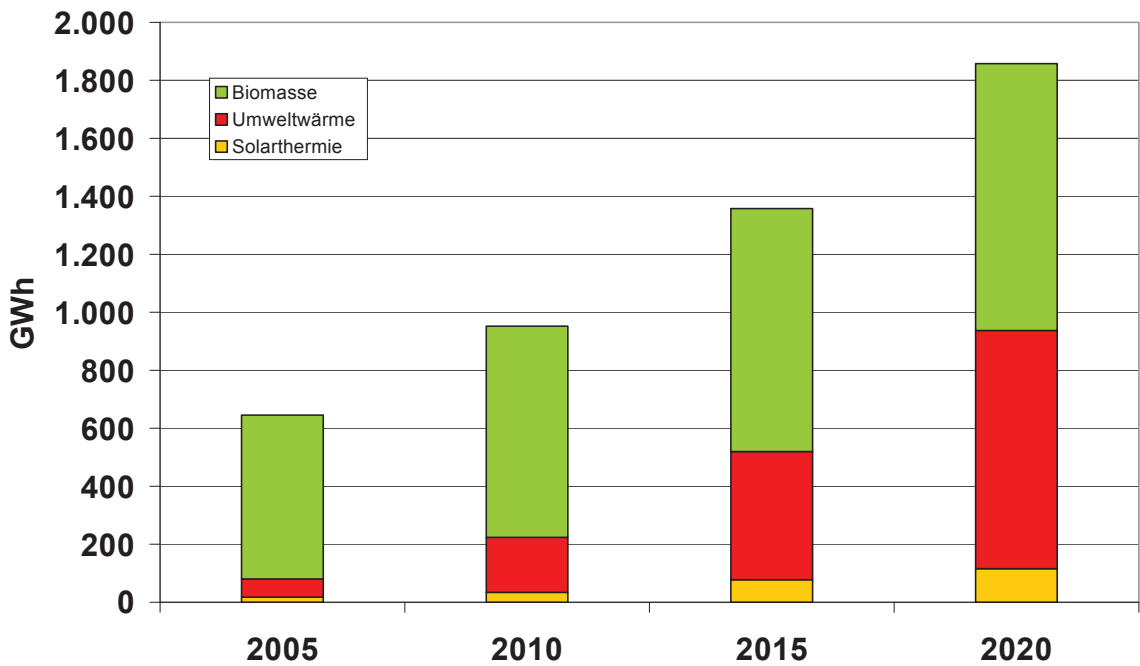


Abbildung 4-7: Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Mecklenburg-Vorpommern

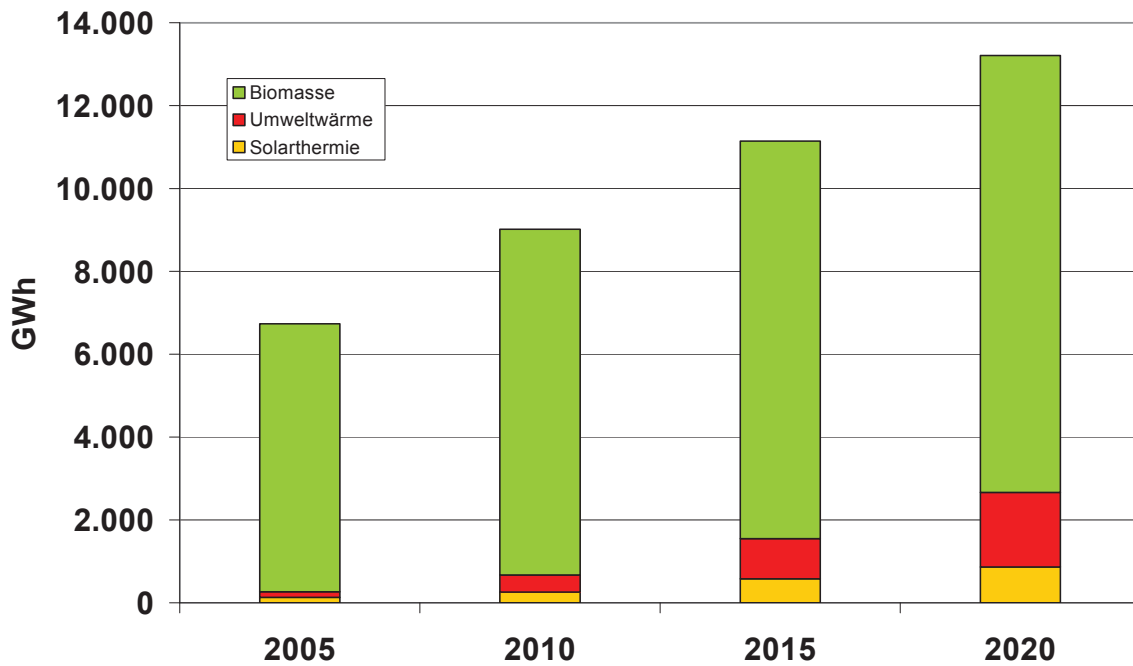


Abbildung 4-8: Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Niedersachsen

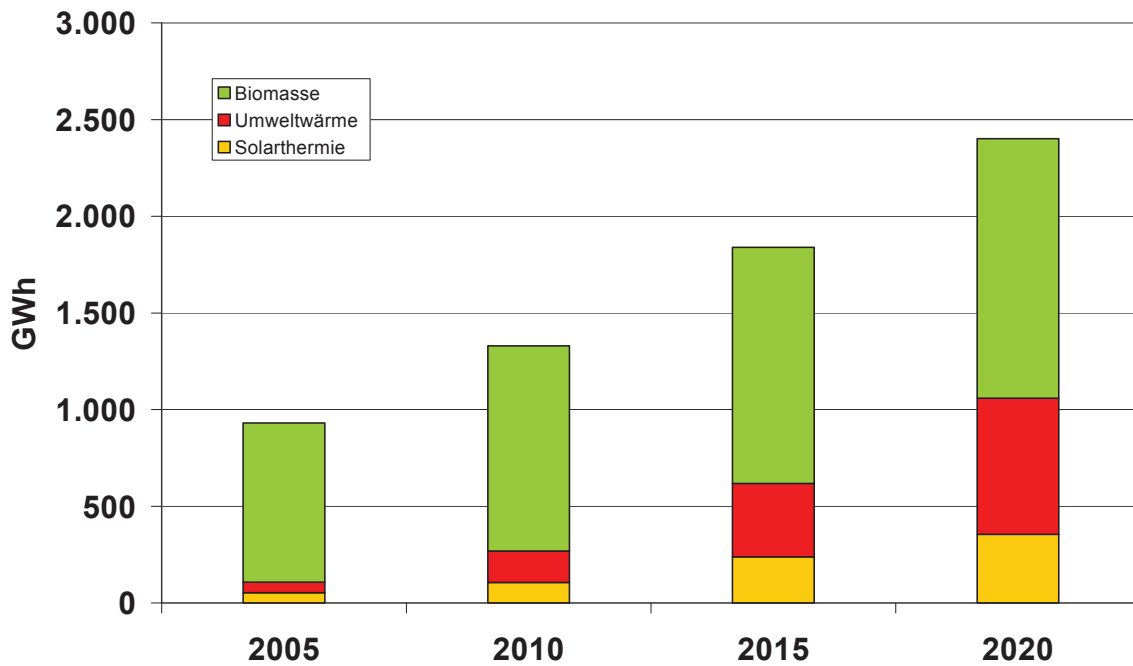


Abbildung 4-9: Entwicklung der Wärmebereitstellung durch Solarthermie, Geothermie und Biomasse in Schleswig-Holstein



## 4.2 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) erzeugen gleichzeitig Strom und Wärme und nutzen damit bis zu 90% der eingesetzten Energie. Durch diese hohe Energieausnutzung werden etwa 34% weniger CO<sub>2</sub> (Kohlendioxid) als bei konventioneller getrennter Bereitstellung von Wärme und Strom emittiert. Die Kraft-Wärme-Kopplung ist somit eine der wirksamsten Maßnahmen zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ein KWK-Ausbau ist eng mit dem Aus- bzw. Neubau von Fernwärme- oder Nahwärmenetzen verbunden; da die Fernwärme in Deutschland zu knapp 85 % aus KWK-Anlagen gespeist wird [AGFW, 2008].

Die folgenden Ausführungen zu den wirtschaftlichen KWK-Potenzialen in Norddeutschland beruhen zunächst auf Grundlagen und Arbeiten, die im Rahmen der Analyse des nationalen KWK-Potenzials angestellt wurden.

Darauf aufbauend wurde im Herbst 2008 für die EnBW AG eine aktualisierte und überarbeitete Betrachtung angestellt [Klobasa, Eikmeier et al., 2008]. Hierbei wurden insbesondere aktuelle Brennstoffpreisszenarien verwendet; die derzeitigen Förderbedingungen der KWK sowie die Marktpreise der KWK-Techniken berücksichtigt sowie die relevanten politischen Zielsetzungen zur Erarbeitung von Szenarien herangezogen. Zudem fanden im Bereich der Industrie detaillierte, branchenbezogene Detailuntersuchungen statt. In [Eikmeier et al., 2006] ist die Vorgehensweise detailliert dargestellt, so dass im Folgenden die Methodik nur zusammenfassend wiedergegeben wird.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse für Norddeutschland beruhen weitgehend auf der letztgenannten Studie, und zwar auf dem Referenzszenario, welches in den relevanten Aspekten (z.B. Wirtschaftsentwicklung, Energieverbräuche) relativ kontinuierliche Entwicklungen unterstellt. Im Rahmen dieses Projektes ist es jedoch nicht möglich, eine entsprechende, sehr aufwändige Untersuchung für das Teilgebiet Norddeutschland und jedes einzelne Bundesland zu wiederholen; dies hätte den Zeit- und Budgetrahmen deutlich gesprengt. Deshalb werden – wie analog bei der Analyse des Strommarktes für Norddeutschland [BEI, 2007] geschehen – die für Deutschland ermittelten Zahlen anhand geeigneter Indikatoren auf Norddeutschland heruntergebrochen. Dies führt zwangsläufig zu Ungenauigkeiten, die umso größer sind, je kleiner das Untersuchungsgebiet ist. Die dargestellten Potenziale stellen daher eine für Norddeutschland insgesamt belastbare Größenordnung dar; sie sollten jedoch nicht als ein exaktes, im Detail validiertes Abbild der lokalen Realitäten der Bundesländer (insbesondere der Stadtstaaten Hamburg und Bremen) fehlinterpretiert werden! Worin die erforderlichen Näherungen im Einzelnen liegen, wird bei der Beschreibung der Vorgehensweise bei den jeweiligen Teilpotenzialen angeführt.

### 4.2.1 Grundsätzliche methodische Vorgehensweise

Ausgangspunkt der Potenzial-Analyse ist der Nutzwärmebedarf. Dieser wird im Rahmen einer „Bottom-up-Vorgehensweise“ zu feingliedrigen Mengengerüsten aufbereitet. Das Basisjahr ist 2005, die Fortschreibung erfolgt in 5-Jahres-Schritten. Darauf aufbauend wurde untersucht, welcher Teil der Wärmenachfrage sich aus rein technologischer Sicht (Temperaturniveau) durch eine KWK-Technik befriedigen lässt. Daraus ergibt sich ein technisches KWK-Potenzial. In einem zweiten Schritt wurde analysiert, welcher Teil dieses Potenzials sich unter verschiedenen Randbedingungen auch wirtschaftlich darstellen lässt.



In der Tabelle 4-1 ist abzulesen, welche Energieträgerpreisentwicklungen in [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] angenommen wurden.

**Tabelle 4-1: Energieträgerpreisentwicklung bis 2040 (in realen Preisen 2005)**

		2010	2020	2030	2040
Öl	\$/bbl Brent	63	66,5	70	73,5
Gas	€/MWh Border Northwest Europe	22,75	24,5	25,55	26,3
Kohle	USD/t cif ARA	63	65	66	66
CO <sub>2</sub>	€/EUA	40	40	40	40
Strom Base	€/MWh (EEX)	64	64	64	64
Strom Peak	€/MWh (EEX)	80	80	80	80

Für die Ableitung der Brennstoffpreise nach Größenklassen werden anlagenspezifische Zuschläge verwendet, die Transport und Verteilungskosten mit berücksichtigen. Die anwenderspezifischen Zuschläge staffeln sich nach Energieträger und Abnahmemengen.

Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen (untersucht in einer Bandbreite von Erdgas-Anlagen zwischen 5,5 kW<sub>el</sub> bis 220 MW<sub>el</sub>) wurde die im Juni 2008 beschlossene Förderung für KWK-Anlagen nach dem KWK-Gesetz eingerechnet. In den Rechnungen wurde außerdem der CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreis sowohl bei der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung als auch für die gekoppelte Erzeugung berücksichtigt.

Aus methodischen Gründen ist es sinnvoll, getrennt nach Anwendungsfeldern Teilpotenziale zu erarbeiten. Die betrachteten Teilpotenziale untergliedern sich vor allem wie folgt:

- leitungsgebundene Wärmeversorgung von Wohngebäuden und dem Bereich GHD - Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (Fernwärme-KWK),
- industrielle KWK,
- KWK für die aufgabenbezogene Objektversorgung in Nichtwohngebäuden.

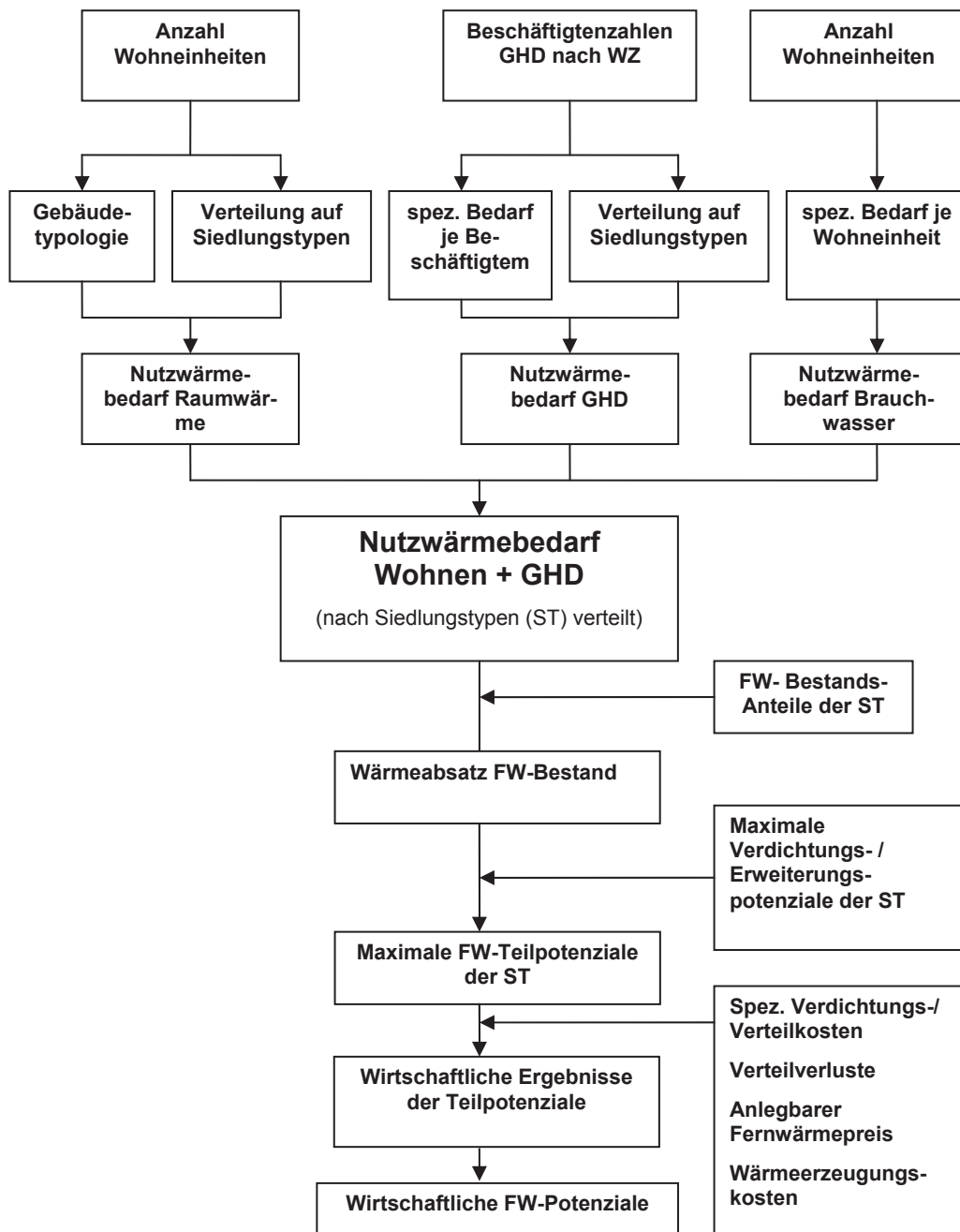
Die Teilpotenziale können sich teilweise überlappen, da beispielsweise eine Objektlösung oder eine Nahwärmelösung den Anschluss an einen Fernwärmeverbund ersetzen kann. Da davon auszugehen ist, dass die Versorgung eines Einzelobjektes oder einer kleinen Wärmeinsel regelmäßig zu höheren Kosten führt als eine Integration dieser Nachfragemenge in ein großes, leitungsgebundenes System, werden Einzelobjektlösungen im Wohnungsbereich nicht separat betrachtet. Aus diesem Grund sind die sich überlappenden Teilmengen in den Fernwärmepotenzialen enthalten – es geht hier vor allem um das richtige Gesamtpotenzial und nicht um die Teilmengen von technischen Einzellösungen. Die Objektversorgung in Nichtwohngebäuden wird getrennt betrachtet, da hier die statistische Datengrundlage erheblich schlechter ist als bei Wohngebäuden, so dass die Bearbeitungsmethodik eine andere ist.

Die ausgewiesenen KWK-Mengen beinhalten jeweils den dazugehörigen Spitzenkessel. Der Anteil an der Arbeit, die auf den Spitzenkessel entfällt, variiert mit den Einsatzbedingungen und liegt zumeist bei rund 15% - 20%.



### 4.2.2 Fernwärme-KWK

Die untersuchten Fernwärme-Potenziale beziehen sich auf den Wohngebäudebestand und den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD), dessen Gebäude regelmäßig im Wohngebäudebestand integriert zu finden sind. In Abbildung 4-10 ist schematisch der Berechnungsablauf zur Ermittlung des Fernwärme-Potenzials mit den wichtigsten der einfließenden Datensätzen dargestellt. Es ist nachfolgend näher erläutert.



GHD: Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

WZ: Wirtschaftszweige

ST: Siedlungstyp

**Abbildung 4-10: Schema des Modells zur Ermittlung der KWK-Fernwärme-potenziale**



Zunächst wird der Nutzwärmebedarf im Bereich Wohngebäude (Raumwärme und Brauchwasser) sowie für den Sektor GHD möglichst feingliedrig erfasst. Die methodische Vorgehensweise wird durch ein auf mehreren Ebenen abgestuftes Verfahren umgesetzt, welches sich in allen Stufen an den strukturellen Gemeinsamkeiten der Elemente orientiert. Die einzelnen Gebäude bzw. Wohneinheiten als kleinste Einheiten des Wärmemarktes werden in der untersten Abbildungsebene erfasst. Die Umrechnung der Wohnungsbestandszahlen in Wärmemengen erfolgt durch Gebäudetypologien, die den Bestand nach 4 Gebäudetypen und 9 bzw. 10 Baualtersklassen auflöst. Dieser „digitale Wärmeatlas“ Deutschlands erfasst auf der untersten Ebene städteweise aufgelöst den jeweiligen Gebäudebestand von 614 Städten (mit mindestens 2.000 Wohnungen in großen Mehrfamilienhäusern bzw. 20.000 Einwohnern). Ab dieser Untergrenze werden die Städte als grundsätzlich fernwärmewürdig eingestuft; da sonst die mindestens erforderlichen Wärmedichten und -mengen nicht erreicht werden. Die aus den Einzeldaten resultierenden Summen für die Zahl der Wohneinheiten, der Wohnflächen sowie der Nutzwärmebedarf werden mit statistischen Angaben für Deutschland für das Jahr 2005 abgeglichen. Die Abbildung des Brauchwasserbedarfs erfolgt über den Ansatz von personen- und wohneinheitsspezifischen Werten.

Städtebaulich ähnliche Städte werden in einer von 10 Stadtkategorien zusammengefasst. Für diese werden Siedlungstypenanteile ermittelt, die dann zur konkreten Verteilung der Wohneinheiten führen. Ein Siedlungstyp repräsentiert dabei eine bestimmte städtebauliche Struktur (z.B. historische Altstadt, Reihenhaussiedlung, Zeilenbebauung) und bringt die dazugehörigen, strukturtypischen Daten in die Rechnung ein (Leitungslängen, Verlegkosten, Verteilverluste etc.). Eine ausführliche Dokumentation hierzu findet sich in [Eikmeier et al., 2004].

Die Fortschreibung des Wohngebäudebestands in [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] erfolgt in 5-Jahres-Schritten bis 2040 und berücksichtigt Leerstände, Abrissquoten und -verteilungen, die Raumordnungsprognose des BBR [BBR, 2008], wodurch Neubauquoten aufgelöst nach Raumordnungsregionen einfließen können, sowie Prognosen zum Haushaltssektor [FFE, 2006]. Der Bestand wächst moderat, durch eine Reduktion der spezifischen Bedarfswerte sinkt der Nutzwärmebedarf von 2005 bis 2020 jedoch um 7,0%.

Der Bereich GHD wird über beschäftigtenspezifische Bedarfswerte entsprechend der Klassifizierung der Wirtschaftszweige (WZ) abgebildet, die dann auf die jeweiligen Beschäftigtenzahlen in den 12 Wirtschaftszweigen in den einzelnen Städten angewendet werden. Eine Fortschreibung von Beschäftigtenzahlen und Bedarfswerten führt zu einer Verringerung des Nutzwärmebedarfes bis 2020 um 4,6%. In der Summe beider Teilmengen ergibt sich eine Reduktion bis 2020 um 6,2%. Diese Datenbasis wird für diese Untersuchung auf die 5 relevanten Bundesländer reduziert.

Für jeden Siedlungstyp konnten anhand der detaillierten Auswertung einer größeren Zahl von Städten einerseits die durchschnittlichen Fernwärmebestandsanteile, andererseits die maximalen Teilpotenziale für eine Verdichtung und Erweiterung der bestehenden Netze ermittelt werden. Die realen Fernwärme-Bestands- und Verdichtungs-/Erweiterungsanteile schwanken in einzelnen Städten natürlich erheblich um den für diese Stadtkategorie ermittelten Durchschnittswert für Deutschland. Je kleiner eine Teilmenge ist, umso größer können die Abweichungen von der Realität einer Stadt oder Stadtgruppe ausfallen, woraus die zum Beginn dieses Abschnittes angeführte Einschränkung resultiert.

Der Fernwärmebestand kann per Definition als wirtschaftliches Potenzial angesehen werden, da er zum Einen sonst nicht bestehen würde und zum Anderen die bereits zum größten Teil abgezahlten Netze zu erheblich geringeren Wärmeverteilungskosten führen als neu verlegte Systeme. Nachrechnungen bestätigen, dass die Bestandsmengen als Potenziale



ausgewiesen würden, wenn sie als derzeit nicht vorhanden in die Modellrechnungen eingehen.

Die Berechnung der wirtschaftlichen Fernwärme-Ausbaupotenziale erfolgt siedlungstypenweise je Stadt nach der Vorgabe, dass die Summe aus den spezifischen Fernwärmeerzeugungskosten und -verteilungskosten maximal so groß sein darf wie der spezifische, anlegbare Fernwärmepreis. Dieser resultiert aus einem Vollkostenvergleich der Beheizung und Warmwasserbereitung mit einer dezentralen Gas-Brennwertanlage. Es handelt sich um denjenigen Wärmepreis, der aus Kundensicht höchstens so hoch liegt wie seine jeweilige Versorgungsalternative. Da es sich bei den (potenziellen) Fernwärmekunden um unterschiedlich große Wärmeabnehmer in der Bandbreite der Gebäudegrößen und Wärmedämmstandards handelt, ergeben sich aus Kundensicht unterschiedlich hohe Vergleichspreise – je größer der Wärmebedarf ist, um so spezifisch niedriger sind seine Eigenherstellungskosten. Für die Potenzialberechnungen ist jedoch ein einheitlich anlegbarer Fernwärmepreis aus Sicht des Fernwärmeversorgers zu ermitteln. Er ergibt sich aus der Überlegung, dem Großteil der potenziellen Verbraucher ein konkurrenzfähiges Angebot machen zu können. Deshalb wird als Vergleichsbasis ein 6-Familienhaus mittleren Wärmedämmstandards im Bestand ausgewählt. Die Berechnung führte für diesen Fall einer dezentralen Eigenlösung zu einem anlegbaren Wärmepreis in Höhe von 64,8 €/MWh.

Als Vergleichsmaßstab kann die Fernwärme-Preisübersicht in Deutschland herangezogen werden [AGFW, 2008]. Als Mischpreise (gewichtet nach Anschlusswert) werden dort für 2008 / 2007 angegeben:

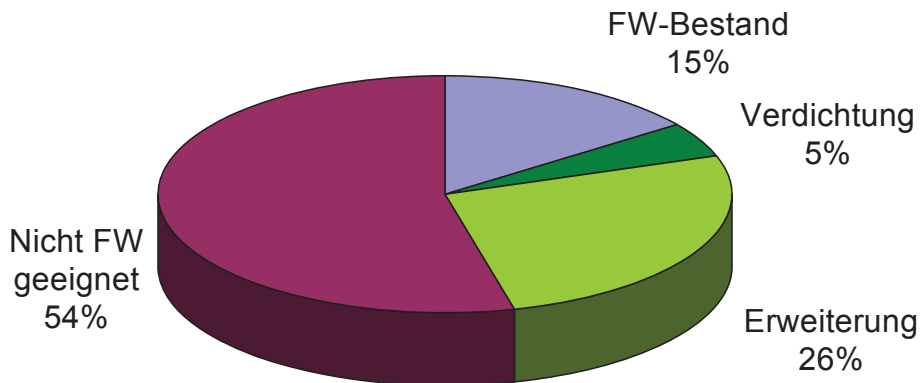
- 71,77 / 61,40 €/MWh für den Abnahmefall 15 kW,
- 69,39 / 59,50 €/MWh für den Abnahmefall 160 kW.

Der Vergleich zeigt also, dass der ermittelte Wert rund 5 €/MWh über dem tatsächlichen Marktpreismittel in 2007 und rund 5 €/MWh unter dem tatsächlichen Marktpreismittel in 2008, welches deutlich höher ist, liegt; also eine derzeit konservative Abschätzung darstellt. Die späteren Ausführungen zu Abbildung 4-12 belegen, dass ein um 5 €/MWh höher oder niedriger angesetzter anlegbarer Wärmepreis die Höhe des als wirtschaftlich berechneten Fernwärmepotenzials nur in sehr geringem Maße beeinflussen würde.

Die berechneten Fernwärme-Potenziale der 5 norddeutschen Bundesländer sind in Tabelle 4-2 zusammengestellt. Vom Zubaupotenzial in Höhe von 25,4 TWh/a entfallen 3,9 TWh/a (15%) auf die Verdichtung der bestehenden Netze, für die verbleibenden 21,5 TWh/a (85%) sind Netzerweiterungen und -neubauten erforderlich. Abbildung 4-11 verdeutlicht die Anteile. Es sei daran erinnert, dass hier und in den folgenden Mengendarstellungen nur die fernwärmewürdigen Städte bilanziert sind und deshalb der Nutzwärmebedarf nicht dem Gesamtbedarf in Norddeutschland entspricht.

**Tabelle 4-2: Fernwärme-Potenziale - Wohngebäude+GHD- in Norddeutschland im Jahr 2005**

	Nutzwärmepotenzial [GWh/a]
FW-Bestand	12.300
Verdichtung	3.900
Erweiterung	21.500
<b>Gesamtpotenzial</b>	<b>37.700</b>
Nicht FW geeignet	44.100



**Abbildung 4-11: Fernwärme-Potenziale in Norddeutschland**

Knapp die Hälfte des Nutzwärmebedarfs stellt ein wirtschaftliches Fernwärme-Potenzial dar. Davon wiederum ist rund ein Drittel Bestand, etwa die doppelte Menge könnte durch einen Zubau (Netzverdichtung und -erweiterung) hinzukommen. Die für eine wirtschaftliche Fernwärmelösung nicht geeigneten Gebiete weisen eine zu geringe Wärmedichte auf, wie sie vor allem in den ländlichen Regionen und den kleinen Städten und Gemeinden auftritt. Da zur Fernwärmeerzeugung stets eine KWK-Anlage eingesetzt werden kann, sind die hier dargestellten FW-Potenziale den KWK-Potenzialen gleichzusetzen. Im Jahr 2007 kam die Fernwärme bereits zu 82% aus Heizkraftwerken (also KWK-Anlagen), zu 17% aus Heizwerken und zu 1% handelt es sich um industrielle Abwärme [AGFW, 2009].

Um aufzuzeigen, welchen Einfluss die angesetzten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen haben, wird die Anforderung an die Wirtschaftlichkeit der KWK schrittweise abgesenkt bzw. angehoben. Die in Abbildung 4-12 jeweils angegebene Differenz zur Ausgangslage entspricht einem höheren/niedrigeren anlegbaren Wärmepreis (die Wirtschaftlichkeitsanforderung für KWK ist dann niedriger/höher; beispielsweise entspricht ein anlegbarer Wärmepreis von 70 €/MWh in der Abbildung einer verringerten Wirtschaftlichkeitsanforderung von rund - 5,0 €/MWh), sie kann aber auch als eine Absenkung/Anhebung der angesetzten KWK-Erzeugungs- oder Wärmeverteilungskosten angesehen werden (die Wirtschaftlichkeitsanforderung für KWK ist dann niedriger/höher).

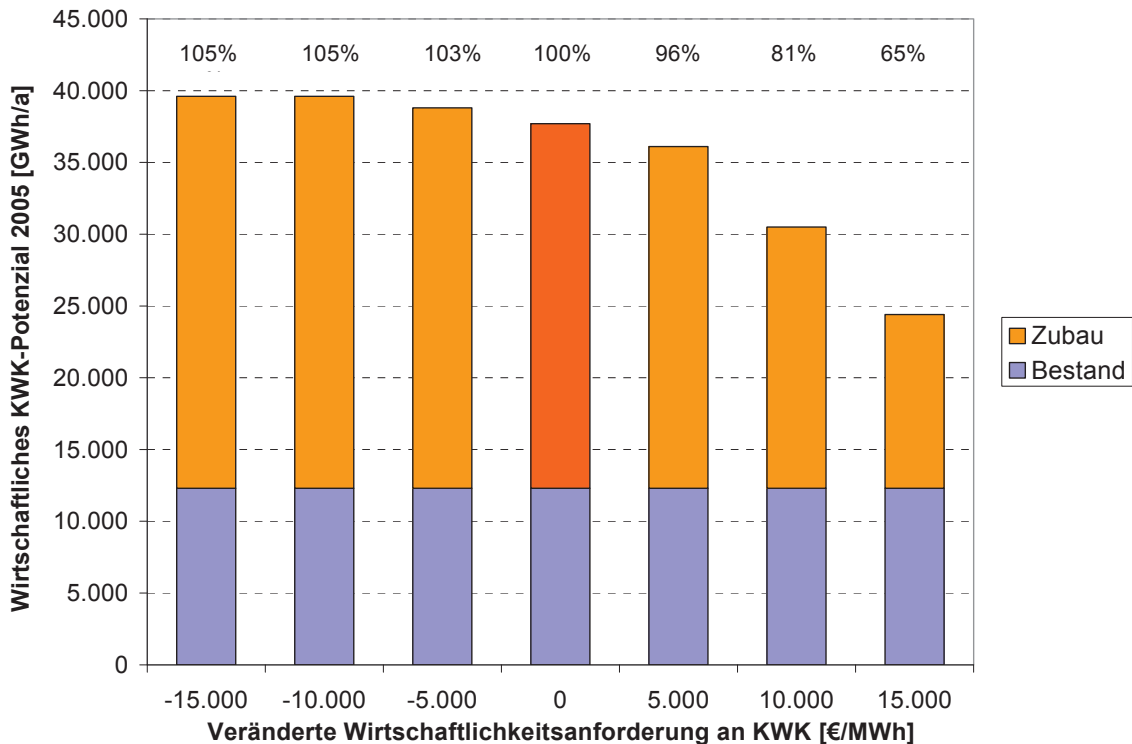


Abbildung 4-12: Sensitivität des wirtschaftlichen KWK-Potenzials

Wird eine „normale“ Variation in einer Bandbreite von +/- 5 €/MWh gerechnet, so ergeben sich Ergebnisverschiebungen von lediglich + 3% / - 4%; die ausgewiesene Potenzialmenge (Nutzwärme) erweist sich also als sehr robust. Wird die Wirtschaftlichkeitsanforderung an die KWK noch weiter abgesenkt, so steigt das Potenzial nur noch sehr geringfügig an. Anders sieht es aus, wenn noch höhere Anforderungen gestellt werden: das KWK-Potenzial sinkt deutlich ab. Dies verdeutlicht, dass die Potenzialmenge nicht direkt proportional an einen anlegbaren Wärmepreis gekoppelt ist. Der Grund dafür liegt in dem Umstand, dass auf die Siedlungstypen und die jeweiligen Verdichtungs- und Erweiterungspotenziale unterschiedlich hohe Teilmengen der Nutzwärmenachfrage entfallen. Die Wirtschaftlichkeit dieser Teilmengen wird zu unterschiedlichen Zeitpunkten erreicht, so dass sich bei einer kumulierten Darstellung eine Treppenkurve mit unterschiedlich hohen Stufenabständen und -höhen ergibt.

Aufgeteilt auf die Bundesländer ergibt sich eine Differenzierung gemäß Abbildung 4-13. Niedersachsen repräsentiert aufgrund der Größe des Bundeslandes auch die größten Fernwärme-Potenziale, während in Mecklenburg-Vorpommern ein erheblicher Teil des Potenzials bereits ausgeschöpft ist. An dieser Stelle sei aber ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die durch die Anwendung des Repräsentanzprinzips unvermeidlichen Ungenauigkeiten deutlich ansteigen und dies umso mehr, je kleiner die Betrachtungseinheit ist. Ein gutes Beispiel dafür ist Hamburg, wie ein Vergleich mit den Status-quo Werten in Abschnitt 6.1.1 zeigt: Der über die hier angestellte Näherung errechnete Bestandswert fällt deutlich niedriger aus als der Bestandswert. Um belastbaren Einzelergebnissen für kleinere Betrachtungseinheiten - einzelne Bundesländer, Landkreise oder sogar Städte - zu erhalten, müssten deshalb lokale Einzelbetrachtungen angestellt werden.

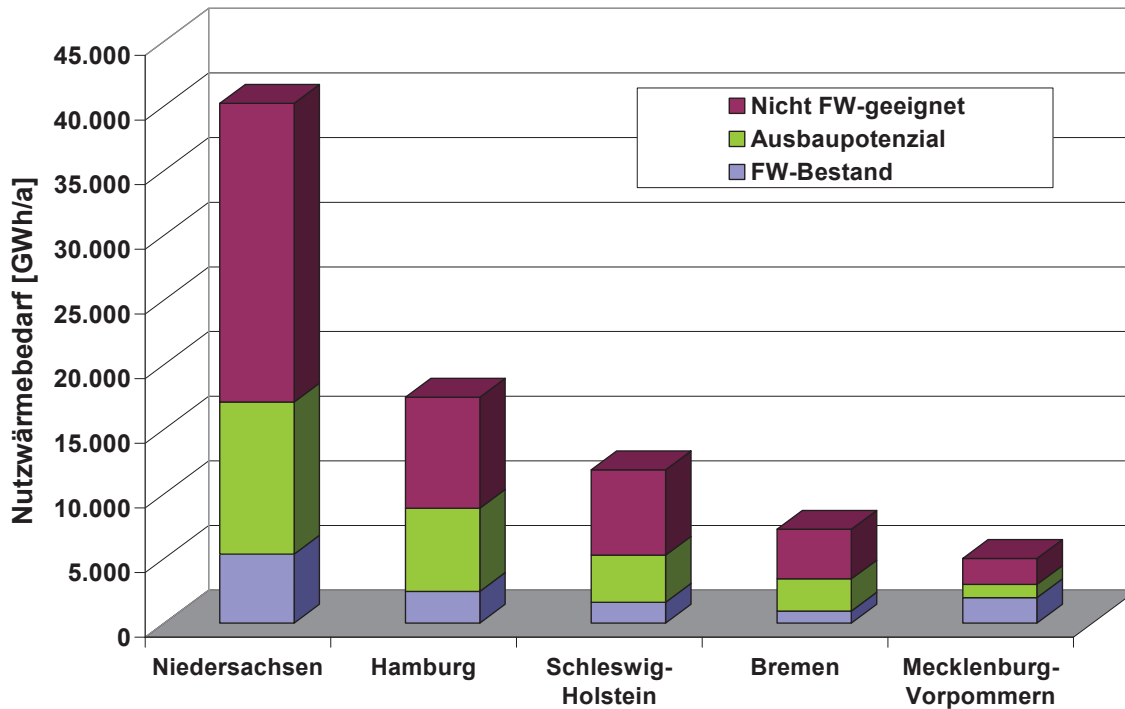


Abbildung 4-13: Fernwärme-Potenziale nach Bundesländern

Abbildung 4-14 zeigt, wie sich die FW-Ausbaupotenziale (durch Netzverdichtung und -ausbau) auf die fünf norddeutschen Länder rechnerisch verteilen. Erwartungsgemäß gibt es die größten Potenziale in Niedersachsen. Da in den Neuen Bundesländern traditionell ein viel höherer Bestandsanteil zu verzeichnen ist, fällt das Ausbaupotenzial hier deutlich geringer aus als in den vier anderen Bundesländern, in denen das Ausbaupotenzial den Bestandswert jeweils übersteigt.

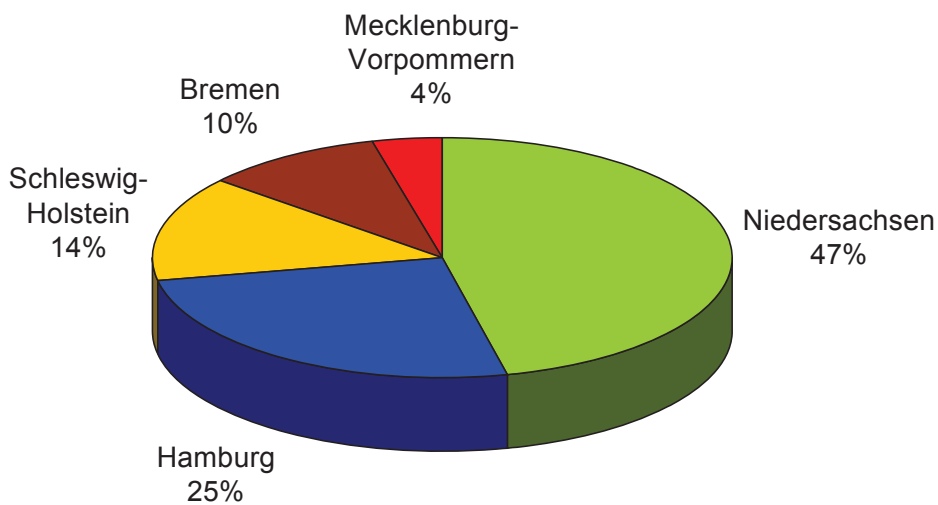
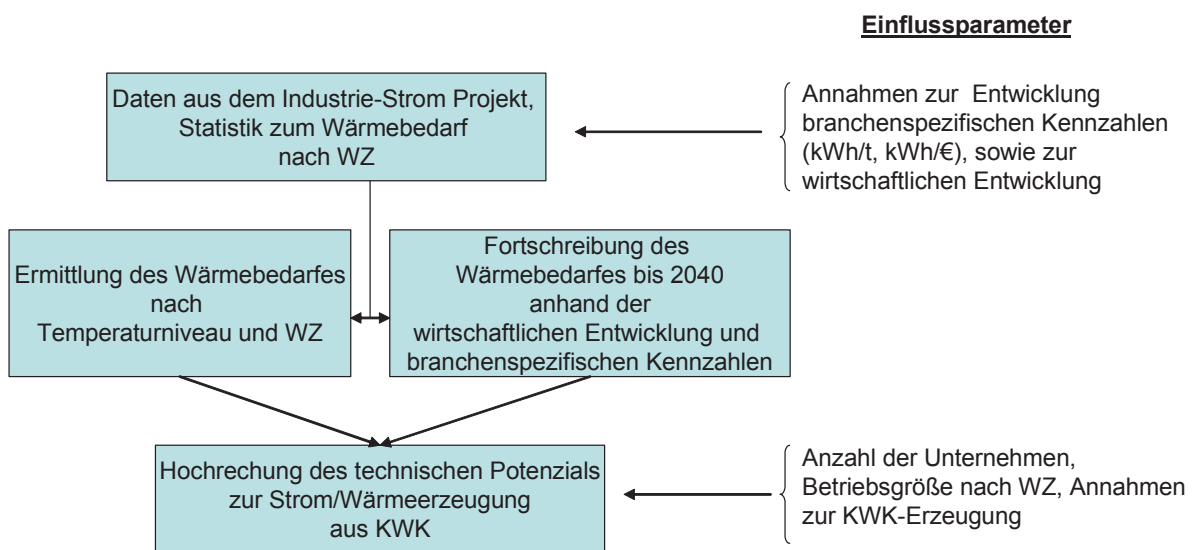


Abbildung 4-14: Fernwärme-Ausbaupotenziale nach Bundesländern



### 4.2.3 Industrielle KWK

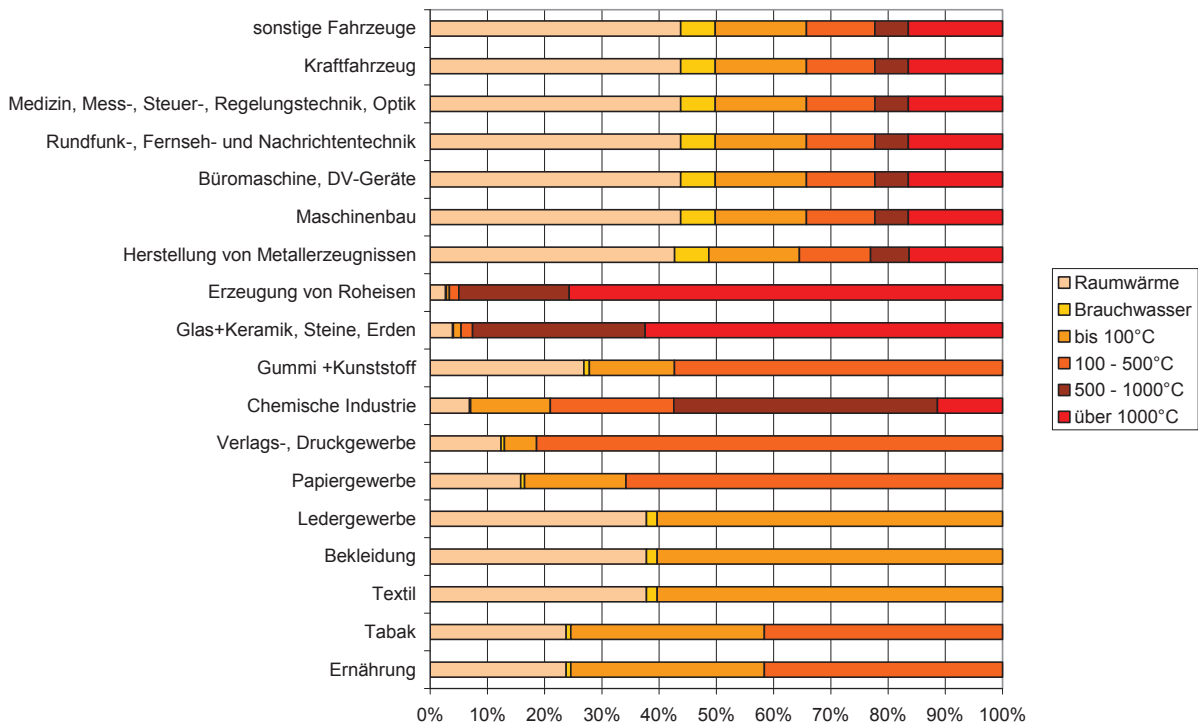
Zur Bestimmung des Wärmebedarfs und der KWK-Potenziale im Industriebereich dienen in [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] die Abschätzungen zum Strombedarf in der Industrie [ISI, 2006] sowie statistische Angaben zum Endenergiebedarf nach Wirtschaftszweigen als Basis [AGE, 2008], [Destatis, 2008]. Als Indikator für den Wärmebedarf wird der Endenergieeinsatz abzüglich des Strombedarfes verwendet. Als wichtige Einflussgrößen für die Ermittlung des zukünftigen Wärmebedarfes dienen dann branchenspezifische Kennzahlen zur Energieintensität und zur weiteren wirtschaftlichen Entwicklung. Anhand des Wärmebedarfes wird das technische Potenzial, dass durch KWK-Anlagen gedeckt werden kann, hochgerechnet. Die Vorgehensweise verdeutlicht Abbildung 4-15.



**Abbildung 4-15: Methodische Vorgehensweise zur Ableitung des Wärmebedarfes und der technischen KWK-Potenziale in der Industrie [Klobasa, Eikmeier et al., 2008]**

In die Berechnung fließen die Verteilung des Wärmebedarfes auf verschiedene Temperaturniveaus (siehe Abbildung 4-16) sowie technische Annahmen zur Umwandlungseffizienz und zur Wärmeabdeckung durch KWK-Anlagen ein. Ein großer Teil des Bedarfs an Nieder- und Mitteltemperaturwärme in der Industrie (Warmwasser, Raumwärme und Prozesswärme unter 500°C) lässt sich durch KWK decken, während KWK-Anlagen für die Bereitstellung von Prozesswärme auf höherem Temperaturniveau in der Regel nicht geeignet sind.

## Wärmebereitstellung



**Abbildung 4-16: Verteilung des Wärmebedarfs nach Temperaturniveau und Industriebranchen für 2001 [Wagner et al., 2002]**

Basierend auf dem technischen KWK-Potenzial erfolgt die Berechnung des wirtschaftlichen KWK-Potenzials. Dabei wird diejenige Teilmenge ermittelt, bei dem der Wärmebedarf mit einer KWK-Anlage günstiger versorgt werden kann als mit einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung. Die stromseitige Referenz ist der EEX-Baseloadpreis. Die KWK-Förderung und die vermiedenen Netznutzungsentgelte werden berücksichtigt.

Die Betrachtung erfolgt sehr differenziert für die Schlüsselbranchen Chemische Industrie, Papierindustrie, Ernährungsindustrie sowie die Gummi-/Kunststoffindustrie. Die Einzelpotenziale werden anschließend mit den Betrachtungen der restlichen Branchen zu einer nationalen Potenzialmenge zusammengeführt.

Für die Umrechnung des gesamtdeutschen industriellen KWK-Potenzials auf Norddeutschland muss wieder ein geeigneter Faktor genutzt werden, da die zur Ermittlung erforderlichen Daten nicht in der notwendigen Feinauflösung auf Landesebene vorliegen bzw. länderspezifische Betrachtungen viel zu aufwändig sind für diese Studie. Näherungsweise wird deshalb der Anteil der Beschäftigten im verarbeitenden Gewerbe angesetzt, welcher sich für Norddeutschland im Verhältnis zu den Vergleichszahlen im gesamten Bundesgebiet zu 14,3% ergibt [DESTATIS, 2006]. Dies unterstellt eine Gleichverteilung der Industriezweige in Deutschland proportional zu den Beschäftigtenzahlen. Etwa 61% der Beschäftigten in Norddeutschland und damit auch der im Folgenden angeführten Potenziale entfallen auf Niedersachsen, gefolgt von Schleswig-Holstein (15%) und Hamburg (11%).

Als Ergebnis dieser Näherung zeigt Abbildung 4-17 das wirtschaftlich erschließbare industrielle KWK-Potenzial für Norddeutschland, welches sich in der Summe zu 14,9 TWh/a errechnet. Überträgt man den bundesdeutschen Anteil des industriellen KWK-Bestands



am Nutzwärmebedarf auf Norddeutschland, so würden 11,4 TWh/a bereits durch den Bestand gedeckt.

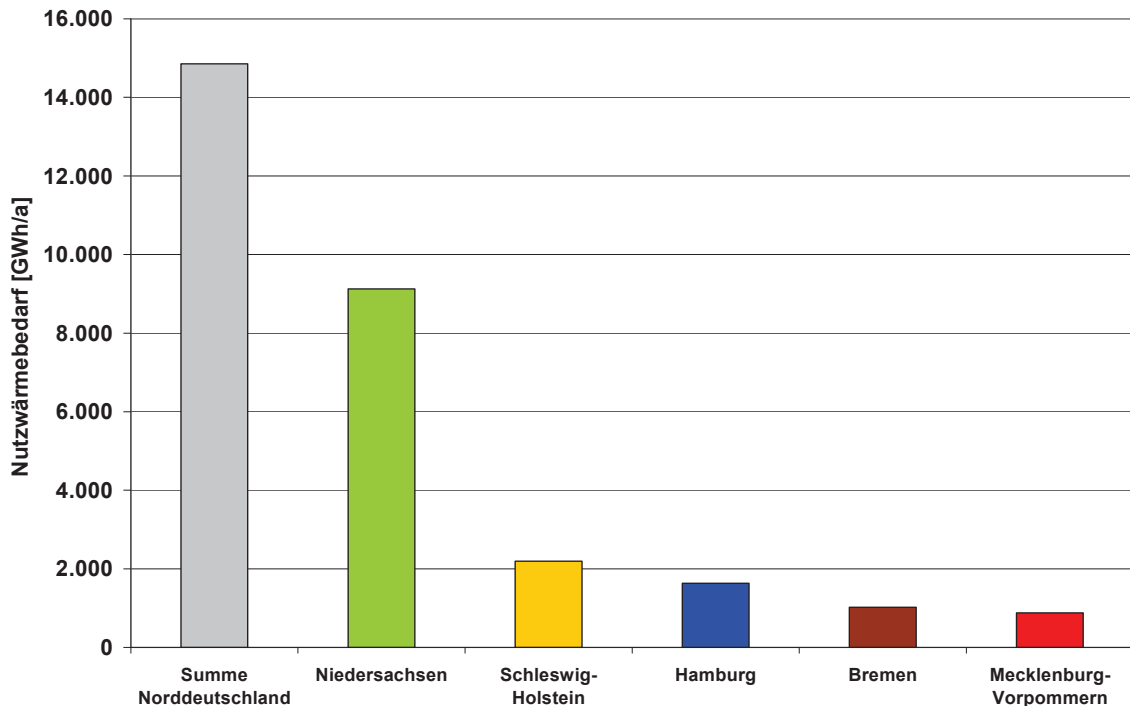


Abbildung 4-17: KWK-Potenziale in der Industrie nach Bundesländern

#### 4.2.4 KWK-Potenziale in Nichtwohngebäuden im GHD-Sektor

Im Unterschied zu den Wohngebäuden liegen für den Bestand an Nichtwohngebäuden (NWG) kaum statistische Daten vor, so dass in der nationalen Potenzialstudie [Eikmeier et al., 2006] das erforderliche Mengengerüst aus anderen Daten abgeleitet bzw. abgeschätzt werden musste. Daraus ergibt sich in der Folge auch, dass mangels Datenbasis keine differenzierte Untersuchung für Norddeutschland erfolgen kann.

Da die Potenziale in diesem Teilbereich sehr gering sind, wurden in [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] keine aktualisierten Berechnungen im Vergleich zu [Eikmeier et al., 2006] angestellt. Deshalb basieren die folgenden Zahlen auf der Erhebung im Rahmen der nationalen Potenzialstudie. Als Anteilfaktor der norddeutschen Bundesländer im Verhältnis zum nationalen Potenzial dient der Flächenanteil der Wohnflächen in Wohn- und Nichtwohngebäuden, welcher sich zu 18,5% ergibt [DESTATIS, 2006]. Analysen haben gezeigt, dass sich das Verhältnis von Zubau an Nutzfläche in NWG zum Zubau an Wohnfläche in WG als nahezu konstant bei 0,7 ergibt; deshalb kann das Wohnflächenverhältnis mit ausreichender Genauigkeit auf die NWG übertragen werden – zumal vor dem Hintergrund der sehr geringen Werte, die sich für dieses Teilpotenzial ergeben. In [BEI, 2007] finden sich vertiefende Ausführungen zur Methodik. Für Norddeutschland errechnet sich für das KWK-Teilpotenzial in NWG ein Wert in Höhe von 4,3 TWh/a.



#### 4.2.5 Gesamtpotenzial der KWK in Norddeutschland

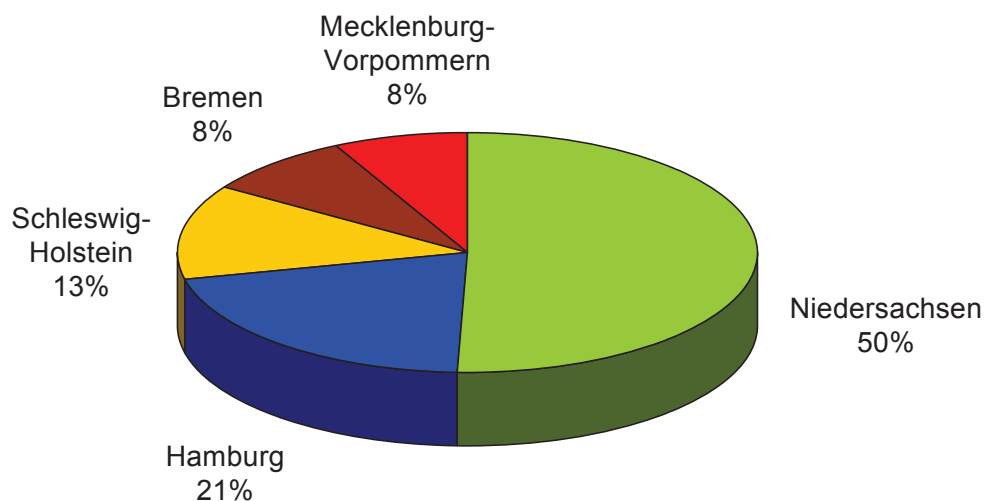
In Tabelle 4-3 sind die wirtschaftlichen Teilpotenziale für Norddeutschland 2005 zusammengestellt. Sie liegen bei rund 57 TWh/a. Die leitungsgebundene Wärmeversorgung repräsentiert zwei Drittel des Gesamtpotenzials, gefolgt von der Industrie mit rund einem Viertel.

**Tabelle 4-3: KWK-Potenziale in Norddeutschland im Jahr 2005**

	Nutzwärme [GWh/a]
Fernwärme-KWK (Wohngebäude + GHD)	37.700
Industrielle KWK	14.900
KWK in Nichtwohngebäuden im Sektor GHD	4.300
<b>Gesamtpotenzial</b>	<b>56.900</b>

Durch den derzeitigen KWK-Bestand ist derzeit weniger als die Hälfte von diesem Potenzial ausgeschöpft.

Die Aufteilung der wirtschaftlichen KWK-Potenziale auf die norddeutschen Länder ist der Abbildung 4-18 zu entnehmen. Die Hälfte des Potenzials entfällt auf Niedersachsen; es folgt Hamburg mit einem Anteil von 21%. Wiederum sind die Unsicherheiten zu berücksichtigen, die darin begründet sind, dass ein aufwändiger Abgleich mit einer Vielzahl lokaler Daten im Rahmen dieser Studie nicht möglich war.



**Abbildung 4-18: Aufteilung der KWK-Potenziale auf die fünf norddeutschen Länder**



### 4.2.6 Entwicklung bis 2020

Zunächst stellt sich die Frage, wie sich die Höhe des KWK-Potenzials verändert, wenn als Bezugsjahr 2020 herangezogen wird. Die wesentlichen Einflussfaktoren sind dabei die Veränderung des Nutzwärmebedarfs sowie geänderte wirtschaftliche Rahmenbedingungen (Energieträgerpreisentwicklungen).

Im Bereich der Fernwärme-KWK geht nach detaillierten Betrachtungen in [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] der Nutzwärmebedarf bis 2020 um rund 6% zurück. Dies liegt insbesondere an der (anteiligen) Sanierung der Bestandsgebäude, welche von der spezifischen Flächenzunahme je Einwohner bzw. dem Neubau nur teilweise kompensiert wird. Im Sektor GHD spielt zusätzlich noch die Veränderung der Beschäftigtenzahlen eine Rolle. Die Entwicklung im Bereich der Industrie hängt hingegen maßgeblich von der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung bzw. von derjenigen in den wichtigsten Branchen ab. Für das hier benutzte Referenzszenario ergibt sich bis 2020 ein um rund 9% reduzierter Brennstoffbedarf.

Die wirtschaftlichen KWK-Nutzwärmepotenziale reduzieren sich in etwas höherem Maße. Für die Fernwärme-KWK gehen sie auf rund 91% des Wertes von 2005 zurück, für die Industrie-KWK auf rund 87%. Für die Nichtwohngebäude können vergleichbare Verhältnisse wie bei der Fernwärme-KWK unterstellt werden.

Unter der Annahme, dass sich diese Entwicklungen in Norddeutschland in vergleichbarer Weise wie in Deutschland insgesamt ergeben, verringert sich das wirtschaftliche KWK-Nutzwärme Potenzial bis 2020 auf rund 90% des Wertes von 2005 und liegt dann bei **51,3 TWh/a**.

Als zweites ist zu fragen, wie eine mögliche Entwicklung des KWK-Bestandes bis 2020 verlaufen könnte. Sicher ist, dass die wirtschaftlichen KWK-Potenziale nicht automatisch genutzt werden, da Investoren vielfach höhere Anforderungen an Kapitalrentabilität stellen; zudem gibt es zahlreiche andere, nicht-monetäre Hemmnisse (vgl. z.B. die Ausführungen in [Eikmeier et al., 2006]), die einem KWK-Ausbau entgegenstehen.

In [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] wurden mögliche Ausbaupfade intensiv betrachtet. Die dabei zugrunde liegende Prämisse der Entwicklung bis 2020 war dabei das seitens der Politik formulierte Ziel, die KWK-Stromerzeugung bis 2020 zu verdoppeln. Dieses Ziel wurde einheitlich auf die beiden Bereiche Fernwärme-KWK und industrielle KWK übertragen.

Um den zur Erreichung dieses Ziels erforderlichen Anlagenzubau in Form von Mengengerüsten berechnen zu können, war zunächst die Fortschreibung der Bestandsanlagen erforderlich. Diese erfolgte aufgelöst nach Anlagenklassen und nach den einzelnen Bereichen differenzierten Annahmen zu Modernisierungs- bzw. Erneuerungsraten, Auslastungsraten (Volllaststundenzahlen) sowie vor allem auch technischen Entwicklungen, da es zu einem deutlichen Anstieg der Stromkennzahlen kommt. Aus diesen Berechnungen ergibt sich die Veränderung der Wärme- und Strombereitstellung der (neuen) Bestandsanlagen und somit auch die Restmengen zur Verdopplung des KWK-Stroms bis 2020 - diese müssen durch Neuanlagen bereitgestellt werden.

Es zeigt sich, dass die Wärmebereitstellung im Bereich der Fernwärme-KWK moderat steigt, im Industriebereich jedoch leicht abnimmt. Insgesamt ergibt sich ein Wert für 2020, welcher um rund 3% über demjenigen aus 2005 liegt, d.h. die KWK-Wärmebereitstellung bleibt in diesem Szenario weitgehend konstant. Auf Norddeutschland umgerechnet ergibt sich eine KWK- Wärmebereitstellung in Höhe von **26,2 TWh/a** in 2020.



Diese Entwicklung liegt insbesondere in der Tatsache begründet, dass der KWK-Bestand zurzeit durch sehr geringe Stromkennzahlen gekennzeichnet ist: für industrielle KWK-Anlagen liegt er nur bei etwa 0,32. Daraus ergibt sich, dass in den nächsten Jahren die installierte elektrische KWK-Leistung zwar deutlich steigen muss, um das politische Ziel der KWK-Stromverdopplung zu erreichen, die installierte thermische Leistung steigt jedoch nicht. Hinzu kommt ein Abbau von Überdimensionierungen im Bereich der Fernwärme-KWK. Das sich langsam verringernde KWK-Nutzwärmepotenzial stellt somit bis 2020 sicher kein Limit für die KWK-Entwicklung dar. Der Anteil, der vom KWK-Potenzial ausgeschöpft wird, steigt nur langsam an und liegt auch in 2020 noch weit von einer Vollausschöpfung entfernt.

Nach [Blesl, 2007] ergibt sich für das Jahr 2005 das Anlagenalter des KWK-Bestandes (als über die Leistung gewichteter Mittelwert) zu 18,4 Jahren, was einem mittleren Modernisierungszyklus von 36,8 Jahren entspricht. Wenngleich diese Entwicklung auch historisch bedingt ist und sich in Zukunft beschleunigen dürfte, so zeigt sie doch, dass ein Ersatz dieser Anlagen bislang deutlich später erfolgt, als dies die technische Lebensdauer erwarten ließe. Der Ersatzzeitpunkt ist immer auch abhängig von der aktuellen Fördersituation und den aus wirtschaftlicher Sicht sinnvollen Einsatzzeiten am Markt. Es ist davon auszugehen, dass bis 2020 rund 40 - 50% der KWK-Bestandsanlagen außer Betrieb und mehrheitlich durch Neuanlagen ersetzt oder gründlich modernisiert werden.

### 4.2.7 KWK Anlagen und Erneuerbare Energien

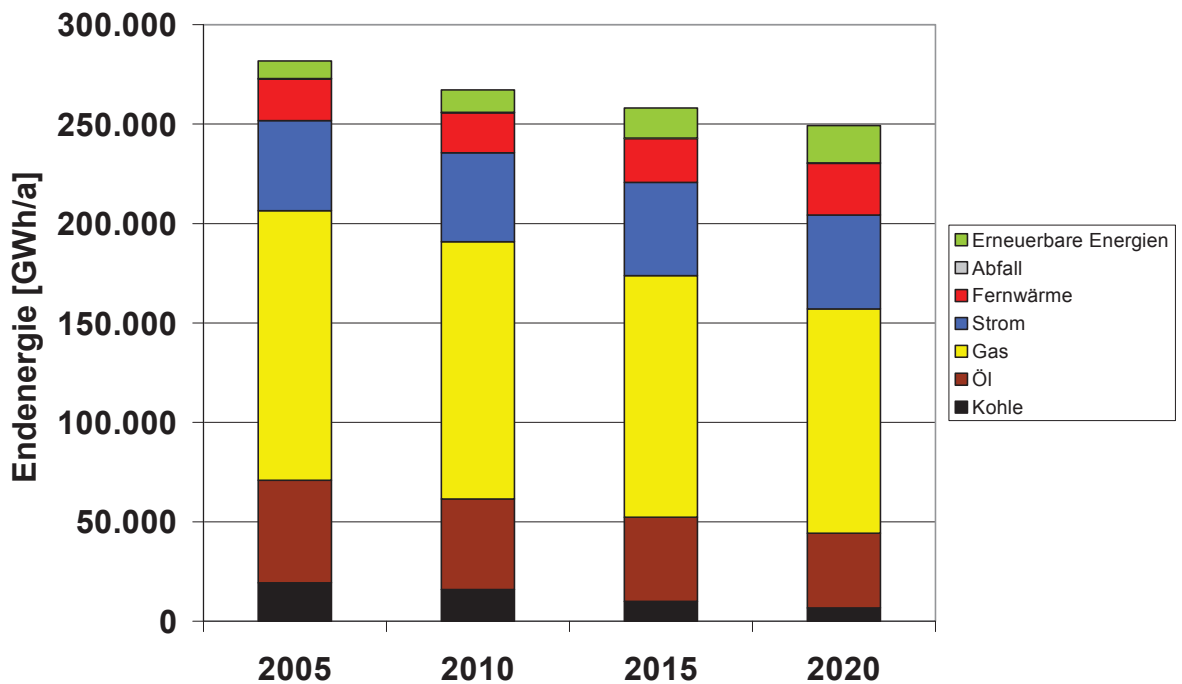
Es gibt etwas unterschiedliche Angaben, wie hoch der Anteil der Erneuerbaren Energien am Energieträgereinsatz der KWK-Anlagen insgesamt bzw. in Bezug auf den befriedigten Nutzwärmebedarf ist. Für das Jahr 2005 liegt dieser Anteil bei rund 15%.

Bis zum Jahr 2020 kommt es nach den Prognosen bzw. gemäß den politischen Zielsetzungen zu einem deutlichen Anstieg sowohl der KWK am Strommarkt als auch der Erneuerbaren Energien am Wärme- und am Strommarkt. Gemäß [Nitsch, 2008] steigt der Anteil der KWK-Wärme an der REG-Wärmebereitstellung kontinuierlich, aber nur moderat an. Die absolute Menge entwickelt sich jedoch sehr dynamisch - die Leitstudie geht davon aus, dass in 2020 der 2,65-fache Wert von 2005 in Bezug auf die Deckung des Wärmebedarfs erreicht wird.

In [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] lag ein vergleichbares Szenario zu Grunde. Die Daten dienen dabei als feste Eingangsgrößen, um den nicht durch erneuerbare Energieträger gedeckten Nutzwärmebedarf zu ermitteln. Deshalb können differenziertere Darstellungen an dieser Stelle entfallen.

## 4.3 Energiemix der Wärmebereitstellung

Die Entwicklung des Energiemixes bis zum Jahr 2020 wurde ausgehend vom Beitrag der einzelnen Energieträger zu Wärmebereitstellung in 2005/2006 unter Berücksichtigung des in Kapitel 4.1 beschriebenen Ausbaus der erneuerbaren Energien im Wärmebereich untersucht. Dabei wurde angenommen, dass sich der Beitrag der fossilen Energieträger gemäß der Untersuchung von [Nitsch, 2008] verändert. Das Ergebnis ist in Abbildung 4-19 zu sehen.



**Abbildung 4-19: Entwicklung des Energiemixes der Norddeutschen Bundesländer von 2005 bis 2020**

Bei den fossilen Energieträgern ist ein merklicher Rückgang bis 2020 erkennbar – abgesehen vom Strom, dessen absoluter Beitrag in etwa konstant bleibt. Am deutlichsten ist die Abnahme bei der Kohle. Mit einem Anteil von weniger als 3% spielt sie in 2020 kaum noch eine Rolle bei der Wärmebereitstellung.

**Tabelle 4-4: Anteil der Energieträger an der Wärmebereitstellung in 2005 und 2020**

Energieträger	Anteil in 2005	Anteil in 2020
Kohle	6,9%	2,7%
Öl	18,3%	15,1%
Gas	48,1%	45,3%
Strom	16,1%	18,9%
Fernwärme	7,4%	10,4%
Abfall	0,1%	0,1%
Erneuerbare Energien	3,1%	7,5%

Eine deutliche Zunahme haben dagegen die erneuerbaren Energien zu verzeichnen. Ihr Anteil steigt von ca. 3% in 2005 auf 7,5% in 2020. Auch bei der Fernwärme ist eine Zunahme um etwa ein Drittel zu erwarten.



## 5 Chancen und Risiken des künftigen Energiemixes Wärme

### 5.1 Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Wärmebereitstellung im Untersuchungsgebiet

Der in Abbildung 5-1 gezeigte Trend für die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen basiert auf der Abschätzung der Veränderung des Energiemixes der Wärmeerzeugung bis 2020 (siehe Abbildung 4-19). Dabei wurden die in Tabelle 5-1 genannten spezifischen Emissionen der einzelnen Energieträger zugrunde gelegt. Dabei handelt es sich um Emissionswerte, die auch die Vorkette mit einbeziehen.

**Tabelle 5-1: Spezifische Emissionen der Wärmebereitstellung nach Endenergieträgern [GEMIS 4.4, 2008]**

Energieträger	g CO <sub>2</sub> /kWh
Kohle	390
Öl	317
Gas	227
Strom	625
Fernwärme	229
Abfall	180
Solarthermie	34
Geothermie	160
Biomasse	26

Im Falle der Fernwärme wird eine Zunahme des Beitrags erneuerbarer Energien erwartet. Dementsprechend wurde der spezifische Emissionswert angepasst für das Jahr 2020 mit 215 g/kWh angesetzt.

Für 2005 wurden CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Wärmebereitstellung in Höhe von etwa 88 Mio t CO<sub>2</sub> berechnet. Bis 2020 wird mit einem Rückgang dieser Emissionen um 13,5% auf etwa 76 Mio t CO<sub>2</sub> gerechnet. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion ist zum einen auf die Abnahme des Endenergiebedarfs für Wärme (-11,5%), zum anderen auf den höheren Beitrag erneuerbarer Energien bei der Wärmebereitstellung zurückzuführen.

Im Fall des Stroms erkennt man einen deutlichen Unterschied zwischen dem Anteil an der Wärmebereitstellung und dem an den CO<sub>2</sub>-Emissionen. Letztere Anteil ist wegen der hohen spezifischen Emissionen der Wärmebereitstellung durch Strom deutlich höher.

Da die hier verwendeten spezifischen Emissionen die Vorketten beinhalten, ist auch die Nutzung der erneuerbaren Energien mit CO<sub>2</sub>-Emissionen belastet. Allerdings ist der Anteil von 1,3% an den CO<sub>2</sub>-Emissionen in 2020 nur geringfügig.

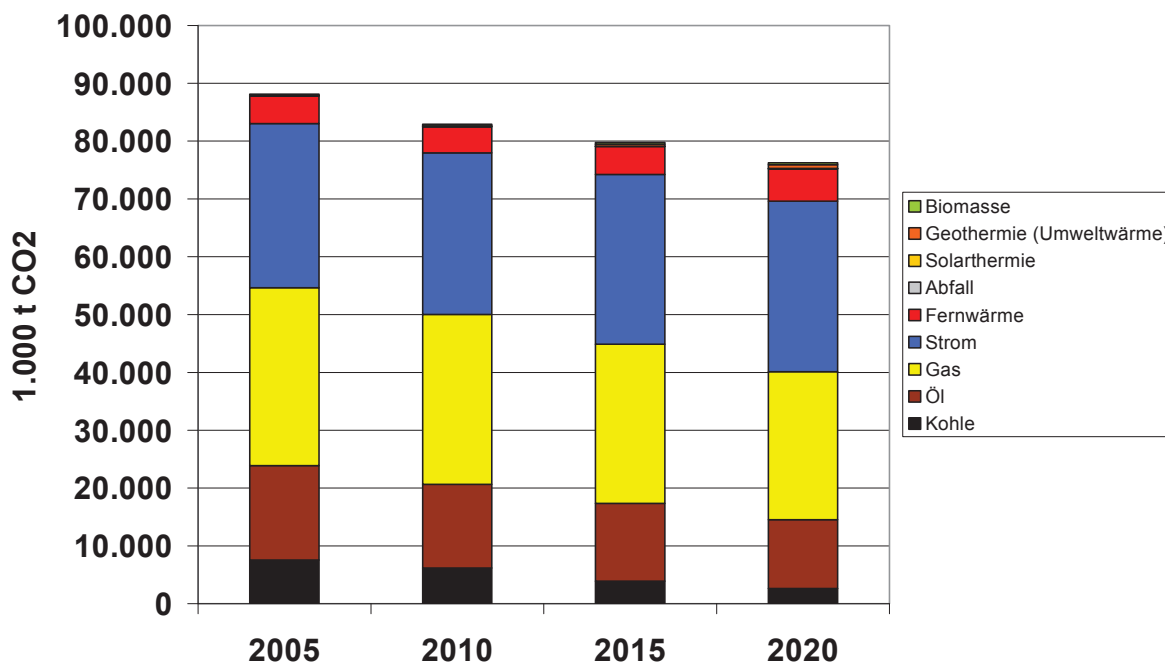


Abbildung 5-1: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Wärmebereitstellung im Untersuchungsgebiet

## 5.2 Der Energiemix Wärme und Versorgungssicherheit

Die Versorgungssicherheit des Energiemix Wärme wird zum Einen durch die eingesetzten Primärenergieträger beeinflusst. Durch den Einsatz unterschiedlicher Energieträger haben Verteuerung oder Knappheit einzelner Energieträger geringere Konsequenzen auf die Versorgungssicherheit. Gleichzeitig können Versorgungsengpässe eines Energieträgers besser ausgeglichen werden. Zum Anderen wird die Versorgungssicherheit entscheidend durch die Verfügbarkeit der eingesetzten Energieträger determiniert. Dabei umfasst der Begriff Verfügbarkeit sowohl die Endlichkeit eingesetzter Energieressourcen als auch das Vorhandensein von Bezugsquellen nach Anzahl und geografischer Verteilung. Auch hier gilt, dass der Bezug von Primärenergieträgern von mehreren Lieferanten oder aus verschiedenen geografischen Bereichen die Versorgungssicherheit verbessert, da die Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten reduziert wird.

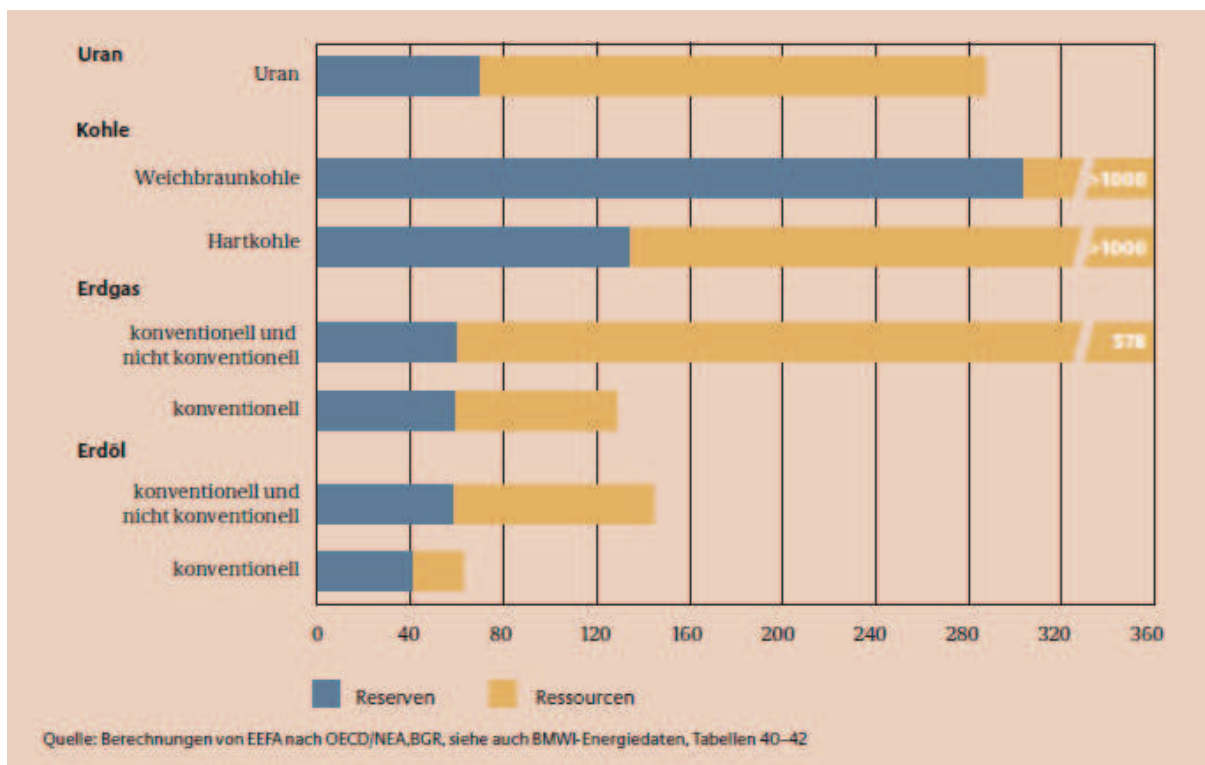
Der für die norddeutschen Bundesländer ermittelte Energiemix Wärme 2005 bis 2020 weist grundsätzlich eine hohe Vielfalt an Energieträgern auf. Wie aus Abbildung 4-19 hervorgeht, zeigen die relativen Anteile der einzelnen Energieträger jedoch deutlich die Vorrangstellung fossiler Energieträger, insbesondere von Erdgas, am ermittelten Energiemix Wärme. Im Jahr 2005 beträgt der Anteil von Kohle, Öl und Erdgas am ermittelten Energiemix Wärme zusammen 73%. Er reduziert sich bis zum Jahr 2020 auf 63%. Der relative Anteil von Erdgas am ermittelten Energiemix Wärme beträgt im Jahr 2005 fast 50%. Er reduziert sich bis zum Jahr 2020 auf 45%.

In Bezug auf die Versorgungssicherheit stellen sich vor allem die Endlichkeit fossiler Energieträger und die begrenzte heimische Verfügbarkeit von Erdöl und Erdgas als problematisch dar. Abbildung 5-2 gibt eine Übersicht über Reserven und Ressourcen verschiedener fossiler Energieträger. Als Reserven werden die bekannten, mit heutiger



Technik wirtschaftlich abbaubaren Vorkommen bezeichnet, während Ressourcen die Vorkommen sind, die mit zukünftiger Technik vermutlich abbaubar sind, unabhängig von der Wirtschaftlichkeit. Diese werden wiederum in konventionelle und nicht-konventionelle Ressourcen unterteilt. Bei den konventionellen Ressourcen handelt es sich um nachgewiesene Mengen. Als nicht konventionelle Ressourcen werden im Wesentlichen „Tight Gas“ (Erdgas aus dichten Lagerstätten), Kohleflözgase, Gashydrate und Aquifergase bezeichnet. Diese Vorkommen sind durch heutige konventionelle Fördermethoden praktisch nicht gewinnbar.

Erwartungsgemäß sind Öl und Erdgas knapp, während Kohle noch vergleichsweise reichlich vorhanden ist. Nach [BMWI, 2009a] wurden im Jahr 2007 85% des Naturgasaufkommens importiert, während lediglich 15% aus Inlandsgewinnung stammen. Gleichfalls wurden 97% des deutschen Rohölaufkommens im Jahr 2007 importiert, 3% stammen aus inländischer Förderung.



**Abbildung 5-2: Statistische Reichweiten nicht erneuerbarer Energieträger in Jahren, bezogen auf die Förderung des Jahres 2007, bzw. 2005 (Uran) [BMWI, 2009 b]**

Für die Versorgungssicherheit des ermittelten Energiemix Wärme spielt daher der zunehmende Einsatz erneuerbarer Energieträger eine wichtige Rolle. Erneuerbare Energieträger sind im Gegensatz zu fossilen Energieträgern und konventionellen Kernbrennstoffen, deren Vorkommen bei kontinuierlicher Entnahme stetig abnimmt, nicht erschöpfbar und können - im Gegensatz zu Erdgas und Erdöl - überwiegend aus heimischer Quelle bezogen werden. Dadurch verringert sich die Importabhängigkeit fossiler Energieträger. Trotz dieser positiven Effekte zeigt der Blick auf den für die norddeutschen Bundesländer ermittelten Energiemix Wärme, dass die Importabhängigkeit von Erdgas durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger bis zum Jahr 2020 nur in begrenztem Umfang reduziert



werden kann. Nachfolgend werden daher die Risiken beleuchtet, die sich durch die Vorrangstellung des Energieträgers Erdgas im Energiemix Wärme ergeben.

### 5.3 Risiken durch die Vorrangstellung des Energieträgers Erdgas im Energiemix Wärme

Risiken aus der Importabhängigkeit von Erdgas resultieren nach Angaben des Außenhandelsverbandes für Mineralöl und Energie e.V. [AFM+E, 2008] insbesondere aus den nachfolgend aufgeführten Aspekten:

- Die nachgewiesenen Gaslagerstätten konzentrieren sich auf wenige Länder. 53% dieser Erdgasreserven befanden sich Ende 2008 in nur drei Ländern, davon 23,4% in Russland, 16% in Iran und 13,8% in Katar (vgl. nachstehende Tabelle).
- Die prozentualen Anteile an der weltweiten Gasproduktion beliefen sich Ende 2008 für Russland auf knapp 20%, Iran auf knapp 4% und Katar auf 2,5% (vgl. nachstehende Tabelle).
- Bezogen auf den Primärenergieverbrauch von Erdgas lag die Inlandsproduktion von Erdgas im Jahr 2007 bei 15% mit fallender Tendenz. Neben der inländischen sind auch die norwegische, niederländische und dänische Gasproduktion rückläufig.
- Hinzu kommt eine steigende Nachfrage nach Erdgas der europäischen Nachbarn, der USA sowie aus Schwellenländern.

**Tabelle 5-2: Weltweite Gasproduktion und Reserven 2008 [BP, 2009]**

	Anteil in der Produktion (%)	Anteil der Reserven (%)
<b>Russische Föderation</b>	<b>19,6</b>	<b>23,4</b>
Algerien	2,8	2,4
<b>Iran</b>	<b>3,8</b>	<b>16,0</b>
Indonesien	2,3	1,7
Malaysia	2,0	1,3
V.A.E.	1,6	3,5
<b>Katar</b>	<b>2,5</b>	<b>13,8</b>
Ägypten	1,9	1,2
Venezuela	1,0	2,6
Nigeria	1,1	2,8
<b>Rest der Welt</b>	<b>61,4</b>	<b>31,3</b>

Insbesondere aus der Gegenüberstellung von weltweiter Gasproduktion und Reserven lässt sich zukünftig auf eine zunehmende Abhängigkeit von den drei größten Lieferländern schließen. Dem wirken die deutschen Gasversorgungsunternehmen mit verschiedenen Sicherungsmaßnahmen entgegen. Zu dem vergleichsweise breiten Maßnahmenkata-



log zählen nach Angaben des [BMWi, 2007a] neben einer Fortführung der Inlandsförderung von Erdgas insbesondere:

- stabile Beziehungen zu Lieferanten und der Abschluss langfristiger Gaslieferverträge,
- Diversifikation von Bezugsquellen und Transportwegen,
- Verlässlichkeit der Versorgungsinfrastruktur durch Untertagespeicher.

Diese drei Aspekte werden nachfolgend kurz thematisiert.

### 5.3.1 Stabile Beziehungen zu Lieferanten und der Abschluss langfristiger Gaslieferverträge

Das Gasportfolio von Deutschland ist nach [BMWi, 2009] aktuell relativ balanciert. Im Jahr 2008 stammten rund 38% der Gasimporte aus Russland, 28% aus Norwegen, 17% aus den Niederlanden, 4% aus sonstigen Ländern sowie 14% aus Inlandsge Gewinnung (vgl. nachstehende Abbildung).

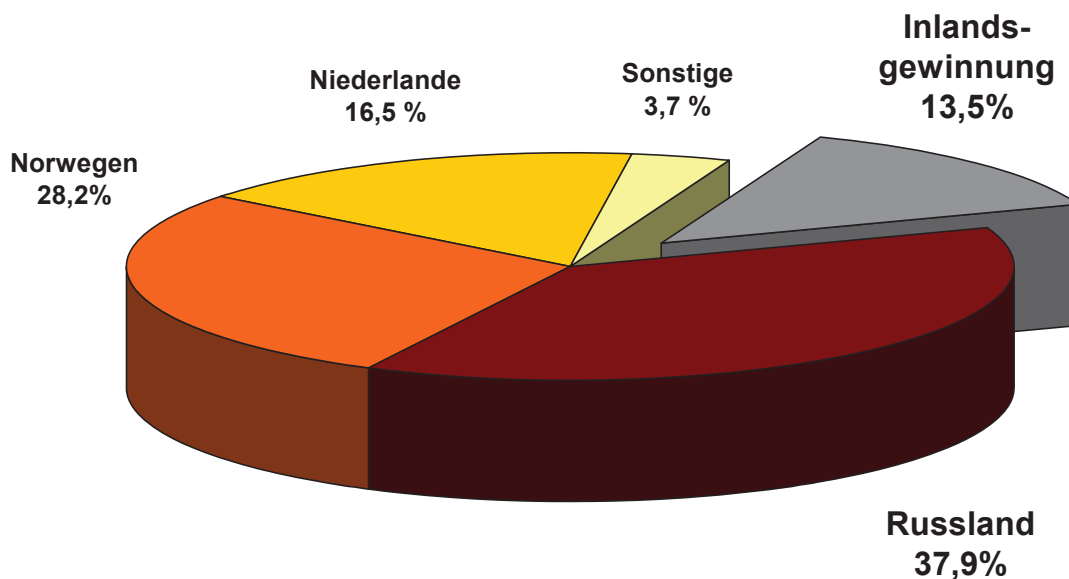


Abbildung 5-3: Erdgasversorgung Deutschland 2008 [BMWi, 2009a]

Obgleich damit mehr als ein Drittel des deutschen Erdgases aus Russland bezogen wird, ist das Risiko einer Abhängigkeit von den Gaslieferungen aus Russland aus Sicht von [A. T. Kearney, 2009a] begrenzt: „Fast 60% der Erlöse aus dem Gasgeschäft kommen für Gazprom aus der EU. Für Gazprom und Russland besteht daher ein hohes strategisches Interesse Europa als Gasabsatzmarkt für russisches Gas zu erhalten.“ Dennoch schlagen [A. T. Kearney, 2009a] zur weiteren Diversifikation der Gasbezugsquellen den Abschluss langfristiger Lieferverträge insbesondere mit nordafrikanischen Ländern und dem Nahen



Osten vor. Darüber hinaus ist der inländische Gasverbrauch nach [AFM+E, 2008] über langfristige Lieferverträge bis beinahe 2030 abgesichert.

### 5.3.2 Diversifikation von Bezugsquellen und Transportwegen

Im Hinblick auf die logistische Anbindung an bestehende Gaslagerstätten ist Europa - insbesondere Deutschland - nach Ansicht von [AFM + E, 2008] gegenüber anderen Großverbrauchern in Asien und Nordamerika im Vorteil dadurch, dass sich die Gaslagerstätten größtenteils in einer Reichweite von 4.500 km befinden und per Pipeline mit Deutschland und Westeuropa verbunden sind. Um den wachsenden Gasimportbedarf bewältigen zu können, sind zudem umfassende Investitionen in die Gasbezugsinfrastruktur geplant. Insbesondere die Nabucco-Pipeline ist eines der wichtigsten Projekte, um die Bezugsquellen von Erdgas weiter zu diversifizieren. Über die Pipeline soll nicht-russisches Gas von Zentralasien und Nahost nach Europa transportiert werden. Zusätzlich dazu rechnen [A. T. Kearney, 2009b] mit einem deutlichen Anstieg des Bezugs von Liquefied Natural Gas (LNG). Dazu muss jedoch in den kommenden Jahren der geplante Bau von LNG-Terminals in Deutschland realisiert werden. Aktuell gibt es in Deutschland noch keinen LNG-Terminal. Die Planungen für „Voslapper Groden“, Deutschlands erstes Hafenterminal für verflüssigtes Erdgas (LNG) in Wilhelmshaven, hat E.ON Ruhrgas Mitte 2008 aufgrund noch ausstehender Genehmigungen und „zu geringem Interesse an festen langfristigen Kapazitätsbuchungen für das Terminal“ vorerst verschoben [dpa, 2008 +Heitker, 2008].

### 5.3.3 Verlässlichkeit der Versorgungsinfrastruktur durch Untertagespeicher

Neben der Absicherung durch langfristige Lieferverträge und Diversifizierung von Bezugsquellen, trägt der Ausbau von Gasspeicherkapazitäten dazu bei, dass im Inland flexibler auf Versorgungsschwankungen und auftretende Lieferengpässe reagiert werden kann. Nach [A. T. Kearney, 2009a] können bereits heute 15% des EU-Verbrauchs eines Jahres in der EU gespeichert werden. Nach Ansicht des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) ist die Ausstattung Deutschlands mit Gasspeichern im EU-Vergleich besonders komfortabel. „In 46 unterirdischen Speichern sind rund 20 Mrd. Kubikmeter Arbeitsgas gelagert. Das entspricht rund einem Viertel des deutschen Jahresverbrauchs.“ Laut BDEW sind in Deutschland zudem „etwa 3,6 Mrd. Kubikmeter an neuem Speichervolumen geplant oder bereits im Bau.“ [Dow Jones EW, 2009]

### 5.3.4 Fazit

Neben den skizzierten Sicherungsmaßnahmen inländischer Gasversorgungsunternehmen wird von Seiten der Bundesregierung sowie auf EU-Ebene eine stärkere Koordination der EU-Energiepolitik beim Thema Versorgungssicherheit angestrebt. Diskutiert wird insbesondere die Errichtung einer internationalen Gaskoordinierungsstelle unter EU-Führung, um Transparenz über die Gasflüsse nach Europa zu schaffen und diese zu überwachen. Zudem wird eine Energiepartnerschaft der EU mit der Ukraine angestrebt, um den wichtigsten Transportweg von russischem Gas nach Europa zu sichern. Zielsetzung ist nach [A. T. Kearney, 2009a], die Energieeffizienz in der Ukraine zu verbessern und die Möglichkeit für europäische Betreiber zu schaffen, sich an der Transportinfrastruktur und den Gasdurchleitungen in der Ukraine zu beteiligen.



Die aufgeführten Sicherungsmaßnahmen auf politischer und privatwirtschaftlicher Ebene belegen, dass die im Zusammenhang mit dem ermittelten Energiemix Wärme verbleibende Importabhängigkeit von Erdgas ein durchaus kalkulierbares Risiko darstellt.



## 6 Untersuchungen ausgewählter Aspekte

### 6.1 Fernwärme: Status quo in Hamburg und Voraussetzungen für einen Ausbau

#### 6.1.1 Derzeitiger Stand der Fernwärme in Hamburg

Der aktuelle Stand der Fernwärmeversorgung lässt sich der aktuellsten Fassung des jährlich erscheinenden AGFW-Hauptberichtes [AGFW, 2009] entnehmen, der die Daten für das Jahr 2007 enthält. Dementsprechend beziehen sich alle folgenden Angaben auf das Jahr 2007. Die Gradtagzahl G20/15 (als Mittelwert der Landeshauptstädte angegeben) lag in 2007 bei 3.262 und lag damit bei 87% des langjährigen Mittels (3.751).

Bezogen auf Hamburg zeigt Tabelle 6-1 die Summe der Fernwärmeleistung und -arbeit in 2007. Demnach verfügt das Fernwärmenetz über eine Engpassleistung von knapp 2 GW, während rund 4.000 GWh Wärme an Kunden abgegeben wurden.<sup>10</sup>

**Tabelle 6-1: Fernwärme in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009]**

Wärmeleistung		Wärmearbeit	
Gesicherte Wärmeengpassleistung insgesamt [MW]	Wärmehöchstlast aller Netze [MW]	Wärmenetzeinspeisung [GWh]	Wärmeabgabe an Kunden [GWh]
1.917	1.141	4.412	3.953

In Tabelle 6-2 ist die Wärmenetzeinspeisung getrennt nach eigenen Anlagen und Fremdbezug aufgeschlüsselt.<sup>11</sup> Die eigenen Anlagen in Hamburg werden von der Favorit GmbH, der Urbana Energiedienste GmbH und Vattenfall Europe Hamburg GmbH betrieben.

**Tabelle 6-2: Wärmenetzeinspeisung in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009]**

	Wärmenetzeinspeisung [GWh]
<b>Eigene Anlagen</b>	
mit KWK	2.588
ohne KWK	482
<b>Fremdbezug</b>	
mit KWK	420
ohne KWK	909

Der KWK-Anteil der Wärmenetzeinspeisung liegt bei 68% unter Berücksichtigung von Erzeugung in eigenen Anlagen und Fremdbezug.

<sup>10</sup> Der Unterschied zwischen der Wärmenetzeinspeisung und der Wärmeabgabe an die Kunden ist durch die Verluste des Fernwärmenetzes bedingt.

<sup>11</sup> Unter Fremdbezug versteht man die Einspeisung von Wärme aus Anlagen, deren Besitzer nicht gleichzeitig die Besitzer des Wärmenetzes sind.

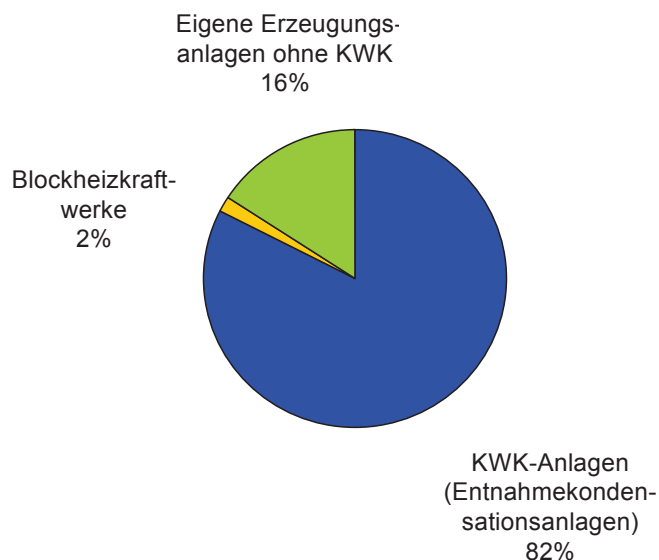


Die eigenen Erzeugungsanlagen in Hamburg sind in Tabelle 6-3 nach Anlagentypen untergliedert.

**Tabelle 6-3: Eigene Anlagen zur Fernwärmeerzeugung in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009]**

Anlagentyp	Anzahl Anlagen	Nettowärmeerzeugung [GWh]	Wärmeengpassleistung [MW]	Ausnutzungsdauer der Wärme [h/a]	Nettostromerzeugung Gesamtanl. [GWh]	Nettostromerzeugung KWK [GWh]
Entnahmekondensationsanlagen	3	2.529	866	2.920	2.264	1.113
Blockheizkraftwerke	3	59	14	4.322	40	40
Eigene Erzeugungsanlagen ohne KWK	12	482	945	510		
<b>Gesamt</b>	<b>18</b>	<b>3.070</b>	<b>1.825</b>		<b>2.304</b>	<b>1.153</b>

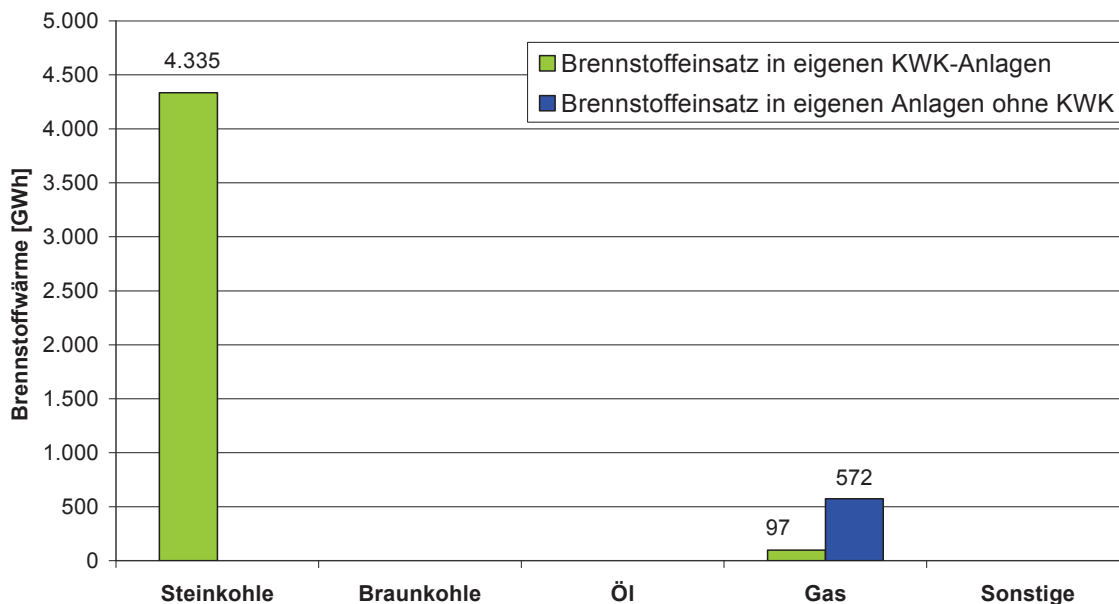
Abbildung 6-1 verdeutlicht die Anteile der Anlagentypen an der Nettowärmeerzeugung. Rund 84% der Nettowärmeerzeugung erfolgt bei den eigenen Anlagen in KWK-Prozessen (Entnahmekondensation + BHKW). Dies entspricht dem bundesdeutschen Durchschnitt [AGFW, 2009].



**Abbildung 6-1: Anteile an der Nettowärmeerzeugung in eigenen Anlagen in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009]**



Wie Abbildung 6-2 zeigt, wird bei den eigenen Anlagen der Brennstoffeinsatz durch die Steinkohle dominiert. Der Anteil der Steinkohle in KWK-Anlagen beträgt 98% und bezogen auf den Gesamtbestand der Wärmeerzeugungsanlagen 87%.



**Abbildung 6-2: Brennstoffeinsatz für die Fernwärmeerzeugung in eigenen Anlagen in Hamburg 2007 [AGFW, 2009]**

Der hohe Anteil an Steinkohle wirkt sich ungünstig auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Fernwärmeerzeugung aus. Die aus der Fernwärmeerzeugung insgesamt (also inklusive Fremdbezug) resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden, wie Tabelle 6-4 verdeutlicht, mit rund 2,1 Mio. t CO<sub>2</sub> angegeben. Eine Stromgutschrift wurde hierbei noch nicht berücksichtigt.<sup>12</sup>

**Tabelle 6-4: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fernwärmeerzeugung inklusive Fremdbezug in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009]**

Anlagentyp	Brennstoffwärme [GWh]	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Mittelwert [t CO <sub>2</sub> /GWh]	CO <sub>2</sub> -Emission ohne Stromgutschrift [Mio. t CO <sub>2</sub> ]
Erzeugungsanlagen mit KWK	5.151	338,76	1,75
Erzeugungsanlagen ohne KWK	1.651	201,24	0,33
<b>Gesamt</b>	<b>6.802</b>		<b>2,08</b>

<sup>12</sup> Die Berücksichtigung der Stromgutschriften kann nur anhand einer genaueren Analyse der Stromerzeugung in den Einzelanlagen erfolgen. Dies überschreitet den Rahmen der vorliegenden Untersuchung.



Die zentralen Informationen zu den Fernwärmenetzen sind Tabelle 6-5 zu entnehmen. Die Gesamttrassenlänge der 14 Wasser- und 2 Dampfnetze beträgt 865 km. Die mittleren Netzlängen belaufen sich auf 60 km bei Wassernetzen bzw. 12 km bei Dampfnetzen. Insgesamt werden mehr als 12.600 Hausübergabestationen versorgt. Zusätzlich zu den Fernwärmenetzen wird ein Kältenetz von Vattenfall Europe Hamburg GmbH betrieben, das eine Länge von 6 km misst und mit einer Kälteleistung von 38,6 MW eine nutzbare Wärmeabgabe von 37,5 GWh zur Verfügung stellt. Die Benutzungsdauer aller in Hamburg betriebener Wärmenetze beträgt 3.868 h/a; die Ausnutzungsdauer beläuft sich auf 2.302 h/a.

**Tabelle 6-5: Fernwärmenetze in Hamburg 2007 – ohne E.ON Hanse Wärme [AGFW, 2009]**

Parameter	Einheit	Wassernetze	Dampfnetze	Gesamt
Anzahl Netze		14	2	<b>16</b>
Trassenlänge	km	842	23	<b>865</b>
Anzahl Hausübergabestationen (HST)		12.499	113	<b>12.612</b>
Angeschlossene Leistung (31.12.)	MW	3.181	185	<b>3.366</b>
Wärmenetzeinspeisung Wassernetz	GWh	3.681	-	<b>3.681</b>
Nutzbare Wärmeabgabe	GWh	3.378	575	<b>3.953</b>
Wärmeverluste Wassernetz	%	8	-	<b>8</b>
Mittlere Netzlänge	km/Netz	60	12	
Mittlerer Anschlusswert	kW/HST	254	1.637	

### Fernwärmeversorgung in Hamburg durch E.ON Hanse Wärme

E.ON Hanse Wärme ist einer der großen Fernwärmeversorger in Hamburg. E.ON Hanse Wärme betreibt in Hamburg 51 Wärmenetze mit einer Gesamtlänge von ca. 390 km [E.ON Hanse Wärme, 2009] Die Wärmeerzeugung erfolgt überwiegend mit Erdgas; daneben spielt Müll als Brennstoff eine wesentliche Rolle (siehe Tabelle 6.6)

**Tabelle 6-6: Anlagen zur Fernwärmeerzeugung in Netzen der E.ON Hanse Wärme in Hamburg [E.ON Hanse Wärme, 2009] <sup>13</sup>**

Anzahl Netze gesamt	Wärmeerzeugung mittels				
	Erdgas-kessel	Erdgas-KWK	Müll-KWK	Biogas/Regenerative	Deponie-gas
<b>51</b>	<b>43</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

<sup>13</sup> Mehrfachnennungen bei Art der Wärmeerzeugung, da in etwa der Hälfte der Netze Beiträge mehrere Techniken.



Fast die Hälfte der Wärme bezieht E.ON Hanse Wärme von anderen Anlagenbetreibern. Dabei handelt es sich überwiegend um Wärme aus KWK-Anlagen. (siehe Tabelle 6-7 und Tabelle 6-8).

Die Wärmeerzeugung in den Netzen der E-ON Hanse erfolgt zu etwa 60% in KWK-Anlagen. (siehe Tabelle 6.8) Diese liefern neben der Wärme etwa 46 GWh Strom [E.ON Hanse Wärme, 2009]. Der KWK-Anteil der Fernwärmeerzeugung der E.ON Hanse liegt etwas unter dem der anderen Fernwärmeversorger in Hamburg, deren KWK-Anteil sich inklusive des Fremdbezugs auf 68% beläuft. (siehe Tabelle 6-2)

**Tabelle 6-7: Eigenerzeugung und Fremdbezug der E.ON Hanse Wärme in Hamburg**

	Wärmeeinspeisung ins Netz [GWh]	Wärmelieferung an Kunden [GWh]
Eigenerzeugung	315	267
Fremdbezug	282	240

eigene Berechnungen auf Basis [E.ON Hanse Wärme, 2009]

**Tabelle 6-8: Wärmenetzeinspeisung der E.ON Hanse Wärme in Hamburg**

	Wärmenetzeinspeisung [GWh]	Wärmeabgabe an Kunden [GWh]
<b>Eigene Anlagen</b>		
mit KWK	86	73
ohne KWK	229	194
<b>Fremdbezug</b>		
mit KWK	270	230
ohne KWK	12	10
<b>Summe</b>	<b>597</b>	<b>507</b>

eigene Berechnungen auf Basis [E.ON Hanse Wärme, 2009]

Betrachtet man die Wärmenetzeinspeisung je Netzlänge, die ein Maß für die Auslastung des Netzes darstellt, so ist diese im Fall der E.ON Hanse Wärme mit ca. 1,5 GWh/km sehr niedrig. Der Wert der anderen Fernwärmeversorger liegt dagegen mit 5,1 GWh/km etwas über dem Bundesdurchschnitt (4,5 GWh/km). Der wesentliche Grund für die unterschiedliche Auslastung der Netze in Hamburg ist der hohe Anteil der Nahwärmeversorgung, die eine geringe Anschlussdichte ausweist, im Fall der E.ON Hanse Wärme. [E.ON Hanse Wärme, 2009]

Die spezifischen Emissionen der Fernwärmeversorgung der E.ON Hanse Wärme betragen 110 t CO<sub>2</sub>/GWh (inkl. Stromgutschrift und Berücksichtigung von Strombezug für Betrieb Fernwärmenetz) [E.ON Hanse Wärme, 2009] und liegen damit deutlich unter den Werten der anderen Fernwärmeversorger in Hamburg. Ursache hierfür ist der Energiemix der Fernwärmeerzeugung der E.ON Hanse Wärme mit hohen Anteilen von Erdgas und Müll und sowie weiteren Beiträgen von Deponiegas und erneuerbaren Energien. Kohle ist im Energiemix der E.ON Hanse dagegen nicht zu finden, im Gegensatz zum Mix der anderen Fernwärmeversorger. (siehe Abbildung 6-2) Insgesamt betragen die jährlich durch die Fernwärme der E.ON Hanse Wärme verursachten Emissionen ca: 56.000 tCO<sub>2</sub> (inkl.



der KWK-Stromgutschrift und unter Berücksichtigung des Strombezugs für den Betrieb der Fernwärmenetze). [E.ON Hanse Wärme, 2009]

### Zusammenfassung Stand der Fernwärmeversorgung in Hamburg

Die wichtigsten Fakten zum Status der Fernwärmeversorgung in Hamburg sind in Tabelle 6-9 zusammengefasst.

**Tabelle 6-9: Fernwärmeversorgung in Hamburg – Wichtigste Fakten**

Wärmeeinspeisung ins Netz [GWh]	Wärmelieferung an Kunden [GWh]	Netzlänge [km]	KWK-Anteil [%]
5.009	4.460	1.255	67%

Die Wärmelieferung aus Fernwärmenetzen beträgt in Hamburg derzeit 4.460 GWh und deckt damit etwa 15% des für Hamburg ermittelten Gesamtwärmebedarfs von knapp 29.000 GWh. Zwei Drittel der Wärmelieferung stammt derzeit aus KWK-Anlagen. Dies liegt deutlich unter dem Bundesdurchschnitt: Hier stammen 84% der Wärmelieferung der Fernwärmenetze aus KWK-Anlagen. [AFGW, 2009]

### Städtische Fernwärmeversorgung im Vergleich

Der Vergleich der Fernwärmeversorgung der Städte Hamburg, Berlin und Flensburg in Tabelle 6-10 weist deutliche Unterschiede auf. Signifikant ist der vergleichsweise niedrige Fernwärmeanteil von 15% für Hamburg. In Berlin ist dieser Anteil fast doppelt so hoch. Dies zeigt, dass in Hamburg noch Potenzial für den Ausbau der Fernwärme vorhanden ist, auch wenn ein Niveau, wie es in Flensburg, der Stadt mit dem höchsten Fernwärmeversorgungsanteil in Deutschland, für Hamburg nicht realistisch ist.

**Tabelle 6-10: Fernwärmenetze im Vergleich**

Parameter	Hamburg	Berlin	Flensburg
Einwohner	1.800.000	3.400.000	100.000
Fernwärmeversorgungsanteil	15% <sup>1</sup>	29% <sup>2</sup>	>95% <sup>2</sup>
Fernwärmenetzlänge	1.255 km	1.500 km	600 km
Fernwärmenetzlänge/Einwohner	0,70 m/Pers.	0,44 m/Pers.	6,00 m/Pers.

Quelle: 1: eigene Berechnungen, 2: [Schulz, 2009]

<sup>1</sup> : eigene Berechnungen, bezogen auf die Gesamtwärmebedarf der privaten Haushalte, GHD und Industrie (siehe Kapitel 3.4)



### 6.1.2 Voraussetzungen für einen Ausbau von Fernwärme

Bei der Formulierung von notwendigen oder hilfreichen Bedingungen, um den Ausbau der Fernwärme zu fördern, sind unterschiedliche Betrachtungsebenen zu beleuchten. Die wichtigsten Voraussetzungen ergeben sich auf technischer, städteplanerischer, wirtschaftlicher sowie strategischer Ebene; wobei sich die meisten nicht unmittelbar ökonomischen Aspekte letztlich auch in wirtschaftliche Aussagen überführen lassen.

Als übergeordneter Aspekt ist zunächst die eigentliche Funktion einer Fernwärmeversorgung zu nennen: durch sie wird/werden ein oder mehrere Wärmeerzeuger mit einer geeigneten Wärmesenke verbunden, die in aller Regel aus einer Vielzahl unterschiedlicher Objekte besteht. Daraus ergibt sich unmittelbar die Notwendigkeit, geeignete Wärmeabnehmer in einer nicht zu großen Entfernung von der/den Wärmeerzeugern zu finden und diese auch anschließen zu können. Geeignet meint in dieser übergeordneten Sichtweise, dass das Temperaturniveau der Verbraucher durch eine Fernwärmeversorgung gedeckt werden kann; Hochtemperaturprozesse in der Industrie sind somit nicht geeignet. Insbesondere bei Kraftwerken stellt sich regelmäßig die Frage, ob eine Wärmeauskopplung möglich ist, da diese in vielen Fällen verbrauchsfern errichtet werden.

#### Technische Aspekte

Die technischen Voraussetzungen für den Ausbau der Fernwärme lassen sich im Rahmen dieser Studie nur grob skizzieren, da den Bearbeiter Details der bestehenden Fernwärmenetze nicht bekannt sind und deren Recherche den Umfang der Studie bei Weitem überschritten hätte. Grundsätzlich stellt die Verlegung von Fernwärmeleitungen keine besondere technische Herausforderung dar und wird seit Jahrzehnten erfolgreich praktiziert. Dabei wurden laufend technische Fortschritte, insbesondere bei den Werkstoffen und der Verlegetechnik, erzielt, bspw. im Rahmen des großen Forschungsvorhabens „Neuartige Wärmeverteilung“ [AGFW, 1998]. Bei der Erweiterung bestehender Netze, die historisch gewachsen sind, ergeben sich jedoch häufig technische Restriktionen. Diese bestehen z.B. im Durchmesser der verlegten Leitungen, welche damit die maximalen Wärmetransportleistungen und -mengen limitieren. Außerdem kann es durch die Netzhydraulik weitere Einschränkungen geben. Genauere Aussagen dazu kann nur der jeweilige Netzbetreiber treffen. Solche Restriktionen sind jedoch letztlich keine technischen K.O.-Kriterien, sondern werfen die Fragen nach der Wirtschaftlichkeit von Erweiterungs- oder Ersatzmaßnahmen auf. Eine zusammenfassende Darstellung des Standes der Forschung zu Wärmenetzen, aber auch zu Erzeugungstechniken findet sich beispielsweise in [UBA, 2007a].

#### Wirtschaftliche Aspekte

Die wirtschaftlichen Aspekte spielen eine dominierende Rolle für den Ausbau von Fernwärmenetzen. Aus Unternehmenssicht ist eine Investition in Leitungsnetze primär nur dann interessant, wenn die jeweiligen internen Renditeziele erreicht werden. Dabei handelt es sich um eine komplexe Unternehmensentscheidung von strategischer Bedeutung, da sich insbesondere die Frage nach dem Betrachtungszeitraum stellt – die Investitionen in langlebige Güter wie Wärmenetze sorgen kurzfristig für deutlich höhere Kosten. Die Frage ist jedoch, ob und wie sich eine solche Entscheidung mittel- und langfristig auszahlt; wobei auch Aspekte wie eine höhere Kundenbindung zu berücksichtigen sind. Wichtig ist dabei, das Gesamtergebnis des Unternehmens zu berücksichtigen, also auch die Gassparte, in der es evtl. zu Ablösungseffekten kommt, in geeigneter monetärer Wei-



se mit zu berücksichtigen. Dies ist Teil einer Unternehmensstrategie, auf die später noch eingegangen wird.

Die ökonomische Sicht eines potenziellen Fernwärmekunden ist eine Entscheidung zwischen dem angebotenen Fernwärmepreis und dem Preis, der sich bei einer dezentralen bzw. eigenen Wärmeversorgung im Rahmen eines Vollkostenvergleichs ergibt. Dabei kommt dem Aspekt der mittel- und langfristig zu erwartenden Preissteigerungen eine wachsende Bedeutung zu. Die Unternehmen sowie die AGFW argumentieren regelmäßig damit, dass in den vergangenen Jahren die Fernwärmepreise langsamer gestiegen sind als die Preise für Heizöl und Erdgas und zudem geringeren Schwankungen unterliegen und damit für den Verbraucher eine verlässlichere Planung seiner Wärmekosten bieten (vgl. z.B. [AGFW, 2008]).

Abgesehen von einzelnen Großkunden spielt bei der Bewertung von Fernwärmeeoptionen in der Flächenversorgung (private Haushalte und der Sektor GHD) der **Siedlungstyp** (ST) eine zentrale Rolle. Bereits Ende der siebziger Jahre wurden von Roth Siedlungstypologien definiert und für die Einschätzung herangezogen, inwieweit die Art der Wohnbebauung für eine Fernwärme- oder Erdgasversorgung geeignet ist. Siedlungstypologien enthalten u.a. Informationen

- zur typischen Gebäudezahl pro km<sup>2</sup>,
- zu Gebäudekonstellationen,
- sich hieraus herleitenden Leitungslängen der Unterverteilung sowie
- Anhaltspunkte zu den typischen längenspezifischen Kosten der Verteilungsleitungen.

Im Rahmen der Ermittlung des nationalen KWK-Potenzials wurden für den Bestand Siedlungstypen gemäß der schematischen Darstellung in Abbildung 6-3 verwendet sowie weitere Typen für Neubau- und Gewerbegebiete.

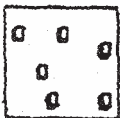

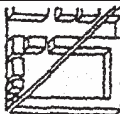

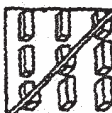

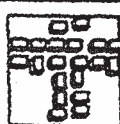
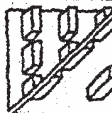

<b>ST 1</b> OFFENE PARK-SIEDLUNG 	<b>ST 4</b> REIHENHÄUSER 	<b>ST 7</b> STÄDT. RANDBEBAUUNG 
<b>ST 2</b> NEUERE EIN-FAMILIEN HÄUSER 	<b>ST 5</b> WOHNBLOCKS 3-5 GESCH. 	<b>ST 8</b> CITY-BEBAUUNG HOHE DICHTE 
<b>ST 3</b> DORFKERN 	<b>ST 6</b> HOCHHÄUSER 	<b>ST 9</b> HISTORISCHE ALTSTADT 

Abbildung 6-3: Strukturen von Siedlungstypen

In Tabelle 6-11 sind einige typische Parameter der einzelnen Siedlungstypen (ST) angeführt, was deren unterschiedliche Eignung verdeutlicht. Die ST 5 - 9 weisen die höchsten Wärmedichten auf, was grundsätzlich zu günstigsten Kostenstrukturen auf der Abnahmeseite führt. Es handelt sich dabei um Siedlungstypen, die in besonders hohem Maße in größeren Städten anzutreffen sind. Folgerichtig konzentriert sich der Fernwärmebestand



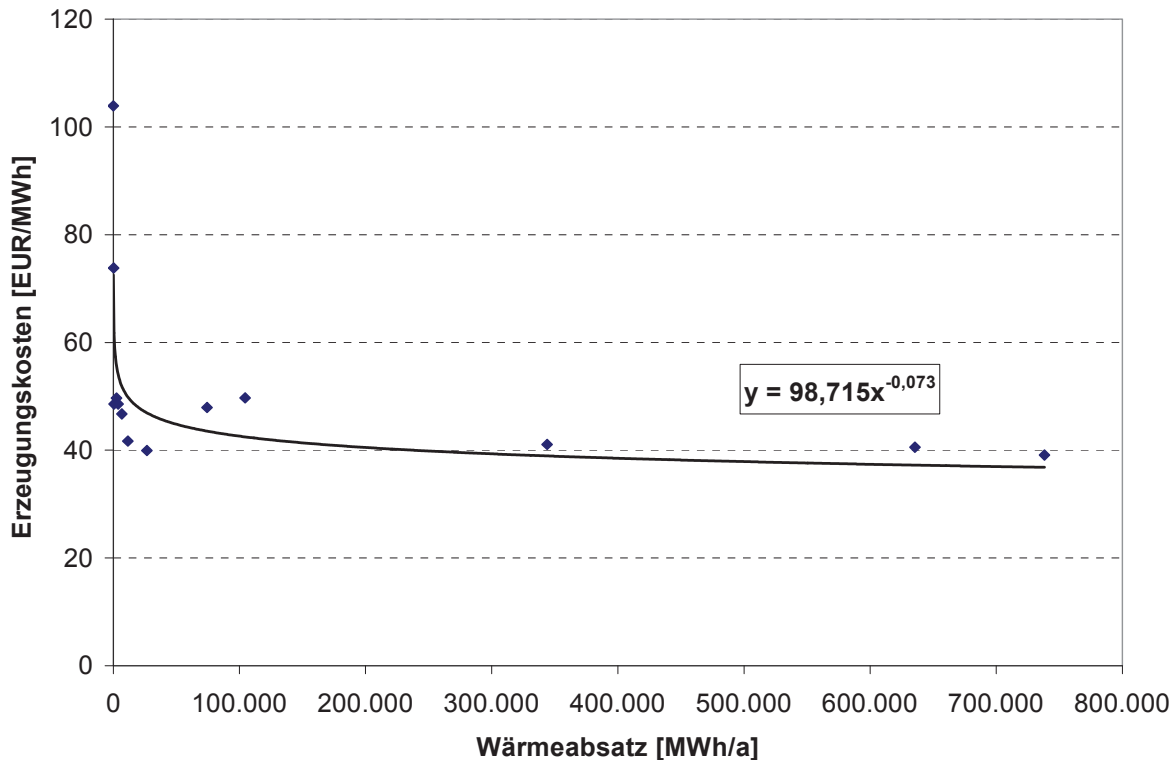
in Deutschland auf die ST 5 - 7. Die ST 8 und 9 sind nur in geringerem Maße vertreten, weil diese ST einen sehr viel kleineren Anteil am Gesamtbestand repräsentieren. Auch die für Deutschland ermittelten Zubaupotenziale entfallen auf die genannten ST; zudem sind Neubaugebiete interessant. Welche Anteile des Gebäudebestandes in Hamburg den einzelnen Siedlungstypen zuzuordnen sind, lässt sich aufgrund des erheblichen Aufwandes im Rahmen dieser Studie nicht ermitteln.

Die wärmemengenspezifischen **Verteilkosten** werden außer den Absatzmengen auch durch die erforderlichen Leitungslängen und spezifischen Verlegekosten bestimmt. Die in Tabelle 6-11 angegebenen Werte können in der Praxis deutlich höher ausfallen, wenn Zusatzkosten anfallen, zum Beispiel durch ein Aufbrechen und Wiederherstellen von versiegelten Oberflächen. In innerstädtischen Bereichen kann die hohe Dichte von Versorgungsleitungen zu erheblichen Mehrkosten führen. Die Verdichtung bestehender Netze ist mit sehr geringen Kosten verbunden; die Unterschiede zwischen den ST fallen recht gering aus. Anders sieht es bei der Erweiterung bzw. der Neuverlegung von Wärmenetzen aus. Aktuelle Berechnungen des Bremer Energie Instituts zeigen, dass die ST 6 und ST7 die niedrigsten spezifischen Verteilkosten aufweisen; hingegen fallen die Verteilkosten in den ST 2 - ST4 etwa zwei- bis dreimal so hoch aus. Der Grund dafür ist, dass die Kosten der Leitungsverlegung zwar niedriger sind, jedoch auf eine deutlich geringere Wärmeabgabe umgelegt werden müssen.

**Tabelle 6-11: Typische Parameter für Siedlungstypen**

Parameter	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4	ST 5	ST 6	ST 7	ST 8	ST 9
Anzahl Gebäude [Geb./km <sup>2</sup> ]	140	1.140	1.090	1.810	690	540	1.000	1.510	3.250
Nutzwärmebedarf [GWh/m <sup>2</sup> ]	5,1	29,5	28,9	38,9	44,5	60,9	62,6	129,0	115,2
Unterverteilnetzlänge [m/Gebäude]	81	15	14	6	13	13	17	14	6
Hausanschlussnetzlänge [m/Geb.]	k.A.	8	6	8	10	15	10	8	6
Unterverteilung [€/m]	260	290	290	290	290	300	300	320	320
Hausanschluss [€/m]	k.A.	300	360	370	360	290	360	400	350

Die **Wärmeerzeugungskosten** hängen bei den anteilmäßig dominierenden KWK-Techniken in hohem Maße von der Anlagengröße ab. Berechnungen des Bremer Energie Instituts für die gesamte Bandbreite am Markt verfügbarer KWK-Techniken für Nah- und Fernwärmesysteme inklusive der dazugehörigen Spitzenkessel ergeben für die finanzmathematischen Mittelwerte in Bezug auf den Wärmeabsatz (Nutzenergie) Werte, wie sie in Abbildung 6-4 dargestellt sind. Dabei werden zunächst die stromseitigen Vergütungen inklusive der zeitlich befristeten Förderung durch das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) ermittelt. In einem zweiten Schritt wird dieser Ertrag dann zu einer spezifischen Gutschrift auf die Wärmeseite umgerechnet, wobei die jeweiligen Stromkennzahlen der einzelnen KWK-Techniken, d.h. das Verhältnis der jährlich erzeugten Strom- zu Wärmemengen, berücksichtigt werden. Nach Abzug dieser Gutschrift errechnen sich die dargestellten und in eine Näherungsfunktion überführten KWK-Wärmeerzeugungskosten (die je nach angesetzten Eingangsdaten natürlich variieren können).



**Abbildung 6-4: Fernwärme-KWK-Erzeugungskosten in Abhängigkeit vom Wärmeabsatz (Nutzenergie) [Eikmeier et al., 2006]**

Die Näherungsfunktion zeigt bei kleinen Wärmeabsätzen bis 50 MWh/a zunächst eine sehr starke und sich dann langsam verringernde Kostendegression. Daraus ergibt sich, dass die absolute Höhe des Wärmeabsatzes eine erhebliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeerzeugung spielt. Nur bei ausreichend großen Erzeugungseinheiten lassen sich günstige Erzeugungskosten realisieren. Daraus leitet sich die Handlungsempfehlung für die Unternehmen ab, einen hohen Anschlussgrad bei den Fernwärmenetzen zu erreichen.

### Unternehmensstrategische Aspekte

Beim Vergleich von Fernwärmeversorgungsquoten einzelner Städte finden sich gravierende Unterschiede, die nicht durch strukturelle Gegebenheiten begründet sind. So weist beispielsweise die „Fernwärme-Vorzeigestad“ Flensburg einen Fernwärmeversorgungsanteil bei den Haushalten von 98% auf, obwohl die Stadt hinsichtlich der Anteile, die auf die einzelnen Siedlungstypen entfallen, nur eine mittelmäßig geeignete Struktur aufweist. Oder anders ausgedrückt: Fast alle städtischen Strukturen sind für eine Fernwärmeversorgung grundsätzlich geeignet.

Eine Analyse solcher Positivbeispiele zeigt neben einzelfallspezifischen Aspekten regelmäßig vor allem zwei Erfolgsfaktoren auf. Erstens gibt es an Schlüsselstellen Akteure, die einen Fernwärmeausbau systematisch über Jahre vorantreiben, zum anderen gibt es (auch dadurch bedingt) eine entsprechende Ausrichtung der Unternehmensaktivitäten im



Sinne einer klaren, langjährig angelegten, konsequenten Unternehmensstrategie. Wichtige, daraus ableitbare Empfehlungen lauten:

- Erstellung und Nutzung eines laufend aktualisierten, möglichst gebäudescharfen Wärmeatlasses, der in ein geeignetes Planungsinstrument eingebettet ist,
- Planung des weiteren Nah- und Fernwärmeausbaus mit großem zeitlichem Vorlauf (hohe Zuverlässigkeit für die Kunden, Nahwärme oft als Zwischenstation),
- systematische Ausnutzung der sich bietenden Gelegenheiten (Neubausiedlungen, Sanierungen an Gebäuden und Infrastruktur),
- Ausnutzung der gegebenen Fördermöglichkeiten,
- Stärkung der Anschlussaktivitäten durch attraktive Fernwärmepreise,
- Abschließen von Fernwärmebündnissen mit den Trägern großer Gebäudebestände (Wohnungsbaugesellschaften).

Es ist festzustellen, dass es in der jüngsten Vergangenheit einige Beispiele größerer Energieversorgungsunternehmen gibt, die zunehmend auf Fernwärme setzen und einen mehrjährigen Ausbauplan entwickelt haben (bsp. Stadtwerke München) und als Basis dafür einen Wärmeatlas erarbeitet haben (Beispiele sind die Metropolregion Rhein-Neckar oder die Stadtwerke Bielefeld, für die aktuell das Bremer Energie Institut diese Arbeiten durchführt).

### Städteplanerische Aspekte

Seitens der Stadt können die Aktivitäten der Unternehmen insbesondere auf zwei Feldern unterstützt werden. Zu nennen ist erstens die Initiierung oder Unterstützung der Erstellung eines Wärmeatlasses oder von Potenzialanalysen, etwa durch Datenbereitstellungen oder die Aufbereitung der Versorgungssituation bei kommunalen Liegenschaften. Ein möglichst gebäudescharfer Wärmeatlas stellt auch für eine Stadt oder Gemeinde einen erheblichen Mehrwert dar, beispielsweise bei der Planung von eigenen Klimaschutzaktivitäten. Zweitens kann die Stadt wichtige Informationsvermittlungs- oder Schnittstellenfunktionen übernehmen. Ein Beispiel für ein solches gemeinsames Vorgehen ist die Stadt Düsseldorf, wo gerade entsprechende Gespräche zwischen der Verwaltung und den Stadtwerken stattfinden.

Über vorbereitende Arbeiten hinaus kann der Ausbau der Fernwärme auch dadurch unterstützt werden, dass Anschluss- und Benutzungsgebote für bestimmte Stadtbereiche erlassen werden. Dies gilt insbesondere für Neubaugebiete, die zwar im Vergleich zum Bestand niedrigere Wärmedichten aufweisen, aber trotzdem für den Fernwärmeausbau attraktiv sind, weil niedrigere Leitungsverlegekosten erzielt und hohe Anschlussdichten erreicht werden.

Es sei an dieser Stelle ergänzend bemerkt, dass auch der Aus- und Neubau von Nahwärmenetzen eine wichtige Rolle spielt. Der Übergang zwischen Fern- und Nahwärme ist fließend, da eine allgemeingültige Definition oder Abgrenzung bis heute nicht existiert. Nahwärmenetze sind aufgrund ihrer Kleinräumigkeit vielfach einfacher zu errichten und stellen eine wichtige strukturelle Voraussetzung für den geplanten, verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien im Wärmemarkt dar. Es sind dazu einige Planungsratgeber für verschiedene Akteure im Internet kostenfrei verfügbar, zwei Beispiele sind [UBA, 2007b] und [HMULV, 2006].



### 6.1.3 Perspektiven für einen Fernwärmeausbau in Hamburg

Eine Bewertung der Ausbauperspektiven ist nicht Teil der Aufgabenstellung, da sie eine deutlich tiefer gehende Betrachtung unter Einbeziehung der im Fernwärmemarkt tätigen Unternehmen erfordern würde. Wie die vorangegangenen Ausführungen jedoch zeigen, bietet eine Großstadt wie Hamburg aufgrund der hohen Wärmedichten grundsätzlich gute Perspektiven für eine erweiterte Fernwärmenutzung.

Diese Grundeinschätzung wird bestätigt durch Ergebnisse des Projektes „Potenziale von Nah- und Fernwärmenetzen für den Klimaschutz bis zum Jahr 2020“ [UBA, 2007a], in dem der Versuch unternommen wurde, in hoher räumlicher Auflösung Ausbaupotenziale zu ermitteln, insbesondere zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien. Die Abbildung erfolgte über die Entwicklung der Bevölkerung in Deutschland, da diese ein Indikator für die Veränderung der Wärmedichte darstellt, sowie außerdem über die Analyse der Wirtschaftlichkeit. Letztere erfolgte anhand eines Kennwerts, der für die Ermittlung der Nahwärmepotenziale herangezogen wurde und deshalb nur als „qualitativer Richtungshinweis“ zu verstehen ist. Im Ergebnis gehört nach dieser Analyse Hamburg zu den relativ wenigen Städten bzw. Gemeinden, in denen das Verdichtungspotenzial nicht durch einen größeren Bevölkerungsrückgang behindert wird.<sup>14</sup> Qualitative Angaben finden sich im Bericht nicht.

## 6.2 Die Rolle von Energiespeichern bei der verstärkten Nutzung Erneuerbarer Energien und der Erschließung von Abwärmepotenzialen

### 6.2.1 Einleitung und Motivation

Ein wesentlicher Beitrag zur rationellen Energieanwendung kann durch die konsequente Nutzung diskontinuierlich anfallender oder überschüssiger Wärmeenergie erbracht werden. Aufgrund der zeitlichen und/oder örtlichen Diskrepanz zwischen Energieanfall und Energiebedarf ist dies allerdings oft auf direktem Weg nicht möglich ist. Es ist daher notwendig, mittels effektiver Energiespeicherung den Energieanfall zeitlich bzw. örtlich zu verlagern.

Eine Möglichkeit zur Nutzung von Abwärme besteht darin, Wärme mittels eines Mediums zu speichern und durch geeignete Transportverfahren an anderer Stelle zur Verfügung zu stellen. Ein solcher Transport kann zum Beispiel leitungsgebunden erfolgen und wird unter der Bezeichnung Fern- oder Nahwärme in verschiedenen Größenordnungen praktiziert.

Im Umkreis von Industrie- oder Biogasanlagen (BHKW) mangelt es oft an geeigneten Wärmeabnehmern, welche die überschüssige Prozesswärme über eine Fernwärmeleitung beziehen könnten, da diese Anlagen meist abseits größerer Wohnbebauung oder anderer möglicher Abnehmer errichtet werden. In diesen Fällen stellt der mobile Wärmetransport mittels Fahrzeugen eine Option zur Verwertung der anfallenden Abwärme dar.

Die Integration eines Wärmespeichers in ein bestehendes System erfordert grundsätzlich die Betrachtung des Gesamtsystems über den kompletten Be- und Entladezyklus. Ein ef-

---

<sup>14</sup> Es handelt sich in der Hauptsache um die großen, kreisfreien Städte in den Alten Bundesländern



effektiver Speichereinsatz ist wesentlich abhängig von einer optimalen Abstimmung des Speichers und der wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Prozesse, eine isolierte Entwicklung des Speichers führt i.d.R. nicht zu einem optimalen System. Folgende Aspekte sind dabei zu beachten:

- Charakterisierung des Wärmebedarfs des thermischen Prozesses nach Leistung und Temperaturniveau,
- Zeitlicher Verlauf des Wärmebedarfs,
- Zyklisches oder nicht vorhersehbares Auftreten von Bedarfsspitzen,
- Erforderliche Kapazität,
- Leistungsgradienten des Speichersystems,
- Zeitraum der Wärmespeicherung.

Bei der Lenkung von Wärmeströmen sind in jedem Einzelfall noch weitere Punkte zu betrachten. Das Temperaturniveau der überschüssigen Wärme muss immer oberhalb des Niveaus der Wärmenachfrage liegen, wodurch die technische Anwendbarkeit von Niedertemperaturwärme auf wenige Abnehmer begrenzt wird. Bei der Speicherung von Hochtemperaturwärme werden zum Teil erhebliche Anforderungen an die Materialien gestellt, so dass eine Weiterverwendung nur in unmittelbarer Nähe der Erzeugung sinnvoll ist. In jedem Einzelfall ist neben dem Temperaturniveau natürlich auch die zur Verfügung stehende Wärmemenge mit dem Wärmebedarf abzugleichen.

Investitionen in eine Transportinfrastruktur für Abwärme sind nur dann zu erwarten, wenn die Bindungen zwischen Wärmelieferant und -abnehmer langfristig gestaltet werden. Allerdings lassen sich Unsicherheiten nicht verlässlich vermeiden, da Industriebetriebe i.d.R. aufgrund wirtschaftlicher Entscheidungen Prozesse ändern oder Standorte aufgeben. Hinzu kommt das Eigeninteresse der Energieversorgungsunternehmen (EVU), ihren Anteil am Wärmemarkt zu sichern bzw. auszubauen. Dies führt dazu, dass Investitionsentscheidungen in Fern- und Nahwärmenetze nicht Branchen übergreifend getroffen werden, sondern insbesondere durch die EVU.

In kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), insbesondere in den energieintensiven Branchen der Metallverarbeitung und Wärmebehandlung, bestehen andere Hemmnisse bei der Umsetzung der Abwärmenutzung. Einerseits fehlt das Know-how über bereits entwickelte Prozesse und Anlagen zur Wärmenutzung und andererseits arbeitet das Personal unter starker zeitlicher Auslastung. Konzepte zur Energieeinsparung und deren Umsetzung sind aber nur zu leisten, wenn entsprechend ausgebildetes Personal mit einem dafür vorgesehenen Zeitkontingent zur Verfügung steht.

### 6.2.2 Speicherkonzepte

Aus thermodynamischer Sicht können Wärmespeicher in kapazitive, latente und chemische Speicher unterteilt werden. Die folgende Beschreibung der Speicher beinhaltet das Grundprinzip, das zur Verfügung stehende Temperaturniveau und die Wärmeleistung. Soweit verfügbar, wurden Fallbeispiele und Vergleichs- bzw. Wirtschaftlichkeitsrechnungen den Darstellungen hinzugefügt.



1. Kapazitive Wärmespeicher
  - Hochtemperaturwärmespeicher
  - Flüssige Speichermedien (ohne Wasser)
  - Langzeit-Wärmespeicher
    - Heißwasserwärmespeicher
    - Kies/Wasser-Wärmespeicher
    - Erdsonden-Wärmespeicher
    - Aquifer-Wärmespeicher
2. Latent-Wärmespeicher
  - Thermische Energiespeicherung mit Phasenwechselmaterialien (PCM)
3. Thermochemische Wärmespeicher
  - Metallhydridspeicher
  - Sorptionsspeicher

### 6.2.3 Kapazitive Wärmespeicher

Bei Systemen, die auf der Speicherung sensibler Wärme basieren, wird während des Be- und Entladevorgangs die Temperatur des Speichermediums ohne Phasenwechsel geändert.

#### 6.2.3.1 Hochtemperaturwärmespeicher

##### Regeneratoren/Rekuperatoren

Regeneratoren sind diskontinuierlich betriebene Wärmeübertrager, die abwechselnd mit heißem und kaltem Gas durchströmt werden und die Wärme in sogenannten Besatzmaterialien zwischenspeichern. Rekuperatoren erlauben auch eine kontinuierliche Wärmespeicherung durch rotierende Speichermassen. Die Speichermaterialien bestehen häufig aus feuerfesten Steinen aber auch aus keramischen Materialien oder Stahlblechpaketen und können unterschiedliche Formen aufweisen, üblich sind Wabenkörper, Kugeln oder Pellets.

Die Heißlufttemperaturen von Regeneratoren liegen bei keramischen Besatzmaterialien bei ungefähr 1.300°C. Die Temperaturen von Rekuperatoren sind etwas geringer, sie liegen zwischen 500°C und 1000°C. Die Heißluftvolumenströme reichen von 100.000 Nm<sup>3</sup>/h bis 500.000 Nm<sup>3</sup>/h, wodurch Leistungen von 0,3 bis 500 MW<sub>th</sub> erreicht werden können. Je nach Auslegung der Hochtemperaturwärmespeicher wird die Temperatur auf der Sekundärseite auf bis zu 550°C angehoben.



In Tabelle 6-12 sind Beispiele für typische Anwendungsbereiche aufgelistet.

**Tabelle 6-12: Anwendungsfelder von Regeneratoren [Streuber, 2001]**

Anwendung	Leistung (MW <sub>thermisch</sub> )	Maximale Temperatur (°C)	Spezifische Anlagenkosten (€/kWh)
Winderhitzeranlage	30 - 300	1.300 - 1.500	350
Koksofen	10 - 100	1.050 - 1.200	
Solarturmkraftwerk	100 - 300	700 - 800	
Wärmerückgewinnung	5 - 7	1.200 - 1.500	
Brennluftvorwärmung	0,3 - 5	1.250 - 1.350	330
Reststoffnutzung	5	1.050	

### Dampfspeicher

Bei den Dampfspeichern wird Energie in Form sensibler Wärme in einer Flüssigkeit gespeichert. Als Speichermedium kommt fast ausschließlich Wasser zum Einsatz. Um ein Sieden der Flüssigkeit zu vermeiden, sind Behälter erforderlich, die für den der Temperatur entsprechenden Siededruck geeignet sind. Das Be- und Entladen des Speichers kann entweder über einen Stoffstrom erfolgen, oder über Wärmeübertragungsflächen, die im Behälter angeordnet sind. Dampfspeicher ermöglichen die Bereitstellung einer hohen Leistungsreserve innerhalb einer kurzen Ansprechzeit. Zum Einsatz kommen sie sowohl in der Prozessindustrie, wo sie zur ausfallsicheren Versorgung von Prozessdampf eingesetzt werden, als auch in Kraftwerken. Die volumetrische Speicherkapazität eines Dampfspeichers hängt wesentlich von der Druckdifferenz zwischen geladenem und entlademem Zustand ab, insbesondere im unteren Druckbereich. Für die abgegebene thermische Energie beim Entladen, bezogen auf den Zustand von siedendem Wasser bei Enddruck ergibt sich beispielsweise:

Entladung von 10 bar auf 1 bar: ca. 86 kWh/m<sup>3</sup>

Entladung von 10 bar auf 5 bar: ca. 29 kWh/m<sup>3</sup> [BMVIT, 2005]

Der Gesamtwirkungsgrad wird mit 65 bis 95% angegeben. Die Kosten der Wärmespeicherung betragen zwischen 60 und 70 €/kWh.

### 6.2.3.2 Flüssige Speichermedien (ohne Wasser)

Flüssigkeiten ermöglichen die Zirkulation des Speichermediums und konvektive Wärmeübertragung mit hohen flächenspezifischen Leistungsdichten. Das Speichersystem kann aus einem einzelnen Behälter bestehen, in den durch einen Wärmeübertragerkreislauf Energie des Arbeitsmediums ein- und ausgespeichert wird. Die Tabelle 6-13 zeigt eine Auswahl von Flüssigkeiten, die für die sensible Wärmespeicherung im Mitteltemperaturbereich eingesetzt werden kann [BMVIT, 2005]. Bei den Kosten handelt es sich um Anhaltswerte, diese sind erheblich von der Auftragsmenge abhängig.



**Tabelle 6-13: Flüssige Speichermedien für den Mitteltemperaturbereich**

Medium	max. Temperatur in (°C)	vol.-spez. Speicherkapazität in (kWh/(m <sup>3</sup> *K))	vol.-spez. Kosten ca. in (€/m <sup>3</sup> )
Mineralöl	300	0,55	230
Synth. Öl	400	0,57	2.700
Silikonöl	400	0,525	4.500
Nitritsalz	450	0,75	1.800
Nitrat Salz	565	0,8	900
Karbonat Salz	850	1,05	5.040
fl. Natrium	800	0,3	1.700

### 6.2.3.3 Langzeitwärmespeicher

Solarthermische Großanlagen bieten im Wohnungsbau die derzeit kostengünstigste Möglichkeit, Solarenergie zur Trinkwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung zu nutzen. Durch die Einbindung von Langzeit-Wärmespeichern kann über 50% der bei konventioneller Wärmeversorgung notwendigen fossilen Energiemenge eingespart werden [Schmidt, 2001].

Der **Heißwasserwärmespeicher** kann unabhängig von der Geologie und auch in kleinerer Baugröße, z.B. als Wärmespeicher für einen Zeitraum von Tagen bzw. Wochen eingesetzt werden. Die Speicher bestehen aus Stahlbeton oder glasfaserverstärkten Kunststoffen mit Wärmedämmung und werden teilweise oder ganz in das Erdreich eingebaut. Die Speicher werden mit Volumina zwischen 300 m<sup>3</sup> und 12.000 m<sup>3</sup> errichtet und drucklos im Temperaturbereich von 30 - 95°C betrieben.

Bei dem **Kies/Wasser-Wärmespeicher** wird eine mit wasserdichter Kunststoffolie ausgekleidete Grube mit einem Kies/Wasser-Gemisch als Speichermedium gefüllt. Die Ein- und Ausspeicherung der Wärme erfolgt über direkten Wasseraustausch oder indirekt über Rohrschlangen. Um die gleiche Wärmemenge wie beim Heißwasserspeicher zu speichern, muss das Speichervolumen aufgrund der geringen Wärmekapazität des Speichermediums um etwa 50% größer ausgeführt werden. Die Maximaltemperaturen liegen bei 90°C.

Beim **Erdsonden-Wärmespeicher** wird die Wärme über Erdwärmesonden in den Untergrund ein- bzw. ausgespeichert. Da dieser Speichertyp nur zur Oberfläche hin wärmege-dämmt werden kann, sind die Wärmeverluste zu den Seiten hin sehr hoch. Daher sind nur große Speicher mit Volumina größer als 50.000 m<sup>3</sup> sinnvoll. Die maximalen Speichertemperaturen liegen bei 80°C.

Beim **Aquifer-Wärmespeicher** werden natürlich vorkommende, nach oben und unten abgeschlossene Grundwasserschichten zur Wärmespeicherung genutzt. Über Brunnenbohrungen wird dem Speicher Grundwasser entnommen, dieses über einen Wärmeüber-träger erwärmt und wieder in den Untergrund eingeleitet. Die Ausspeicherung erfolgt durch eine Umkehrung der Strömungsrichtung. Diese Wärmespeicher stellen sehr hohe Anforderungen an die geologischen Verhältnisse und bergen das Risiko einer biologi-



schen und chemischen Veränderung des Grundwassers oberhalb einer Temperatur von 50°C.

In der Tabelle 6-14 sind Auslegungsdaten und eine Auswahl realisierter Projekte von Langzeit-Wärmespeichern zusammengefasst. Ebenfalls enthalten ist eine Übersicht über die Investitionskosten.

**Tabelle 6-14: Auslegungsdaten und realisierte Projekte von Langzeitwärmespeichern**

Heißwasser-Wärmespeicher	Kies/Wasser-Wärmespeicher	Erdsonden-Wärmespeicher	Aquifer-Wärmespeicher
<b>Speichertemperatur</b>			
30 - 95°C	max. 90°C	max. 80°C	max. 50°C
<b>Speicherkapazität</b>			
60 bis 80 kWh/m <sup>3</sup>	30 bis 50 kWh/m <sup>3</sup>	15 bis 30 kWh/m <sup>3</sup>	30 bis 40 kWh/m <sup>3</sup>
<b>Speichervolumen für 1 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent</b>			
1 m <sup>3</sup>	1,3 bis 2 m <sup>3</sup>	3 bis 5 m <sup>3</sup>	2 bis 3 m <sup>3</sup>
<b>Erwartete Baukosten</b> für einen Speicher mit 10.000 m <sup>3</sup> Wasseräquivalent, bezogen auf 1 m <sup>3</sup> Wasseräquivalent (inkl. Planung, ohne MwSt., Stand 2001)			
90 bis 110 €/m <sup>3</sup>	80 bis 100 €/m <sup>3</sup>	80 bis 100 €/m <sup>3</sup>	70 bis 90 €/m <sup>3</sup>
<b>Auswahl realisierter Projekte</b> (Standort, Wärmeabnehmer, Speichervolumen, Betrieb seit) [Landesamt, 2004], [Schmidt, 2003], [Schmidt, 2005], [Schlosser, 2009], [Solites, 2007]			
Hamburg, 124 Einfamilienhäuser, 4.500 m <sup>3</sup> , 1996,	Steinfurt, 1.500 m <sup>3</sup> , 1998	Neckarsulm, Nahwärmenetz, 63.360 m <sup>3</sup> , 1998	Berlin, Nahwärmenetz, 2.650 MWh/a, 1999
Hannover, 106 Wohneinheiten, 2.700 m <sup>3</sup> , 2000	Chemnitz, 8.000 m <sup>3</sup> , 2000		Rostock, Nahwärmenetz, 20.000 m <sup>3</sup> , 2000
Friedrichshafen, 12.000 m <sup>3</sup> , 1996			Neubrandenburg, Fernwärmenetz, 8.650 MWh/a, 2004

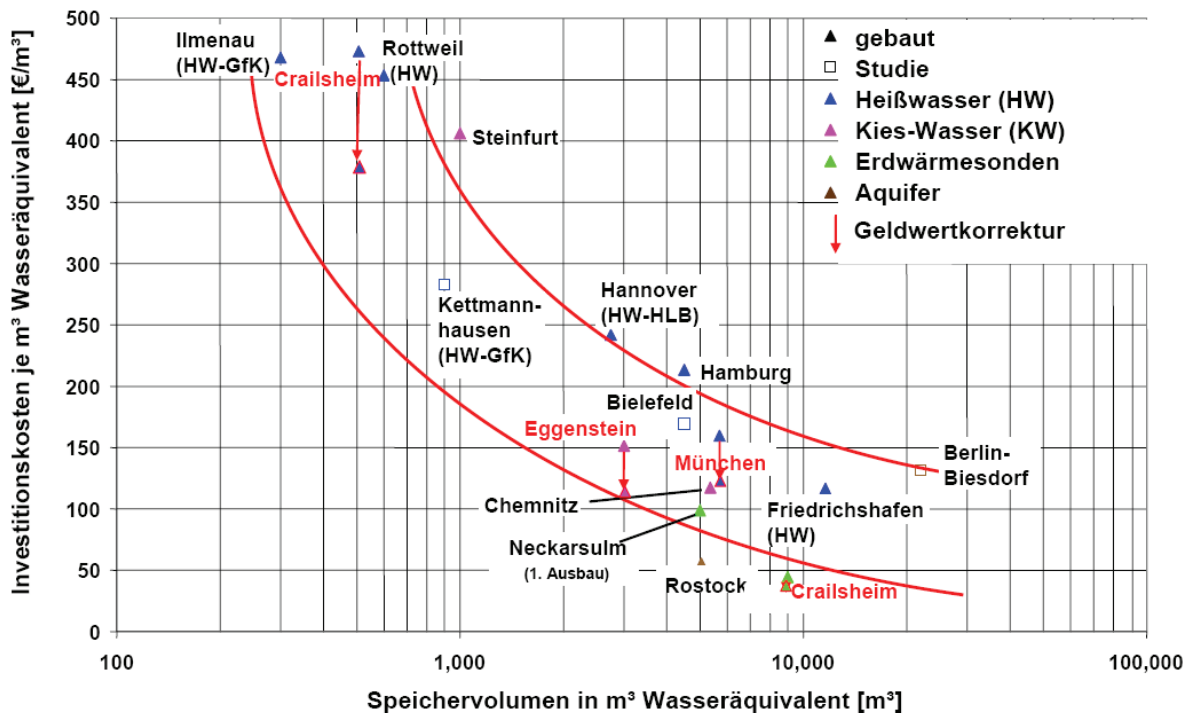


Abbildung 6-5: Investitionskosten von Langzeitwärmespeichern [Solites, 2007]

### Mögliche Anwendung eines Langzeitwärmespeichers in Hamburg:

Das geplante Steinkohle Kraftwerk Hamburg Moorburg wird bei einer Feuerungswärmeleistung von 3.700 MW im Sommerbetrieb Abwärmeverluste von rund 48% (1.760 MW) aufweisen [Hamburg, 2008b]. In dieser Zeit wird das Kraftwerk mit reiner Stromproduktion betrieben und die Restwärme des Kondensationsprozesses wird mittels Kühlwasser an die Elbe abgegeben. Angaben über die Austrittstemperatur des Kühlwassers aus dem Kondensator liegen zurzeit nicht vor. Eine Speicherung der Wärme in einem Langzeitwärmespeicher während des Sommerbetriebs und die Weiterverwendung im Winter wären daher in technischer sowie in wirtschaftlicher Hinsicht zu prüfen.

### 6.2.4 Latentwärmespeicher

Bei der Speicherung von Latentwärme wird der physikalische Effekt genutzt, dass Stoffe beim Phasenübergang (fest → flüssig, flüssig → gasförmig) Wärme aufnehmen, ohne ihre Temperatur zu ändern. Der Prozess ist reversibel, so dass die gespeicherte Wärme bei Umkehrung der Reaktion wieder frei wird. Die Wahl des Phasenwechselmaterials (engl. PCM - Phase Change Materials) entscheidet darüber, bei welcher Temperatur der Phasenübergang stattfindet; der bekannteste Effekt dieser Art ist der Phasenübergang zwischen Eis und Wasser. Latentwärmespeicher zeichnen sich durch hohe Energiedichten aus, nachteilig sind allerdings die beim Phasenwechsel auftretenden Volumenänderungen.



PCM-Produkte zur Wärmespeicherung basieren auf verschiedenen PCM-Klassen:

- Paraffine für  $0^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ ,
- Salzhydrate für  $0^{\circ}\text{C} < T < 130^{\circ}\text{C}$ ,
- anorganische Salze (z.B. Natriumnitrat, Kaliumnitrat, Alkalimetallhydroxid für  $150^{\circ}\text{C} < T < 450^{\circ}\text{C}$  [Graeter, 2001])

Paraffine sind nicht toxisch, nicht korrosiv, separieren nicht und sind zyklenstabil. Allerdings liegt ihre volumenspezifische Schmelzenthalpie mit ungefähr 140 kJ/l weit unterhalb der von Salzhydraten: 320 kJ/l. Ein wesentlicher Nachteil der Salzhydrate liegt darin, dass sie nicht kongruent schmelzen, d.h. es bilden sich mehrere Phasen, die sich entsprechend der jeweiligen Dichte schichten. Das Separieren wird in der Regel durch Umwälzen, Wasserzugabe oder Mikroverkapselung des Salzhydrats vermieden. Neuentwicklungen im Bereich der PCM sind Salzhydratmischungen, Zuckeralkohole sowie PCM-Verbundmaterialien (z.B. PCM auf Graphitmatrix) [Mehling, 2001]. Die Tabelle 6-15 zeigt eine Auswahl von PCM-Materialien [BMVIT, 2005].

**Tabelle 6-15: Phase Change Materials (PCM)**

Salzhydrat	Schmelztemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	vol.-spez. Speicherkapazität in ( $\text{kWh}/(\text{m}^3)$ )	vol.-spez. Kosten ca. in ( $\text{€}/\text{m}^3$ )
$\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$	220	72,7	560
$\text{NaNO}_3$	308	125	450
KNO	333	156	630
KOH	380	85	300

Der mobile Wärmetransport von Abwärme z.B. aus Biogasanlagen erfolgt mit 20-Fuß-Wechselbrückencontainer, die mittels Sattelzügen transportiert werden. Als PCM wird Natriumacetat-Trihydrat ( $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) mit einem Phasenübergang bei  $58^{\circ}\text{C}$  eingesetzt. Tabelle 6-16 zeigt die technischen Daten von Speichercontainern.

**Tabelle 6-16: Daten von Latentwärmespeichercontainern Modell „Fa. Schneider“ [Storch u. Hauer, 2005] [Fischer, 2006]**

Masse des Containers	ca. 26 t
Speicherbare Wärme	2,5 MWh
Beladeleistung	250 kW
Entladeleistung	125 kW
Temperatur Beladung (Vor-/ Rücklauf)	90 / $70^{\circ}\text{C}$
Temperatur Entladung (Vor-/ Rücklauf)	48 / $38^{\circ}\text{C}$
Verluste	~ 10 kWh/Tag
Kosten (inkl. Anschlüsse)	65.000 €



Das Aufladen eines Containers mit Wärme dauert ca. 10 Stunden, das Entladen ca. 20 Stunden. Somit ergibt sich eine Zyklusdauer von ca. 30 Stunden je Container (Wärmebe- und -entladung, ohne Transport). Das Verfahren ist zyklensfest und die Container erreichen laut Herstellerangaben eine Lebensdauer von über 20 Jahren [Transheat, 2006].

### 6.2.5 Thermochemische Speicher - Sorptionsspeicher

Bei der Speicherung von Wärme durch Chemisorption werden Materialien mit stark hygroskopischem Charakter genutzt, z.B. Zeolithe. Die Trennung der Sorbentien von adsorbiertem Wasser (Desorption) erfordert die Zuführung von Wärme. Umgekehrt wird bei der Adsorption von Wasser Wärme freigesetzt. Die Desorption, d.h. die Aufladung des Speichers erfolgt mittels Hindurchleiten heißer Gase durch den Speicherkörper. Zur Wärmeabgabe wird feuchte Luft durch den Speicher geleitet, die dann getrocknet und erhitzt aus dem Speicher austritt. Gegenüber den Natriumacetat-Latentwärmespeichern sind höhere Temperaturen zur Beladung erforderlich, es lassen sich bei der Entladung aber auch höhere Temperaturen erzielen [Storch u. Hauer, 2005].

Die Vorteile von Zeolith-Sorptionsspeichern gegenüber Latentwärmespeichern bestehen in höheren Energieinhalten je Container (4 - 5 MWh), höheren Entladetemperaturen (bis zu 200°C), sowie niedrigeren Containergewichten (ca. 15 t) [Storch u. Hauer, 2005]. Darüber hinaus benötigen Sorptionsspeicher keine Wärmeisolation. Zur Erzielung einer hohen Speicherdichte sind Ladetemperaturen oberhalb von 200°C erforderlich, empfehlenswert sind 300 bis 350°C [Budach, 2006]. Die erzielbaren Entladetemperaturen hängen von der Beladetemperatur, sowie der Eintrittstemperatur und -feuchtigkeit der durchströmenden Luft bei der Entladung ab [Storch u. Hauer, 2005]. Durch eine Rezirkulation der erwärmten Luft lässt sich die Entladetemperatur erhöhen. Die Kosten von Zeolithspeichern betragen rund 50.000 €/MWh [BINE, 2001] und liegen damit mehr als doppelt so hoch wie bei Natriumacetatspeichern.

In München ist seit März 1997 ein thermochemisches Speichersystem mit Zeolith als Adsorbens in Betrieb. Das Speichersystem ermöglicht die autonome Versorgung eines an das Fernwärmenetz angeschlossenen Schulgebäudes während Zeiten hoher Fernwärmeabnahme. Darüber hinaus wird es zur Kühlung von Kultureinrichtungen im Untergeschoss des Gebäudes genutzt [BINE, 2001].

Die praktische Anwendung von Sorptionsspeichern wurde in der Vergangenheit trotz intensiver Forschung durch die hohen Investitionskosten eingeschränkt. Ein Einsatz zur saisonalen Speicherung von Wärme hat sich in Pilotprojekten als unwirtschaftlich herausgestellt. Zukünftig soll in einem weiteren Forschungsvorhaben der Einsatz in industriellen Prozessen untersucht werden. Dabei kann durch die ganzjährige Nutzung der Abwärme die Wirtschaftlichkeit der Speicherung sichergestellt werden [Hauer, 2009].

### 6.2.6 Geeignete Wärmeabnehmer

#### 6.2.6.1 Niedertemperatur

Die Schwierigkeit bei der Einspeisung von Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau in bestehende Wärmeverteilungssysteme besteht darin, dass zur Wärmeeinspeisung die Rücklaufemperatur im bestehenden Verteilsystem *unter* der Vorlaufemperatur des Wärmespeichers liegen muss. Häufig ist in der Praxis diese Bedingung nicht erfüllt, wobei da-



für zwei unterschiedliche Gründe bestehen können: Entweder liegt die letztlich bereitzustellende Temperatur so hoch, dass prinzipiell keine hinreichend niedrigen Rücklaufemperaturen erzielt werden können, oder es herrschen aufgrund veralteter oder schlecht gewarteter Heizungssysteme hohe Rücklaufemperaturen vor, obwohl die letztlich bereitzustellende Temperatur deutlich niedriger liegt. Im zweiten Fall ist für die Einspeisung von Niedertemperaturwärme eine Heizungsmodernisierung oder zumindest eine Temperaturoptimierung zu prüfen. Dadurch anfallende Investitionskosten können durch die eingesparten Energiekosten aufgrund des niedrigen Latentwärmepreises refinanziert werden.

Niedertemperaturwärme in bestehende Nah- oder Fernwärmenetze einzuspeisen, erscheint aus mehreren Gründen problematisch. Die Vorlauftemperaturen in solchen Netzen liegen mit 90 bis 130°C zu hoch, wobei sich insbesondere im Sommer aufgrund des niedrigen Leistungsbedarfs eine geringe Temperaturspreizung einstellt, da lediglich Wärme für die Warmwassererzeugung bereitgestellt werden muss. Jedoch gerade der Sommerbetrieb muss für eine hohe Auslastung der Wärmespeicher mit berücksichtigt werden. Darüber hinaus werden viele Nah- und Fernwärmenetze von größeren Energieversorgern betrieben, die in erster Linie Interesse daran haben, "ihre Wärme" zu verkaufen. Aufgrund des hohen Gasverbrauchs zahlen Unternehmen relativ geringe Gaspreise, verglichen mit kleineren Abnehmern. Die Ansprüche an niedrige Wärmepreise der gespeicherten Wärme sind daher besonders hoch.

Als aussichtsreichste Wärmeabnehmer erscheinen aufgrund ihres niedrigen benötigten Temperaturniveaus, bei gleichzeitig hoher Auslastung und hohem Leistungsbedarf:

- Gewächshäuser und
- Hallenbäder.

Zudem sind Abnehmer mit einem hohen Warmwasserverbrauch interessant, da die niedrige Temperatur des Frischwassers (5 - 10°C) eine gute Nutzung der Niedertemperaturwärme erlaubt. Potenzielle Abnehmer mit hohem Frischwasserverbrauch sind beispielsweise:

- Krankenhäuser, Pflegeheime,
- Großküchen,
- Lebensmittel-/ Getränkehersteller, Brauereien.

Allerdings ist im Fall einer Niedertemperaturwärmenutzung eine weitere konventionelle Erwärmung des Wassers auf die geforderte Temperatur (z.B. 60°C) notwendig.

Attraktiv sind auch große Gebäude, die über eine Warmluftheizung verfügen. Warme Luft kann durchaus mit den niedrigen Temperaturen erzeugt werden. Meist handelt es sich dabei um große Verwaltungsgebäude, Einkaufszentren, Hochschulen, etc. Je nach vorhandener Technik müssen aber eventuell größere Wärmetauscherflächen installiert werden oder es muss eine konventionelle Nacherhitzung erfolgen. Allerdings erreichen solche Gebäude kaum mehr als 2.000 Volllaststunden im Jahr, da meist keine Ganztags- und Wochenendnutzung erfolgt. Folgende Tabelle stellt Orientierungswerte für den Energiebedarf einiger Abnehmer dar.



**Tabelle 6-17: Energiebedarfswerte einiger geeigneter Abnehmer von Niedertemperaturwärme; [Kubessa, 1998] [EWU, 1999]**

Abnehmer	Leistungsbedarf	Vollbenutzungsstunden	Anwendung	Quelle
Hallenbäder	1,2 kW/m <sup>2</sup> Beckenfläche	3600 h/a	Warmwasserbereitung (Dusch- und Beckenwasser)	[Kubessa, 1998]
Krankenhäuser	1 – 2 kW/Bett	3000 – 3500 h/a	Warmwasserbereitung (60°C), Wärme	[Kubessa, 1998] [EWU, 1999]
Senioren- und Kinderheime	40 – 80 l/(Tag*Bett)	2200 – 2500 h/a	Warmwasser, Wärme	[Kubessa, 1998] [EWU, 1999]
Warenhäuser	33 – 125 kWh/(m <sup>2</sup> *Jahr)	2000 – 3000 h/a	Raumwärmebedarf (ohne Warmwasser), Wärme	[EWU, 1999]
Bürogebäude, Verwaltungen	80 – 140 kWh/(m <sup>2</sup> *Jahr)	1500 – 1800 h/a	Raumwärmebedarf (ohne Warmwasser)	[EWU, 1999]

Im Fall einer Nutzung von Niedertemperaturwärme werden weiterhin in den meisten Fällen die bestehenden Feuerungsanlagen notwendig sein, um geforderte Endtemperaturen zu erreichen oder Lastspitzen abzudecken. Jedoch verringert sich ihr Energieverbrauch um den Betrag der gespeicherten Wärme. Eine Beibehaltung erscheint auch aus Gründen der Betriebssicherheit sinnvoll.

Die industrielle Nutzung von Niedertemperaturwärme ist beschränkt, allerdings besteht die Möglichkeit mittels Hochtemperaturwärmepumpen eine Rückgewinnung von industrieller Niedertemperaturabwärme z.B. aus Kühl- oder Abwasser zu realisieren. Dabei wird thermische Energie auf einem niedrigen Temperaturniveau aufgenommen und durch Aufwendung von meist elektrischer Antriebsenergie auf ein höheres Temperaturniveau angehoben. Es werden Vorlauftemperaturen von 130°C bei Wärmeleistungen von 8 MW/Wärmepumpeneinheit erreicht. Die Wärmepumpen eignen sich insbesondere zur Heißwassererzeugung, zur Erwärmung von Luft für Trocknungsprozesse, sowie zur Vorwärmung von Luft und Wasser [Thermea, 2009].

### 6.2.6.2 Hochtemperatur

Thermische Energiespeicher ermöglichen in der Prozessindustrie die flexible Nutzung von Abwärme sowie die optimierte Auslastung von Komponenten durch die Kompensation von zeitlichen Bedarfsschwankungen. Bei der Herstellung von z.B. Porenbeton erfordert das Härten der Steine in Dampfdruckkesseln große Mengen Sattdampf bei Temperaturen zwischen 130°C und 200°C über 8 bis 12 Stunden. Zur Herstellung von 1 m<sup>3</sup> Porenbeton



werden etwa 155 kg Dampf bei 12 bar benötigt, dies erfordert den Einsatz von etwa 87 kWh thermischer Energie, die durch Dampfspeicher (Ruths-Speicher) bereitgestellt werden [BINE, 2008]. Systeme für die Prozessindustrie liegen häufig in Druckbereichen bis 30 bar und im Kraftwerksbereich bis zu 150 bar. Die Kapazität kann bis zu 46 MWh betragen [BMVIT, 2005]. In solarthermischen Kraftwerken setzt man Wasserdampf, Salzschnmelze oder Thermoöl in einem Temperaturbereich von 250 bis 550°C für den konventionellen Dampfturbinenprozess ein, mit Luft als Wärmeträger kann bei Temperaturen >1.000°C auch ein GuD-Prozess betrieben werden [BINE, 2008a]. Hochtemperaturwärme steht an vielen Industriestandorten zur Verfügung und kann über sogenannte Hochtemperatur-Fernwärmeeinspeisestationen in öffentliche Fernwärmenetze eingespeist werden. So prüft z.B. der Wärmeverbund Ingolstadt den Transport von überschüssiger Prozesswärme einer Raffinerie zu einer dort ebenfalls ansässigen Fahrzeugproduktion. Der Wärmebezug beträgt 300.000 MWh/a bei spezifischen Fernwärmetransportkosten von 3,4 €/MWh [LfU, 2005].

### 6.2.7 Vergleich von Speicherkonzepten

Die Integration von Wärmespeichern in bestehende oder geplante Systeme erfordert immer die genaue Betrachtung des jeweiligen Einzelfalles und seiner Randbedingungen. Daher werden für den beispielhaften Vergleich von verschiedenen Speicherkonzepten folgende Randbedingungen festgelegt:

Prozesstemperatur:	140°C (isotherm)
benötigte Leistung:	40 bis 300 kW
thermische Leistung des Speichers:	100 kW
Speicherkapazität:	100 kWh
Speicherdauer:	3 bis 5 Stunden

Für die betrachteten Speicherkonzepte kann bei vorgegebener Leistung und Speicherkapazität das benötigte Volumen abgeschätzt werden, siehe hierzu Tabelle 6-18. Die Investitionskosten für die verschiedenen Speicherkonzepte werden auf Basis von Kostenabschätzungen für die wesentlichen Komponenten verglichen.



**Tabelle 6-18: Vergleich verschiedener Speicherkonzepte [BMVIT, 2005]**

		Speichertemperatur in °C (am Ende der Beladung)					
		175		200		250	
<b>Speicher</b>		<b>Volumenbedarf in m<sup>3</sup></b>					
Dampfspeicher		2,7		1,6		0,75	
Druckwasserspeicher		2,7		1,6		0,75	
Thermoölspeicher		5,7		3,3		1,71	
Feststoffspeicher		7,3		4,2		2,3	
Latentwärmespeicher		0,8		0,7		0,55	
		<b>Investitionskosten</b>					
System	Komponente	€/m <sup>3</sup>	€/100 kWh	€/m <sup>3</sup>	€/100 kWh	€/m <sup>3</sup>	€/100 kWh
Dampfspeicher	Druckbehälter	770	2.080	865	1.380	1.600	1.200
Druckwasserspeicher	Druckbehälter	770	2.080	865	1.380	1.600	1.200
Thermoölspeicher	Behälter	400	6.270	400	3.630	400	1.880
	Öl	700		700		700	
Feststoffspeicher	Beton	200	2.920	200	1.680	200	920
	Rohrregister	200		200		200	
Latentwärmespeicher	PCM	1.500	1.810	1.500	1.650	1.500	1.700
	Druckbehälter	770		865		1.600	

Der Latentwärmespeicher benötigt zwar den geringsten Platzbedarf, verursacht allerdings neben den Thermoölspeichern die höchsten Investitionskosten. Der Feststoffspeicher (Regenerator/Rekuperatur) ist die günstigste Variante, er verfügt aber über das größte Volumen.

### 6.2.7.1 Mobile Wärmespeicherung

Aufgrund der hohen Masse der Latentwärmespeicher-Container ist der Straßentransport nur als Sattelzug möglich [KTBL, 2005]. Um einen quasikontinuierlichen Wärmetransport, vergleichbar mit einer Fernwärmeleitung, zwischen Wärmeerzeuger und Abnehmer zu gewährleisten, ist eine bestimmte Mindestanzahl an Containern erforderlich. Diese richtet sich nach der zu übertragenden Wärmeleistung, sowie der Be- und Entladeleistung der Container. Basierend auf Tabelle 6-16 besteht der Zyklus eines Containers aus folgenden Schritten:

- Wärmeaufladung bei der Biogasanlage (10 Stunden)
- Transport zum Abnehmer (ca. 25 – 60 Minuten, vgl. Tabelle 6-20)
- Wärmeentladung beim Abnehmer (20 Stunden)



- Rücktransport zur Biogasanlage (ca. 25 – 60 Minuten, vgl. Tabelle 6-20)  
 Folgende Tabelle stellt die benötigte Mindestanzahl der Container, die Investitionskosten und die Anzahl der Transportzyklen (Hin- u. Rückfahrt) in Abhängigkeit von der zu übertragenden Wärmeleistung und der Auslastung dar.

**Tabelle 6-19: Latentwärmetransport**

Übertragene Wärmenenn- leistung	Mindest- anzahl der Container	Investitions- kosten (ohne Transport)	Anzahl der jährlichen Transportzyklen (Hin- u. Rückfahrt) in Abhängigkeit von der Auslastung			
			2000 h/a	4000 h/a	6000 h/a	8000 h/a
$\text{kW}_{\text{th}}$		T€				
250	3	195	200	400	600	800
500	6	390	400	800	1.200	1.600
1.000	12	780	800	1.600	2.400	3.200
1.500	18	1.170	1.200	2.400	3.600	4.800
2.000	24	1.560	1.600	3.200	4.800	6.400

Die Tabelle macht deutlich, dass selbst im Fall einer Leistungsübertragung von nur 250  $\text{kW}_{\text{th}}$  im Nennbetrieb 3 Transportzyklen täglich erforderlich sind, die zu präzisen Zeitpunkten am Tag erfolgen müssen. Basierend auf den Tages- und Jahresgangskurven des Wärmeabnehmers ist daher im Einzelfall eine genaue Planung der Logistik besonders wichtig. Zu beachten ist auch, dass die Transportzeitpunkte nachts und am Wochenende liegen können. Verglichen mit dem transportierten Energieinhalt ist der transportbedingte Dieselverbrauch gering. Bei einer Entfernung von 15 km beträgt der Energiegehalt des verbrauchten Diesels 120 kWh/Zyklus und somit nur ca. 5% der transportierten Wärme.

### 6.2.7.2 Wirtschaftlichkeit

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von mobilen Latentwärmespeichern wurde für ein Blockheizkraftwerk einer Biogasanlage durchgeführt und beruht auf folgendem Modell:

- Es besteht ein quasikontinuierlicher Wärmetransport zwischen Wärmeerzeuger und Abnehmer mit konstanter Nennleistung
- Grundlage der Investitionskosten ist die benötigte Mindestanzahl an Containern
- Es ist keine Kostendegression mit der Anlagengröße angenommen, daher sind die ermittelten Kosten unabhängig von der Anlagengröße
- Der Wärmeverlust der Container ist vernachlässigbar
- Aufgrund des hohen Transportbedarfs des Latentwärmetransports ist eine Auslastung der Fahrzeuge zu 100% der Auslastungsschwelle angenommen<sup>15</sup>
- Es sind die Daten aus Tabelle 6-16 und Tabelle 6-19 zu Grunde gelegt.

<sup>15</sup> „Die Auslastungsschwelle ist der Quotient aus dem Nutzungsumfang nach Leistung (gibt die voraussichtliche Lebensdauer einer Maschine in Leistungseinheiten – h, ha, t, m<sup>3</sup>, Ballen - an) und dem Nutzungsumfang nach Zeit.“ [KTBL 2005]



Zudem gehen in die Wirtschaftlichkeitsberechnung folgende Daten ein:

**Tabelle 6-20: Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Latentwärmetransport**

		Quelle
BHKW $\eta_{th}$	45%	Annahme
BHKW $\eta_{el}$	40%	Annahme
EEG-KWK-Bonus	0,02 €/kWh <sub>el</sub>	EEG
Annuitätenfaktor (8%, 15 Jahre <sup>16</sup> )	0,1168	[KTBL, 2005]
Einfache Entfernung Biogasanlage-Wärmeabnehmer	5 - 30 km	Annahme
Durchschnittsgeschwindigkeit	50 km/h	Annahme
Personalkosten	20 €/h	Annahme
Beladung des Sattelzuges	je 10 min	Annahme
Entladung des Sattelzuges	je 10 min	Annahme
Auslastung der Transportmaschinen	jeweils 100% der Auslastungsschwelle	Annahme
Dieselpreis (ohne MwSt.)	0,90 €/l	Annahme
Maschinenkosten Sattelzugmaschine	32,99 €/h	[KTBLonline, 2007] Masch.-Nr. 11603
Maschinenkosten Anhänger	0,40 €/t	In Anlehnung an [KTBL, 2005] S.82f

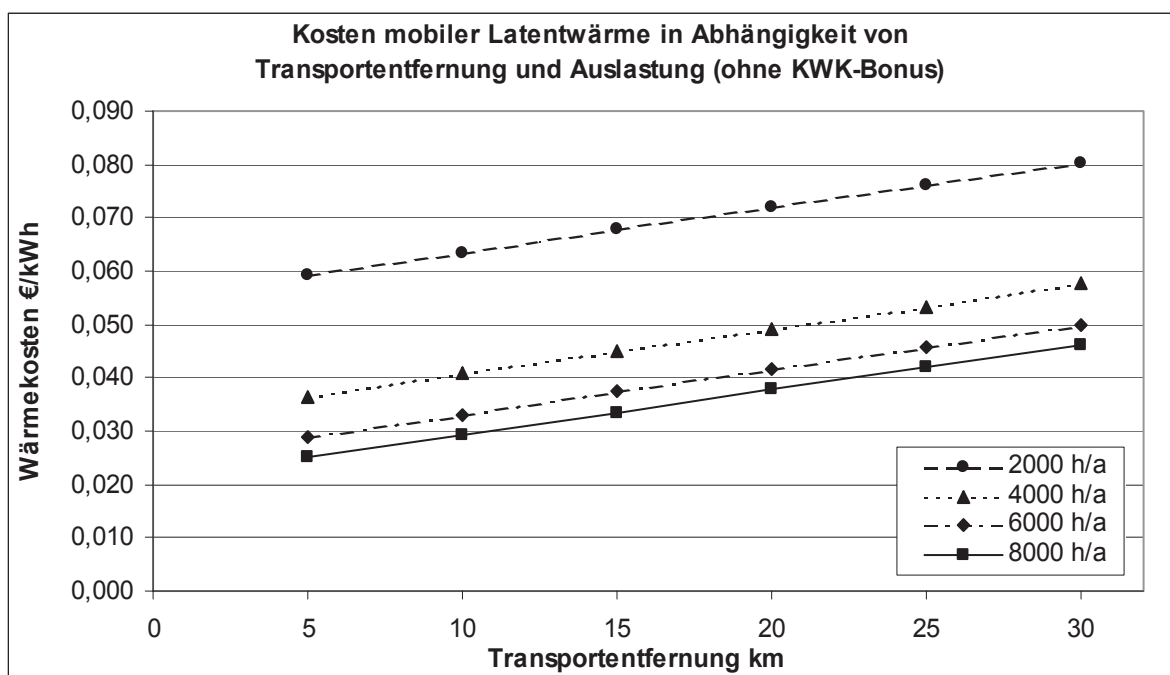
Besteht *kein Anspruch* auf den KWK-Bonus, ergeben sich folgende Wärmekosten des Latentwärmetransports:

<sup>16</sup> Aufgrund der noch nicht vorhandenen langfristigen Betriebserfahrungen mit Latentwärmespeichern ist der Abschreibungszeitraum mit 15 Jahren niedriger angesetzt als die von den Herstellern angegebene Lebensdauer (20 Jahre). Zudem liegt der angenommene Zinssatz mit 8% „auf der sicheren Seite“.



**Tabelle 6-21: Wärmekosten mobiler Latentwärme ohne KWK-Bonus in Abhängigkeit von Entfernung und Auslastung**

Entfernung Biogasanlage - Abnehmer km	Kosten je kWh <sub>th</sub> in Abhängigkeit von der Auslastung			
	2000 h/a	4000 h/a	6000 h/a	8000 h/a
5	0,059	0,036	0,029	0,025
10	0,063	0,041	0,033	0,029
15	0,068	0,045	0,037	0,034
20	0,072	0,049	0,042	0,038
25	0,076	0,053	0,046	0,042
30	0,080	0,058	0,050	0,046



bremer energie institut

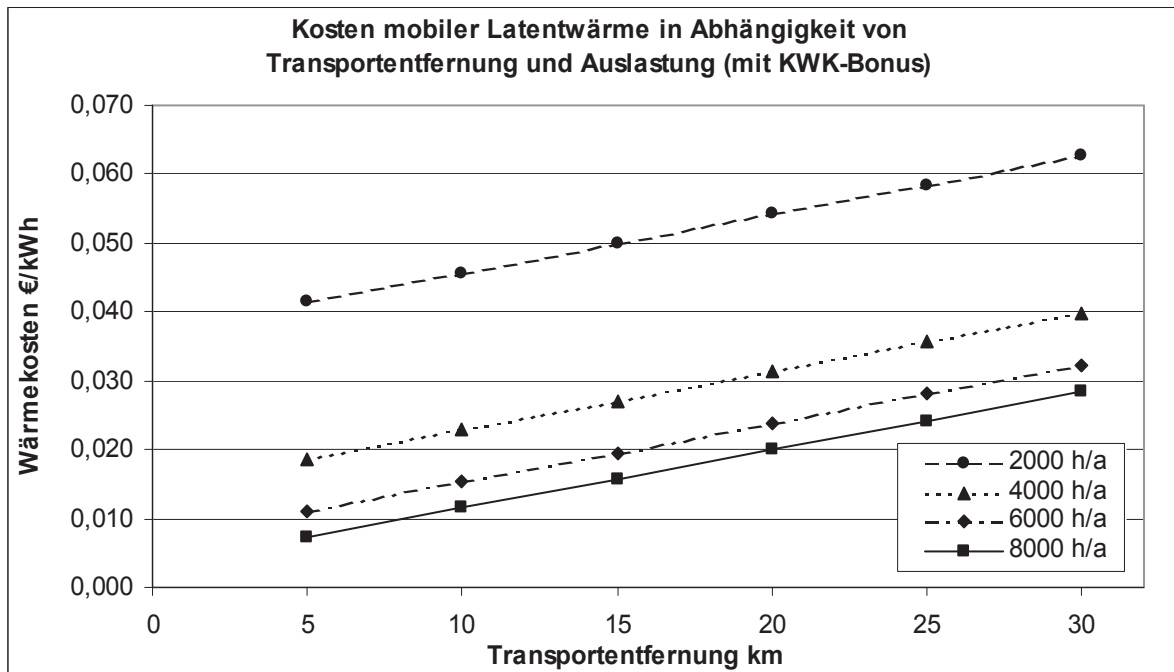
**Abbildung 6-6: Kostenmobiler Latentwärme in Abhängigkeit von Transportentfernung und Auslastung (ohne KWK-Bonus)**



Besteht ein Anspruch auf den KWK-Bonus, ergeben sich folgende Wärmekosten des Latentwärmetransports:

**Tabelle 6-22: Wärmekosten mobiler Latentwärme mit KWK-Bonus in Abhängigkeit von Entfernung und Auslastung**

Entfernung Biogasanlage - Abnehmer km	Kosten je kWh <sub>th</sub> in Abhängigkeit von der Auslastung			
	2000 h/a	4000 h/a	6000 h/a	8000 h/a
5	0,041	0,019	0,011	0,007
10	0,046	0,023	0,015	0,012
15	0,050	0,027	0,020	0,016
20	0,054	0,031	0,024	0,020
25	0,058	0,036	0,028	0,024
30	0,063	0,040	0,032	0,028



bremer energie institut

**Abbildung 6-7: Kosten mobiler Latentwärme in Abhängigkeit von Transportentfernung und Auslastung (mit KWK-Bonus)**



In beiden Fällen sinken die Kosten der Latentwärme mit zunehmender Auslastung und geringerer Entfernung zwischen Biogasanlage und Abnehmer. Kann der KWK-Bonus in Anspruch genommen werden, liegen die Kosten jeweils um 0,018 €/kWh<sub>th</sub> niedriger. Der KWK-Bonus reduziert damit die Wärmekosten um 20 - 70%, je nach Entfernung und Auslastung.

Da die Nutzung mobiler Wärme andere Energieträger beim Abnehmer verdrängt, ist der Vergleich der Kosten von mobiler und konventioneller Wärme ein entscheidendes Kriterium für die Marktfähigkeit des mobilen Wärmetransports. Ein Vergleich mit den Grenzkosten der konventionellen Wärmeerzeugung ist ausreichend, da davon auszugehen ist, dass die Feuerungsanlagen beim Abnehmer weiterhin als Reserve bestehen bleiben. Basierend auf den Industrie-Erdgaspreisen des 2. Halbjahres 2006 [Eurostat, 2006] sind die Gas- und Wärmepreise für verschiedene Abnahmemengen in Tabelle 6-23 dargestellt. Dabei ist ein Nutzungsgrad der Feuerungsanlagen von 90% angenommen.

**Tabelle 6-23: Gaspreise und Wärmekosten in der Industrie nach Abnehmerklassen; [Eurostat, 2006] und eigene Berechnungen**

Abnehmerklasse nach Eurostat	I1	I2	I3-1	I3-2	I4-1	I4-2	I5
<b>Jährlicher Gasverbrauch [MWh]</b>	116,3	1.163	11.630	11.630	116.300	116.300	1.163.000
<b>Abnahmeleistung</b> (je nach jährlicher Auslastung)	15 – 60 kW (2000 – 6000 h)	240 kW (4800 h)	7,3 MW (1600 h)	2,9 MW (4000 h)	29 MW (4000 h)	15 MW (8000 h)	150 MW (8000 h)
<b>Gaspreis €/MWh<sub>Ho</sub></b> (ohne MwSt.)	46,51	45,11	43,70	41,80	37,51	37,01	21,49
<b>Wärmekosten €/kWh<sub>th</sub></b> (ohne MwSt. )	<b>0,057</b>	<b>0,056</b>	<b>0,054</b>	<b>0,052</b>	<b>0,046</b>	<b>0,046</b>	<b>0,027</b>

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass in den Leistungsklassen I2 bis I3-2, bei denen eine hohe Substitution des Wärmebedarfes durch mobile Abwärme erfolgen kann, die variablen Wärmekosten einer Erdgasfeuerung bei etwa 0,054 €/kWh<sub>th</sub> liegen. Mit mobiler Abwärme ohne KWK-Bonus sind diese Kosten bei einer Auslastung von 2000 h/a nicht zu erreichen. (siehe Tabelle 6-15) Erst ab einer höheren Auslastung von ca. 4000 h/a ist mobile Wärme bis zu einer Entfernung von ca. 30 km konkurrenzfähig. Bei Inanspruchnahme des KWK-Bonus stellt sich die Situation für mobile Abwärme deutlich günstiger dar. Bereits bei einer nur geringen Auslastung von 2000 h/a und bis zu einer Entfernung von 20 km ist sie gegenüber Gas konkurrenzfähig. (siehe Tabelle 6-16) Bei höheren Auslastungen sind deutlich weitere Entfernungen überbrückbar.

Für größere Abnehmer, bei denen die Abwärme aus einer Biogasanlage nur einen kleinen Teil der benötigten Wärme ersetzen könnte, sind die Gaspreise niedriger. Daher sind hier zur Erreichung der preislichen Konkurrenzfähigkeit etwas höhere Auslastungen, bzw. kürzere Transportentfernungen notwendig. Ein großer Preissprung in den Gaspreisen stellt



sich allerdings bei Großabnehmern der Kategorie I5 dar. Die Wärmekosten in dieser Kategorie betragen nur rund 50% derjenigen in kleineren Abnehmerkategorien. Bei dieser Abnehmerkategorie handelt es sich vor allem um Betriebe der energieintensiven Industrie und um Energieversorger.

Eine hohe Auslastung der mobilen Wärmespeicher ist eine Grundvoraussetzung, um Wärme zu einem marktfähigen Preis bereitstellen zu können. Allerdings tritt bei potenziellen Wärmeabnehmern mit hoher Auslastung der mobile Wärmetransport in direkte Konkurrenz zur Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung vor Ort. Da Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung seit langer Zeit eine etablierte und bewährte Technologie darstellt, ist damit zu rechnen, dass viele potenzielle Abnehmer bereits über eine gekoppelte Kraft-Wärme-Erzeugung an ihrem Standort verfügen. Im Folgenden sind die variablen Wärmekosten aus gekoppelter Erzeugung vor Ort, basierend auf folgenden Daten, berechnet:

**Tabelle 6-24: Datengrundlage der Berechnung der Wärmekosten aus gekoppelter Erzeugung vor Ort beim Abnehmer**

		Quelle
BHKW $\eta_{el}$	40%	Annahme
BHKW $\eta_{th}$	45%	Annahme
Gaspreis (ohne MwSt)	49 €/MWh <sub>Hu</sub>	[Eurostat, 2006] 2. Halbjahr 2006, Mittelwert der Kat. I2 bis I3-2
Basis-Stromvergütung	50,84 €/kWh <sub>el</sub>	Mittelwert der KWK-Vergütungen Q1-Q4/2006 [BKWK, 2007]
KWK-Bonus (bei Netzeinspeisung)	22,50 €/kWh <sub>el</sub>	[KWK-G, 2004] Anlageninbetriebnahme nach 01.04.2002, < 2MW <sub>el</sub> , für 06/07

Daraus ergeben sich variable Wärmekosten bei gekoppelter Erzeugung in Höhe von 0,044 €/MWh<sub>th</sub>, inkl. Stromgutschrift. Die gesamten Wärmekosten sind allerdings deutlich höher anzunehmen, da die Fixkosten von KWK-Anlagen im Vergleich zu reinen Kesselanlagen deutlich höher liegen. Somit zeigt sich, dass mobile Wärme preislich durchaus gegenüber Wärme aus KWK-Erzeugung vor Ort konkurrenzfähig sein kann.



### 6.3 Untersuchung lokaler, regionaler und überregionaler Aspekte der Wärmebereitstellung ausgewählter Techniken – Beispiel Biomasse

Kooperationen bei der Wärmebereitstellung sind immer dann sinnvoll bzw. erforderlich, wenn:

- mehrere Verbraucher über ein System versorgt werden oder werden sollen,
- mehrerer Erzeuger ihre Energie in ein Versorgungssystem einspeisen,
- Energiequelle und Energienachfrage räumlich getrennt vorliegen,
- eine Kooperation mit lokalen, regionalen oder überregionalen Partnern eine wirtschaftlichere Deckung der Energienachfrage erwarten lässt.

Betrachtet man die in Kapitel 4 diskutierten Energiequellen, so sind die in Tabelle 6-25 zusammengefassten Kooperationsformen denkbar.

**Tabelle 6-25: Optionen für Kooperationsformen bei verschiedenen Energieträgern**

Energiequelle	Denkbare Kooperationsform			Anlass für Kooperation	Kooperationspartner
	lokal	regional	überregional		
Solarthermie	X			Versorgung Baugebiet durch solares Nahwärmenetz	Bauleitplanung, Bauträger, Energieversorger
Geothermie	X	X		Versorgung mehrere Verbraucher durch Wärme aus Tiefengeothermie	Bauleitplanung, Energieversorger, Verbraucher
Fernwärme	X	X		Versorgung mehrere Verbraucher, bei Stadtstaaten evtl. über Landesgrenze hinweg	Bauleitplanung, Bauträger, Energieversorger
Biomasse	X	X	X	Lokal nicht ausreichend Brennstoff vorhanden, Preisgestaltung	Lieferanten von Biomasse aus der Region / überregional / international
Abfälle / biogene Abfälle	X	X	X	Nutzung der Abfälle in Nah-/Fernwärme, Bezug der Brennstoffe aus der Region oder überregional	Energieversorger, Abfallentsorgungsunternehmen
Abwärmenutzung	X	X		Nutzung von Abwärme z.B. aus industriellen Prozessen	Industrie / Energieversorger/Gewerbe, Verbraucher



Das Angebot an biogenen Energieträgern aus Rest- und Abfallstoffen oder gezielt angebauten Energiepflanzen in Hamburg ist im bundesdeutschen Vergleich eher gering. Dies liegt an der Tatsache, dass Hamburg als Stadtstaat weder große Wald- und Forstflächen noch eine nennenswerte Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe hat, die Gülle oder Energiepflanzen produzieren könnten. [IFEU, arrhenius, November 2007]. Verschiedene Studien, die sich mit der energetischen Nutzung der Biomasse befassen, haben daher den Betrachtungshorizont auf die Metropolregion ausgedehnt [Fuchs 2004], [Marr, Wehner 2005], [IFEU, arrhenius 2007]. Nur ein Bruchteil dieses Potenzials ist dem Land Hamburg direkt zuzuordnen. So entfallen z.B. nur etwas 1,5% des Potenzials bei den nachwachsenden Rohstoffen auf das Gebiet von Hamburg. Auf der Basis der in [IFEU, arrhenius 2007] dargestellten Potenziale wurde eine Abschätzung vorgenommen, wie hoch der potenzielle Beitrag der Biomasse zur Wärmebereitstellung in Hamburg sein könnte (siehe Tabelle 6-26). Dabei wurde davon ausgegangen, dass von dem in [IFEU, arrhenius 2007] abgeschätzten Potenzial, gemäß des Anteils der Einwohner der Stadt Hamburg an der Metropolregion, 40% in der Stadt Hamburg genutzt werden können. Dabei wurden Anteile für die Stromversorgung und eine nicht-energetische Nutzung berücksichtigt.

Geht man davon aus, dass dieses Potenzial bis 2020 vollständig ausgeschöpft werden könnte, würde der Anteil der Biomasse an der Wärmebereitstellung in Hamburg knapp 3% betragen. In dieser Studie wird im Szenario für 2020 davon ausgegangen, dass bis 2020 nur etwa 10% des abgeschätzten Potenzials erschlossen werden können. Ein größerer Anteil wäre nur zu erzielen, wenn eine intensive Kooperation mit den umliegenden Bundesländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen auf dem Gebiet der Biomassenutzung erfolgen würde.

**Tabelle 6-26: Abschätzung des Potenzials der Biomasse für die Wärmebereitstellung in Hamburg (inkl. Bezug aus Metropolregion)**

Energieträger	Potenzial Biomasse Wärme [GWh/a]
Holz	70
Halmgutartige (Stroh)	60
Vergärung Abfall	30
Nachwachsende Rohstoffe	410
Vergärung Gülle + Mist	80
<b>Summe</b>	<b>650</b>
<b>Beitrag in 2020 lt. Studie</b>	<b>60</b>

Quelle: eigene Berechnungen)



Dies gilt für alle Biomasseenergieträger, abgesehen von der Vergärung des Abfalls, insbesondere auch für die Nutzung nachwachsender Rohstoffe, die mit knapp zwei Dritteln den größten Anteil am Potenzial aufweisen. Ein Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse kann daher nur in Kooperation mit dem Umland erfolgen.

Eine genaue Analyse des erforderlichen Einzugsbereichs für die Anlieferung von biogenen Energieträgern konnte im Rahmen dieser Studie nicht erfolgen, da die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten akzeptablen Transportentfernungen stark mit dem eingesetzten Energieträger und dem Transportmittel variieren. Dies bestätigen die Ergebnisse der Studie von [BMELV, 2007], in der die Wirtschaftlichkeit einer breiten Palette von Fallbeispielen unter Berücksichtigung der Transportkosten betrachtet wird. So schlagen z.B. beim Bioenergieträger Gülle die Transportkosten wegen der geringen Energiedichte der Gülle besonders stark zu Buche: Unter Wirtschaftlichkeitsaspekten tolerierbare Transportentfernungen für Gülle liegen im Bereich von 5 bis 10 km, weswegen in der Regel die Gülle nur von lokal vorhandener Tierbeständen genutzt werden kann [BMELV 2007]. Auch in der Untersuchung von [DENA 2006] wird bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung davon ausgegangen, dass die Transportentfernung für die Anlieferung der Biomasse für eine Biomass-to-Liquid-Anlage (BtL-Anlage) nicht mehr als 10 km beträgt. In [EU-Consult 2006] wird für den Transport von Rüben eine durchschnittliche Transportentfernung von 25 km angesetzt. Eine Kostenbetrachtung für Strohpellets bis zu Transportentfernungen von 40 km stellt [Pilz 2009] an. In diesem Fall liegt bei einer Transportentfernung von 40 km der Anteil der Transportkosten an den Gesamtkosten der Strohpellets bei ca. 15%. Bei Holzhackschnitzeln für die Raumwärme- und Brauchwasserbereitstellung können dagegen deutlich weitere Transportentfernungen in Kauf genommen werden, [BMELV 2007] setzt bis zu 100 km an.

In den genannten Untersuchungen wird der Transport per LWK zugrunde gelegt, der für die meisten Energieträger in der Metropolregion Hamburg auch in Frage kommen dürfte. Ein Transport über mehr als 50 km dürfte damit für eine ganze Reihe von Brennstoffen und Einsatzbereichen kaum wirtschaftlich interessant sein. Damit dürfte sich die umfassende Erschließung des in Tabelle 6-26 genannten Potenzials als schwierig erweisen.

Die Nutzung des Schienenverkehrs oder der Transport per Schiff kann zu deutlich größeren akzeptablen Transportentfernungen führen, was der Handel mit Pellets im Ostseeraum unterstreicht und was auch die Ergebnisse von [BMELV, 2007] z.B. für den Import von Biokraftstoffen aus Brasilien zeigen. Würden diese Transportoptionen zum Tragen kommen, könnte damit ein höherer Erschließungsgrad erreicht werden. Letztendlich sind aber eingehendere Untersuchungen erforderlich, um geeignete Einzugsbereiche für die in Hamburg relevanten Anwendungen und die Anlieferung von Biomasse zu ermitteln.

In jedem Fall ist der Aufbau einer geeigneten Transportlogistik eine wesentliche Voraussetzung für die intensivere Nutzung der Biomasse aus der Metropolregion Hamburg im Gebiet des Stadtstaates Hamburg. Dies kann nur in Kooperation mit den Akteuren in den umgebenden Bundesländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen erfolgen.



## 6.4 Einfluss der Klimaschutzprogramme der Bundesländer

Die zuvor skizzierte Entwicklung basiert zu einem nicht unerheblichen Teil auf der Übertragung von Energieszenarien für die Bundesrepublik auf die Situation in den fünf untersuchten Bundesländern. Es sind jedoch Zweifel angebracht, ob die inzwischen auf Bundesebene angestoßenen Regelungen allein ausreichen, die skizzierte Entwicklung zu realisieren. Dies gilt besonders für die Technologien, bei denen die Umsetzung stark von regionalen Gegebenheiten und/oder vielen Einzelakteuren abhängt oder auf entscheidende Hemmnisse trifft.

Beispiel hierfür sind bei der Gebäudesanierung die Mieter-Vermieter-Problematik, Unkenntnis über moderne Techniken bei der Nutzung von Abwärmepotenzialen und die Anforderungen an Kapitalrentabilität beim Ausbau der Fernwärme mit hohen Anfangsinvestitionen. (siehe Kapitel 4.2.6). Hier sind allgemeine Förderprogramme in der Regel nicht ausreichend für die Erschließung selbst wirtschaftlicher Einsparpotenziale. In vielen Fällen bedarf es – neben den geeigneten energiepolitischen Rahmenbedingungen auf Bundesebene – zusätzlicher Aktivitäten auf Landes- und kommunaler Ebene, um die relevanten Akteure ausreichend zu informieren und zu motivieren, Maßnahmen auch wirklich umzusetzen. Hier können die Länder und Kommunen wichtige Beiträge leisten, um die Einsparziele auch zu realisieren. Die Länder und Kommunen spielen daher eine zentrale Rolle bei der Erreichung der Klimaschutzziele des Bundes und bei der Realisierung der in dieser Studie skizzierten Entwicklung.

Daher wurden die Ziele und Aktivitäten der Landesregierungen im Wärmebereich genauer untersucht. [Bremen 2008], [Hamburg 2007, 2008], [Hain 2009], [MV 2002, 2005, 2006], [MWAT 2008], [NMUK 2008, 2009], [Schleswig-Holstein 2004, 2008a, 2008b].

Generell ist festzustellen, dass der Zeithorizont der derzeit aktuellen Klimaschutzkonzepte der untersuchten Bundesländer eher kurzfristig angelegt ist und zumeist den Zeitraum bis 2010 umfasst. Hamburg hat Ende 2008 den Maßnahmenkatalog zum Klimaschutzkonzept 2007-2012 für die Jahre 2008/2009 fortgeschrieben und bereits die Handlungsfelder und Schwerpunkte sowie die Instrumente und Strategien mit dem Zeithorizont 2020 benannt. [Hamburg 2008]. In Bremen wird aktuell an der Fortschreibung des Klimaschutzaktionsprogramms bis ins Jahr 2020 gearbeitet [Bremen 2009]. In beiden Ländern ist die Konkretisierung zum aktuellen Zeitpunkt aber nicht so weit fortgeschritten, dass Aussagen über Reduktionsziele im Wärmebereich möglich wären. Daher stützt sich die Einschätzung der Wirkung der Energiepolitik der Länder auf die Entwicklung des Energieeinsatzes im Wärmebereich auf die derzeit gültigen Konzepte. Die wesentlichen, für den Wärmebereich relevanten Reduktionsziele sind Tabelle 6-27 zu entnehmen.



**Tabelle 6-27: Ziele der Klimaschutzkonzepte der Länder mit Relevanz für den Wärmebereich**

	Ziel	Gegenüber	Bis
<b>Bremen</b>	-20% CO <sub>2</sub> -Emissionen Wohnungen	2005	2020
	-6% CO <sub>2</sub> -Emissionen (entspricht -16% 1990-2010)	2005	2010
<b>Hamburg</b>	-21,8% CO <sub>2</sub> -Emissionen	1990	2012
	-40% bis 2020	1990	2020
<b>Meck.-Vorpommern</b>	19,1% Anteil erneuerbarer Energien		2010
<b>Niedersachsen</b>	Keine expliziten Landesziele		
<b>Schleswig-Holstein</b>	-30% CO <sub>2</sub> -Emissionen Wärme Gebäude	1990	2010
	- 15% CO <sub>2</sub> -Emissionen	1998	2020
	25% Anteil erneuerbare Energien (ohne Verkehr)		2010
<b>Ergebnis der Studie</b>	-13,5% CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Wärme	2005	2020

In allen Landesprogrammen spielt der Bereich des Wärmeeinsatzes, insbesondere in Wohngebäuden, bei der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen eine zentrale Rolle. Allerdings benennen von den fünf betrachteten Ländern nur Schleswig-Holstein und Bremen konkrete Ziele für CO<sub>2</sub>-Reduktionen im Wärmesektor. Diese beziehen sich aber nicht auf den gesamten Wärmebereich, sondern nur auf den Anteil der (Wohn)Gebäude. Die dabei angestrebten Ziele sind so angesetzt, dass sie die Erreichung des in dieser Studie ermittelten Wertes von 13,5% CO<sub>2</sub>-Reduktion für den Wärmebereich als realistisch erscheinen lassen.

Betrachtet man die Details der Landeskonzepte, so fällt auf, dass insbesondere die der beiden Stadtstaaten einen hohen Detaillierungs- und Konkretisierungsgrad hinsichtlich der Umsetzungsmaßnahmen haben. Auch in den Programmen der Länder Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern werden konkrete Maßnahmen zur Erreichung der Reduktionsziele benannt. Im Wärmebereich setzt Mecklenburg-Vorpommern im Wesentlichen auf Informations- und Beratungsangebote sowie Verbesserungen in der Infrastruktur für den Einsatz von Biomasse. Auch in Schleswig-Holstein spielen im Wärmebereich Beratung und Öffentlichkeitsarbeit eine wichtige Rolle. Darüber hinaus sollen neben Bundesfördermitteln auch geeignete Kriterien bei der Vergabe von Mitteln aus der Wohnraumförderung sowie Schulsanierungsprogramme zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden genutzt werden. Niedersachsen beschränkt sich auf allgemeine Aussagen zu Einsparmöglichkeiten im Wärmesektor.

Legt man den derzeitigen Stand der Klimaschutzprogramme der untersuchten Länder zugrunde, so ist zu erwarten, dass in den beiden Stadtstaaten die in dieser Studie abgeschätzten CO<sub>2</sub>-Reduktionen erreicht, möglicherweise sogar übertroffen werden. In Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein gibt es unterstützende Maßnahmen für die energetische Modernisierung des Gebäudebestands und die stärkere Nutzung der Biomasse. Mittlere und kleinere Unternehmen werden in beiden Ländern mittels Initial- und Umsetzungsberatung unterstützt. Wenn diese Instrumente aktiv eingesetzt und die Ziel-



gruppen erfolgreich angesprochen und motiviert werden, bestehen gute Chancen, dass auch in diesen beiden Bundesländern die in der vorliegenden Studie skizzierten Ziele in 2020 erreicht werden. Im Fall des Landes Niedersachsen bestehen jedoch Zweifel, ob die Aktivitäten des Landes ausreichen, um Einsparpotenziale in ausreichendem Umfang zu erschließen.

Diese Einschätzung deckt sich tendenziell mit den Ergebnissen der Untersuchung von [DIW, ZSW, AEE, 2008] zu den Anstrengungen der Bundesländer zur stärkeren Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmebereich. In diesem Ranking liegt Hamburg deutlich vor den anderen fünf untersuchten Bundesländern. Schleswig-Holstein wird nach dem dort gewählten Bewertungsschema aufgrund vergleichsweise guter Förderung und Information vor Bremen gesehen. Mecklenburg-Vorpommern rangiert wegen der negativen Ergebnisse der Befragung der Verbände in der Untersuchung am Ende der Liste.

### 6.5 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen

Die Untersuchungsregion umfasst die beiden Stadtstaaten Bremen und Hamburg einerseits und Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein andererseits. Sie ist damit hinsichtlich ihrer Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur repräsentativ für Flächenländer mit einigen großen Zentren. Auch bezüglich der Verfügbarkeit der erneuerbaren Energieressourcen für die Wärmebereitstellung nimmt die norddeutsche Region, anders als im Fall der Strombereitstellung, die in [BEI, 2007] untersucht wurde, keine Sonderstellung ein.<sup>17</sup> Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind daher auch auf andere Regionen in der Bundesrepublik übertragbar.

Dabei sollte aber der Betrachtungsraum nicht zu klein gewählt werden, da sonst die Gegebenheiten vor Ort deutlich von der Situation im Untersuchungsgebiet der Studie abweichen können. Dies erkennt man bereits, wenn man die Entwicklung der erneuerbaren Energien in der Gesamtregion mit derjenigen in den einzelnen Ländern vergleicht. Während in den Flächenländern die Biomasse eine dominante Rolle spielt, ist sie in den Stadtstaaten nur von untergeordneter Bedeutung (siehe Kapitel 4.1)

Die Betrachtungen der Aspekte Kraft-Wärme-Kopplung/Fernwärme und Biomasse, die hier exemplarisch am Beispiel Hamburgs vorgenommen wurden, sind auch auf andere Großstädte oder Ballungsräume übertragbar. Die Identifikation vorhandener KWK- oder Biomassepotenziale und die Erstellung von Umsetzungskonzepten erfordern jedoch eine genauere Untersuchung der regionalen / lokalen Situation.

---

<sup>17</sup> Dies gilt nicht für die Tiefengeothermie, deren Potenziale in der Norddeutschen Tiefebene deutlich größer sind als in anderen Teilen der Bundesrepublik. Die Tiefengeothermie wird allerdings, abgesehen von einigen Pilotprojekten, im Betrachtungszeitraum bis 2020 keine nennenswerte Rolle für die Wärmebereitstellung spielen.



## 7 Fazit und Schlussfolgerungen

### 7.1 Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse der Studie

#### **Reduktion des Endenergiebedarfs Wärme um 11,5% bis 2020**

Der Endenergiebedarf für Wärme in den norddeutschen Bundesländern nimmt bis 2020 um 11,5% ab. Den größten Rückgang verzeichnet der GHD-Bereich mit 33%, der Wärmebedarf Privater Haushalte wird um ca. 13% abnehmen. Der Energieverbrauch der Industrie steigt nach Überwindung der Folgen der Wirtschaftskrise bis 2020 um 4% an.

#### **Zusätzliche Anstrengungen für Ziel -40% CO<sub>2</sub>-Reduktion bis 2020 erforderlich**

In den norddeutschen Bundesländern gingen die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 bis 2005 um knapp 20% zurück. Für den Wärmebereich wurde in der vorliegenden Studie im Zeitraum 2005 bis 2020 eine weitere Reduktion um gut 13% abgeschätzt. Berücksichtigt man, dass etwa die Hälfte des Endenergiebedarfs auf den Wärmebereich entfallen, dagegen nur ca. ein Viertel auf Stromanwendungen,<sup>18</sup> macht dies deutlich, dass noch erhebliche zusätzliche Anstrengungen über die in dieser Studie berücksichtigten hinaus erforderlich sind, um das angestrebte, ambitionierte Reduktionsziel der Bundesregierung von -40% bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen. Ein wichtiger Ansatzpunkt ist dabei die Reduktion des Energiebedarfs im Gebäudebestand.

#### **Weniger fossile Energieträger im Energiemix Wärme in 2020**

Die Entwicklung des Energiemixes im Wärmebereich bis zum Jahr 2020 zeigt, dass bei den fossilen Endenergieträgern ein merklicher Rückgang bis 2020 erkennbar ist. Am deutlichsten ist die Abnahme bei der Kohle. Mit einem Anteil von weniger als 3% spielt sie in 2020 kaum noch eine Rolle bei der Wärmebereitstellung. Der absolute Anteil des Stroms bleibt etwa konstant. Eine deutliche Zunahme haben dagegen die erneuerbaren Energien zu verzeichnen. Ihr Anteil steigt von ca. 3% in 2005 auf 7,5% in 2020. Auch bei der Fernwärme ist eine Zunahme um etwa ein Drittel zu erwarten.

#### **Verdopplung erneuerbarer Wärme**

Bis 2020 wird sich die Wärmebereitstellung durch erneuerbare Energien mehr als verdoppeln und dann rund 7,5% des Endenergiebedarfs für Wärme in den fünf norddeutschen Bundesländern bereit stellen. Damit erreichen die erneuerbaren Energien in Norddeutschland in 2020 aber erst den Anteil, der im Bundesdurchschnitt bereits in 2007 zu verzeichnen war. [BMU, 2009a] Deutlich ist, dass damit die erneuerbare Energien auch in 2020 bei weitem nicht in der Lage sein werden, den Wärmebedarf in Norddeutschland zu decken, und hier noch ein erheblicher Nachholbedarf besteht.

#### **Geringe Zunahme der Wärme aus KWK**

Das wirtschaftliche Potenzial der Kraft-Wärme-Kopplung der fünf norddeutschen Bundesländer beträgt im Jahr 2005 insgesamt ca. 57 TWh/a. Auf die leitungsgebundene Wärmeversorgung (Fernwärme-KWK) entfallen zwei Drittel des Gesamtpotenzials, gefolgt von der Industrie mit rund einem Viertel. Das Potenzial wird durch Abnahme des Wärmebedarfs im zunehmend sanierten Gebäudebestand sowie Effizienzsteigerungen in Industrie

---

<sup>18</sup> Bei genauer Betrachtung ist zu berücksichtigen, dass im Bundesdurchschnitt ca. 10% der Wärmeerzeugung durch Strom erfolgt. [BMWI, 2009e]



und Gewerbe bis 2020 auf ca. 51 TWh/a abnehmen. Derzeit ist weniger als die Hälfte dieses Potenzials ausgeschöpft.

Trotz des Ziels der Verdopplung der KWK-Stromerzeugung wird nur ein geringer Anstieg bei der KWK-Wärme zu verzeichnen sein. Die Ausschöpfung des Potenzials wird um weniger als 10% über 2005 liegen. Dieser geringe Anstieg ist dadurch bedingt, dass der KWK-Ausbau im Strombereich durch höhere Stromkennzahlen der Anlagen und durch Abbau von Überdimensionierungen im Bereich der Fernwärme-KWK realisiert wird, die installierte thermische Leistung jedoch nicht zunimmt. Das Ziel der Verdopplung der KWK-Stromerzeugung hat somit kaum einen Effekt auf die Bereitstellung von KWK-Wärme. Ein Ausbau in diesem Bereich kann nur durch zusätzliche Maßnahmen auf regionaler und insbesondere kommunaler Ebene erreicht werden.

### **Importabhängigkeit durch weiter hohen Gasanteil unverändert**

Für die Versorgungssicherheit des ermittelten Energiemix Wärme spielt der zunehmende Einsatz erneuerbarer Energieträger eine wichtige Rolle. Erneuerbare Energieträger sind im Gegensatz zu fossilen Energieträgern und konventionellen Kernbrennstoffen, deren Vorkommen bei kontinuierlicher Entnahme stetig abnimmt, nicht erschöpfbar und können überwiegend aus heimischer Quelle bezogen werden. Dadurch verringert sich die Importabhängigkeit fossiler Energieträger. Dennoch werden die erneuerbaren Energien bis 2020 nur einen geringen Anteil von 7,5% haben und die Importabhängigkeit der fünf norddeutschen Bundesländer beim Erdgas nur in begrenztem Umfang reduzieren.

Das Risiko der Importabhängigkeit von Erdgas wird als kalkulierbar eingeschätzt, da die deutschen Gasversorgungsunternehmen mit verschiedenen Sicherungsmaßnahmen dem entgegen wirken. Hierzu zählen die Fortführung der Inlandsförderung von Erdgas, stabile Beziehungen zu Lieferanten, der Abschluss langfristiger Gaslieferverträge, Diversifikation von Bezugsquellen und Transportwegen und Vorratshaltung in Untertagespeicher.

### **Bessere Ausnutzung von Abwärmepotenzialen durch Wärmespeicher**

Die Integration eines Wärmespeichers in ein bestehendes System kann zu einer besseren Ausnutzung von Abwärmepotenzialen beitragen. Dies erfordert grundsätzlich die Betrachtung des Gesamtsystems über den kompletten Be- und Entladezyklus. Ein effektiver Speichereinsatz ist wesentlich abhängig von einer optimalen Abstimmung des Speichers und der wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Prozesse, eine isolierte Entwicklung des Speichers führt in der Regel nicht zu einem optimalen System. Die Kosten von Wärmespeichern liegen je nach Temperaturniveau und eingesetzter Speichertechnologie zwischen ca. 1.400 €/100kW und 3.600 €/kW.

### **Ausbau der Biomassenutzung in Hamburg in Kooperation mit Umland möglich**

Bis 2020 können nur knapp 10% des abgeschätzten Potenzials der Biomasse für Wärmebereitstellung in der Stadt Hamburg erschlossen werden. Ein größerer Anteil wäre nur durch eine intensive Kooperation mit den umliegenden Bundesländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen auf dem Gebiet der Biomassenutzung zu erzielen.

Die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten akzeptablen Transportentfernungen von Biomasse variieren stark mit dem eingesetzten Energieträger und dem Transportmittel. Für Gülle liegen diese z.B. im Bereich von 5 bis 10 km, weswegen in der Regel Gülle nur von lokal vorhandenen Tierbeständen genutzt werden kann, im Fall von Hackholzschnitzeln sind deutlich weitere Transportentfernungen noch rentabel, insbesondere, wenn sie per Bahn oder Schiff transportiert werden. Der Aufbau einer geeigneten Transportlogistik ist in jedem Fall eine wesentliche Voraussetzung für die intensivere Nutzung der Biomasse aus der Metropolregion Hamburg im Gebiet des Stadtstaates Hamburg. Dies kann nur in Ko-



operation mit den Akteuren in den umgebenden Bundesländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen erfolgen.

### **Unterschiede bei den Aktivitäten der Länder erkennbar**

Wie zuvor schon betont, ist die Mitwirkung der Länder für die Erreichung der in der Studie skizzierten Ziele unabdingbar. Die Analyse der Klimaschutzprogramme der fünf Bundesländer hat gezeigt, dass insbesondere im Land Hamburg sehr gute Chancen bestehen, die in dieser Studie abgeschätzten CO<sub>2</sub>-Reduktionen zu erreichen. Im Fall des Landes Niedersachsen bestehen jedoch derzeit Zweifel, ob die aktuell bekannten Aktivitäten des Landes ausreichend sind, um Einsparpotenziale in erheblichem Umfang zu erschließen.

### **Ergebnisse der Studie sind auf viele Regionen übertragbar**

Die Untersuchungsregion ist hinsichtlich ihrer Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur repräsentativ für Flächenländer mit einigen großen Zentren. Auch bezüglich der Verfügbarkeit der erneuerbaren Energieressourcen für die Wärmebereitstellung nimmt die norddeutsche Region - anders als im Fall des Stroms - keine Sonderstellung ein. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind daher auch auf andere Regionen in der Bundesrepublik übertragbar. Es sei aber darauf hingewiesen, dass eine direkte Übertragung der Studienergebnisse auf kleine Regionen oder einzelne Städte zu Fehleinschätzungen führen kann, da die Gegebenheiten vor Ort deutlich von der Situation im Untersuchungsgebiet der Studie abweichen können.

## **7.2 Empfehlungen an die Politik**

Aus den Ergebnissen der Studie lassen sich für den Bereich der Wärmeerzeugung und –nutzung die nachfolgenden Empfehlungen für die Politik ableiten:

### **Zusätzliche Aktivitäten zur Erreichung des Klimaschutzziels -40% CO<sub>2</sub>-Emission erforderlich**

Im Untersuchungsgebiet wird das Ziel der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40% bis 2020 nur erreichbar sein, wenn zum einen die Umsetzung der durch die Bundesregierung angestoßenen Programme durch regionale und kommunale Aktivitäten unterstützt wird und zum anderen weitergehender Maßnahmen vor Ort zusätzliche Einsparpotenziale im Wärmebereich erschlossen werden. Hierbei ist die Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudebestand von besonderer Bedeutung.

### **Erneuerbare Energie erfolgreich nutzen – nur durch Mitwirkung der Länder und Kommunen**

Der Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmebereich wird nicht ohne aktive Mitwirkung der Länder erfolgen. Sie spielen hierbei eine deutlich wichtigere Rolle als im Fall der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, die in weiten Bereichen durch das EEG getrieben ist. Zwar ist mit dem Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ein dem EEG ähnliches Instrument für den Wärmebereich geschaffen worden. Dies beschränkt sich bislang allerdings auf den Neubaubereich und reicht allein bei weitem nicht zur Erreichung der skizzierten Ziele aus. Auf Länderebene, aber auch von Seiten der Kommunen sind daher ergänzende Maßnahmen erforderlich. Eine derzeit häufig diskutierte Maßnahme ist die Übertragung des EEWärmeG auf den Gebäudebestand. Beschlossen hat dies das Land Baden-Württemberg, wo ab 1. Januar 2010 ältere Gebäude im Rahmen von



Umbau- oder Modernisierungsmaßnahmen auch die Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärmeerzeugung berücksichtigen müssen. [BW, 2007]

### **Ziele und Konzepte auf Landes- und kommunaler Ebene**

Ausgangspunkt gezielter Aktivitäten ist idealerweise ein detailliertes Klimaschutzkonzept, das nicht nur Ziele benennt, die zu einem festgelegten Zeitpunkt erreicht werden sollen. Es sollte darüber hinaus auch konkrete Maßnahmen enthalten, in deren Konzeption die relevanten Akteure aktiv einbezogen werden. Den Weg zum Ziel sollte ein Monitoringkonzept begleiten, das es ermöglicht, den Fortschritt der Umsetzung des Konzepts in regelmäßigen Abständen zu überprüfen und bei Bedarf das Konzept anzupassen. Ein Beispiel hierfür ist das Hamburger Klimaschutzkonzept. Die Erstellung und Umsetzung von Klimaschutzkonzepten wird seit Anfang 2009 durch den Bund gefördert. [BMU 2008b]

### **Vorbildfunktion der öffentlichen Hand**

Energie- und Klimaschutzprogramme sind nur dann glaubwürdig, wenn auch die dahinter stehenden Einrichtungen die dort gesetzten Ziele zum Maßstab ihres Handelns machen. Daher müssen auch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Einsatz umweltschonender Energieerzeugung im öffentlichen Bereich (Schulen, Krankenhäuser, Verwaltungsgebäude etc.) Teil eines Klimaschutzkonzepts sein. Dies gilt für den Wärmebereich ebenso wie bei der Stromnutzung oder im Verkehrsbereich. Im Wärmebereich sind hohe Einsparungen im Bereich der Schulen, bei Krankenhäusern und im Pflegebereich zu erwarten. Auch die Nutzung erneuerbarer Energien als Optionen der Wärmebereitstellung kann dort Berücksichtigung finden.

### **Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen vor Ort**

Zur Umsetzung einiger Techniken ist die Mitwirkung der Länder allein nicht ausreichend. Dies gilt für alle Energieträger und -techniken, die in besonderem Maß von der lokalen Infrastruktur abhängen wie z.B. die Kraft-Wärme-Kopplung, der Fernwärmeausbau und die Abwärmenutzung. Hier kann die Politik z.B. durch Bereitstellung von Information, Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen, z.B. im Zuge der Stadtplanung, und den Aufbau von Netzwerken tätig werden. Praktische Beispiele sind die Erstellung von Katastern z.B. für die Fernwärmeplanung (Fernwärmekataster) oder für vorhandene Abwärmequellen. Vorstellbar wären auch die Erstellung eines Solarkatasters oder die Weiterentwicklung von Gebäudekatastern im Kontext umfassender Gebäudesanierungskonzepte. Eine Option wäre auch die Förderung von Maßnahmen, die derzeit noch nicht wirtschaftlich sind oder keine Förderung durch den Bund erfahren, längerfristig aber eine besondere Bedeutung für die umweltfreundliche Energieversorgung des Landes oder der Kommune spielen können. In Zeiten knapper Haushaltsmittel dürften hier jedoch die Handlungsmöglichkeiten der Länder und Kommunen eher auf Einzelmaßnahmen beschränkt sein.

### **Information und Ausbildung – Basis für die Umsetzung**

Obwohl es inzwischen zahlreiche Publikationen zu Energieeffizienzmaßnahmen und zum Einsatz erneuerbarer Energien gibt, ist die Verfügbarkeit kompetenter, unabhängiger Partner für Informationen vor Ort immer noch ein bedeutender Faktor für die Realisierung von Maßnahmen. Dies kann von Ländern und Kommunen in Zusammenarbeit mit lokalen Institutionen wie z.B. Verbraucherberatung, Energieberatern und Energieversorgern un-

## Fazit und Schlussfolgerungen



terstützt werden. Erfolgreiche Umsetzung erfordert ausgebildetes Fachpersonal. Daher sollten die Unterstützung der Aus- und Weiterbildung von Fachleuten in den Bereichen Sanierung, Erneuerbare Energien und Energieeffizienz begleitende Maßnahmen sein, mit denen auch die Bildung von Netzwerken gefördert werden kann.



## Literatur

- [AFM + E, 2008] Gasbevorratung in Deutschland. Sicherheitsrisiko?, Außenhandelsverband für Mineralöl und Energie e.V., Hamburg, 2008
- [AGE, 2008] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Energiebilanzen 1990 bis 2006, online verfügbar unter <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=63>
- [AGFW, 1998] AGFW, Neuartige Wärmeverteilung - Schlussbericht -, Schlussbericht zum Forschungsprojekt BMBF 0328789B
- [AGFW, 2008] Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft – AGFW – e.V., Fernwärme-Preisübersicht (Stichtag 01.10.2008), Frankfurt, Oktober 2008
- [AGFW, 2009] AGFW - Der Effizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., AGFW-Hauptbericht 2007 (Stichtag 01.10.2008), Frankfurt, Mai 2009
- [A. T. Kearney, 2009a] A. T. Kearney, Russland am Gashahn - Europa friert. Studie zur Erdgasversorgung Europas, Business Issue Paper, 2009, Zugriff unter [http://www.atkearney.de/content/misc/wrapper.php/id/50508/name/pdf\\_atkearney\\_studie\\_gaskrise\\_europa\\_\\_1233223820d95d.pdf](http://www.atkearney.de/content/misc/wrapper.php/id/50508/name/pdf_atkearney_studie_gaskrise_europa__1233223820d95d.pdf) am 06.03.2009
- [A. T. Kearney, 2009b] A. T. Kearney, Europas Abhängigkeit von russischem Gas wächst, Pressemitteilung, Düsseldorf, 14. Januar 2009, Zugriff unter [http://www.atkearney.de/content/presse/pressemitteilung\\_en\\_archiv\\_detail.php/id/50506/year/2009](http://www.atkearney.de/content/presse/pressemitteilung_en_archiv_detail.php/id/50506/year/2009) am 06.03.2009
- [BBR, 2008] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Raumordnungsprognose 2020/2050, Berichte Band 23 vom Bonn, 2006, ISBN 3-87994-073-8
- [BEI, 2007] Eikmeier, B., Jahn, K., Bode, S., Groscurth, H.-M., Entwicklung der Energieversorgung in Norddeutschland, 2007
- [BEI, 2009] Bremer Energie Institut, eigene Abschätzungen auf der Basis von EWI, Prognos 2007 unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Wirtschaftskrise, Bremen, 2009
- [BINE, 2001] Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): BINE Projektinfo 2/01 – Thermochemische Speicher, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Bonn, 2001
- [BINE, 2002] Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): BINE Themeninfo IV/02 – Latentwärmespeicher, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Bonn, 2002
- [BINE, 2008] BINE Informationsdienst, Latentwärmespeicher liefert Prozessdampf, Projektinfo 09/08, Karlsruhe, 2008
- [BINE, 2008a] BINE Informationsdienst, Solarthermische Kraftwerke werden Praxis, Projektinfo 07/08, Karlsruhe, 2008

## Literatur

- [BKWK, 2007] Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V., Quartalsvergütungssätze für KWK-Strom, <http://www.bkwk.de/bkwk/infos/preis/> (23.01.2007)
- [Blesl, 2007] Blesl, KWK-Anlagenbestand – Potenziale für weitere Modernisierungen, EuroHeat&Power, Heft 04/2007, S. 40-44
- [BMU, 2008] Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Stand 15.12.2008: Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2007: Tabellen und Grafiken. Zugriff unter: [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee\\_zahlen\\_2007\\_dt\\_update.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_zahlen_2007_dt_update.pdf) am 19.06.2009
- [BMU, 2009a] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung, Juni 2009, Zugriff: [http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare\\_energien/downloads/application/pdf/broschuere\\_ee\\_zahlen.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen.pdf), 31.08.2009
- [BMU, 2009b] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Neues Denken – neue Energie: Roadmap Energiepolitik 2020, 2009, [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/roadmap\\_energiepolitik\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/roadmap_energiepolitik_bf.pdf) am 08.09.2009
- [BMU, 2009c] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Klimaschutzpolitik in Deutschland, 2009, Zugriff unter [http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale\\_klimapolitik/doc/5698.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale_klimapolitik/doc/5698.php) am 08.09.2009
- [BMW i, 2007a] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Monitoring-Bericht des BMW i nach § 51 EnWG zur Versorgungssicherheit bei Erdgas, 2007, Zugriff unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/monitoring-versorgungssicherheiterdgas,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> am 06.03.2009
- [BMW i, 2007b] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, 2007, Zugriff unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eckpunkt-fuer-ein-integriertes-energie-und-klimaprogramm,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> am 08.09.2009



- [BMWi, 2009a] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Gesamtausgabe der Energiedaten, letzte Aktualisierung am 26.05.2009, Zugriff unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken.html> am 19.06.2009
- [BMWi, 2009b] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Energie in Deutschland. Trends und Hintergründe zur Energieversorgung in Deutschland, aktualisierte Ausgabe, S. 9, Berlin, 2009
- [BMWi, 2009c] Internationale Klimapolitik, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2009, Zugriff unter [http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale\\_klimapolitik/doc/37650.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/doc/37650.php) am 08.09.2009
- [BMWi, 2009d] Energie und Klima, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2009, Zugriff unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energie-und-klima.html> am 08.09.2009
- [BMWi, 2009e] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Zahlen und Fakten – Energiedaten – Nationale und Internationale Entwicklung, Download: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken.html>, Zugriff: 11.09.2009
- [BP, 2009] BP, Statistical Review of World Energy, June 2009, S. 22 ff.
- [Bremen, 2008] Freie Hansestadt Bremen, Aktionsprogramm Klimaschutz 2010, November 2008
- [Bremen, 2009] Der Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa, Bremen, Klimaschutz- und Energieprogramm 2020, Download: <http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.8313.de>, Zugriff: 17.06.2009
- [Budach, 2006] Persönliche Mitteilung J. Budach, Ingenieurbüro Budach, Kaarst, (15.02.2006)
- [BWK, 2008] Tzscheutzler, P., Nickel, M., Wernicke, I., Buttemann, H, G., Energieverbrauch in Deutschland – Stand 2006: Daten, Fakten, Kommentare, Brennstoff/Wärme/Kraft, Bd. 60 (2008), Nr. 3, S. 49, 2008
- [Destatis, 2006] Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2006 für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 2006
- [Destatis, 2007] Statistisches Bundesamt, Bevölkerung Deutschlands nach Bundesländern bis 2050, Ergebnisse der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung nach Ländern, Wiesbaden 2007
- [DIW, ZAE, AEE 2008] DIW Berlin, ZSW Stuttgart, Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) e.V., Berlin, Vergleich der Bundesländer: Best Practice für den Ausbau Erneuerbarer Energien - Indikatoren und Ranking, 2008

- [DIW, ZSW, 2008a] DIW Berlin und ZSW Stuttgart im Auftrag und in Kooperation mit der Agentur für Erneuerbare Energien e.V., Vergleich der Bundesländer: Best Practice für den Ausbau Erneuerbarer Energien - Indikatoren und Ranking, 2008
- [DIW, ZSW, 2008b] DIW Berlin, ZSW Stuttgart, Vergleich der Bundesländer: Anstrengungen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich - Indikatoren und Ranking, Kurzbericht im Auftrag und in Kooperation mit der Agentur für Erneuerbare Energien e.V., Berlin, 2008
- [dpa, 2008] dpa-Meldung, Weltmarkt für LNG boomt - doch in Deutschland fehlt ein Hafen, 17.07.2008, Zugriff unter <http://www.verivox.de/nachrichten/weltmarkt-fuer-lng-boomtdoch-in-deutschland-fehlt-ein-hafen-24211.aspx> am 13.03.2009
- [Dow Jones EW, 2009] Dow Jones Energy Weekly, 20 Mrd. Kubikmeter Gas in Deutschlands Speichern, Nr. 2, 09.01.2009, S. 1
- [Eikmeier et al., 2006] B. Eikmeier et al., Analyse des nationalen Potenzials für den Einsatz hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung, Energie & Management Verlagsgesellschaft mbH, Herrsching 2006, ISBN 3-933283-42-6
- [E.ON Hanse Wärme, 2009] Henke, K.F., E.ON Hanse Wärme GmbH, persönliche Mitteilungen, September 2009
- [Eurostat, 2006] Tabelle: NRG\_PC\_203 = Gas - Industrieabnehmer - halbjährliche Preise Zugriff unter : [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/extraCtion/evalight/EVAlight.jsp?A=1&language=de&root=/theme8/nrg/nrg\\_pc\\_203](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/extraCtion/evalight/EVAlight.jsp?A=1&language=de&root=/theme8/nrg/nrg_pc_203) (01.12.2006)
- [EWI, Prognos, 2007] EWI - Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln und Prognos AG, Energieszenarien für den Energiegipfel 2007 (Inklusive Anhang 2%-Variante), Nov. 2007
- [EWU, 1999] ewu Engineering GmbH: Kennziffernkatalog – Investitions-vorbereitungen in der Energiewirtschaft, 1999
- [FFE, 2006] FFE Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Entwicklung des elektrischen Lastverhaltens im Sektor Haushalte – Endbericht, Studie im Auftrag der EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Dezember 2006
- [Fischer 2006] Persönliche Mitteilung Dr. T. Fischer, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Garching, (18.05.2006)
- [GEMIS 4.4, 2005] CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (endenergiebezogen; mit Vorkette inkl. CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) nach Gemis 4.4 / 2007 Programm-Werte Szenario Heizen regenerativ (2005)
- [Graeter, 2001] F. Graeter, J. Rheinländer, Thermische Energiespeicherung mit Phasenwechsel im Bereich von 150 bis 400°C,



- Workshop Wärmespeicherung, ForschungsVerbund  
Sonnenenergie, 2001
- [Hain, 2009] Sabine Hain (Leitstelle Klimaschutz des Hamburger Senats), Das Hamburger Klimaschutzkonzept, Hamburg, 29. April 2009, Download: <http://www.hamburg.de/contentblob/1448450/data/fg-290409-vortrag-hain.pdf>, Zugriff: 14.08.2009
- [Hamburg, 2007] Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, Hamburger Klimaschutzkonzept 2007 – 2012, Drucksache 18/6803, 21.08.2007
- [Hamburg, 2008a] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg (Hrsg.), Energiebilanz Hamburg 2006, erarbeitet durch: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, November 2008
- [Hamburg, 2008b] Freie und Hansestadt Hamburg, Immissionsschutzrechtliche Genehmigung gemäß § 4 BImSchG für die Errichtung und den Betrieb eines Steinkohle Kraftwerkes in Hamburg Moorburg, Hamburg, 2008
- [Hamburg, 2008c] Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, Haushaltsplan 2009/2010 „Fortschreibung des Hamburger Klimaschutzkonzepts 2007 – 2012“, Einzelplan 6 „Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt“ - Umsetzungsbericht und programmatische Weiterentwicklung, Dezember 2008
- [Hauer, 2006] Persönliche Mitteilung Dr. A. Hauer, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Garching, (16.01.2006)
- [Hauer, 2009] Persönliche Mitteilung Dr. A. Hauer, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Garching, (21.08.2009)
- [Heitker, 2008] Heitker, E.ON plant mit LNG aus Rotterdam/Terminal Wilhelmshaven auf Eis, Meldung auf Dow Jones Newswires am 05.08.2008, Zugriff unter [http://www.finanzen.net/nachricht/E\\_ON\\_plant\\_mit\\_LNG\\_aus\\_Rotterdam\\_Terminal\\_Wilhelmshaven\\_auf\\_Eis\\_763864](http://www.finanzen.net/nachricht/E_ON_plant_mit_LNG_aus_Rotterdam_Terminal_Wilhelmshaven_auf_Eis_763864) am 13.03.2009
- [HMULV, 2006] Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlicher Raum und Verbraucherschutz, Nahwärme - Ratgeber zur Planung und Errichtung von Nahwärmenetzen, Wiesbaden, Juni 2006, ISBN 3-89274-249-9
- [IFEU, arrhenius 2007] ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH, arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik, Das Steinkohle-Kraftwerk Hamburg Moorburg und seine Alternativen, November 2007

## Literatur

- [ISI, 2006] Eichhammer, W.; Wietschel, M.; Strombedarf einzelner Industriesektoren in Deutschland, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung -ISI- (Karlsruhe) (Hrsg.); BSR Sustainability GmbH (Karlsruhe); Centrum für Energietechnologie Brandenburg – CEBra – (Cottbus), Endbericht im Auftrag der EnBW, Karlsruhe, 2006
- [Klobasa, Eikmeier et al., 2008] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe; Bremer Energie Institut, BSR Sustainability GmbH, Wärme-Potenzial und Perspektiven der KWK in Deutschland, Endbericht (nicht frei verfügbar), Karlsruhe; September 2008
- [KTBL, 2005] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Faustzahlen für die Landwirtschaft, 13. Auflage, KTBL, Darmstadt, 2005
- [KTBL, 2005a] Korrigierte Fassung der Tabelle in [KTBL 2005], S.275, KTBL, Darmstadt, 2005
- [KTBLonline, 2007] Maschinenkosten-Rechner des KTBL, Online-Version, [http://www.ktbl.de/CF/makost/makost.cfm?makost=m\\_num+between+10000+and+11999](http://www.ktbl.de/CF/makost/makost.cfm?makost=m_num+between+10000+and+11999) (23.01.2007)
- [Kubessa, 1998] M. Kubessa (Hrsg.): Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung, Betrieb, Brandenburgische Energiespar-Agentur, Potsdam, 1998
- [KWK-G, 2004] Bundesrepublik Deutschland: Gesetz für die Erhaltung, Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK-G), 2004
- [LfU, 2005] Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, Kurzfassung Wärmeverbund Ingolstadt, Vorstudie, Augsburg 2005
- [Mehling, 2001] H. Mehling, Latentwärmespeicherung - Neue Materialien und Materialkonzepte, Workshop Wärmespeicherung, ForschungsVerbund Sonnenenergie, 2001
- [MV, 2002] Landesatlas Erneuerbare Energien, Mecklenburg-Vorpommern, 2002
- [MV, 2005] Bericht zum Klimaschutzkonzept Mecklenburg-Vorpommern 1997 und Aktionsplan Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern
- [MV, 2006] Mecklenburg-Vorpommern - Leitlinien "Energiewelt 2020", Auszüge aus dem Koalitionsvertrag SPD/CDU 2006, Quelle: [http://www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal\\_prod/Regierungsportal/de/wm/Themen/Energiewelt\\_2020/Leitlinien\\_Energiewelt\\_2020/index.jsp](http://www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/wm/Themen/Energiewelt_2020/Leitlinien_Energiewelt_2020/index.jsp), Zugriff: 14.08.2009
- [MWAT, 2008] Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus, Klimaschutz M und Folgen des Klimawandels in Mecklenburg-Vorpommern - Studie aufgrund des Landtagsbeschlusses vom 29.03.2007 (Drs. 5/352) , 2008



- [MWAT MV, 2007] Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), Energie- und CO<sub>2</sub>- Bericht 2007, mit Energiebilanz 2005 und den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, erarbeitet durch: Energie-Umwelt-Beratung e.V./Institut (EUB), 2007
- [MWAT MV, 2009] Neumeister, L., Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern, Details zu erneuerbaren Energien, persönliche Mitteilungen, Juni 2009
- [MWWV SH, 2006] Ministerium für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein, Energiebilanz Schleswig-Holstein 2006, erarbeitet durch: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein
- [MZ, 2006] Statistisches Bundesamt, Mikrozensus-Zusatzerhebung 2006, Fachserie 5, Heft 1, 2006
- [Nds. Umwelt, 2008] Niedersächsischen Umweltministerium (Hrsg.), Niedersächsische Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen 2006, erarbeitet durch: Pestel Institut, Hannover, November 2008
- [Nitsch, 2008] Nitsch, Joachim, Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas - „Leitstudie 2008“, Oktober 2008
- [NMUK, 2009] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, Der Klimawandel als Herausforderung für Staat und Gesellschaft, Februar 2009
- [NMUK, 2008] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, Mit Energie für Klimaschutz, Dezember 2008
- [Schleswig-Holstein, 2004] Schleswig-Holsteinischer Landtag, Agenda 21- und Klimaschutzbericht Schleswig-Holstein 2004, Bericht der Landesregierung, Landtags-Drucksache 15/3551 vom 12. Juli 2004 (Auszug), Juli 2004, Download: [http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/ImmissionKlima/06\\_\\_Klimaschutz/05\\_\\_Klimaschutzbericht/PDF/AKB\\_\\_V\\_\\_21\\_\\_Punkte\\_\\_pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/ImmissionKlima/06__Klimaschutz/05__Klimaschutzbericht/PDF/AKB__V__21__Punkte__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf), Zugriff: 15.06.2009
- [Schleswig-Holstein, 2009 a] Schleswig-Holstein – Aktiv im Klimaschutz – Aktionsprogramm der Landesregierung, Download: [http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/ImmissionKlima/06\\_\\_Klimaschutz/01\\_\\_Aktionsplan/PDF/KlimaschutzBrosch.html](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/ImmissionKlima/06__Klimaschutz/01__Aktionsplan/PDF/KlimaschutzBrosch.html), Zugriff: 15.06.2009
- [Schlosser, 2009] M. Schlosser, Solarsiedlungen in Norddeutschland - Betriebsergebnisse und Erfahrungen, Netzwerk Wissenschaft für Klimaschutz in der Metropolregion Hannover - Braunschweig - Göttingen, Hannover, den 25.03.2009

- [Schmidt, 2003] T. Schmidt, M. Benner, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen, Saisonale Wärmespeicher – aktuelle Speichertechnologien und Entwicklungen bei Heißwasser-Wärmespeichern, Fachseminar Oberflächennahe Geothermie, 18.-19. Februar 2003
- [Schmidt, 2005] T. Schmidt, H. Müller-Steinhagen, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher in Deutschland, Profiforum Oberflächennahe Geothermie, 14.-15. April 2005
- [Schulz, 2009] Schulz, W., Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung und ihr Beitrag zum Klimaschutz in Berlin, Berliner Energietage 2009, Mai 2009
- [Solites, 2007] Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme, Saisonale Wärmespeicherung, Stuttgart, 2007
- [StaLa HB, 2009a] Statistisches Landesamt Bremen 2009, Entwicklung der Bevölkerung im Land Bremen, persönliche Mitteilungen, 2009
- [StaLa HB, 2009b] Statistisches Landesamt Bremen, Energiebilanzen Bremen 2006, April 2009
- [Stat. JB, 2007] Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2007 für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 2007
- [Stat. JB, 2008] Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2008 für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 2008
- [StatLa Nds., 2009] Niedersächsisches Landesamt für Statistik, Detailinformationen zu erneuerbaren Energien, persönliche Mitteilungen, Juni 2009
- [StatLa Nord, 2009] Statistikamt Nord, Details zu erneuerbaren Energien, persönliche Mitteilungen, Juni 2009
- [Storch u. Hauer 2005] G. Storch und A. Hauer, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (2005): Feasibility Study for Mobile Sorption Storage in Industrial Applications, Vortrag im Rahmen des Kick-Off Workshop of IEA Annex 18 "Transportation of energy by utilization of Thermal Energy Storage Technology" 14.-15.11.2005, Bad Tölz
- [Straßburger, 1992] K. Straßburger, Dissertation, Universität GH Essen, 1992
- [Streuber, 2001] C. Streuber, Regeneratoren als Hochtemperaturspeicher - Industrielle Anwendungen, Workshop Wärmespeicherung, ForschungsVerbund Sonnenenergie, 2001
- [Thermea, 2009] Thermea.Energiesysteme GmbH, Hochtemperaturwärmepumpen für industrielle Prozesse, <http://www.thermea.de/start.php#>, Zugriff am 26.06.2009


## Literatur



[Transheat, 2006]

Kurzdarstellung Transheat Latentwärmtransport bei Clariant, EURECA AG, <http://www.energie-industrie.de/pdf-projekte/wrg/transheat.pdf> (05.08.2006)

## Literatur

- 
- [UBA, 2007a] Umweltbundesamt, Potenziale von Nah- und Fernwärmenetzen für den Klimaschutz bis zum Jahr 2020, Forschungsbericht 205 41 104, Dessau, Dezember 2007, Climate Change 17/07, ISSN 1862-4359
- [UBA, 2007b] Umweltbundesamt, Netzgebundene Wärmeversorgung - Anregungen für Kommunen und andere Akteure, Forschungsbericht 205 41 104, Dessau, Dezember 2007, Climate Change 19/07, ISSN 1862-4359
- [Wagner et al., 2002] Wagner, H.-J., Unger, H., et al.: Validierung und kommunale Disaggregation des Expertensystems HERAKLES, Abschlussbericht, Ruhr-Universität Bochum, 2002
- [Wierse 1993] M. Wierse, O. Brost, H.. Groll, Entwicklung, Bau und Erprobung eines thermochemischen Energiespeichers auf MgH<sub>2</sub>-Basis für solare und andere Energieversorgungssysteme, Thermische Energiespeicherung, Statusbericht 1993, Bundesministerium für Bildung und Forschung, 1993



## **Anhang**

**Annahmen zur Entwicklung des Energiebedarfs Privater Haushalte  
Raumwärme**

**Tabelle A-1: Fläche der bewohnten Wohneinheiten in den fünf norddeutschen Bundesländern [MZ, 2006]**

		Fläche insgesamt 10000 m <sup>2</sup>								
		Baujahr								
		von ... bis ... errichtet								
Bremen		bis 1918	1919 - 1948	1949-1978	1979 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2004	2005 und später	Zusammen
Gebäudegröße										
mit 1 Wohneinheit		125	142	504	105	6	19	11	3	915
mit 2 Wohneinheiten		71	82	136	33	5	1	0	0	327
mit 3 - 6 Wohneinheiten		65	91	381	51	7	10	2	2	610
mit 7 - 12 Wohneinheiten		38	76	446	82	8	6	0	1	660
mit 13 - 20 Wohneinheiten		0	2	21	3	0	0	0	0	25
mit 21 und mehr Wohneinheiten		5	4	109	13	1	0	0	0	132
insgesamt		303	397	1.597	287	27	37	14	7	2.669
Felder mit null oder "keine Information"										
		Fläche insgesamt 10000 m <sup>2</sup>								
		Baujahr								
		von ... bis ... errichtet								
Hamburg		bis 1918	1919 - 1948	1949-1978	1979 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2004	2005 und später	Zusammen
Gebäudegröße										
mit 1 Wohneinheit		125	265	644	204	45	54	75	17	1.430
mit 2 Wohneinheiten		89	89	165	54	9	26	6	5	443
mit 3 - 6 Wohneinheiten		193	149	590	106	39	45	21	7	1.141
mit 7 - 12 Wohneinheiten		390	338	1.329	174	33	56	19	3	2.341
mit 13 - 20 Wohneinheiten		98	66	195	25	3	13	4	0	404
mit 21 und mehr Wohneinheiten		9	8	332	42	13	20	2	0	427
insgesamt		895	915	3.256	606	142	214	127	31	6.187
Felder mit null oder "keine Information"										
		Fläche insgesamt 10000 m <sup>2</sup>								
		Baujahr								
		von ... bis ... errichtet								
Mecklenburg-Vorpommern		bis 1918	1919 - 1948	1949-1978	1979 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2004	2005 und später	Zusammen
Gebäudegröße										
mit 1 Wohneinheit		621	527	484	253	157	249	210	19	2.519
mit 2 Wohneinheiten		242	180	116	54	37	48	40	6	722
mit 3 - 6 Wohneinheiten		213	222	192	53	24	54	24	3	785
mit 7 - 12 Wohneinheiten		85	123	721	344	16	33	30	0	1.351
mit 13 - 20 Wohneinheiten		4	5	112	92	3	1	5	0	222
mit 21 und mehr Wohneinheiten		1	2	260	141	0	5	3	0	412
insgesamt		1.166	1.059	1.886	937	237	389	310	28	6.012
Felder mit null oder "keine Information"										
		Fläche insgesamt 10000 m <sup>2</sup>								
		Baujahr								
		von ... bis ... errichtet								
Niedersachsen		bis 1918	1919 - 1948	1949-1978	1979 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2004	2005 und später	Zusammen
Gebäudegröße										
mit 1 Wohneinheit		1.784	1.784	7.648	2.770	1.016	1.568	1.067	222	17.859
mit 2 Wohneinheiten		1.153	998	3.127	786	294	316	158	49	6.882
mit 3 - 6 Wohneinheiten		1.022	894	2.546	554	318	298	133	11	5.776
mit 7 - 12 Wohneinheiten		366	379	1.798	400	122	122	41	5	3.233
mit 13 - 20 Wohneinheiten		23	54	269	69	35	21	2	0	473
mit 21 und mehr Wohneinheiten		6	14	388	51	6	10	15	0	490
insgesamt		4.354	4.124	15.776	4.630	1.791	2.335	1.415	288	34.713
Felder mit null oder "keine Information"										
		Fläche insgesamt 10000 m <sup>2</sup>								
		Baujahr								
		von ... bis ... errichtet								
Schleswig-Holstein		bis 1918	1919 - 1948	1949-1978	1979 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2004	2005 und später	Zusammen
Gebäudegröße										
mit 1 Wohneinheit		680	646	2.771	1.016	382	554	353	54	6.455
mit 2 Wohneinheiten		326	221	664	187	69	106	51	10	1.635
mit 3 - 6 Wohneinheiten		252	226	816	168	90	85	45	4	1.687
mit 7 - 12 Wohneinheiten		133	144	902	227	72	68	22	3	1.570
mit 13 - 20 Wohneinheiten		25	10	129	42	24	13	11	0	254
mit 21 und mehr Wohneinheiten		2	4	242	39	12	25	5	1	330
insgesamt		1.420	1.250	5.524	1.679	649	851	487	71	11.932
Felder mit null oder "keine Information"										
		Fläche insgesamt 10000 m <sup>2</sup>								
		Baujahr								
		von ... bis ... errichtet								
Norddeutschland gesamt		bis 1918	1919 - 1948	1949-1978	1979 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2004	2005 und später	Zusammen
Gebäudegröße										
mit 1 Wohneinheit		3.335	3.364	12.051	4.348	1.606	2.444	1.716	315	29.178
mit 2 Wohneinheiten		1.881	1.570	4.208	1.114	414	497	255	70	10.009
mit 3 - 6 Wohneinheiten		1.735	1.582	4.525	932	478	492	225	27	9.999
mit 7 - 12 Wohneinheiten		1.012	1.060	5.196	1.227	251	285	112	12	9.155
mit 13 - 20 Wohneinheiten		150	137	726	231	65	48	22	0	1.378
mit 21 und mehr Wohneinheiten		23	32	1.331	286	32	60	25	1	1.791
insgesamt		8.138	7.745	28.039	8.139	2.846	3.826	2.353	425	61.513
Felder mit null oder "keine Information"										

**Tabelle A-2: Entwicklung des Energiebedarfs für Raumheizung**

	2010	2015	2020
Rel. Veränderung des Endenergiebedarfs für Raumwärme gegenüber 2005 (%) <sup>1</sup>	-3,1%	-7,1%	-11,5%

<sup>1</sup> : Werte nach[EWI/Prognos, 2007] 2%-Szenario

**Brauchwasserbereitung****Tabelle A-3: Entwicklung des Wirkungsgrades der Brauchwasserbereitung**

	2005	2010	2015	2020
Wirkungsgrad (%) <sup>1</sup>	74	77	81	84

<sup>1</sup> : Werte nach[EWI/Prognos, 2007] 2%-Szenario

**Annahmen zur Entwicklung des Energiebedarfs im Bereich GHD****Tabelle A-4: Entwicklung des Endenergiebedarfs im Bereich GHD in Bezug auf die Beschäftigtenzahlen**

	2005/2006	2010	2015	2020
	<b>Endenergiebedarf in GWh</b>			
Bremen	2.991	3.083	3.120	3.133
Hamburg	7.935	8.180	8.281	8.317
Mecklenburg-Vorpommern	5.773	5.910	5.955	5.961
Niedersachsen	30.823	31.525	31.740	31.758
Schleswig-Holstein	8.360	8.523	8.561	8.551
Insgesamt	55.881	57.221	57.656	57.720



## Annahmen zur Entwicklung des Energiebedarfs im Bereich Industrie

**Tabelle A-5: Endenergieverbrauch für Wärme im Bereich Industrie nach Wirtschaftszweigen [HB, HH, NDS, SH: 2006; MV: 2005]**

Wirtschaftszweig	HB	HH	MV	NDS	SH	Nord- deutsch- land
<b>Endenergieverbrauch in GWh</b>						
<b>Bergbau, Glas, Steine, Erden</b>						
Bergbau, Gewinnung v. Steinen u. Erden	0	409	44	351	565	<b>9.518</b>
Glasgewerbe, Herst. v. Keramik, Verarbeitung v. Steinen u. Erden	285	0	339	6.106	1.418	
<b>Ernährungs-, Tabakgewerbe</b>						
Ernährungsgewerbe u. Tabakverarbeitung	1.173	1.876	1.320	7.290	1.355	<b>13.014</b>
<b>Papier-, Druckgewerbe</b>						
Papier-, Verlags-, Druckgewerbe	26	141	92	6.041	2.079	<b>8.378</b>
<b>Chemische Industrie*</b>						
Chemische Industrie	35	344	80	10.824	1.982	<b>15.958</b>
Herstellung von Gummi- u. Kunststoffwaren	16	277	35	1.697	0	
<b>Metallerzeugung, -bearbeitung</b>						
Metallerzeugung und -bearbeitung	9.946	3.287	92	21.270	65	<b>34.791</b>
<b>Maschinen-, Fahrzeugbau</b>						
Maschinenbau	35	183	46	796	276	<b>5.706</b>
Fahrzeugbau	527	525	189	2.854	92	
<b>Sonstige</b>						
Textil- u. Bekleidungsgewerbe	0	0	0	326	0	<b>4.321</b>
Ledergewerbe	0	0	0	15	0	
Holzgewerbe	5	0	427	989	0	
Herst. v. Büromaschinen, Elektrotechnik, Feinmechanik u. Optik	7	142	58	630	0	
Herst. v. Möbeln, Schmuck, Musikinstru- menten, Sportgeräten, Spielwaren; Recycling	79	0	20	377	0	
Nicht zugeordnete	0	0	866	0	379	
<b>Insgesamt</b>	<b>12.135</b>	<b>7.183</b>	<b>3.610</b>	<b>59.564</b>	<b>9.193</b>	



**Tabelle A-6: Entwicklung des Endenergiebedarfs der Industrie in Norddeutschland in Abhängigkeit der Wirtschaftsentwicklung**

Wirtschaftszweige	2005/2006	2010	2015	2020
	<b>Endenergiebedarf in GWh</b>			
Bergbau, Glas, Steine, Erden	9.518	9.518	9.674	9.831
Ernährungs-, Tabakgewerbe	13.014	13.014	13.886	14.723
Papier-, Druckgewerbe	8.378	8.378	9.023	9.667
Chemische Industrie*	15.958	15.958	17.712	19.303
Metallerzeugung, -bearbeitung	34.791	34.791	38.076	41.277
Maschinen-, Fahrzeugbau	5.706	5.706	6.460	7.222
Sonstige	4.321	4.321	4.819	5.335
<b>Insgesamt</b>	<b>91.685</b>	<b>91.685</b>	<b>99.650</b>	<b>107.358</b>

**Tabelle A-7: Entwicklung des Endenergiebedarfs der Industrie in Norddeutschland bei einer Steigerung der Energieproduktivität um jährlich 2%**

Wirtschaftszweige	2005/2006	2010	2015	2020
	<b>Endenergiebedarf in GWh</b>			
Bergbau, Glas, Steine, Erden	9.518	9.250	9.002	8.861
Ernährungs-, Tabakgewerbe	13.014	12.773	13.115	13.360
Papier-, Druckgewerbe	8.378	8.153	8.489	8.835
Chemische Industrie*	15.958	15.011	15.840	16.550
Metallerzeugung, -bearbeitung	34.791	33.399	35.030	36.324
Maschinen-, Fahrzeugbau	5.706	5.479	5.835	6.392
Sonstige	4.321	4.067	4.536	4.708
<b>Insgesamt</b>	<b>91.685</b>	<b>88.132</b>	<b>91.845</b>	<b>95.030</b>