

Climate Change

Climate
Change

03
07

ISSN
1862-4359

Nachhaltige Wärmeversorgung Sachstandsbericht



Umwelt
Bundes
Amt 
Für Mensch und Umwelt



Nachhaltige Wärmeversorgung Sachstandsbericht

von

Jan Strohschein, Christoph Erdmenger, Reinhard Albert,
Michael Bade, Anja Behnke, Simone Böhme, Andreas Hannig,
Wulf Hülsmann, Bernt Johnke, Helmut Kaschenz, Christiane Lohse,
Anne Mieke, Peter Pichl, Stephan Saupe, Anja Schubert,
Ulrike Wachsmann, Kathrin Werner, Bärbel Westermann

Umweltbundesamt

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/>
verfügbar.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: FG I 4.2 „Nachhaltige Energieversorgung“
Christoph Erdmenger
Jan Strohschein
Franziska Eichler

Dessau, März 2007

Inhalt

1	Wärmeversorgung und Klimaschutz.....	3
2	Erzeugung von Wärme und Kälte.....	6
2.1	Kleinfeuerungsanlagen in Gebäuden.....	6
2.2	Brennstoff Biomasse.....	7
2.3	Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.....	9
2.4	Abfallverbrennung.....	11
2.5	Solarthermie.....	13
2.6	Geothermie.....	14
2.7	Wärmepumpen.....	16
2.8	Speicher.....	18
2.9	Klimatisierung.....	20
	Exkurs Kältemittel.....	22
3	Der Wärmemarkt in Deutschland heute.....	24
3.1	Wärmebedarf.....	24
3.2	Wärmebereitstellung.....	26
3.3	Wärmeanbieter.....	34
4	Der Wärmemarkt in Deutschland morgen bis 2030.....	37
4.1	Rahmendaten und gewählte Szenarien.....	37
4.2	Bedarf.....	42
4.3	Wärmebereitstellung.....	44
	Exkurs: Räumliche Aspekte der Wärmeversorgung.....	48
5	Fazit.....	51
5.1	Offene Forschungsfragen.....	51
6	Abkürzungsverzeichnis.....	53
7	Quellen.....	55
7.1	Gesetze und Verordnungen.....	55
7.2	Literatur.....	55

1 Wärmeversorgung und Klimaschutz

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen, der sich die Menschheit heute stellen muss. Die globalen Treibhausgasemissionen treiben den Klimawandel maßgeblich an. Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Kyoto-Protokoll verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis zu den Jahren 2008 und 2012 um 21 Prozent¹ zu reduzieren. Dieses Ziel wird Deutschland voraussichtlich mit den geplanten und bereits umgesetzten Maßnahmen erreichen. Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung vom 11. November 2005 sieht bis zum Jahr 2020 vor, die Treibhausgase um mehr als 30 Prozent zu mindern, falls sich die EU international ebenfalls zu einer Minderung von 30 Prozent verpflichtet.² Das Umweltbundesamt hält eine darüber hinaus gehende Minderung um 40 Prozent bis zum Jahr 2020 und um 80 Prozent bis zum Jahr 2050 für notwendig.³ Die dazu erforderlichen Maßnahmen betreffen in Deutschland hauptsächlich die Energiebereitstellung und -anwendung, da energiebedingte CO₂-Emissionen einen Großteil der deutschen Treibhausgasemissionen stellen.

Der Klimawandel ist kein Zukunftsszenario, er findet bereits heute statt. Temperatur und Niederschläge verändern sich stark. So ist die globale Mitteltemperatur seit Beginn der systematischen meteorologischen Aufzeichnungen im Jahr 1861 um 0,7 Grad Celsius (°C) gestiegen. Das Tempo dieser Erwärmung nahm in den letzten drei Jahrzehnten deutlich zu. Die Erwärmung zeigt sich im globalen Maßstab sowie bei regionalen Betrachtungen. So stieg in Deutschland in den vergangenen 100 Jahren die Jahresmitteltemperatur um 0,8 °C. Beim Niederschlag kommt es zu höheren Winterniederschlägen.

Das Umweltbundesamt sieht die nachhaltige Energieversorgung – für die der Wärmemarkt entscheidende Bedeutung hat – vorrangig unter dem Aspekt des Klimaschutzes und somit der Emissionsminderung bei Treibhausgasen. Damit der Wärmemarkt seinen Beitrag zur dauerhaft umweltgerechten Energieversorgung leisten kann, ist das Wärmeversorgungssystem umzugestalten. Mit dieser Konzeption will das Umweltbundesamt Handlungsfelder im Wärmemarkt aufzeigen, auf denen

¹ bezogen auf das Basisjahr. Für CO₂, CH₄ und N₂O ist das Basisjahr 1990, für die sog. F-Gase (H-FKW, FKW und SF₆) ist das Basisjahr 1995.

² Vgl. CDU, CSU und SPD (2005); S. 65

³ Vgl. Umweltbundesamt (2005a), S. 73f

Treibhausgasemissionsminderungen erreichbar sind. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Möglichkeiten, Wärme möglichst klimaschonend zu erzeugen. Die technischen Potenziale zur Minderung des Wärmebedarfs – zum Beispiel durch bessere Dämmtechnik in Häusern – betrachtet diese Konzeption nicht im Detail. Besonderes Augenmerk legen die Autorinnen und Autoren auf die Nutzung der Wärme aus regenerativen Quellen, auf Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) und auf Effizienzsteigerungspotenziale.

Etwa 59 Prozent der in Deutschland verbrauchten Endenergie entfallen auf Wärme, 39 Prozent auf mechanische Energie (zum Beispiel in Motoren) und zwei Prozent auf Beleuchtung.⁴ Bei den privaten Haushalten liegt der auf die Wärme entfallende Anteil sogar bei mehr als 90 Prozent.⁵ Damit ist Wärme in Deutschland die wichtigste Endenergieform.

Beim Wärmebedarf dominiert die Raumwärme. Zusätzlich dazu gibt es viele industrielle Produktionsprozesse, die große Wärmemengen und Temperaturen erfordern, die weit über den Raumheizungsbedarf hinausgehen. Für die klimapolitischen Folgen ist es wichtig, dass unterschiedliche Wärmeanwendungsprozesse kombinierbar sind. Die Arbeitsfähigkeit der Energie ist erstens kaskadenartig – zum Beispiel durch Kombination von Prozessen, die Dampf mit hoher Temperatur benötigen, mit einer Heizungsanlage – oder zweitens gekoppelt – zum Beispiel in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen – nutzbar. Diese Form der Nutzung führt zu bedeutenden Substitutionseffekten. Obwohl die Wärmewirtschaft eine derart wichtige Rolle in der Energieversorgung spielt, kommt sie in der öffentlichen Wahrnehmung meist zu kurz. Die Stromwirtschaft ist mit öffentlich strittigen Themen – wie Kernenergie und Kohlepolitik, hohen Strompreisen – meist präsenter. Energiepolitik ist in der öffentlichen Wahrnehmung überwiegend Strompolitik.

Das Energieeinsparpotenzial ist aber gerade bei der Wärmeversorgung groß. Zudem rechnen Fachleute in den nächsten Jahren mit großen Veränderungen auf dem Wärmemarkt. Auslöser hierfür sind demografische Entwicklungen – wie Bevölkerungsrückgang und Zersiedelung – Effizienzerhöhungen bei der Wärmenutzung und veränderte Energiepreise. Auch die notwendige Erneuerung des Kraftwerkparks

⁴ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2006), Tabelle 7: Diese 59 Prozent unterteilen sich in gut 33 Prozent Raumwärme, gut 5 Prozent Warmwasser und ca. 20 Prozent Prozesswärme, die vor allem die Industrie einsetzt.

⁵ Vgl. Kap. 3

bietet Möglichkeiten für den Wärmemarkt, falls mit Hilfe der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) das Angebot an leitungsgebundener Wärme stiege. Bei dieser Erneuerung stehen in den Jahren bis 2020 umfassende Investitionen an, da erstens wegen des Verzichts auf die Nutzung der Kernenergie und zweitens wegen des Alters der einzelnen Kraftwerke rund 50 Gigawatt (GW) Kraftwerksleistung zu ersetzen sind.⁶

Für eine nachhaltige Energieversorgung muss auch den erneuerbaren Energien eine wichtigere Rolle zukommen, um nicht erneuerbare natürliche Ressourcen und Umwelt zu schonen. Anders als bei der Stromversorgung gibt es aber für den Wärmemarkt noch keinen gesetzlichen Rahmen zur Förderung der Energieversorgung aus erneuerbaren Energien.

Zentrale Herausforderung: Solare Wärme in KWK-basierter Energieversorgung

Da Wärme in Deutschland die wichtigste Endenergieform ist und alle Möglichkeiten zur Minderung von Treibhausgasemissionen auszuschöpfen sind, ergeben sich für die Wärmeversorgung folgende zentrale Herausforderungen.

In Zukunft wird es zu deutlichen Verschiebungen in der Höhe und Verteilung des Wärmebedarfs kommen. Gründe hierfür sind – neben dem demografischen Wandel – neue Techniken, wie solarthermische Anlagen und Effizienzsteigerungsmaßnahmen. Deshalb werden die bestehenden Netze und Anlagen einem großen Veränderungsdruck unterliegen. Wegen des klimapolitisch wünschenswerten starken Ausbaus dezentraler Anlagen, die Wärme aus erneuerbaren Energien erzeugen, sind bestehende Anlagen und Netze anzupassen. Dies betrifft besonders Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen), die ebenfalls einen wichtigen Beitrag zu einer klimafreundlichen Wärmeversorgung erbringen. Um die Energieeffizienz drastisch zu erhöhen, ist es erforderlich, KWK-Anlagen mit den Solarthermieanlagen über Wärmenetze und Speicheranlagen zu einem effizienten Gesamtsystem zu verbinden.

Die Konzeption beschreibt Techniken, den heutigen Wärmemarkt und Szenarien für die zukünftige Wärmeversorgung.

⁶ Vgl. Erdmenger (2006), S. 18

2 Erzeugung von Wärme und Kälte

Bei der Wärmeversorgung kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz. Dies betrifft die Erzeugung der Wärme – zum Beispiel durch die Nutzung verschiedener Brennstoffe oder erneuerbarer Quellen, wie Solarthermie und Geothermie – sowie die Speichermöglichkeiten, die bei der Wärmeversorgung – im Gegensatz zur Stromversorgung⁷ – bereits existieren. Dieses Kapitel stellt die wesentlichen Verfahren vor und geht auf Innovationspotenziale ein. Es konzentriert sich dabei auf die Wärme- und Kälteversorgung. Die Techniken, die den Bedarf beeinflussen (Gebäudetechnik, Industrieprozesse etc.), beschreibt das Kapitel wegen ihrer Vielschichtigkeit hingegen nicht. Soweit ein Verständnis dieser Techniken erforderlich ist, gehen die Kapitel 3 und 4 darauf ein.

2.1 Kleinf Feuerungsanlagen in Gebäuden

Ein Großteil der Wärmeversorgung in privaten Haushalten und im Gewerbe erfolgt durch Heizkessel. Derzeit sind in Deutschland etwa 8,7 Millionen Gasheizkessel⁸, 6,4 Millionen Ölheizkessel⁹ und 0,6 Millionen Heizkessel für feste Brennstoffe¹⁰ – wie Kohle und Holz – in Betrieb.

Moderne Heizkessel haben in der Regel eine hohe Energieeffizienz und geringe Emissionen, allerdings gibt es noch zahlreiche ältere Kessel mit deutlich schlechterer Emissionscharakteristik und niedrigen Wirkungsgraden. Die Energieeinsparverordnung aus dem Jahr 2001 fordert¹¹, Heizkessel, die vor dem 1. Oktober 1978 eingebaut wurden, bis zum 31. Dezember 2006 außer Betrieb zu nehmen. Es gelten jedoch Ausnahmen, die § 9 regelt. Üblich sind bei neuen Anlagen Niedertemperatur- oder Brennwertkessel. Bei Niedertemperaturkesseln passt sich die Vorlauftemperatur dem aktuellen Wärmebedarf an, sie variiert – in Abhängigkeit von der Außentemperatur – zwischen 75°C (an sehr kalten Tagen) und etwa 45°C (bei milder Witterung).

⁷ mit Ausnahme der „Speicherung“ elektrischer Energie in Pumpspeicherkraftwerken

⁸ Vgl. ZIV (2005), ohne Seitenangabe

⁹ Vgl. ebd.

¹⁰ Vgl. Struschka, M. et al. (2003), S. 59

¹¹ EnEV: § 9, Absatz 1: „Eigentümer von Gebäuden müssen Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und vor dem 1. Oktober 1978 eingebaut oder aufgestellt worden sind, bis zum 31. Dezember 2006 außer Betrieb nehmen.“

Deshalb verringern sich an Tagen mit geringerem Heizwärmebedarf die Energieverluste durch den Schornstein und durch die Wärmestrahlung des Kessels. Bei Brennwertkesseln ist die Temperatur des Abgases so niedrig, dass der im Abgas enthaltene Wasserdampf kondensiert. Die entstehende Kondensationswärme ist dann zusätzlich nutzbar.

Während die Brennwerttechnik bei Gasfeuerungsanlagen bereits seit Jahren ausgereift ist und mittlerweile bei etwa der Hälfte der neuen Gasheizungsanlagen zum Einsatz kommt, verzeichnen Öl-Brennwertgeräte erst seit etwa fünf Jahren deutliche Zuwachsraten.

Der mit der Verbesserung der (Umwelt-)leistung verbundene Aufbau des einschlägigen Know-how führte dazu, dass deutsche Unternehmen bei Kleinfeuerungsanlagen im internationalen Wettbewerb einen klaren Innovationsvorsprung besitzen. Bei der Einführung von Brennwertgeräten waren die deutschen Unternehmen führend.

2.2 Brennstoff Biomasse

Biomasse lässt sich – ähnlich wie die fossilen Brennstoffe Öl, Gas oder Kohle – als Brennstoff zur Strom- und Wärmeerzeugung einsetzen. Unter den erneuerbaren Energieträgern zeichnet sich Biomasse durch ihre Lagerfähigkeit und vielfältigen Einsatzmöglichkeiten aus. Sie ist gut transportierbar und dient nicht nur bedarfsgerecht zur Strom- und Wärmeerzeugung, sondern findet auch als Kraftstoff oder zur stofflichen Nutzung Verwendung.

Zur Wärmeversorgung kommt Biomasse vorwiegend in den folgenden Formen zum Einsatz:

- Holz (meist in Form von Pellets, Hackschnitzeln oder Scheitholz) zur direkten Verbrennung in Einzelöfen, Zentralheizungen und kleineren Heizwerken;
- sonstige feste Biomasse (Altholz, Waldrestholz oder Pflanzenreststoffe) zur kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme in Heizkraftwerken von typischerweise 5 bis 20 Megawatt (MW) elektrischer Leistung in Verbindung mit Wärmenetzen;
- Gülle, biogene Reststoffe und Grünpflanzen zur kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme in Biogasanlagen mit typischerweise 0,1 bis 3 MW elektrischer Leistung, teilweise in Verbindung mit Nahwärmenetzen.

Die derzeit genutzten Techniken zur Wärmeerzeugung aus Biomasse sind bewährt, bedürfen jedoch hinsichtlich der Emissionen – vor allem der Staubemissionen – und der Ausfallsicherheit noch weiterer Entwicklung. Hervorzuheben sind dabei die auch als PM₁₀¹² bezeichneten Feinstaubemissionen, die bei kleinen Holzfeuerungen einen Anteil am gesamten Staubaussstoß von mehr als 90 Prozent¹³ haben. Bereits heute sind in Deutschland die Emissionen an gesundheitsschädlichem Feinstaub aus diesen Anlagen insgesamt etwa so hoch wie die aus den Motoren der Pkw, Lkw und Motorräder. Hauptverursacher sind die – zumeist älteren – Einzelraumfeuerungen, die zwar oft nur als Zusatzheizung zu einem Gas- oder Ölkessel dienen, aber bei gleichem (Primär-)Energieeinsatz um ein Vielfaches höhere Feinstaub-Emissionen verursachen als moderne Holzfeuerungsanlagen.

Die Technik kleiner Holzfeuerungsanlagen entwickelte sich in den letzten Jahren deutlich weiter. Seit einigen Jahren sind Pelletheizkessel auf dem Markt, die – wegen der Nutzung der homogen zusammengesetzten und gut getrockneten Holzpellets als Brennstoff – deutlich geringere Emissionen verursachen als herkömmliche Holzheizkessel. Wegen der üblichen automatischen Beschickung sind sie ähnlich komfortabel zu bedienen wie Ölkessel. Bei der Nachfrage nach Pelletheizkesseln ist auch in den nächsten Jahren mit deutlichen Zuwachsraten zu rechnen. Trotz des – im Vergleich zu sonstigen Holzfeuerungsanlagen, etwa Kaminen oder Kaminöfen – günstigen Emissionsverhaltens ist jedoch der Feinstaubausstoß der Pelletkessel um ein Vielfaches höher als der von Ölfeuerungsanlagen.¹⁴

Der Nutzen auch der Biomasseanlagen ist bei gleichzeitiger Erzeugung von Strom und Wärme am größten, was bei klassischen Heizkraftwerken mit Dampfprozess erst ab einer Leistung von etwa 5 MW_{el.} effizient und – bezogen auf die Vergütungssätze des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) – wirtschaftlich ist.¹⁵ Mit der Anlagengröße erhöht sich jedoch zugleich der Aufwand zur Verteilung der Wärme und Beschaffung der Biomasse. Bislang erfolgte die Errichtung von Heizkraftwerken – wegen nicht ausreichender Anreize zur Wärmenutzung sowie der Skepsis hinsichtlich der Emissionen – oftmals weit ab von Siedlungen, so dass nur

¹² Gemäß der EG-Richtlinie 1999/30/EG sind PM₁₀ „die Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist“

¹³ Vgl. Struschka, M. et al. (2003), S. 39

¹⁴ Vgl. ebd.

¹⁵ Institut für Energetik und Umwelt (2006); S. 7

eine geringe Wärmeabnahme erfolgt. Biogasanlagen befinden sich in der Regel in landwirtschaftlichen Betrieben, wo der Wärmenutzung ebenfalls Grenzen gesetzt sind.

Bei der Wärmenutzung aus Biomasse sind generell folgende Aspekte zu optimieren:

- Erschließung verfügbarer Wärme aus der gekoppelten Stromproduktion (Alt- und Neuanlagen);
- deutliche Reduktion umweltbelastender Emissionen, vor allem Feinstaub, unter anderem mit nachgeschalteten Abscheidetechniken für kleine Anlagen;
- Erschließung von Waldrestholz in einem umweltverträglichen Umfang.

Derzeit befinden sich Verfahren der Verflüssigung von Biomasse sowie zur Umwandlung in Biogas in der Forschung und Entwicklung, mit deren Hilfe vor allem Biokraftstoffe effektiver und kostengünstiger zu produzieren sein sollen. Die Verflüssigung zielt primär auf Kraftstoffe, jedoch bietet die Vergasung die Möglichkeit, effiziente KWK-Anlagen mit kleinen Leistungen in Nahwärmenetzen zu realisieren.

2.3 Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) erzeugen gleichzeitig Strom und Wärme. Strom- und Wärmeversorgungsunternehmen, industrielle Abnehmer, gewerbliche Kleinverbraucher und Haushalte setzen solche Anlagen ein. Bei der Erzeugung des Stroms aus Verbrennungsprozessen entstehen große Mengen Abwärme. Diese ist in gekoppelten Prozessen nutzbar, während sie bei der reinen Stromproduktion ungenutzt in die Umwelt gelangt. Aus der Sicht des Klimaschutzes und der Ressourcenproduktivität sind die gekoppelten Energieerzeugungsprozesse zur Wärmelieferung den ungekoppelten Prozessen vorzuziehen, weil die pro Energieeinheit freigesetzten Kohlendioxid-Mengen wesentlich geringer sind.

Im Zentrum der meisten Kopplungsprozesse steht die Wärmeenergie. Wärmeenergie besitzt nach Durchlaufen eines Prozesses bei hoher Temperatur und hohem Druck – etwa beim Antrieb einer Turbine oder eines Motors zur Stromerzeugung – weitere energetische Nutzungsmöglichkeiten für Niedertemperaturprozesse – wie die Raumheizung. Aus dieser Mehrfachnutzung erklärt sich die im Allgemeinen höhere Effizienz gekoppelter Prozesse – bezogen auf die Nutzung des Wärmeinhalts des Energieträgers.

Man unterscheidet im Wesentlichen zwischen folgenden Konzepten bei Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen: der Entnahme-Kondensationsanlage, der Entnahme-Gegendruckanlage sowie dem Motor-Blockheizkraftwerk und der Gasturbine mit Abhitzekeessel.¹⁶ Dieses Kapitel geht auf die beiden erstgenannten ein.

Fast alle Kondensationskraftwerke lassen sich – technisch gesehen – als Entnahme-Kondensationsanlage nutzen. Die Entnahme des Dampfes erfolgt hier an der Turbine. Dies geht zwar zu Lasten der Stromproduktion, die Gesamtnutzung der Primärenergie liegt dennoch höher als bei reiner Stromerzeugung. Im Entnahme-Kondensationsbetrieb sind Strom- und Wärmeproduktion nicht starr miteinander gekoppelt. Beide sind variabel und innerhalb der technischen Grenzen voneinander unabhängig steuerbar. Die Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie liegt bei typischen Entnahme-Kondensationsanlagen im Jahresmittel bei 60 bis 65 Prozent.

Entnimmt man den Dampf für die Wärmegewinnung nach der Nutzung in der Turbine ohne vollständige Entspannung des Restdampfes, handelt es sich um den Gegendruckbetrieb. Die Turbine ist dabei so ausgelegt, dass am Turbinenende der Dampf noch ein so hohes Temperaturniveau hat, dass er für Wärmeanwendungen einsetzbar ist. Der Dampf steht dafür unter einigen Bar „Gegendruck“ – je nach gewünschter Temperatur bis zu 18 bar – und erreicht dann einen Wärmetauscher. Bei diesem Verfahren sind Strom- und Wärmeproduktion starr miteinander gekoppelt, das heißt, Strom- und Wärmeproduktion lassen sich nur gemeinsam hoch- oder herunterfahren. Gegendruckanlagen kommen hauptsächlich in der Industrie zum Einsatz, da hier ein ganzjährig weitgehend gleich bleibender Bedarf an Strom und Wärme notwendig ist. Die Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie ist mit 80 bis 85 Prozent vergleichsweise hoch.

Die Möglichkeiten der Kopplung von Wärmeprozessen sind vielfältig. Neben der Kraft-Wärme-Kopplung kommen die Wärme-Kälte-Kopplung, die Kombination von Wärme- und Kälteprozessen mittels einer Absorptionskältemaschine oder die Wärme-Wärme-Kopplung, zum Beispiel die Abwärmegewinnung aus feuchtem Rauchgas zur häuslichen Wärmeversorgung, häufig zur Anwendung.

Würden an den Anlagenstandorten verbesserte Rahmenbedingungen zur Wärmeabgabe geschaffen, ließe sich das vorhandene Potenzial der bisher genutzten Rest-

¹⁶ Vgl. VDI (2005); S. 24 ff

wärme effektiver zur Minderung von Kohlendioxid-Emissionen nutzen. Die Anwendungsmöglichkeiten der Kopplungsprozesse zur Nutzung der Wärmeenergie hängen von den örtlichen Gegebenheiten ab und erfordern ein Denken über die Systemgrenzen eines einzelnen Energieanwendungsprozesses hinaus.

2.4 Abfallverbrennung

Siedlungsabfälle, die nicht über die getrennte Sammlung verwertbar sind, entsorgen die Kommunen¹⁷ sowie private Entsorgungsunternehmen heute im Wesentlichen in Hausmüllverbrennungsanlagen. Die Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle ist seit dem 01. Juni 2005 verboten.¹⁸ Bei der thermischen Behandlung der Restabfälle fällt Wärme an, die die Energie – soweit sie nutzbar ist – aus fossilen Trägern ersetzt und somit diese Energieressourcen schont. Da in einer Abfallwirtschaft immer Restabfälle anfallen und diese kontinuierlich zu entsorgen sind, steht die Energie aus dem Koppelprozess kontinuierlich – etwa 8.000 Stunden im Jahr – zur Verfügung. Zum Klimaschutz trägt die energetische Nutzung der Abfälle bei, da der Energiegehalt von Rest-Siedlungsabfällen – bezogen auf die Einsatzenergie (H_u) des Abfalls – zu etwa 50 bis 60 Prozent aus deren biogenem Anteil stammt und somit CO₂-neutral ist, da dieser das CO₂ vorher im Wachstumsprozess der Atmosphäre entzog.¹⁹

Der Energiegehalt des thermisch behandelten Restsiedlungsabfalls (etwa 70 Anlagen in Deutschland mit einem Durchsatz von 17 Millionen t pro Jahr, und einem Heizwert von 2,8 Megawattstunden pro Tonne (MWh/t) Abfall)²⁰ liegt bei 48 Terawattstunden pro Jahr (TWh/a). Aus diesem Energiegehalt lassen sich etwa 38 TWh/a in Form von Dampf oder Heißwasser produzieren²¹ – der mittlere Anlagen-Kesselwirkungsgrad liegt bei etwa 81 Prozent. Der energetische Gesamt-Nutzungsgrad (einschließlich Eigennutzung) der Anlagen (HMVA) in Deutschland liegt im Mittel bei 46,8 Prozent, dies entspricht 22 TWh/a (Bandbreite: Strom 4 bis

¹⁷ d.h. die entsorgungspflichtigen Kommunen (öffentlich rechtlichen Entsorgungsträger) oder ihre Entsorgungsbeauftragten

¹⁸ Vgl. TA Siedlungsabfall, Punkt 12

¹⁹ Vgl. EdDE (2005) S. 17 ff

²⁰ Vgl. Reimann (2005) Pkt. 9, S. 17

²¹ Damit ließen sich etwa 2,3 Mio. Wohneinheiten (WE), das entspricht 6,4 % der bewohnten WE in Deutschland, mit Wärme versorgen – abzüglich der Verteilungsverluste.

22 Prozent, Wärme von 5 bis 81 Prozent).²² Diese so genannte Brutto-Zielenergie teilt sich auf in Strom mit einem Anteil von etwa 6 TWh/a und Wärme mit etwa 16 TWh/a.²³ Je nach Standortbedingungen kommt die Wärme meist als Fernwärme, aber auch als Prozessdampf zum weiteren Einsatz.

Durch die aus den Restsiedlungsabfällen tatsächlich genutzte Energie (Strom und Wärme) und die damit verbundene Substitution fossiler Energieträger vermeiden die Anlagen etwa 9,8 Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr.²⁴ Davon entfallen auf die Stromabgabe 4,69 Millionen Tonnen pro Jahr und auf die Wärmeabgabe 5,14 Millionen Tonnen pro Jahr. Rechnet man die aus dem Behandlungsprozess resultierenden Kohlendioxid-Emissionen dagegen, ergibt sich eine Nettoentlastung von etwa 3,5 Millionen Tonnen Kohlendioxid jährlich.²⁵

Eine Effizienzsteigerung bei der Wärmenutzung um 1 Prozent erhöht die abgegebene Energiemenge um etwa 0,5 TWh, dies entspricht einer Kohlendioxid-Emissionsminderung um 0,157 Millionen Tonnen. Gäben die Anlagen 8 Prozent mehr Wärme ab, ließe sich dadurch ein zusätzliches Einsparungspotenzial von etwa 1,3 Millionen Tonnen Kohlendioxid im Jahr generieren. Dies ist grundsätzlich möglich durch die Realisierung weiterer Maßnahmen zur Optimierung der Wärmenutzung in Form von Fernwärme und Prozessdampf sowohl mittels Einspeisung in vorhandene Wärmenetze als auch mittels Anbindung von neuen Abnehmern. Unter günstigen Abgabebedingungen ist – bei einer Kombination von Strom- und Wärmenutzung (KWK) – ein Gesamt-Nutzungsgrad von bis zu 70 Prozent erreichbar.²⁶ Hierzu zählen die vorrangige Anbindung an Fernwärmenetze,²⁷ die Schaffung der Möglichkeiten zur Prozessdampfabgabe an industrielle Abnehmer, die Kälteerzeugung aus Abwärme und die Nutzung mobiler Wärmeträger (Zeolithe).

Eine Studie des Öko-Institutes bestätigt diese Größenordnung des Potenzials zur Minderung der Kohlendioxid-Emissionen durch die zusätzliche Energiebereitstellung

²² Vgl. ebd.

²³ Vgl. ebd.

²⁴ Vgl. EdDE (2005) S. 38 ff

²⁵ Vgl. ebd.

²⁶ Vgl. ebd.

²⁷ Diese steht häufig Konkurrenzsituation mit städtischen fossil betriebenen Heiz(kraft)werken.

aus Hausmüllverbrennungsanlagen mit einer Bandbreite von 1,5 bis 3 Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr (allerdings hier zusammen für Strom und Wärme).²⁸

2.5 Solarthermie

Die Solarthermie bietet die Möglichkeit, die solare Strahlungsenergie direkt in Wärmeenergie umzusetzen. Ein Kollektor erhitzt dabei ein Medium – in der Regel Wasser – welches die Wärme zum Verbrauchsort oder in einen Speicher leitet.

Derzeit kommen in der Solarthermie drei Techniken zum Einsatz: Kunststoffabsorber, Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren. Die Kunststoffabsorber sind zumeist nicht abgedeckte schwarze Kunststoffmatten, durch die ein Wärmeträgermedium fließt. Sie dienen in erster Linie der Erwärmung des Badewassers in Freibädern.

Flachkollektoren sind die am häufigsten verbreiteten Kollektoren. Ihr Name leitet sich von der ebenen Glasscheibe ab, die den Absorber abdeckt. Flachkollektoren haben bislang einen Marktanteil von über 80 Prozent.

Bei Vakuumröhrenkollektoren ist der Absorber in einer evakuierten Glasröhre angeordnet. Diese Kollektoren können – verglichen mit Flachkollektoren – 15 bis 20 Prozent höhere Erträge erzielen. Diesen technischen Vorteilen stehen jedoch höhere Systemkosten von etwa 20 Prozent gegenüber.²⁹ Vakuumröhrenkollektoren halten bislang einen Marktanteil von etwa 15 Prozent.

Derzeit erzeugen 80 Prozent der solarthermischen Anlagen Warmwasser, die restlichen 20 Prozent dienen der kombinierten Unterstützung der Warmwasser- und Heizungsanlage. Die meisten Anlagen befinden sich auf den Dächern von Ein- und Zweifamilienhäusern. Mehrfamilienhäuser sind zurzeit noch unterrepräsentiert, obwohl größere Anlagen auf Dächern von Mehrfamilienhäusern zu günstigeren Wärmekosten führen können.

Bei der Wärmeversorgung der Gebäude mittels Solarthermie stimmen häufig die Zeiten der Wärmegewinnung nicht mit dem Bedarf nach Wärme überein. Speichersysteme können dies ausgleichen. Sofern die Solaranlage zusätzlich zur Warmwassergewinnung auch der Unterstützung der Heizungsanlage dient, kommt – neben einem Brauchwasserspeicher – auch ein Pufferspeicher zum Einsatz. Kombianlagen

²⁸ Vgl. Öko-Institut (2005)

²⁹ Vgl. Staiß (2003) S. 1-91

zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung für einen Vier-Personen-Haushalt können mit einer Kollektorfläche von 8 bis 15 Quadratmeter und einem Speichervolumen von 500 bis 1000 Litern eine Speicherung von mehreren Tagen bis Wochen erreichen. Bei Niedrigenergiehäusern und Gebäuden, die den Anforderungen der Energieeinsparverordnung von 2002 genügen, sind auf diese Weise solare Anteile an der gesamten Wärmebereitstellung von 25 bis 30 Prozent möglich.³⁰

Eine Erhöhung des solaren Deckungsgrades ist nur über größere Kollektorflächen mit größerem Speicher für mehrere Wochen bis Monate (saisonale Speicher) möglich. Die Installation großer Anlagen ist bei Einfamilienhäusern nur mit hohen Kosten und einer Förderung zu realisieren.

Höhere solare Anteile sind nur durch Gemeinschaftsanlagen mit mehreren hundert bis tausend Quadratmetern Kollektorfläche und sehr großen saisonalen Speichern erzielbar, die als Langzeitwärmespeicher dienen. Die Wärmeversorgung der Gebäude erfolgt hier über Nahwärmenetze. In den derzeitigen Modellvorhaben sind solare Deckungsgrade von 60 Prozent der gesamten Wärmebereitstellung erreichbar.³¹

Auch hier sind die Kosten noch sehr hoch, da kostengünstige und dabei effiziente Speicher und Verteiltechnik mit geringen Wärmeverlusten derzeit fehlen.

2.6 Geothermie

Die Erdkruste enthält geothermische Energie als gespeicherte Wärme. In Mitteleuropa liegt vielerorts die Temperaturzunahme bei mehr als 30°C je Kilometer Tiefe. Demnach herrschen bereits in 2 Kilometer Tiefe Gesteinstemperaturen, die für die Wärmeversorgung von Siedlungen oder gewerblichen Wärmeverbrauchern geeignet sind. Geothermale Heizanlagen und Kraftwerke nutzen diese jederzeit zur Verfügung stehende Wärmequelle. Erschließt man heiße Thermalwässer von 100°C und mehr, erzeugen die betriebenen Erdwärmekraftwerke unter Einsatz der Kraftwerkstechnik Strom mit so genannten ORC- (Organic Ranking Cycle) oder Kalinaanlagen, die zur Stromproduktion niedrige Temperaturen von 100°C bis 150°C erfordern. Zusätzlich ist meist die Versorgung mit Nah- oder Fernwärme über Kraft-Wärme-Kopplung realisiert und wirtschaftlich günstig. Schon beim heutigen Stand der geothermalen

³⁰ Vgl. ebd.

³¹ Vgl. ebd.

Wärmebereitstellung besteht Bedarf an einem Zubau von Nah- und Fernwärmenetzen.

Geothermische Energie lässt sich in Deutschland nach Art des Vorkommens und der Nutzung in drei Kategorien gliedern:

- die oberflächennahe Geothermie mit einer Tiefe von 1 - 400 Metern für das Heizen und Kühlen sowie die Warmwasserbereitung mit Hilfe einer Wärmepumpe,
- die tiefe Geothermie mit einer Tiefe von 0,4 - 3 Kilometern für eine direkte Nutzung zum Heizen, zur Warmwasserbereitung und ggf. Prozesswärme und
- die tiefe Geothermie zur Strom- und Wärmeerzeugung, die in Deutschland zur Zeit Reservoirs in 2 bis zu 4,5 Kilometer Tiefe mit niedrigen Temperaturen (98°C bis etwa 150°C) erschließt.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit schätzt, dass die Tiefengeothermie jährlich bis zu 330 TWh Wärme bereitstellen kann.³² Das wären etwa 20 Prozent des nationalen Wärmebedarfs. Berücksichtigt sind dabei nur die heute wirtschaftlich zu betreibenden Potenziale. Im März/April 2007 soll die Fernwärmeversorgung in Unterhaching auf Basis von Geothermie ihren Betrieb aufnehmen. Gleichzeitig entstand in Süddeutschland eine Reihe weiterer Fernwärmenetze, die ihre Energie aus Thermalwasservorkommen im Untergrund beziehen. Das Bayerische Wirtschaftsministerium erteilte allein im Münchner Umland seit 2003 rund 40 bergrechtliche Erlaubnisse zur Aufsuchung von Erdwärme.

Die Nutzung geothermischer Energie hängt von den geologischen Gegebenheiten ab. Jedes Anwendungsgebiet erfordert angepasste Techniken. Zur Nutzung der unterschiedlichen Ressourcen in Deutschland kommen folgende Techniken zum Einsatz.³³

Das **Hydrothermal-Verfahren** fördert Wasser aus tiefen Erdschichten über Bohrungen an die Erdoberfläche, überträgt seine Wärme an ein Heizsystem oder einen Heizwasserkreislauf. Über eine Reinjektionsbohrung (Injektionssonde) gelangt das Wasser in die Tiefe zurück. Für geringe Fördermengen (30 bis 60 m³/h) können Förderung und Injektion des Thermalwassers über eine Bohrung erfolgen. Die deut-

³² vgl. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2005); S. 18

³³ vgl. BINE (2004), ohne Seitenangabe

schen Geothermieprojekte in Oberbayern, im Oberrheingraben und im Norddeutschen Becken nutzen Thermalwasser von 100 bis 150°C und sind Musterbeispiele für die weltweite Entwicklung der Strom- und Wärmeversorgung im KWK-Betrieb aus Geothermie bei niedrigen Temperaturen. Sind die Temperaturen und die Förderrate ausreichend hoch, ist das Thermalwasser nacheinander auf verschiedenen Temperaturstufen kaskadenartig nutzbar. Die Kaskadennutzung geothermischer Wärme verbessert die Wirtschaftlichkeit und die Umweltbilanz, da sie eine mehrfache Nutzung der Wärme erlaubt.³⁴

Wo Thermalwasser oder die hydraulische Durchlässigkeit der heißen Tiefengesteine am Standort fehlen, schafft das **Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR)** – auch Hot-Fractured-Rock-Verfahren (HFR) genannt – künstliche Wärmeaustauschflächen im Tiefengestein. Hierzu verpresst man Wasser in den unverrohrten Abschnitt der Bohrung und steigert den Druck solange, bis das Gestein aufreißt (Hydro-Frac Stimulation). Eine Injektionssonde leitet kaltes Wasser in den Untergrund, welches sich beim Durchströmen des geschaffenen Riss-Systems auf Gesteinstemperatur erwärmt und über die Fördersonde wieder zutage tritt. Nahezu 95 % des geothermischen Potenzials in Deutschland sind über das HDR-Verfahren erschließbar.

Ist durch eine tiefe Bohrung kein Thermalwasservorkommen erschließbar, kann eine **tiefe Sonde** die Erdwärme nutzbar machen. Im äußeren Stahlrohr der Sonde pumpt der Betreiber ein Wärmeträgermedium – zum Beispiel Wasser – in die Tiefe, dieses erwärmt sich auf dem Weg zum Bohrlochtiefsten und gelangt über ein isoliertes Förderrohr in der Mitte der Bohrung wieder an die Erdoberfläche. Das Medium fließt anschließend nach Abgabe der Wärme wieder in die Erdwärmesonde. Diese Art der Erdwärmennutzung ist nahezu flächendeckend verfügbar. Aus ökonomischen Gründen ist die tiefe Erdwärmesonde dort einzusetzen, wo eine ausreichend große Leistungsnachfrage des angeschlossenen Wärmeverbrauchers (z.B. Nahwärmenetz, große Einzelabnehmer, Gewerbe) gegeben ist.

2.7 Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe funktioniert wie ein Kühlschrank. Der Kühlschrank entzieht dem innen liegenden Kühlraum die Wärme und gibt diese über die an der Kühlschrank-

³⁴ vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006); S. 26

Rückseite liegenden Blechlamellen nach außen ab. Wärmepumpen entziehen der Umgebung (Erdreich, Wasser, Luft) Wärme oder nutzen Abwärme, heben („pumpen“) sie auf ein höheres Temperaturniveau und geben sie an Raumheizkörpern in Gebäuden wieder ab. In Deutschland enthalten Wärmepumpen überwiegend teilfluorisierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) als Arbeitsmedium im Gegensatz zu Kältschranken, die mit halogenfreiem Isobutan (R 600a) laufen. Das Arbeitsmedium bewegt sich über die vier Funktionseinheiten „Verdampfer“, „Verdichter“, „Wärmetauscher (Verflüssiger)“ und „Expansionsventil“ bei notwendiger Zuführung von Antriebsenergie (elektrischer Strom oder Gas) in einem Kreislauf.

Elektrische Wärmepumpen sind hinsichtlich der Klimarelevanz (Emission von Treibhausgasen) sowie der Inanspruchnahme nichterneuerbarer Energieressourcen geringfügig günstiger als eine Erdgas-Brennwertheizung, die unter den fossil befeuerten Heizungen (Heizöl, Kohlen) die günstigste Umweltbilanz hat. Verglichen mit Heizungssystemen, die erneuerbare Energieträger und Nahwärmesysteme verwenden, sind elektrische Wärmepumpen jedoch wesentlich ungünstiger. Daher rechtfertigen elektrische Wärmepumpen – selbst mit angenommenen theoretischen Bestwerten der Jahresarbeitszahlen (das heißt der Energieeffizienz) – aus Sicht des Umweltschutzes keine Förderung wie die erneuerbaren Energien im Wärmemarkt.³⁵

Falls „Ökostrom“ zum Betrieb elektrischer Wärmepumpen zum Einsatz käme, könnte die Nutzung elektrischer Wärmepumpen in Deutschland umweltbezogen vorteilhaft sein. Jedoch reicht die heutige Trendentwicklung der Ökostromerzeugung in Deutschland bis 2030 nicht für einen aus Umweltschutzsicht wünschenswerten Durchbruch der elektrischen Wärmepumpen aus. Erst mit einem Überangebot an Strom aus erneuerbaren Energiequellen wären elektrische Wärmepumpen positiv zu bewerten.

Gasmotor-Wärmepumpen können schon jetzt Treibhausgasemissionen besser vermeiden als elektrische Wärmepumpen. Sie besitzen aber nur einen sehr geringen Anteil am deutschen Wärmemarkt und sollten aus Sicht des Umweltbundesamtes stärkere Beachtung erfahren.³⁶

Für Mehrfamilienhäuser sind **thermisch angetriebene Sorptionswärmepumpen** eine umweltgerechte Alternative. Sie haben in Deutschland allerdings nur einen sehr

³⁵ Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik (1999) sowie telefonische Information des Mitautors Prof. Hans-Jürgen Laue am 27.9.2005

³⁶ Vgl. ASUE (2002)

kleinen Marktanteil. Wegen ihrer Vorteile, wie dem wartungs- und lärmarmen Betrieb, dem Verzicht auf halogenierte Kältemittel und der effizienten Nutzung von (Ab)Wärme erfolgt jedoch eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Optimierung.

Für den Einsatz aller Wärmepumpenarten gilt generell:

Es bestehen vielfältige, umweltbezogen vorteilhafte Einsatzmöglichkeiten für Wärmepumpen bei der Nutzung industrieller Abwärme (zum Beispiel in Abwässern).

Daher sollte nicht nur „Umweltwärme“ – wie Umgebungsluft, Wasser oder Erdwärme – zum Einsatz kommen. Halogenfreie Kältemittel – wie Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffe – sind, falls möglich, besonders für Brauchwasserwärmepumpen als Arbeitsmedium zu verwenden.

Falls „Umweltwärme“ zum Einsatz kommen soll, dann solche mit möglichst konstanter und hoher Temperatur (vor allem Wasser). So ist zum Beispiel oberflächennahe Geothermie über horizontal verlegte Erdwärmekollektoren (1 bis 2 m), vertikale Erdwärmesonden (19 bis 250 m), erdberührte Betonbauteile (8 bis 45 m) und Grundwasserbrunnen (4 bis 50 m) nutzbar.

Der Einsatz der Wärmepumpen ist besonders bei geringen Vorlauftemperaturen vorteilhaft. Als Einsatzorte kommen vorrangig Niedrigenergiehäuser mit Fußbodenheizung in Betracht.

2.8 Speicher

Ein generelles Problem der Wärmeversorgung besteht darin, dass Verbraucher die Wärme oft zu anderen Zeiten und an anderen Orten benötigen und nutzen, als sie kostengünstig und effizient verfügbar ist. Dabei sind erstens die zu speichernden Wärmemengen und zweitens die zu überbrückenden Zeiträume, die zwischen wenigen Stunden und mehreren Monaten liegen können, zu beachten.

Die folgenden Techniken kommen bei der Wärmespeicherung zur Anwendung:

Nachtspeicherheizungen wandeln elektrische Energie in Wärme um. Dafür beziehen sie elektrische Energie zu Zeiten schwacher Netzauslastung in der Nacht. Diese Energie heizt ein Speichermedium im Heizkörper (in der Regel Schamottstein) während der Nachtstunden auf. Die gespeicherte Wärme ist dann tagsüber nutzbar.

Nachtspeicherheizungen sind energetisch unvorteilhaft, da sie die sehr hochwertige Energieform Strom in Raumwärme umwandeln. Der Gesamtwirkungsgrad dieser Heizungsform ist sehr niedrig.

Kurzzeitwärmespeicher speichern Wärme über Zeiträume von einigen Stunden bis wenigen Wochen. Diese Speicher kommen oft in Zusammenhang mit solarthermischen Anlagen zum Einsatz und haben ein Volumen von 500 bis 1.000 Litern und nutzen als Speichermedium Wasser. Sie gleichen kurzfristige Schwankungen beim Wärmeangebot aus, zum Beispiel zwischen Tag und Nacht sowie sonnigen und bewölkten Tagen.

Langzeitwärmespeicher³⁷ speichern Wärme über einen längeren Zeitraum und gleichen saisonale Schwankungen bei der Bereitstellung und des Bedarfs nach Wärme aus. Sie kommen zum Beispiel in Verbindung mit größeren solarthermischen Anlagen zum Einsatz und sind in der Regel in Nahwärmenetze integriert.

Folgende Wärmespeichertypen sind auf dem Markt verfügbar:

a. Heißwasser-Wärmespeicher

Ein Heißwasser-Wärmespeicher zeichnet sich durch einen künstlich hergestellten isolierten Raum aus, in dem das Speichermedium Wasser die Wärme speichert. Die Speicherkapazität liegt bei 60 bis 80 kWh/m³. Die Volumen der Speicher liegen bei mehreren hundert bis zu mehreren tausend Kubikmetern.

b. Kies-Wasser-Wärmespeicher

Ein Kies-Wasser-Wärmespeicher besteht aus einer ins Erdreich eingelassenen Kunststoffolie, in der die Speichermedien Kies und Wasser in einem Gemisch die Wärme speichern. Die Speicherkapazität liegt bei 30 bis 50 kWh/m³. Die Volumen der Speicher liegen in ähnlichen Dimensionen wie die Heißwasser-Wärmespeicher.

c. Erdsonden-Wärmespeicher

Ein Erdsonden-Wärmespeicher zeichnet sich durch vertikal in das Erdreich eingebaute Rohrsysteme (die Sonden) aus. Das Speichermedium ist das umgebende Erdreich oder Gestein und sollte zur besseren Wärmeleitfähigkeit wassergesättigt sein. Die Speicherkapazität liegt bei 15 bis 30 kWh/m³. Die

³⁷ Vgl. BINE-Informationsdienst (2001); S. 7

Volumen dieser Speicher liegen zwischen mehreren tausend und mehreren zehntausend Kubikmetern.

d. Aquifer-Wärmespeicher

Ein Aquifer-Wärmespeicher besteht aus horizontal abgeschlossenen Grundwasserschichten. Das Speichermedium ist wassergesättigtes Erdreich oder Gestein. Die Speicherkapazität liegt bei 30 bis 40 kWh/m³.

e. Latentwärmespeicher

Latentwärmespeicher speichern Wärme über lange Zeiträume, ohne dass dafür aufwändige Isolierungsvorkehrungen zu treffen sind. Die Speicherung der Wärme erfolgt in einem Medium, dass durch physikalisch-chemische Änderungen in seiner Molekülstruktur die Wärme dauerhaft speichert. Während dieses Übergangs ändert sich die Temperatur des Mediums nicht, damit ist eine Wärmeaufnahme und -abgabe auf gleich bleibendem Temperaturniveau möglich. Diese Speicher haben – je nach Einsatzzweck – verschiedene Größen. So können Speichermedien in der Größenordnung von mehreren Tonnen in Tanks untergebracht sein, sie finden sich auch als Mikrokapseln in Wandputzen, die derzeit auf den Markt kommen.³⁸

Als Beispiel sei hier auf ein Projekt zur solaren Nahwärmeversorgung in Crailsheim-Hirtenwiesen (Baden-Württemberg) verwiesen.³⁹ In diesem Projekt planen die örtlichen Stadtwerke einen Langzeitwärmespeicher als Kombination aus einem Erdbeckenspeicher mit einem Volumen von etwa 600 m³ und einem Erdsondenspeicher mit einem Volumen von etwa 37.500 m³.

2.9 Klimatisierung

Die Klimatisierung der Gebäude als Einheit von Kühlung und Entfeuchtung der Raumluft wird zu einem ständig wachsenden Faktor für den Endenergieverbrauch. Die wichtigsten Ursachen für den steigenden Bedarf an Kälte in Gebäuden sind die ständig wachsenden Glasflächen der Gebäudefassaden mit höheren Wärmelasten bei Sonneneinstrahlung, die zunehmende Ausstattung mit elektronischen Geräten, dichtere Gebäudehüllen und die wachsenden Komfortansprüche der Gebäudenutze-

³⁸ Vgl. BASF (2004); S. 2 f

³⁹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006a); S. 31

rinnen sowie -nutzer. Viele moderne Gebäude erreichen bereits bei einer Außentemperatur von 4°C die Schwelle zur Anwendung von Kühlprozessen.

Im Zusammenhang mit der Wärmeversorgung gehören zur Kühlung in erster Linie Gebäudeklimaanlagen und Wärmepumpen. Daneben gibt es noch die Nahrungsmittelkühlung, Industriekühlung und mobile Kälteanlagen.

Sieht man von Sonderanwendungen ab, erfolgt eine Einteilung der Kältetechnik nach Antriebsenergie und Kälteprozess (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Mögliche Antriebsenergien für verschiedene Kälteprozesse

Kälteprozess		Antriebsenergie			
Kältekreislauf	Antrieb	Elektrischer Strom	Erdgas	Abwärme Fernwärme	Solar- thermie
Kaltdampf- kompressions- kältemaschine	Elektromotor	X			
	Gasmotor		X		
Kaltdampf- absorptions- kältemaschine	Absorptionskreislauf		X	X	X
Kaltdampf- adsorptions- kältemaschine	Adsorptionskreislauf		X	X	X

Quelle: eigene Darstellung

Elektromotorisch betriebene Kälteanlagen kommen in Deutschland am häufigsten zum Einsatz. Den Endenergiebedarf für Kälteerzeugung aus elektrischem Strom gibt der Deutsche Kälte- und Klimatechnische Verein für Deutschland mit 66.000 GWh/a an. Die Zahl der installierten thermisch angetriebenen Kälteanlagen steigt jedoch. Den Endenergiebedarf für diese Anlagen beziffert der Verband mit 11.000 GWh. In Verbindung mit KWK-Anlagen ist Abwärme im Sommer auch zum Antrieb von Kältemaschinen in Klimaanlagen verwendbar.⁴⁰

Maßnahmen zur Verringerung der kälteerzeugungsbedingten Umweltbelastungen sind die Beachtung bauphysikalischer Zusammenhänge bei der Konstruktion der

⁴⁰ Vgl. Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (2002), ohne Seitenangabe

Gebäude zur Verminderung des Wärmebedarfs, die Nutzung intelligenter Tageslichtsysteme, wirksame Verschattungsvorrichtungen und energiesparende Bürogeräte. Die dann dennoch entstehenden Kühlungsbedarfe sind mit energetischen Kopplungsprozessen – wie Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung und die Wärme-Kälte-Kopplung an einer Absorptionskältemaschine – zu decken.

Exkurs Kältemittel

Für den Wärmemarkt sind auch Kältemaschinen von großer Bedeutung, die aus Wärme Kälte erzeugen können. Kältemittel, die in Kältemaschinen und Wärmepumpen zum Einsatz kommen, unterteilen sich in synthetische und natürliche.

Die synthetischen Kältemittel gehören zur Stoffgruppe der fluorierten Kohlenwasserstoffe (Halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)). Diese sind wegen ihres zum Teil extrem hohen Treibhauspotenzials (GWP⁴¹) – 1.300 bis 11.700 mal höher als Kohlendioxid – zusammen mit Schwefelhexafluorid (SF₆) neben den klassischen Treibhausgasen Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid Bestandteil des Kyoto-Protokolls. HFKW, FKW und SF₆ entstehen nicht als unerwünschtes Nebenprodukt, wie etwa Kohlendioxid, sondern sind ein erwünschtes industrielles Produkt.

Fluorierte Kohlenwasserstoffe ersetzen die FCKW-Kältemittel, die in der Atmosphäre zum Abbau der Ozonschicht führten. Der Gesetzgeber hat die Verwendung dieser Stoffe 1991 verboten.⁴² Prognosen⁴³ gehen davon aus, dass die fluorierten Kohlenwasserstoffe zusammen mit SF₆ wegen ihrer weltweit hohen Wachstumsraten langfristig vor Distickstoffoxid zum drittstärksten direkten Treibhausgas nach Kohlendioxid und Methan anwachsen. Diesem Emissionsanstieg steht ein großes Emissionsminderungspotenzial gegenüber. Kältemittel aus Kältemaschinen und Wärmepumpen treten in die Atmosphäre durch Undichtigkeiten, Wartungsarbeiten, Entsorgung, Störfälle sowie durch Befüllungs- und Absaugungsverluste am Kältemittelkreislauf aus. Letztgenannte Tätigkeit dient der fachgerechten und vorgeschriebenen Entsorgung des Kältemittels. Gezielte Maßnahmen, um die Anlagendichtheit und den fach-

⁴¹ GWP: Global Warming Potential

⁴² Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-Verbots-Verordnung) vom 6. Mai 1991 (BGBl I S.1090), zuletzt geändert am 29. Oktober 2001, BGBl I S. 2785

⁴³ Schwarz (2004)

gerechten Umgang mit Kältemitteln sicher zu stellen, sind wichtige Voraussetzungen zur Verringerung treibhauswirksamer Emissionen. Diese lassen sich dadurch aber nicht vollständig vermeiden.

Zu den “natürlichen“ Kältemitteln gehören Kohlendioxid, Ammoniak, Kohlenwasserstoffe und Wasser. In einigen Fällen kommt Luft oder Helium zum Einsatz. Im Gegensatz zu den fluorierten Kältemitteln besitzen natürliche kein oder ein sehr geringes Treibhauspotenzial. Durch ihren Einsatz lassen sich die direkten Treibhausgasemissionen der Kältemaschinen und Wärmepumpen, verursacht durch Leckagen oder Störfälle, deutlich senken. Häufig ist mit der Verwendung natürlicher Kältemittel auch eine bessere Energieeffizienz zu erreichen.

Als innovative und energieeffiziente Maßnahmen zur Vermeidung fluorierter Kältemittel bei Haus-Wärmepumpen und zur Klimatisierung sind Wärmepumpen mit Kohlendioxid oder Kohlenwasserstoffen, thermisch angetriebene Sorptionswärmepumpen und -klimaanlagen sowie zentrale Klimaanlagen mit Kohlendioxid, Ammoniak, Kohlenwasserstoffen oder Wasser als Kältemittel einsetzbar.

3 Der Wärmemarkt in Deutschland heute

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den heutigen Wärmemarkt in Deutschland, die Akteure, die Energieträger und die zum Einsatz kommenden Anwendungen. Es bildet die Grundlage für Vorschläge, welche Entwicklungen in Zukunft möglich und wünschenswert sind.

3.1 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf in Deutschland war 2004⁴⁴ für 58,5 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs verantwortlich.

Den größten Bedarf hatten die privaten Haushalte, die für 30,0 Prozent des Endenergieverbrauchs und 46,7 Prozent des Wärmebedarfs verantwortlich waren. Allein 83 Prozent ihres Wärmebedarfs benötigten die Haushalte für die Raumwärme. Die Industrie hatte den zweitgrößten Wärmebedarf (33,1 Prozent) und benötigte 87 Prozent der gesamten Wärme für sonstige Prozesswärme. Weniger bedeutend für den Wärmebedarf waren die Kleinverbraucher (Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)) sowie der Verkehrssektor. Während der GHD-Sektor noch für 20 Prozent am Gesamtwärmebedarf verantwortlich war, fragte der Verkehr nur 0,2 Prozent nach. Für einen allgemeinen und besseren Überblick ist in Tabelle 2 die Aufteilung des Endenergieverbrauches dargestellt, einschließlich des Energiebedarfs, der für mechanische Energie und Beleuchtung notwendig war.

⁴⁴ Der VDEW hat offizielle Daten zum Wärmebedarf und zur Wärmebereitstellung zuletzt 2006 für das Jahr 2004 veröffentlicht, daher bezieht sich die Darstellung auf 2004. Die Umrechnung von PJ in TWh erfolgte in dieser Studie lediglich über den Faktor 3,6, ohne einen Umwandlungswirkungsgrad zu berücksichtigen. Dadurch kann es unter Umständen zu einer eingeschränkten Vergleichbarkeit kommen.

Tabelle 2: Aufteilung des Endenergieverbrauches in Deutschland 2004*

	Raum- wärme	Warm- wasser ⁴⁵	sonst. Prozess- wärme ⁴⁶	Wärme Gesamt	mech. Energie ⁴⁷	Beleuch- tung	Endenergie- verbrauch Gesamt
in TWh							
Industrie	61,1	4,9	435,5	501,5	149,0	11,4	661,9
GHD	197,0	41,5	65,1	303,6	96,0	26,9	426,5
Haushalte	587,7	87,9	32,6	708,2	56,2	11,4	775,8
Verkehr	3,3	0,0	0,0	3,3	720,4	3,3	727,0
GESAMT	849,1	134,3	533,2	1516,6	1021,6	53,0	2591,2
in Prozent bezogen auf Anwendungsbereich							
Industrie	9,2%	0,7%	65,8%	75,8%	22,5%	1,7%	100,0%
GHD	46,2%	9,7%	15,3%	71,2%	22,5%	6,3%	100,0%
Haushalte	75,7%	11,4%	4,2%	91,3%	7,2%	1,5%	100,0%
Verkehr	0,5%	0,0%	0,0%	0,5%	99,1%	0,5%	100,0%
GESAMT	32,8%	5,2%	20,6%	58,5%	39,4%	2,0%	100,0%
in Prozent bezogen auf Sektor							
Industrie	7,2%	3,6%	81,7%	33,1%	14,6%	21,5%	25,5%
GHD	23,2%	30,9%	12,2%	20,0%	9,4%	50,8%	16,5%
Haushalte	69,2%	65,5%	6,1%	46,7%	5,5%	21,5%	30,0%
Verkehr	0,4%	0,0%	0,0%	0,2%	70,5%	6,2%	28,1%
GESAMT	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

* (bereinigt um Vorratsänderungen bei leichtem Heizöl bei Haushalten und GHD)

Quelle: VDEW (2006): Endenergieverbrauch in Deutschland 2004, Teil A (VDEW Projektgruppe „Nutzenergiebilanzen“), s. Tafel 1.2

Für die technische Wärme- und Kälteerzeugung ist ein hoher Energiebedarf erforderlich. Der Deutsche Kälte- und Klimatechnische Verein weist im Jahre 1999 einen Primärenergiebedarf zur Kälteerzeugung von 230.000 GWh/a aus.⁴⁸ Die Kältetechnik hatte damit einen Anteil von 5,8 Prozent am gesamten deutschen Energiehaushalt bezogen auf den Primärenergieverbrauch, mit weiter steigender Tendenz.

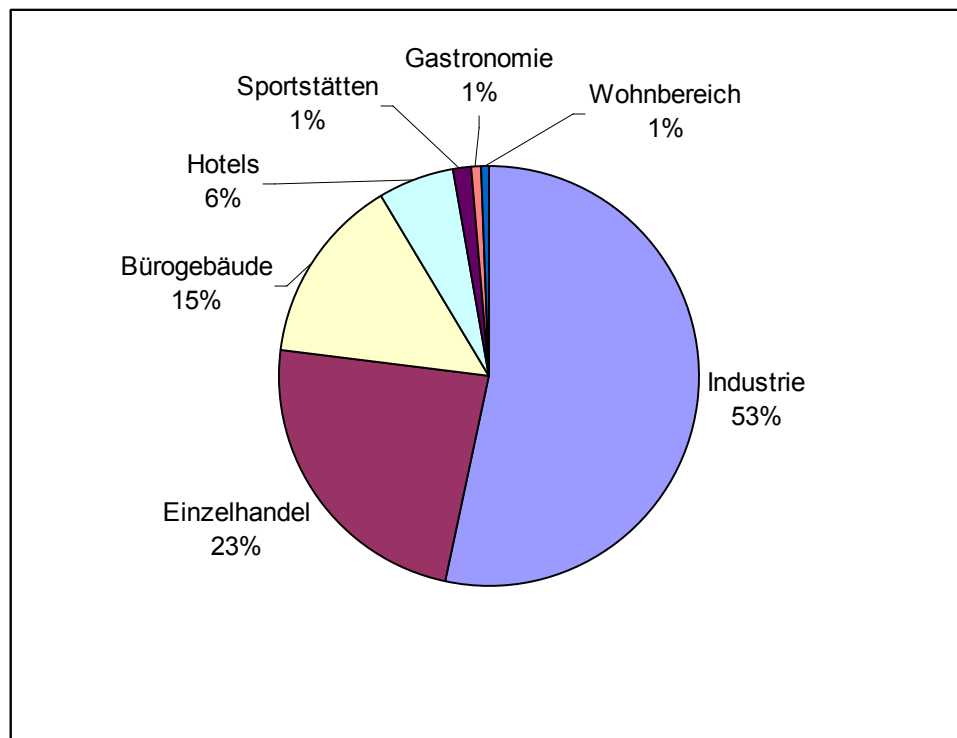
⁴⁵ Elektrisch betriebene Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen sind mit ihrem für die Wassererwärmung notwendigen Stromverbrauch unter Warmwasser erfasst.

⁴⁶ Unter „sonstiger Prozesswärme“ (Prozesswärme ohne Warmwasser) ist im Industrie- und Gewerbebereich die Wärme für Fertigungsprozesse zu verstehen. Im Sektor der privaten Haushalte sind hier Wärmeprozesse für die Lebensmittelzubereitung (zum Beispiel Kochen) zu nennen.

⁴⁷ Der Endenergieverbrauch für Gefrieren und Kühlen ist hier nicht dem Wärmebereich, sondern der mechanischen Energie zugeordnet. Klimatisierung ist unter Raumwärme verbucht, und der Verbrauch in Klimaanlage von Kraftfahrzeugen im Wesentlichen unter mechanischer Energie.

⁴⁸ Vgl. Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (2002)

**Abbildung 1: Kälteanwendungen für stationäre Klimaanlage in Deutschland im Jahre 2002;
jährlicher Bedarf [10.310 GWh/a]**



Quelle: Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (DKV) e.V. (2002): Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte in der BRD eigene Darstellung

Die Erzeugung der Endenergie Kälte erfolgt bisher vorwiegend aus Strom, obwohl eine Reihe anderer technologischer Verfahren für eine kombinierte Kälte- und Wärmebereitstellung zur Verfügung steht.

3.2 Wärmebereitstellung

Im Jahr 2004 deckten Erdgas zu 46 Prozent, Erdöl zu 23 Prozent, Strom zu 12 Prozent, Kohle zu 9 Prozent, Fernwärme zu 6 Prozent und erneuerbare Energien zu 4 Prozent den Wärmebedarf Deutschlands in Höhe von 1.516,6 TWh (Tabelle 3 und Abbildung 3).⁴⁹

⁴⁹ Vgl. VDEW (2006), ohne Seitenangabe

Tabelle 3: Wärmebereitstellung nach Energieträgern und Sektoren in Deutschland 2004
[TWh] (bereinigt um Vorratsänderungen bei leichtem Heizöl und GHD)

	Öl*	Gas**	Strom	Fern- wärme	Kohle	Erneuerbare Energien	Wärme gesamt
Industrie	50,5	254,0	57,0	17,1	118,8	4,1	501,5
GHD	83,8	142,4	44,0	29,3	3,3	0,8	303,6
Haushalte	214,1	306,1	73,2	44,8	13,8	56,2	708,2
Verkehr	2,5	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	3,3
GESAMT	350,9	702,5	175,0	91,2	135,9	61,1	1.516,6

* Heizöl leicht, Heizöl schwer, Petrolkoks, Kraftstoffe und sonstige Öle

** Erdgas, Gas aus Erdöl, Gas aus Kohle

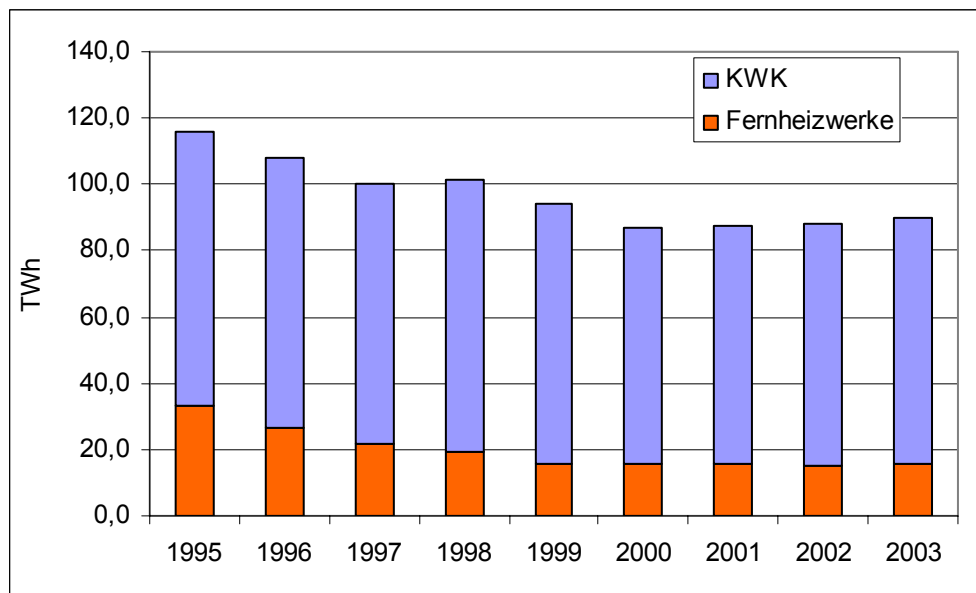
Quelle: VDEW (2006) Endenergieverbrauch in Deutschland 2004, berechnet aus Tafeln 2-6

Während für die Industrie Gas (51 Prozent) und Kohle (24 Prozent) den größten Teil der Wärme bereitstellten, waren es beim Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und den Haushalten vor allem Gas (47 Prozent und 43 Prozent) und Öl (28 Prozent und 30 Prozent).

Bemerkenswert ist der Anteil von 12 Prozent, den elektrischer Strom an der Wärmebereitstellung hat. Der Einsatz dieser hochwertigen Energieform für die Wärmeerzeugung ist nicht energieeffizient, da in der Regel konventionelle Kraftwerke und Atomkraftwerke den Strom selbst aus der Umwandlung von Wärme erzeugen.

Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, nimmt die Bereitstellung der Fernwärme zwischen 1995 und 2003 um 22 Prozent ab. In absoluten Zahlen ausgedrückt, stellen KWK-Anlagen und Fernheizwerke weniger Fernwärme bereit, allerdings steigt der Anteil der KWK an der gesamten Fernwärme von 71,4 Prozent in 1995 auf 82,6 Prozent in 2003, während der Anteil der Fernheizwerke im selben Zeitraum von 28,6 Prozent auf 17,4 Prozent sinkt.

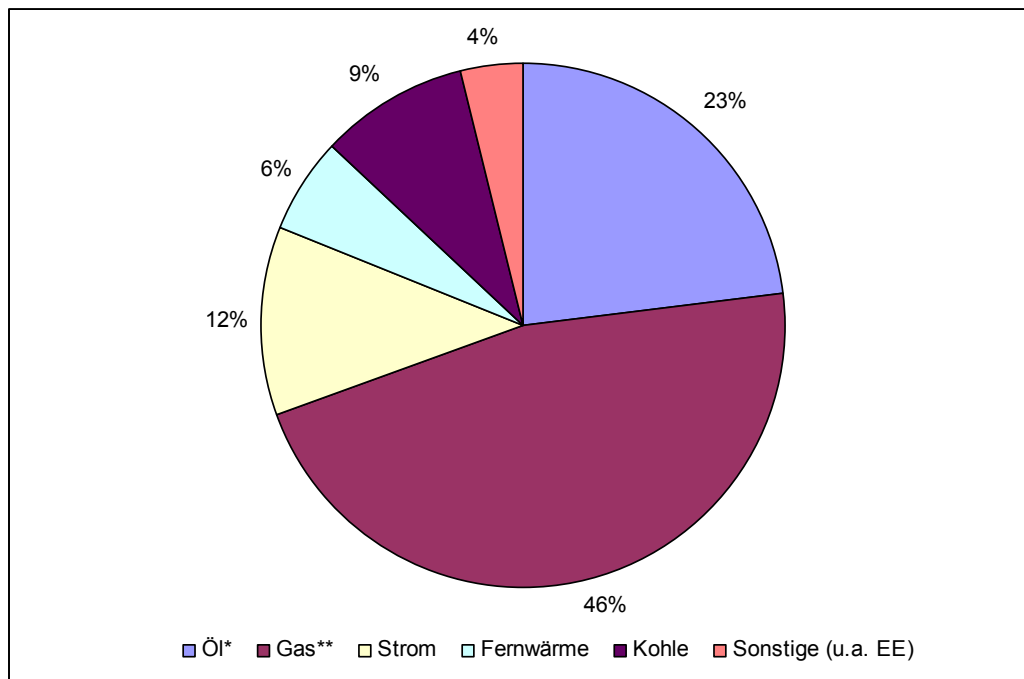
Abbildung 2: Entwicklung Anteile KWK und Fernheizwerke an der Fernwärmebereitstellung in Deutschland von 1995 bis 2003 [TWh]



Quelle: AGEb 2006, Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland 1995-2003, s. www.ag-energiebilanzen.de

Die Abbildung 3 zeigt die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung für das Jahr 2004 in Deutschland – unterteilt nach Energieträgern. Es ist zu erkennen, dass die erneuerbaren Energien 2004 einen eher geringen Beitrag zur Wärmebereitstellung leisteten.

Abbildung 3: Anteil der Energieträger an gesamter Wärmebereitstellung in Deutschland 2004⁵⁰



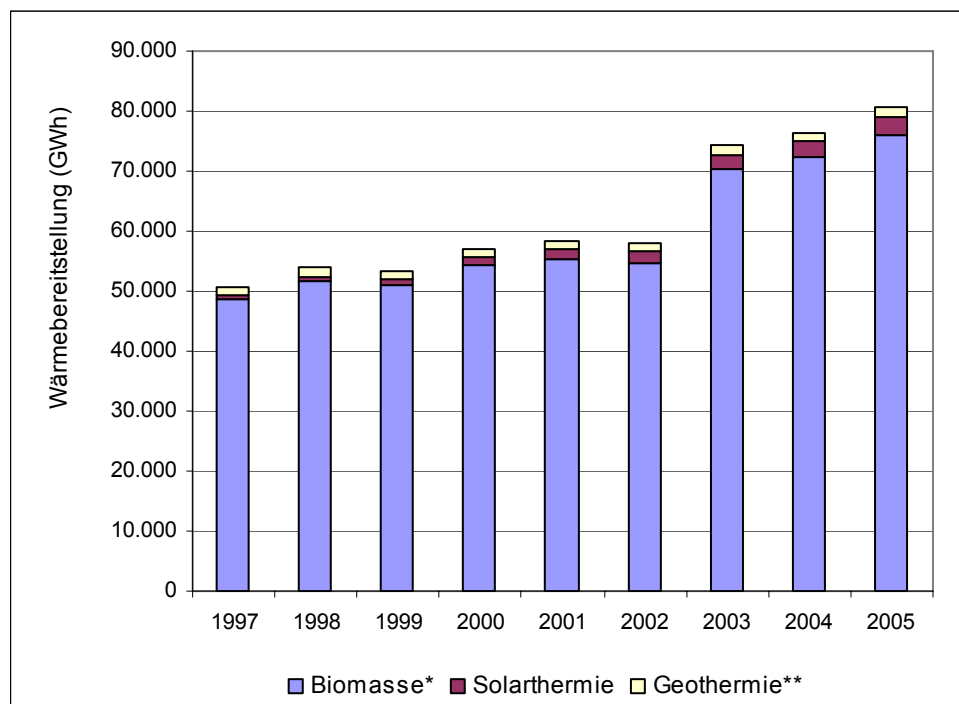
Quelle: VDEW (2006) Endenergieverbrauch in Deutschland 2004, zusammengestellt aus Tafel 2-6

Seit 2004 hat die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien weiter zugenommen. Ursache dafür ist vor allem eine erhöhte Nutzung von Biomasse, wobei die biogenen Festbrennstoffe den größten Anteil ausmachten (vergleiche Abbildung 4). Die Wärmebereitstellung aus diesen Energieträgern beträgt im Jahr 2005 80,6 TWh, dies entspricht einem Anteil an der gesamten Wärmeerzeugung von 5,3 Prozent. Dabei machen die biogenen Festbrennstoffe in den Haushalten 69,5 Prozent, der Industrie 13,4 Prozent, 2,5 Prozent in Heizkraftwerken und Heizwerken aus. Der biogene Anteil des Abfalls beträgt 4,4 Prozent, Solarthermie 3,7 Prozent, Geothermie

⁵⁰ Der VDEW hat offizielle Daten zum Wärmebedarf und der Wärmebereitstellung zuletzt 2006 für das Jahr 2004 veröffentlicht, daher bezieht sich die Darstellung auf 2004. Nach Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006c) beträgt im Jahr 2005 der Anteil der erneuerbaren Energien an der gesamten Wärmebereitstellung 5,3 Prozent. Die Differenz zu den oben genannten 4,0 Prozent ergibt sich wegen einer neuen Methodik zur Erfassung der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Ab 2005 sind – rückwirkend bis 2003 – zusätzlich zu den biogenen Festbrennstoffen, die in Haushalten zum Einsatz kommen – auch diejenigen aus der Industrie erfasst. Um einen konsistenten Vergleich aller Daten verschiedener Quellen für das Jahr 2004 zu ermöglichen, nimmt die Studie einen Anteil von 4,0 Prozent der erneuerbaren Energien zur gesamten Wärmebereitstellung an.

2,0 Prozent und die biogenen flüssigen und gasförmigen Brennstoffe 4,5 Prozent.⁵¹ Damit leistet Biomasse mit einem Anteil von 94,4 Prozent den mit Abstand wichtigsten Beitrag zur Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien, vor allem in privaten Haushalten, in denen schätzungsweise rund 7 Millionen Kaminöfen, Heiz- oder offene Kamine und Kachelöfen – hauptsächlich in Ein- und Zweifamilienhäusern – knapp 4 Prozent der Wärme erzeugen.⁵²

Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen von 1997-2005 in GWh



* Abweichend zu den Vorjahren ab 2003 Angaben nach §§ 3, 5 (Heizkraft- und Heizwerke) und § 8 des Energiestatistikgesetzes von 2003 sowie Direktnutzung von Klärgas und Wärme aus dem biogenen Anteil des Abfalls

** Ab 2003 tiefe und oberflächennahe Geothermie

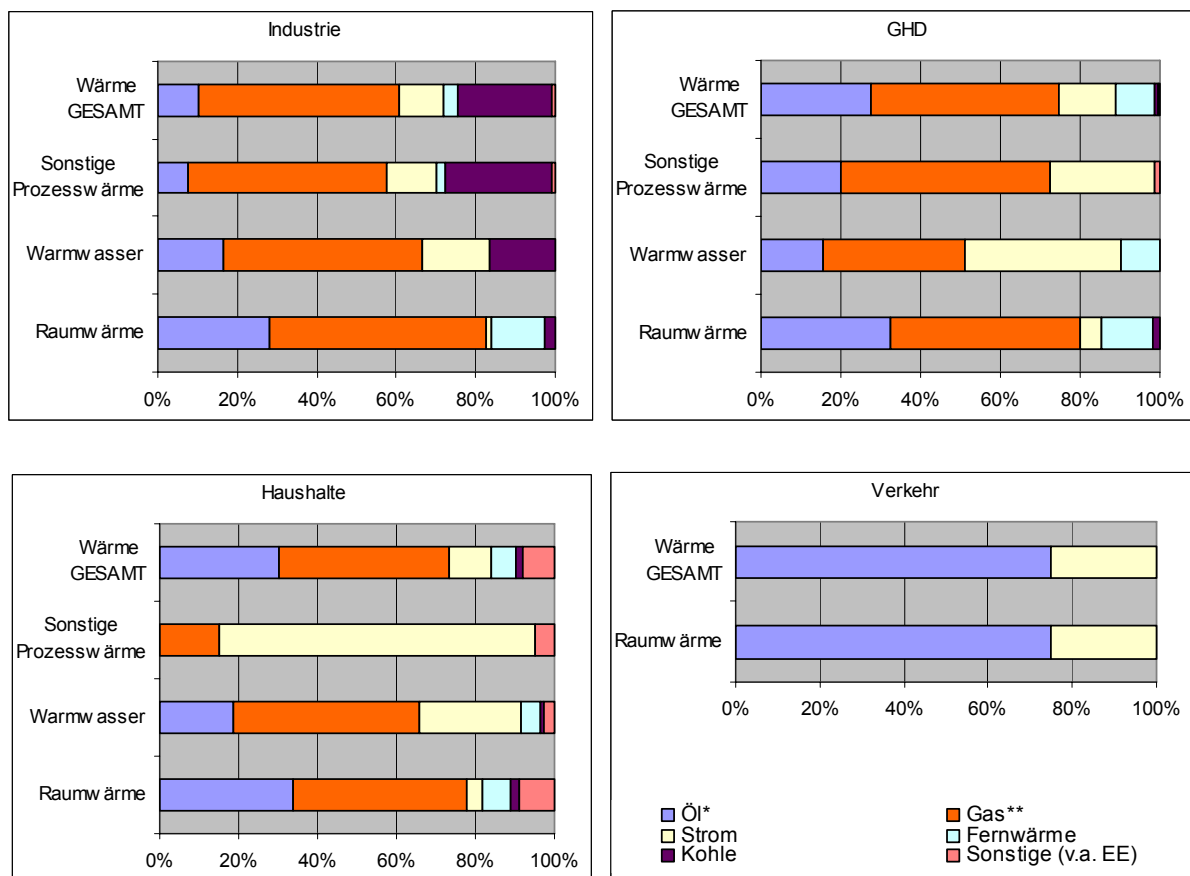
Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006c): Erneuerbare Energien in Zahlen, berechnet aus Tab. S. 12

Die zur Wärmeerzeugung eingesetzten Energieträger kommen – je nach Anwendung (Raumwärme, Warmwasser oder sonstige Prozesswärme) – in verschiedenen Anteilen zum Einsatz. Abbildung 5 veranschaulicht diese Unterschiede.

⁵¹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006c), ohne Seitenangabe

⁵² Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006b), S. 12

Abbildung 5: Wärmebereitstellung nach Energieträgern und Sektoren in Deutschland 2004
(bereinigt um Vorratsänderungen bei leichtem Heizöl bei Haushalten und GHD)



* Heizöl leicht, Heizöl schwer, Petrolkoks, Kraftstoffe und sonstige Öle

** Erdgas, Gas aus Erdöl, Gas aus Kohle

Quelle: VDEW (2006): Endenergieverbrauch in Deutschland 2004, Teil A (VDEW Projektgruppe „Nutzenergiebilanzen“), berechnet aus Tafeln 1-6

Die Industrie setzte Gas für gut 50 Prozent der Wärmebereitstellung ein. Dieser Brennstoff stellte bei allen drei Anwendungen den größten Anteil an erzeugter Wärme. Auffällig – im Vergleich zu den anderen Sektoren – ist der hohe Anteil der Kohle, die bei sonstiger Prozesswärme knapp 27 % der Wärme liefert. Gas war auch der Hauptenergieträger im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Gleichzeitig nahm hier Strom einen wichtigen Platz ein, vor allem für die Bereitstellung des Warmwassers und sonstiger Prozesswärme. Auch im Haushaltssektor – dem Sektor mit dem größten Wärmebedarf – basierte die Wärmebereitstellung hauptsächlich auf dem Brennstoff Gas, mit Ausnahme der sonstigen Prozesswärme (vor allem Kochen), in dem hauptsächlich Strom für die Wärmebereitstellung zum Einsatz kommt (etwa 80 Prozent). Der Verkehrssektor verwendet Wärme nur für das Beheizen der Betriebsräume, wobei die Wärmeerzeugung vor allem auf Öl (75 Prozent) und Strom

(25 Prozent) basiert. Der Einsatz erneuerbarer Energien (vor allem Holz) für Raumwärme im Haushaltssektor beträgt 56,1 TWh. Dies ist ein Anteil von 8 Prozent des Gesamtwärmebedarfs der Haushalte. Damit ist die Bereitstellung von Raumwärme für Haushalte der wichtigste Beitrag der erneuerbaren Energien.

Für den Haushaltssektor, der mit 46,7 Prozent den größten Anteil am Gesamtwärmebedarf hat, ergänzt eine Studie des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung und Forsa⁵³ die oben gemachten Ausführungen. Demnach verwenden 92 Prozent der Haushalte Strom zum Kochen (99 Prozent aller westdeutschen, 87 Prozent aller ostdeutschen). Wie in Abbildung 5 zu erkennen ist, kommt Strom außerdem mehr für die Warmwasserzubereitung als für Heizzwecke zum Einsatz. 72,6 Prozent der in der Studie befragten privaten Haushalte haben eine Erdgaszentralheizung, wobei 48,6 Prozent – vorrangig westdeutsche – Haushalte Erdgas einsetzen, vor allem für Raumwärme. Der Verbrauch von Holz hat in den Haushalten in den letzten Jahren zugenommen. Zurzeit bestücken Hausbewohner vorwiegend zusätzliche Feuerstellen (zum Beispiel Kamine) mit Holz. Es kann in Zukunft besonders für die Raumheizung eine gute Alternative zu den fossilen Energieträgern sein, vor allem in Form von Stückholz sowie Briketts, Hackschnitzeln und Pellets. 18,2 Prozent aller befragten Haushalte verwenden Stückholz, vor allem in westdeutschen Haushalten. Laut dem Deutschen Energie-Pellet-Verband (DEPV) besitzen 30.000 deutsche Haushalte eine Pelletheizung, das sind weniger als zwei Promille aller deutschen Haushalte. Bei der Erzeugung der Raumwärme mit Holzpellets handelt es sich jedoch um einen Markt, der in den letzten Jahren stark gewachsen ist.

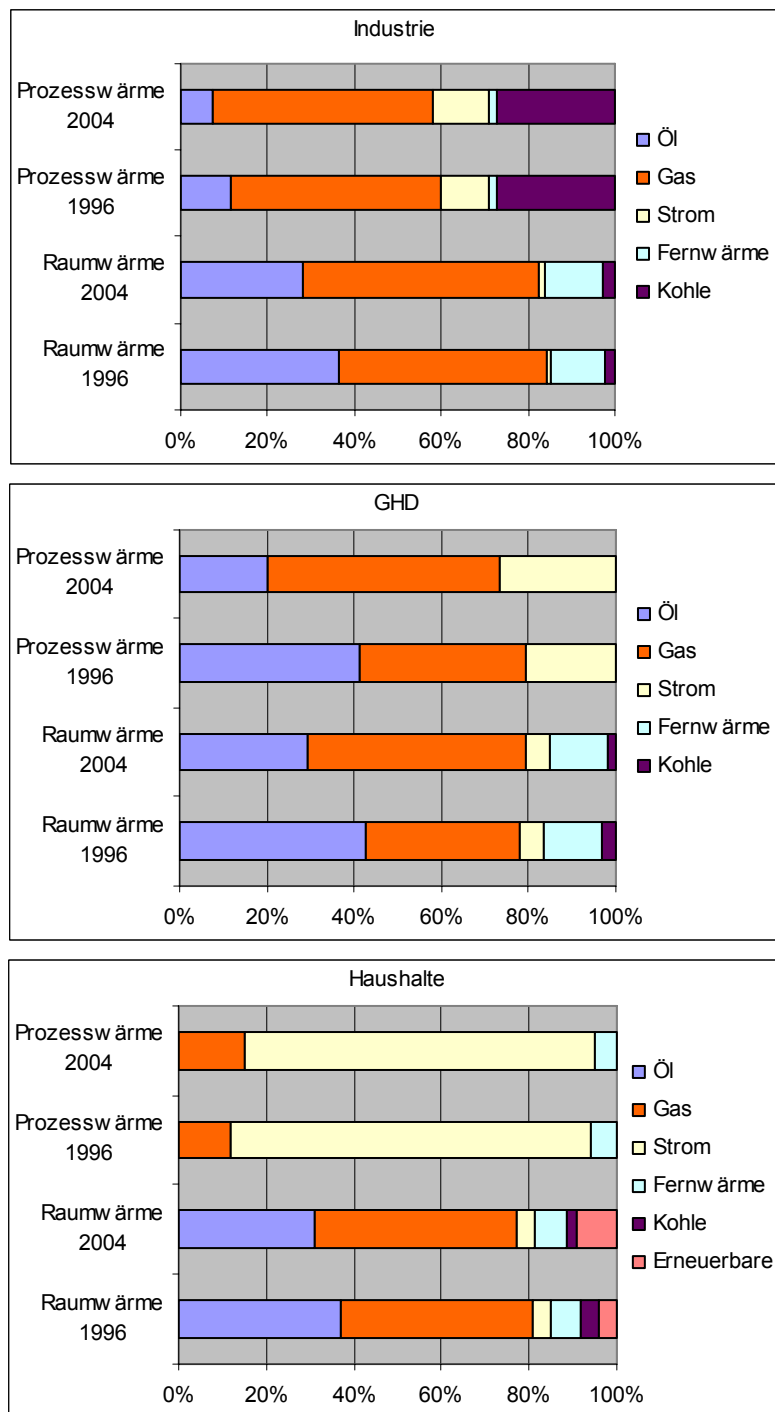
Weiterhin stellt die genannte Forsa-Studie fest, dass 25,8 Prozent der befragten Haushalte in den ostdeutschen und nur 8,6 Prozent in den westdeutschen Bundesländern Fernwärme für die Wärmebereitstellung nutzen (insgesamt 11,7 Prozent).

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der Brennstoffeinsätze zur Wärmebereitstellung für sonstige Prozesswärme sowie Raumwärme zwischen 1996 und 2004.⁵⁴

⁵³ Vgl. RWI Essen und Forsa (Berlin) (2005)

⁵⁴ Da für das Basisjahr 1996 keine Daten zum Einsatz der jeweiligen Brennstoffe für die Warmwasserbereitung vorhanden sind, bezieht sich die folgende Darstellung nur auf sonstige Prozesswärme und Raumwärme.

Abbildung 6: Entwicklung der Brennstoffeinsätze für Prozess- und Raumwärme zwischen 1996 und 2004 für die Sektoren Industrie, Haushalte und GHD in Deutschland



Quelle: Quelle: Energiedaten des BMWi, Tab. 7 vom 30.05.2006

In der Industrie, in der sich der Prozesswärmebedarf von 444 TWh auf 435 TWh und der Raumwärmebedarf von 79 TWh auf 61 TWh verringerten, ist eine Substitution von Öl durch Gas zu erkennen, während beim Gas für die Erzeugung von Raum-

wärme eine rückgängige Tendenz zu beobachten ist, stieg der Gaseinsatz für die Erzeugung der Prozesswärme leicht an. Der industrielle Ölverbrauch nahm im selben Zeitraum stark ab, während der Anteil von Kohle und Fernwärme relativ konstant blieben. Ein Zuwachs lässt sich beim Stromverbrauch für Prozesswärme beobachten. Im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen verringerte sich der Raumwärmebedarf von 255 TWh auf 197 TWh, während der Prozesswärmebedarf leicht stieg. Hier nahm der Ölverbrauch seit 1996 stark ab, wobei Gas und Strom einen Anstieg verzeichneten. Der Gasverbrauch stieg vor allem für die sonstige Prozesswärme. Der Fernwärmeanteil verringerte sich im betrachteten Zeitraum. Im Haushaltssektor sank der Bedarf an Raumwärme von 1996 bis 2003 von 658 TWh auf 587 TWh. Gleichzeitig stieg der Bedarf an sonstiger Prozesswärme, also Wärme für die Lebensmitt zubereitung (vor allem Kochen). Während bei den Haushalten für die Bereitstellung der Raumwärme und des Warmwassers Öl, Gas, Strom, Fernwärme und Kohle ihren Anteil an der Wärmebereitstellung verringerten, stieg der Beitrag der erneuerbaren Energien dafür zwischen 1996 und 2004.

3.3 Wärmeanbieter

Den größten Anteil haben die Gasversorgungsunternehmen, die private Haushalte sowie gewerbliche und industrielle Abnehmer mit Erdgas versorgen und somit fast 50 Prozent der Wärmebereitstellung bestimmen. Sowohl bei der Verteilung an die Endkunden als auch unter den Erdgasimporteuren und -händlern herrscht nur wenig Wettbewerb.

Die reinen Wärmeversorgungsunternehmen sind allein auf die Erzeugung und auf den Vertrieb der Wärmeenergie orientiert. Eine Kopplung der Wärmeerzeugung mit anderen Prozessen findet in der Regel nicht statt. Die Unternehmen wandeln die chemisch gebundene Energie von Brennstoffen in Wärme um und liefern diese an die Kunden. Das Interesse der Unternehmen besteht darin, bei gegebenem Verkaufspreis maximale Wärmemengen zu verkaufen und dabei so wenig wie möglich an Energieträgern (Kohle, Erdgas, Holz und andere) umzuwandeln. Die zeitlich-räumliche Schwankung des Bedarfs führt zu einem Optimierungsproblem bei der Auslegung der Produktionskapazitäten.

Jene Anbieter, die über Netze Gas zu Wärmezwecken und/oder Fernwärme bereitstellen, stehen in Konkurrenz zu solchen, die Heizöl, Kohle und Biomasse anbieten, die diese Brennstoffe leitungsunabhängig vermarkten. Dabei ist für die Abnehmer nachteilig, dass sie die Bevorratung der Energie – bei Heizöl in Form von Tanks – sicherstellen müssen, während das Gas für die Gasheizung und den Gaskessel oder die Fernwärme bedarfsabhängig direkt ins Haus kommt. Gas- und Fernwärmeanbieter werben gerne mit diesem Bequemlichkeitsvorteil. Die Fernwärme- und Gasnetze verschaffen den Anbietern in diesem Segment derzeit noch eine Monopolstellung, da ein Zugang für Dritte zu diesen Netzen bisher – mit Ausnahme der Gasversorgung für Großkunden – in der Praxis noch nicht stattfindet.

Stadtwerke, die sowohl eine Gas- als auch eine Fernwärmeversorgung anbieten, stehen in einem Interessenskonflikt, da sie zwei konkurrierende Wärmeversorgungs-lösungen anbieten. Diese Unternehmen müssen beide Versorgungsalternativen parallel vermarkten.

Anbieter von Wärme aus gekoppelter Erzeugung (KWK) können Energieversorgungsunternehmen unterschiedlicher Größe (Stadtwerke oder auch industrielle Erzeuger) sein, die erzeugte Wärme vermarkten wollen. Das wirtschaftliche Interesse dieser Unternehmen besteht darin, alle energetischen Koppelprodukte zu vermarkten. Dies bringt für diese wirtschaftliche Vor- und Nachteile mit sich. Wegen des im Allgemeinen höheren Nutzungsgrades einer gekoppelten Erzeugung von Endenergien ist der Erlös zwar höher als bei einer ungekoppelten Strom- und Wärmeversorgung. Allerdings benötigen die Abnehmer Wärme – besonders in Gebäuden – nicht ganzjährig. So ist im Sommer die Wärme nicht absetzbar, so dass Erlösseinbußen entstehen.

Weitere Anbieter auf dem Wärmemarkt sind die unabhängigen Energieerzeuger, die als privatwirtschaftliche Unternehmen unterschiedliche Abnehmer versorgen. So stellt zum Beispiel die Biomasse-Heizkraftwerk Pfaffenhofen GmbH Wärme in verschiedenen Temperatur- und Druckstufen sowie Strom und Kälte für Unternehmen, Einrichtungen der öffentlichen Hand und Verwaltungen als Dienstleistung zur Verfügung.

Handeln solche Unternehmen für Dritte, indem sie Investitionen für Gebäudeeigentümer als Energiedienstleistungen anbieten und organisieren, spricht man von Contracting im Allgemeinen. Beim Anlagencontracting betreibt der Contractor eine

Anlage für die Gebäudeeigentümer. Beim Energieeinspar-Contracting investiert der Contractor in die Energie- und Gebäudetechnik der Liegenschaft, um die zu liefernde Energiemenge zu reduzieren. Im zweiten Fall refinanziert sich der Contractor über die Kostenreduzierungen wegen des verringerten Energiebedarfs. Beim Energieliefer-Contracting vereinbart der Gebäudeeigentümer und Contractor die Lieferung der Nutzenergie zu definierten Bedingungen. Gebietskörperschaften der öffentlichen Hand und die Industrie wenden das Contracting zwar verstärkt an, dennoch ist dessen Anteil an der gesamten Wärmeversorgung noch sehr gering.

Große Probleme entstehen für Fernwärmeversorger, falls sich die Nachfrage in einem Versorgungsgebiet verringert. Aktuell ist das in den großen Fernwärmesystemen in den neuen Bundesländern der Fall. Wegen des Rückgangs der Bevölkerungszahlen sind Wohngebiete zurückzubauen. Daraus folgt ein Rückgang des Wärmebedarfs. Zudem verminderten die verbesserte Wärmedämmung und der Rückgang der Industrieproduktion den Bedarf seit der Deutschen Vereinigung. Obwohl sich die Versorger auf diese Bedingungen mit der Verringerung der Kapazitäten vorbereiten konnten, sind die Systeme der technischen Infrastruktur nur mit sehr hohen Kosten an diese Veränderungen anzupassen. Unter diesen Bedingungen verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit dieser Versorger.

Der Wettbewerbsvorteil von Nahwärmenetzen, mit denen private Investoren eine kleine Zahl von Abnehmern versorgen, gegenüber großen Fernwärmenetzen besteht in den geringeren spezifischen Unterhaltskosten kleiner Strom- und Wärmnetze. Als relativ neue und flexible Akteure am Markt betrifft diese Investoren das Problem der Überdimensionierung der Infrastruktursysteme derzeit kaum. Häufig hemmen jedoch Strom- und Gasnetzbetreiber vor Ort die Entwicklung, weil diese die unerwünschte Konkurrenz durch hohe Netznutzungsgebühren und attraktive Gasbezugsbedingungen für die Kunden aus dem Markt zu halten suchen.

4 Der Wärmemarkt in Deutschland morgen bis 2030

Nachdem die vorangegangenen Kapitel Techniken und den Markt der Wärmeversorgung beschrieben, stellt dieses Kapitel mögliche Szenarien der Wärmeversorgung bis zum Jahr 2030 vor. Methodische Vorgehensweise der Szenarientechnik ist, dass erstens eine Vielzahl bereits heute gültiger Rahmenbedingungen die Grundlage bilden, deren Entwicklung Expertinnen und Experten für die Zukunft schätzen, zweitens die Szenarien darauf aufbauend mögliche Entwicklungspfade beschreiben, und daraus drittens verschiedene Ergebnisse folgen. Ein Szenario sagt also nicht einen bestimmten Zustand in der Zukunft voraus, sondern beschreibt vielmehr Wege, bei deren Beschreiten sich unterschiedliche Ziele erreichen lassen. Expertinnen und Experten entwickeln diese Szenarien unter Zuhilfenahme – je nach Anwendungsfall mehr oder weniger – komplexer Modelle. Grundsätzlich lassen sich zwei verschiedene Herangehensweisen bei der Modellrechnung unterscheiden. Erstens ist die Vorgabe fester Ziele möglich, das Modell soll dann in der Regel den (volks-)wirtschaftlich günstigsten Weg errechnen, um die Ziele im Vergleich zu einer Referenzentwicklung erreichen. Zweitens ist der Status Quo und bestimmte Entwicklungspfade – zum Beispiel Entwicklung einzelner Techniken oder Märkte – einstellbar, das Modell errechnet dann, welche Zielmarken mit diesen Vorgaben erreichbar sind. Auch Kombinationen dieser beiden Vorgehensweisen sind möglich.

4.1 Rahmendaten und gewählte Szenarien

Die folgenden Kapitel beschreiben eine Referenzentwicklung und ein Klimaschutzszenario.⁵⁵ Die Referenzentwicklung geht vom heutigen Stand an politischen Instrumenten und absehbaren technischen Entwicklungen aus. Neue Instrumente sind nicht enthalten. Auch bestehen in diesem Szenario keine spezifischen Zielvorgaben – etwa das Erreichen bestimmter Handlungsziele im Klimaschutz.

⁵⁵ Die Referenzentwicklung beruht auf dem Status-Quo-Szenario für den Sektor Haushalte aus der Studie „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energieversorgung“ (vgl. UBA (2002) sowie dem Modell-Basis-Szenario für die Sektoren Industrie und Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) aus der Studie „Klimaschutz in Deutschland bis 2030“ (vgl. UBA (2005b)). Das Modell-Basis-Szenario entspricht dem vorher genannten Referenzszenario, bildet dies aber in einem Energiesystemmodell ab, so dass sich nicht alle Zahlen genau entsprechen.

Um Wege aufzuzeigen, welche Potenziale für den Klimaschutz es in Zukunft gibt, stellt das Kapitel dieser Referenzentwicklung ein Klimaschutzszenario gegenüber.⁵⁶

Das Klimaschutzszenario hat klare Vorgaben für die zu erreichende Kohlendioxid-Emissionsminderung. Die Kohlendioxid-Emissionen sollen um 40 Prozent bis zum Jahr 2020 – verglichen mit 1990 – und um weit mehr als 50 Prozent bis zum Jahr 2030 zurückgehen.⁵⁷ Das Klimaschutzszenario beschreibt dabei die technischen Maßnahmen, die zusätzlich zum Referenzszenario zu ergreifen wären, um die Ziele zu erreichen. Es beschreibt nicht die politischen Instrumente, die dazu führen würden, dass die jeweiligen Akteure die technischen Maßnahmen wirklich ergreifen.

Die verwendeten Rahmendaten (siehe Tabelle 4) haben einen großen Einfluss auf die Ergebnisse.

⁵⁶ Das Klimaschutzszenario stützt sich für den Sektor Haushalte auf das Nachhaltigkeitsszenario in UBA (2002) und für die Sektoren Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) und Industrie auf das Reduktionsszenario II in UBA (2005b). Das Nachhaltigkeitsszenario ist detailliert in der UBA-Studie „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energieversorgung“ beschrieben. Für den Sektor Industrie liegen – anders als beim Sektor Haushalte – keine detaillierten Ergebnisse des „Nachhaltigkeits-szenarios“ vor. Neben der verstärkten Anwendung von Energieeffizienztechniken gehen die Experten im Nachhaltigkeitsszenario zusätzlich von einem Bewusstseins- und Wertewandel aus, der die Realisierung der Effizienzpotenziale vereinfacht. Im Sektor Industrie macht zwar der Bedarf an Prozesswärme den überwiegenden Teil des gesamten Wärmebedarfes aus. Doch zur Darstellung möglicher – obwohl relativ geringer – Einsparpotenziale bei Prozesswärme wäre eine detaillierte Modellierung der gesamten Industrie und ihrer wärmeabhängigen Produktionsprozesse, inklusive der vor- und nachgelagerten Prozessketten, erforderlich. Diese aufwändige Modellierung, bei absehbar geringem Effekt, war nicht Gegenstand des oben genannten Forschungsprojektes. Da für die vorliegende Studie zum Wärmemarkt detailliertere Daten erforderlich waren, greift diese beim Sektor Industrie auf Ergebnisse des „Reduktionsszenarios II“ zurück. Die Modellierung erfolgte hier mit dem Optimierungsmodell IKARUS des Forschungszentrums Jülich. Dieses Szenario ist detailliert in der UBA-Studie „Klimaschutz in Deutschland bis 2030“ beschrieben.

⁵⁷ Diese Emissionsminderungsziele lassen sich bei einem angenommenen linearen Verlauf aus dem Emissionsminderungsziel von 80 Prozent bis zum Jahr 2050 ableiten. Dieses Ziel hatte die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ in ihrem Endbericht im Jahr 2002 formuliert.

Tabelle 4: Rahmendaten für die Szenarien (Auswahl)

		2000	2005	2010	2020	2030
Bevölkerung	Mio.	82,2	82,2	82,1	80,8	77,9
Wohnfläche (Ein-/Zweifamilienhäuser)	Mio. m ²	1.880	2.016	2.155	2.425	2.493
Wohnfläche (Mehrfamilienhäuser, inkl. Nichtwohngebäude)	Mio. m ²	1.428	1.505	1.578	1.717	1.738
Bruttoinlandsprodukt (BIP)	Mrd. Euro ₁₉₉₅	2.023	2.221	2.438	2.882	3.286
Energieträgerpreise (Preisbasis 2000)						
Erdöl	Euro/GJ	2,81	3,18	3,56	4,31	5,06
Erdgas	Euro/GJ	2,15	2,50	2,84	3,52	4,20
Steinkohle	Euro/GJ	1,36	1,40	1,43	1,59	1,76

Quelle: Deutscher Bundestag (2002): Endbericht der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“; S. 141

Die seit 2005 vorliegende Energieprognose von EWI/Prognos⁵⁸ geht von anderen Rahmendaten aus. So nimmt diese Studie einen geringeren Bevölkerungsrückgang bis zum Jahr 2030 auf 79,3 Millionen Einwohner an. Das Bruttoinlandsprodukt soll sich demnach im Jahr 2030 auf lediglich 2.960 Milliarden Euro₁₉₉₅ erhöhen.

Der folgende Abschnitt erläutert die Rahmendaten und Grundannahmen für die Sektoren Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Industrie, auf denen die Referenzentwicklung und das Klimaschutzszenario basieren.

Haushalte

Tabelle 5 zeigt die für die Entwicklung von Gebäuden wesentlichen Daten⁵⁹. Danach steigt die Wohnfläche in Deutschland mit Zuwachsraten von durchschnittlich 1,2 Prozent pro Jahr zunächst deutlich an. Nach 2020 ist mit 0,2 Prozent pro Jahr nur noch ein geringfügiger Anstieg zu verzeichnen. Nach 2010 setzt eine deutliche

⁵⁸ Vgl. EWI/Prognos (2005); S. 148 ff

⁵⁹ Die Wohnflächen beziehen sich hier auf alle im Bestand vorhandenen Wohnungen, d.h. Wohnungen in Wohngebäuden plus Wohnungen in Nichtwohngebäuden (z.B. Gewerbebauten). Das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung bezieht sich in seinen Wohnraumanalysen dagegen meist nur auf Wohnungen in Wohngebäuden.

Abnahme der Bevölkerungszahl ein. Im Jahr 2030 steht eine um rund ein Viertel größere Wohnfläche zur Verfügung als im Bezugsjahr 1998. Infolge des ungebrochenen Trends zu Single-Haushalten steigt die spezifische Wohnfläche pro Kopf weiter und liegt mit 54,3 m²/Person im Jahr 2030 um 41 Prozent oberhalb des heutigen Niveaus.

Tabelle 5: Entwicklung des Gebäudebestands in Deutschland

	Einheit	1998	2010	2020	2030
Wohnflächen	Mio. m ²	3.154	3.733 ⁶⁰	4.142	4.231
Bevölkerung ⁶¹	Mio.	82,0	82,1	80,8	77,9
Haushalte	Mio.	37,5	38,5	38,8	38,1
spezifische Wohnfläche	m ² /Kopf	38,5	45,5	51,3	54,3

Quelle: Umweltbundesamt (2002b): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energieversorgung, S. 109 ff.

Die Sanierungsrate aller Gebäude lag 2002 in Deutschland bei jährlich 2,5 Prozent, jedoch kommt es nur in jedem fünften Fall gleichzeitig zu einer energetischen Sanierung. Das Klimaschutzenszenario unterstellt, dass dieser Sanierungsstau aufgebrochen, eine energetische Sanierungsrate von 2 Prozent pro Jahr erreichbar und gleichzeitig die Vorgaben der Energieeinsparverordnung einhaltbar sind. Dabei beschränkt sich das Szenario auf Maßnahmen, die einzelwirtschaftlich unter 4 Cent pro eingesparte Kilowattstunde kosten. Es kommt jedoch zu einer Kompensation zwi-

⁶⁰ Die Zuwachsraten der Wohnflächen orientieren sich noch an den hohen Neubauraten um die Jahrtausendwende. Der Wohnungsneubau hat sich inzwischen fast halbiert, so dass der künftige Zuwachs der Wohnflächen geringer ausfallen dürfte als hier angegeben. Auch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung kommt bei seinen eher optimistischen (im Sinne der Bauwirtschaft) Aussagen in der Raumordnungsprognose 2020/2050 hinsichtlich künftiger Wohnraumpotentialen zu deutlich niedrigeren jährlichen Zuwächsen (55 % des o.g. Zuwachses).

Die UBA-Projektion stellt somit den Worst-Case dar, der eintreten würde, wenn die Neubauraten wieder auf die hohen Werte der Jahrtausendwende hochschnellen würden.

⁶¹ Die angenommene Bevölkerungsentwicklung entspricht in etwa der Variante 4 der 10. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2003 sowie der Variante „mittleren, Untergrenze“, der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung aus dem Jahr 2006. Wenn sich die Rahmenbedingungen nicht ändern, ist dies eine durchaus wahrscheinliche Entwicklung.

schen spezifisch teureren Maßnahmen und billigeren Optionen, so dass die aus dem Maßnahmenmix resultierenden Einsparkosten 2 Cent/kWh nicht übersteigen.⁶²

Das Klimaschutzszenario hat zur Grundlage, dass die Bauherren im Zeitraum nach 2010 20 Prozent der Einfamilien- und 15 Prozent der Mehrfamilienhäuser im Passivhausstandard errichten.⁶³ Passivhäuser sind eine Weiterentwicklung der Niedrigenergiehäuser mit einem zusätzlichen Heizenergiebedarf von weniger als 15 kWh pro m² und Jahr. Die Deckung des Wärmebedarfes erfolgt hauptsächlich über die passive Nutzung der Sonnenstrahlung.

Gewerbe/Handel/Dienstleistungen – GHD

Folgende wesentlichen Maßnahmen für den GHD-Sektor liegen den Daten des Klimaschutzszenarios zu Grunde:

- starke Verbesserung des Wärmeschutzes im Dienstleistungssektor (20 Prozent Einsparung),
- Verbesserung des Wärmeschutzes beim Handwerk, der Kleinindustrie (10 Prozent Einsparung), Landwirtschaft und sonstige,
- Substitution von Kohle und Öl bei der Heizung durch Fern- und Nahwärme (30 Prozent Zuwachs).

Industrie

Folgende wesentliche Maßnahmen für den Sektor Industrie liegen den Daten des Klimaschutzszenarios zu Grunde:

- deutlicher Rückgang der Nutzung von Heizöl (minus 45 Prozent), Braun- (minus 25 Prozent) und Steinkohle (minus 10 Prozent), sehr starker Zuwachs bei Biomasse (plus 500 Prozent),
- Substitution von Steinkohle und Öl durch Biomasse bei der Prozessdampf- und -wärmeerzeugung,
- Einsatz von Spartechniken in einigen Branchen (Investitionsgüter, Chemie, Zement, Ziegel, Papier, Eisen/Stahl).

⁶² Umweltbundesamt (2002b); S. 271 f

⁶³ Vgl. ebd.

4.2 Wärmebedarf bis 2030

Haushalte

Der Raumwärmebedarf steigt durch den Zuwachs bei den Wohnflächen etwa so stark, wie sie durch Abnahme der Bevölkerungszahl und energetisch sanierte Gebäude sinkt, so dass der Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser der privaten Haushalte bis zum Jahr 2020 im Wesentlichen stagniert (vergleiche Tabelle 6). Erst nach 2020 führen die abnehmende Bevölkerungszahl und die energetische Sanierung des Gebäudebestands zu einer signifikanten Trendwende und zu einem deutlich rückläufigen Endenergiebedarf.

Tabelle 6: Entwicklung der Endenergiebedarfe für Raumwärme und Warmwasser im Referenz- und Klimaschutzscenario

	1998	2010		2020		2030	
in TWh		Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz
Zentralheizungen	581,7	k.A.	416,1	k.A.	289,2	k.A.	201,8
Etagenheizungen	8,5	k.A.	1,6	k.A.	1,2	k.A.	0,0
Einzelöfen	93,4	k.A.	48,6	k.A.	11,9	k.A.	0,1
Effizienztechnik ²⁾	3,6	k.A.	111,9	k.A.	182,1	k.A.	206,0
Summe	687,2	631,4 ¹⁾	578,1	636,7 ¹⁾	484,4	602,2 ¹⁾	407,9
¹⁾ aus Endenergie gesamt berechnet; Annahme: Anteil Raumwärme und Warmwasser 80 Prozent							
²⁾ dazu gehören Wärmepumpen, Brennwertkessel, Solar und Biomasse							
k.A.: keine Angabe							

Quelle: Deutscher Bundestag (2002): Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“, S. 145

Umweltbundesamt (2002b): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energieversorgung, S. 278

EWI/Prognos kommt für die Referenzentwicklung zu ähnlichen Ergebnissen.⁶⁴ Im Vergleich zum Referenzscenario lassen sich im Klimaschutzscenario bis 2030 rund 32 Prozent des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser einsparen. Den größten Anteil daran hat der Rückgang der in Zentralheizungen und Einzelöfen eingesetzten Energiemengen. Über Effizienztechniken, zu denen auch die erneuerbaren Energien zählen, lässt sich im Klimaschutzscenario zukünftig ein großer Anteil der Raumwärme und des Warmwassers decken.

⁶⁴ Vgl. EWI/Prognos (2005); S. 187

Gewerbe/Handel/Dienstleistungen – GHD

Der Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) fasst sehr unterschiedliche Betriebe zusammen: Zu ihm gehören die Wirtschaftszweige Land- und Forstwirtschaft, Fischereien, Baugewerbe, Handel und Verkehr, Nachrichtenübermittlung, Dienstleistungen, staatliche Stellen sowie industrielle Kleinbetriebe mit weniger als 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern.

In der Referenzentwicklung ergibt sich ein Rückgang des Wärmebedarfs von etwa 358 TWh im Jahr 2000 um 49 TWh auf 309 TWh (vgl. Tabelle 10). Der abnehmende Wärmebedarf in diesem Szenario ist erstens mit der Substitution von – auf der Basis fester und flüssiger Energieträger betriebener – Heizungssysteme mit hocheffizienten Erdgasheizungen zu erklären. Zweitens spielt die Wärmedämmung in Altbauten innerhalb des Renovierungszyklus und in Neubauten mit fortschreitendem Betrachtungszeitraum eine immer größere Rolle.

Im Klimaschutzszenario geht der Wärmebedarf um 87 TWh auf 271 TWh im Jahr 2030 zurück.⁶⁵

Industrie

Der Wärmebedarf der Industrie ist näherungsweise aus den Daten der Studie „Klimaschutz in Deutschland bis 2030“ hergeleitet.

Tabelle 7: Wärmebedarf im Sektor Industrie

	2000	2010		2020		2030	
in TWh	Ist	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz
Wärmebedarf	529	548	553	527	528	513	512

Quelle: Umweltbundesamt (2005): Klimaschutz in Deutschland bis 2030; S. 341
eigene Berechnungen

Die relativ geringe Abnahme des Wärmeverbrauchs ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass in der Referenzentwicklung die Industrie einen erheblichen Teil der bestehenden Optionen zur rationellen Energieverwendung bereits nutzt. Bei den im Klimaschutzszenario angeführten Grenzkosten für Kohlendioxid-Emissionen wür-

⁶⁵ Vgl. Umweltbundesamt (2005b); S. 361, Tabelle 5.3-4
Die Berechnung geht von gleichen Anteilen an Raum- und Prozesswärme aus Strom wie im Jahr 2001 aus.

den Teile der deutschen energieintensiven Industrie ins Ausland abwandern, oder es würde eine Produktsubstitution erfolgen.⁶⁶

Der Prozesswärmebedarf lässt sich in prozessspezifische thermische Anwendungen differenzieren, die rund zwei Drittel des Verbrauchs ausmachen, sowie thermische Querschnittstechniken – im Wesentlichen Dampf- und Heißwassererzeugung. Hier liegen die größten Einsparpotenziale – es ließen sich bis zu 30 Prozent des heutigen Energiebedarfs einsparen. Die Erschließung der Einsparmöglichkeiten bei prozessspezifischen Anwendungen, besonders in der energieintensiven Grundstoffindustrie, auf die der größte Teil des Energieverbrauchs entfällt, ist demgegenüber erheblich schwieriger und häufig erst bei Anlagenerneuerungen und Prozesssubstitutionen innerhalb langlebiger Investitionszyklen zu realisieren.

Zusammenfassung

Tabelle 8 fasst die Wärmebedarfe der betrachteten Sektoren zusammen.

Tabelle 8: Wärmebedarf nach Sektoren im Referenz- und Klimaschutzscenario

	2000	2010		2020		2030		2030
in TWh	Ist	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz	Klimaschutz gegenüber Referenz
Haushalte	687 ¹⁾	631	578	637	484	602	408	- 32,2 %
GHD	358	352	343	328	320	309	271	- 12,3 %
Industrie	529	548	553	527	528	513	512	- 0,2 %
¹⁾ 1998								

Quelle: Umweltbundesamt (2005): Klimaschutz in Deutschland bis 2030, S. 341; 361

Umweltbundesamt (2002b): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energieversorgung;
S. 278

4.3 Wärmebereitstellung

Industrie

Die Wärmebereitstellung in der Industrie ist näherungsweise aus den Daten der Studie „Klimaschutz in Deutschland bis 2030“ unter Hinzunahme der Anteile von Prozess- und Raumwärme aus Strom des Endenergieverbrauchs des Jahres 2001

⁶⁶ Vgl. Umweltbundesamt (2005b); S. 341

hergeleitet.⁶⁷ Hier liegt die Annahme zugrunde, dass diese Anteile über die Zeit gleich bleiben werden. Im Hinblick auf den Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung ist wichtig, dass die Industrie einen großen Teil der Prozesswärme in Hochöfen und vergleichbaren Anwendungen benötigt und damit für den Einsatz erneuerbarer Energien Einschränkungen bestehen.⁶⁸ Für die Referenzentwicklung und das Klimaschutzszenario aus der Studie „Klimaschutz in Deutschland bis 2030“ ergibt sich – umgerechnet auf die Endenergieträger – folgende Aufteilung der Wärmebereitstellung auf den Wärmebedarf:

Tabelle 9: Endenergiebereitstellung (Wärme) im Sektor Industrie nach Energieträger

	2000	2010		2020		2030	
in TWh	Ist	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz
Wärmebedarf	529	548	553	527	528	513	512
davon gedeckt durch							
sonstige ¹⁾	4	3	3	3	4	3	18
Mineralöl	60	73	68	67	57	66	46
Gas	269	293	308	293	316	294	306
Kohle	123	116	111	103	92	90	83
Fernwärme	19	8	8	6	6	3	3
Strom (PW ²⁾)	54	55	55	54	53	57	55
Strom (RW ³⁾)	1	1	1	1	1	1	1
¹⁾ inkl. erneuerbare Energien							
²⁾ Prozesswärme							
³⁾ Raumwärme							

Quelle: Umweltbundesamt (2005): Klimaschutz in Deutschland bis 2030; S. 341; eigene Berechnungen

Der Wärmebedarf steigt im Vergleich zum Jahr 2000 bis 2010 und geht dann bis zum Jahr 2030 deutlich unter das Niveau des Jahres 2000 zurück. Beim Mineralölverbrauch ist im Klimaschutzszenario der Rückgang zum Jahr 2030 besonders ausgeprägt. Der Gasverbrauch steigt im Referenzszenario bis 2010 und bleibt dann bis 2030 fast gleich (es gibt nur noch einen geringen Anstieg). Im Klimaschutzszenario steigt der Gasverbrauch bis zum Jahr 2020, um dann bis 2030 in etwa auf das Niveau von 2010 zurückzugehen. Der Verbrauch an Kohle sinkt in beiden Szenarien

⁶⁷ Vgl. Umweltbundesamt (2005b); S. 337, Tabelle 5.2-1

⁶⁸ Vgl. Umweltbundesamt (2002b); S. 350

bis 2030, wobei der Rückgang im Klimaschutzszenario stärker ist. Während der Einsatz erneuerbarer Energieträger im Referenzszenario von 2010 bis 2030 gleich bleibend niedrig ist, nimmt er im Klimaschutzszenario besonders nach 2020 deutlich auf 18 TWh zu. Fernwärme geht in beiden Szenarien von 19 TWh im Jahr 2000 auf 3 TWh im Jahr 2030 zurück.

Gewerbe/Handel/Dienstleistungen – GHD

Für das Referenzszenario und Klimaschutzszenario ergeben sich – umgerechnet auf die eingesetzten Endenergieträger – folgende Wärmebedarfe:

Tabelle 10: Endenergiebereitstellung (Wärme) im Sektor GHD nach Energieträgern⁶⁹

	2000	2010		2020		2030	
in TWh	Ist	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz	Referenz	Klimaschutz
Wärmebedarf	358	352	343	329	320	309	271
davon gedeckt durch							
sonstige ¹⁾	1	0	1	0	3	0	3
Mineralöl	134	104	101	109	87	84	44
Gas	144	151	149	135	139	145	128
Kohle	2	12	11	3	0	2	0
Fernwärme	37	44	41	39	50	39	56
Strom (PW ²⁾)	11	12	12	12	12	11	12
Strom (RW ³⁾)	28	29	29	29	29	28	29
¹⁾ inkl. erneuerbare Energien ²⁾ Prozesswärme ³⁾ Raumwärme							

Quelle: Umweltbundesamt (2005): Klimaschutz in Deutschland bis 2030, S. 361; eigene Berechnungen

Bemerkenswert an der Entwicklung im Klimaschutzszenario ist, dass der Mineralölverbrauch stark zurückgeht, der Fernwärmeabsatz deutlich zunimmt und sich der Einsatz erneuerbarer Energien, von einem niedrigen Niveau beginnend, bis 2030 verdreifacht. Während der Gasverbrauch im Referenzszenario im Jahr 2030 das Ausgangsniveau des Jahres 2000 erreicht, fällt er im Klimaschutzszenario deutlich darunter.

⁶⁹ Die Tabelle enthält nur den wärmeseitigen Endenergiebedarf. Tabelle 5.3-4 in UBA 2005b enthält daneben noch Strom für Antriebsenergie. Dieser Bedarf ist im angegebenen Stromverbrauch nicht enthalten.

Haushalte

Tabelle 11: Entwicklung der Endenergiebereitstellung im Sektor Haushalte für Raumwärme und Warmwasser nach Energieträger im Klimaschutzscenario

in TWh	1998	2010	2020	2030
Fernwärme	39	54	67	84
Heizöl	262	169	94	46
Gas	280	287	286	242
Kohle	59	16	3	0
Strom	46	29	10	5
Solar	1	3	5	9
Biomasse	1	20	20	20
Summe	687	578	484	408
Vergleich zu 1998	100,0%	84,1%	70,5%	59,4%
Vergleich mit Referenzscenario (%)		91,6%	76,1%	67,7%

Quelle: Umweltbundesamt (2002b): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energieversorgung; S. 278

Die Änderung der Energieträgeranteile an der Energiebereitstellung ist durch eine starke Erhöhung des Anteils an Fernwärme und erneuerbarer Energien bis 2030 gekennzeichnet, während der Anteil des Heizöls und der Kohle kontinuierlich abnimmt (vergleiche Tabelle 11 und Tabelle 12). Das Klimaschutzscenario geht von einem Zubau großer KWK-Anlagen aus. Das Ausbauvolumen beträgt 2.500 MW bis zum Jahr 2020. Diese Anlagen leisten einen großen Beitrag zur Fernwärmeversorgung.⁷⁰

⁷⁰ Vgl. Umweltbundesamt (2002b); S. 176

Tabelle 12: Entwicklung der Endenergiebereitstellung im Sektor Haushalte für Raumwärme und Warmwasser nach Energieträger (in Prozent) im Klimaschutzenszenario

	1998	2010	2020	2030
Fernwärme	3,3 %	4,6 %	6,8 %	9,9 %
Heizöl	44,3 %	35,8 %	27,0 %	17,6 %
Gas	38,3 %	47,0 %	60,3 %	68,8 %
Kohle	7,4 %	3,9 %	0,9 %	0,0 %
Strom	8,8 %	6,1 %	2,1 %	0,8 %
Solar	0,0 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Biomasse	0,0 %	2,6 %	2,8 %	3,0 %
Summe	100 %	100 %	100 %	100 %

Quelle: Umweltbundesamt (2002b): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energieversorgung;
S. 278

Exkurs: Räumliche Aspekte der Wärmeversorgung

Da sich Wärme nur begrenzt transportieren und speichern lässt, sind räumliche Aspekte der Wärmeversorgung wichtig. Eine nachhaltige Wärmeversorgung ist daher nicht Aufgabe der Energiepolitik allein, sondern auch der Raumordnungs- und Städtebaupolitik. Aufgabe ist es, die Siedlungs-, Freiraum- und Infrastruktur so zu entwickeln und zu ordnen, dass die sozialen und wirtschaftlichen Nutzungsansprüche mit den umweltbezogenen Anforderungen möglichst gut im Einklang sind. Eine nachhaltige Energieversorgung und -nutzung ist dabei auf allen Planungsebenen einzubeziehen.

Ein Grundsatz der übergeordneten Raumordnung ist, die Grundversorgung der Bevölkerung mit technischen Infrastrukturleistungen der Ver- und Entsorgung flächendeckend sicherzustellen und die Infrastruktur mit der Siedlungs- und Freiraumstruktur abzustimmen (siehe § 2 Abs. 2 Nr. 4 Raumordnungsgesetz – ROG⁷¹). Bei der Aufstellung von Bauleitplänen müssen die Kommunen die Belange der Energieversorgung, die Nutzung erneuerbarer Energien und die sparsame und effiziente Nutzung

⁷¹ Raumordnungsgesetz § 2 Abs. 2 Nr. 4: „Die Infrastruktur ist mit der Siedlungs- und Freiraumstruktur in Übereinstimmung zu bringen. Eine Grundversorgung der Bevölkerung mit technischen Infrastrukturleistungen der Ver- und Entsorgung ist flächendeckend sicherzustellen.“

der Energie berücksichtigen (siehe § 1 Abs. 6 Nr. 7 f) und 8 e) Baugesetzbuch – BauGB⁷²). Dies gilt somit auch für die Wärmeversorgung.

Vorrangig geht es darum, durch kompakte, verdichtete Bau- und Siedlungsformen (hohe Nutzerdichten) auf eine effiziente Nah- und Fernwärmeversorgung hinzuwirken. Das fortschreitende Siedlungsflächenwachstum und die Zersiedelung des Stadtumlandes sind mit diesem Ziel jedoch nicht vereinbar und haben negative Folgen: Die Effizienz der Energieverteilung wird sich deutlich verschlechtern, weil installierte Leitungen für Nah- und Fernwärme in Relation zur Zahl der zu versorgenden Haushalte länger werden. Dies führt zu höheren Preisen für Nah- und Fernwärme.⁷³

Gehen darüber hinaus durch Zersiedelung fruchtbare Böden verloren, so verringert sich die – auch für den Anbau nachwachsender Rohstoffe – nutzbare Fläche. Dies wirkt auf den Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch nachteilig.

Das Effizienzproblem verschärft sich wegen der rückläufigen Bevölkerungszahl in ganz Deutschland, vor allem aber in einzelnen Städten und Regionen.⁷⁴

So tragen Leerstände innerhalb von Gebäudekomplexen dazu bei, dass Wärme von bewohnten in unbewohnte Räume fließt, was zu energetischen Verlusten führt. Dabei ist im Rahmen von Rückbaumaßnahmen der Abriss einzelner Häuser oder die Herausnahme von Gebäudesegmenten aus geschlossenen Zeilen nicht vorteilhaft, weil sich dadurch die relative Fläche der Außenwände vergrößert.

Weiterhin führt der zurückgehende Wärmebedarf, der aus ökologischer Sicht grundsätzlich positiv zu bewerten ist, zu einer geringeren Auslastung der Leitungssysteme. Dies hat eine geringere Wirtschaftlichkeit zur Folge, so dass den Nutzerinnen sowie Nutzern – und möglicherweise auch der Allgemeinheit – höhere Kosten entstehen und im ungünstigsten Fall Versorgungsleistungen unrentabel werden. Der Rück- und

⁷² Baugesetzbuch § 1 Abs. 6 „Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind insbesondere zu berücksichtigen: [...] 7 f) die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die sparsame und effiziente Nutzung von Energie, [...] 8 e) der Versorgung, insbesondere mit Energie und Wasser,“

⁷³ Diese Thematik hat das Umweltbundesamt im Forschungsprojekt „Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020“ (FKZ 205 41 104) untersuchen lassen. Der Entwurf des Endberichtes liegt vor. Das Vorhaben wird im 1. Quartal 2007 abgeschlossen und veröffentlicht.

⁷⁴ Das Umweltbundesamt lässt dieses Thema derzeit im Rahmen des Forschungsprojekts „Soziodemographischer Wandel in Städten und Regionen – Entwicklungsstrategien aus Umweltsicht“ (FKZ 205 16 100) untersuchen. Ergebnisse liegen vor, die Veröffentlichung wird gegenwärtig vorbereitet.

Umbau von Wohn- und Stadtquartieren sollte sich daher auch an den Rück- und Umbaumöglichkeiten der Netzinfrastrukturen orientieren. Infrastrukturexperten bevorzugen einen stärker flächenhaften Rückbau von den Siedlungsrändern her. Auch könnten dezentrale Versorgungslösungen an Bedeutung gewinnen.

Wichtig ist, dass zukünftige Investitionen in die Versorgungsinfrastruktur dem demographischen Wandel Rechnung tragen. Da dieser in deutschen Städten und Regionen unterschiedlich ausgeprägt ist (nebeneinander von Rückgang und Wachstum der Bevölkerung) sind räumlich differenzierte Entwicklungsstrategien gefragt.

Die in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie⁷⁵ verankerte Doppelstrategie, die Inanspruchnahme bisher unbebauter Flächen zu reduzieren und zugleich den Siedlungsbestand unter den gegebenen Rahmenbedingungen weiterzuentwickeln (Stichwort: „Innen- vor Außenentwicklung“), ist ein wichtiger Beitrag für eine umwelteffiziente Wärmeversorgung.

⁷⁵ Ziel der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie ist es, die tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche von derzeit rund 100 ha auf 30 ha bis zum Jahr 2020 zu reduzieren.

5 Fazit

Diese Studie zeigt, dass eine effiziente Wärmeversorgung mit schnell wachsendem Anteil erneuerbarer Energien große Potenziale birgt, um bedeutende Minderungen von Treibhausgasemissionen zu erreichen. Hierfür gilt es, die dargestellten Techniken konsequent zu nutzen und ambitioniert weiterzuentwickeln. Die betroffenen Marktteilnehmer sind auf den Feldern zu unterstützen, auf denen die Wettbewerbsfähigkeit noch nicht erlangt ist.

Dafür ist ein Instrumentenmix erforderlich. Diese Instrumente sind weiterzuentwickeln oder neu zu schaffen. Bewährte Instrumente sind weiterzuführen und regelmäßig auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen. Das Umweltbundesamt begleitet diese Instrumentenentwicklung intensiv. Gleichzeitig sind Hemmnisse – fehlende Information und Motivation zur Investition, finanzielle Restriktionen, gespaltene Anreizsysteme⁷⁶ sowie die Furcht vor Risiko, die bei Energieabnehmern, Herstellern und dem Handwerk bestehen – abzubauen.

5.1 Offene Forschungsfragen

Im Gegensatz zum Strommarkt ist es im Wärmemarkt schwierig, konsistente Daten zu erhalten und Entwicklungstendenzen zu bestimmen. Dies ist in der starken Heterogenität des Marktes begründet, der sich von einzelnen Haushalten mit eigener Wärmeversorgung bis hin zu großen Wärmeversorgungsunternehmen, die ganze Regionen mit (Fern-)Wärme versorgen, erstreckt. Dabei lassen sich die einzelnen Marktsegmente nicht geografisch voneinander abgrenzen, sie überlagern sich vielmehr. Für die Erhebung und Bereitstellung von Bestandsdaten zur Wärmeversorgung ist eine Vielzahl von Akteuren verantwortlich – hier sind Schornsteinfeger, Anlagenhersteller und -installateure sowie Versorgungsunternehmen und deren Verbände aktiv. Da der Markt zudem recht dynamisch ist und in Zukunft noch stärkeren Veränderungen unterliegt dürfte, besteht seitens der Akteure auch immer weniger Bereitschaft, Informationen zur Verfügung zu stellen. Das Umweltbundesamt versucht mit dieser Studie einen Überblick zu geben und Entwicklungsmöglichkeiten aufzuzeigen sowie mit Forschungsprojekten den Wärmemarkt besser auszuleuchten und Poten-

⁷⁶ Dies bezeichnet das „Investor-Nutzer-Dilemma“, bei der der Investor eine langfristige und ggf. auch risikobehaftete Investition tätigt, die Rendite aber der Nutzer abschöpft.

ziale für den Wärmemarkt und den damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen erkennbar zu machen.

Die Quantifizierung von Einsparpotenzialen und damit auch die Bestimmung des zukünftigen Wärmebedarfs im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen sind nur eingeschränkt möglich. Dies liegt vor allem an der sehr heterogenen Zusammensetzung dieses Sektors sowie der schlechten Datenlage zum Energieverbrauch und zu wichtigen verbrauchsbestimmenden Größen. Auch eine klare Unterscheidung der brennstoff- und strombedingten Einsparpotenziale ist dadurch nur eingeschränkt möglich.

Neben den technischen Aspekten sind auch die sich abzeichnenden Änderungen auf dem Wärmemarkt insgesamt und die Veränderung seiner Akteure zu untersuchen. Für die sich ändernden Marktbedingungen und den sich daraus ergebenden Anforderungen sind Lösungen, zum Beispiel durch neue Betreibermodelle, zu entwickeln. Die Forschung kann Pilotvorhaben begleiten.

Bei der Einschätzung der zukünftigen Entwicklung – zum Beispiel durch Szenarien – besteht weiterer Untersuchungs- und Harmonisierungsbedarf. Dies hat sich besonders im Kapitel 4 gezeigt. Die bestehenden Szenarien, die die zukünftige Wärmeversorgung unter den ambitionierten Klimaschutzzielen der deutschen Bundesregierung untersuchen, betrachten nicht alle Sektoren gleich gewichtig und stoßen oft dort an Grenzen, wo eine Kombination der technisch-ökonomischen Potenziale mit den tatsächlichen räumlichen Verhältnissen notwendig wäre.

6 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
ASUE.....	Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BauGB	Baugesetzbuch
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsi- cherheit
BMWi.....	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BRD	Bundesrepublik Deutschland
CDU.....	Christlich Demokratische Union
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CSU	Christlich Soziale Union
DEPV	Deutscher Energie-Pellet-Verband
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
EdDE	Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirt- schaft
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EU	Europäische Union
EWI.....	Energiewirtschaftliches Institut (Köln)
FCKW	fluorierte Chlor-Kohlenwasserstoffe
FKW	fluorierte Kohlenwasserstoffe
FKZ.....	Forschungskennzahl
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden
h	Stunde

H _u	unterer Heizwert
H-FKW.....	teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
HDR.....	Hot-Dry-Rock
HFR.....	Hot-Fractured-Rock
HMVA.....	Hausmüllverbrennungsanlage
kg.....	Kilogramm
kW.....	Kilowatt
kWh.....	Kilowattstunde
KWK.....	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG.....	Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MinÖlStG.....	Mineralölsteuergesetz
Mio.....	Millionen
MW.....	Megawatt
MWh.....	Megawattstunden
N ₂ O.....	Distickstoffoxid
PJ.....	Petajoule
PM.....	Particulate Matter
PW.....	Prozesswärme
ROG.....	Raumordnungsgesetz
RW.....	Raumwärme
RWI.....	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SPD.....	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
t.....	Tonne
TASi.....	Technische Anleitung Siedlungsabfall
TWh.....	Terawattstunden
UBA.....	Umweltbundesamt
VDEW.....	Verband der Elektrizitätswirtschaft
VDN.....	Verband der Netzbetreiber
WE.....	Wohneinheit
ZuG.....	Zuteilungsgesetz
ZIV.....	Zentraler Innungsverband

7 Quellen

7.1 Gesetze und Verordnungen

Energiesteuergesetz (EnergieStG) vom 15.07.2006 (BGBl. I 2006, 1534)

Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) vom 21.07.2004 (BGBl. I 2004, 1918), zuletzt geändert am 07.07.2005, BGBl. I 2005, 1970

Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG) vom 19.03.2002 (BGBl. I 2002, 1092), zuletzt geändert am 22.09.2005 BGBl. I 2005, 2826

Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2005 bis 2007 (ZuG) vom 26.08.2004 (BGBl. I 2004, 2211), zuletzt geändert am 22.12.2004, BGBl. I 2004, 3704

Mineralölsteuergesetz (MinÖlStG) vom 21.12.1992 (BGBl. I 1992, 2150, 2185 (1993, 169), zuletzt geändert am 22.12.2004, BGBl. I 2004, 3702

Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 14.03.2006 (Bundesanzeiger Nr. 57 vom 22.03.2006, 1850)

Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen – Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi) vom 14.05.1993 (Bundesanzeiger Nr. 99a vom 29.05.1993)

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 16.11.2001 (BGBl. I 2001, 3085)

Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-Verbots-Verordnung) vom 06.05.1991 (BGBl. I 1991, 1090), zuletzt geändert am 29.10.2001, BGBl. I 2001, 2785

7.2 Literatur

ASUE (2002a): Gaswärmepumpen, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE e.V.); Kaiserslautern

- ASUE (2002b): KWK-Gesetz 2002, Grundlagen, Fördermechanismus, Praktische Hinweise, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE e.V.); Essen
- BASF (2004): Latentwärmespeicher: intelligentes Temperaturmanagement für Gebäude; Ludwigshafen
- BINE-Informationsdienst (2001): Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme; Karlsruhe
- BINE-Informationsdienst (2004): Geothermie; Karlsruhe
- BMWi/BMU (2006): Zwischenüberprüfung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes, Berlin 2006
- Bundesministerium der Finanzen (2003): Die Förderung des Umweltschutzes im deutschen Abgabenrecht; Berlin
- Bundesministerium für Finanzen (2006): Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderung des Stromsteuergesetzes; Berlin
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2005): Erneuerbare Energien – Einstieg in die Zukunft; Berlin
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006a): Innovation durch Forschung – Jahresbericht 2005 zur Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006b): Entwicklung der Erneuerbaren Energien 2005, Aktueller Sachstand; März 2006
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006c): Entwicklung der Erneuerbaren Energien – nationale und internationale Entwicklung, Stand: Mai 2006
- Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006d): Nationaler Allokationsplan 2008-2012 für die Bundesrepublik Deutschland, 28.06.2006
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2005): Innovation und neue Energietechnologien – Das 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2006): Energiedaten – Zahlen und Fakten, Datentabelle Stand: 13.04.2006
- Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung (2006): Stellungnahme des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung zum Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderung des Stromsteuergesetzes (Kabinettsvorschlag), 23.05.06, unveröffentlicht
- CDU, CSU und SPD (2005): Gemeinsam für Deutschland. Mit Mut und Menschlichkeit. Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD, 11.11.2005; Berlin
- Deutscher Bundestag (2002): Enquete-Kommission des 14. Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung – Endbericht“, Bundestags-Drucksache 14/9400
- Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (DKV) e.V. (2002): Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte in der BRD. DKV-Statusbericht Nr. 22; Stuttgart
- DIW/Öko-Institut (in Vorbereitung): Verstärkte Nutzung von KWK, Entwurf des Endberichtes eines Forschungsinstitutes im Auftrag des Umweltbundesamtes, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Öko-Institut; Berlin
- Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft (EdDE) (2005): Ökologische Effekte der Müllverbrennung durch Energienutzung, Dokumentation Nr. 10, 12/2005
- Erdmenger, C. (2006): Plädoyer für den Einheitsbenchmark, Kraftwerke und Klimaschutz; in: Energie und Management 10/06, Sonderteil Power-Gen, 18/19
- EWI/Prognos (1999): Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt
- EWI/Prognos (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030; Energiewirtschaftliche Referenzprognose – Energiereport IV
- Institut für Energetik und Umwelt (2006): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse – 2. Zwischenbericht; Leipzig
- Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik – IZW e.V. (1999): Aktualisierung der Basisdaten für den Primärenergiebedarf und die Treib-

- hausgasemissionen im Gebäudesektor zur ganzheitlichen Bewertung verschiedener Heizungssysteme; Hannover / Karlsruhe
- Öko-Institut (2005): Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale, Forschungsbericht 205 33 314, im Auftrag des Umweltbundesamtes; Berlin
- Reimann (2005): Energiedaten zur thermischen Restabfallbehandlung – Kennzahlen“, ITAD Bericht August 2005
- RWI Essen und Forsa (2005): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2003, Endbericht, November 2005
- Schwarz, W. (2004): Der hohe und wachsende Anteil fluorierter Treibhausgase (F-Gase) an den globalen treibhauswirksamen Gesamtemissionen; Frankfurt
- Staiß, F. (2003): Jahrbuch Erneuerbare Energien 02/03
- Struschka, M. et al. (2003): Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung; UBA-Texte 41/03; Berlin
- Umweltbundesamt (2000): Energiespar-Contracting als Beitrag zu Klimaschutz und Kostensenkung: Ratgeber für Energiespar-Contracting in öffentlichen Liegenschaften; Berlin
- Umweltbundesamt (2002a): Contracting für kommunale Sportstätten: Strategien zu Klimaschutz und Kostensenkung – Leitfaden; Berlin
- Umweltbundesamt (2002b): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland, Reihe Climate Change 01/02; Berlin
- Umweltbundesamt (2005a): Die Zukunft in unseren Händen, Reihe Climate Change 06/05; Dessau
- Umweltbundesamt (2005b): Klimaschutz in Deutschland bis 2030, Reihe Climate Change 03/05; Berlin
- VDEW (2006): Endenergieverbrauch in Deutschland 2004, Teil A (VDEW Projektgruppe „Nutzenergiebilanzen“); Berlin
- VDI (2005): VDI-Richtlinie 4608: Energiesysteme – Kraft-Wärme-Kopplung: Begriffe, Definitionen, Beispiele; Berlin

VDN (2006): Entwicklung bei KWK 2002 – 2011, aktualisiert nach Datenerhebungen durch VDN, Stand: 20.09.2006; Berlin

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie (2006): Optionen und Potentiale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen – Kurzfassung; Wuppertal

ZIV (2005): Statistik des Zentralen Innungsverbandes des Schornsteinfegerhandwerks für 2005