

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien im Wärmesektor – Aufgaben, Empfehlungen und Perspektiven

Positionspapier des ForschungsVerbunds
Erneuerbare Energien

Dieses Positionspapier wurde verfasst vom
Fachausschuss „Zukunft der erneuerbaren Wärme“
des ForschungsVerbundes Erneuerbare Energien

Gerhard Stryi-Hipp (Leiter des Fachausschusses, Fraunhofer ISE)
Prof. Dr. Frank Baur (IZES)
Frieder Borggrefe (DLR)
Norman Gerhardt (Fraunhofer IWES)
Dr. Andreas Hauer (ZAE)
Juri Horst (IZES)
Prof. Dr. Ernst Huenges (GFZ)
PD Oliver Kastner (GFZ)
Dr. Volker Lenz (DBFZ)
Dr. Niklas Martin (FVEE)
Michael Nast (ehem. DLR)
Manuel Riepl (ZAE)
Gunther Rockendorf (ISFH)
Dr. Matthias Rzepka (ZAE)
Dr. Peter Schossig (Fraunhofer ISE)
Dietmar Schüwer (Wuppertal Institut)
Prof. Dr. André Thess (DLR)
Prof. Daniela Thrän (DBFZ)
Franziska Wunschick (FVEE)
Christian Wuschig (ZAE)

Impressum

Herausgeber

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE)
Renewable Energy Research Association
Büro Berlin-Mitte: Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 • 10178 Berlin • Tel.: 030 288-7565-71
Büro Berlin-Adlershof: Kekuléstr. 7 • 12489 Berlin • Tel.: 030 8062-17138
E-Mail: fvee@helmholtz-berlin.de • www.fvee.de

Layout, Grafik

Hoch3 GmbH – Design- und Werbeagentur

Druck

Bonifatius GmbH – Druck | Buch | Verlag



Berlin, September 2015



Inhalt

Das Wichtigste in Kürze	4
1 Einführung und Zielsetzung	6
2 Zielsetzungen und Sachstand des regulatorischen Rahmens	6
3 Charakteristik des Wärme-/Kältemarktes	8
4 Wärme- und Kälte-Technologien: Aufgaben, Marktdurchdringung und Potenziale	9
4.1 Solarthermie	9
4.2 Biomasse	11
4.3 Wärmepumpen	14
4.4 Kälte	15
4.5 Tiefengeothermie	17
5 Wärme- und Kälte-Systemkomponenten: Aufgaben, Marktdurchdringung und Potenziale	18
5.1 Systemintegration von Wärme-/Kältetechnologien	18
5.2 KWK	19
5.3 Wärmespeicher	20
5.4 Heizen mit EE-Strom/Power to Heat (PtH)	22
5.5 Wärmenetze und kommunale Wärmepläne	22
6 Empfehlungen für den Ausbau nachhaltiger Wärme- und Kälte-Technologien	23
6.1 Technologieübergreifende Empfehlungen	23
6.2 Systemintegration von Wärme-/Kältetechnologien	24
6.3 Solare Wärme	25
6.4 Biomasse	26
6.5 Wärmepumpen	28
6.6 Kälte	28
6.7 Tiefengeothermie	28
6.8 KWK	28
6.9 Wärmespeicher	29
6.10 Power to Heat (PtH)	30
6.11 Wärmenetze und kommunale Wärmepläne	30
7 Fazit	30

Das Wichtigste in Kürze

Die Energiewende ist bislang stark stromfokussiert, obwohl sie nur als Strom-, Wärme- und Mobilitätswende erfolgreich sein kann. Trotz großer Potenziale im Bereich Effizienz und erneuerbare Energien weist die Wärmewende in den letzten Jahren kaum Fortschritte auf. Im Jahr 2014 hatten die erneuerbaren Energien in Deutschland einen Anteil von 10,9 % an der gesamten Wärmeversorgung im Gegensatz zu 26,2 % an der Brutto-Stromversorgung.

Allerdings ist die Energiewende im Wärmesektor auch wesentlich schwieriger umsetzbar als im Stromsektor. Denn in Bezug auf Technologien, Marktstrukturen, Akteursvielfalt und Kostenstrukturen weist der Wärmesektor eine deutlich größere Heterogenität als der Stromsektor auf, was die Umsetzung einer effizienten Politik erschwert. Mittlerweile liegen umfangreiche Praxiserfahrungen mit Politikinstrumenten im Wärmesektor vor, so dass die Umsetzung einer erfolgreichen Wärmewende mit einer adäquaten, berechenbaren, konsistenten und konsequenten Politik möglich ist.

Im Interesse einer erfolgreichen Umsetzung der Energiewende plädiert der FVEE für eine deutliche Stärkung des Wärmesektors in der Energiepolitik und die Umsetzung einer entschiedenen und langfristig angelegten Politik der Wärmewende, die den besonderen Anforderungen des Wärmesektors gerecht wird. Diese muss auf einer fundierten Analyse aufbauen und den spezifischen Bedingungen im Wärmesektor gerecht werden.

Als Beitrag zu einer fundierten Diskussion über adäquate Politikinstrumente in der Wärmewende hat der FVEE mit seinen Mitgliedsinstituten das vorliegende Positionspapier erstellt. Dieses gibt einen umfassenden Überblick über die Herausforderungen und Handlungsoptionen im Wärmesektor und bietet damit eine wichtige Orientierung. Das Papier dient zur Standortbestimmung, kann aber fundierte Studien nicht ersetzen, die für ein vertieftes Verständnis dringend erforderlich sind.

Das FVEE-Positionspapier stellt die möglichen Lösungsansätze im Wärmemarkt vor und beschreibt die Rolle der wichtigsten Technologien, die für eine nachhaltige Wärmeversorgung erforderlich sind: Solarthermie, Biomasse, Wärmepumpen und Tiefengeothermie. Auch die Kälteversorgung mit erneuerbaren Energien wird diskutiert. Weiter geht das Papier auf die Herausforderungen in der Systemintegration und die Systemtechnologien ein: Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Wärmespeicher, Heizen mit EE-Strom sowie Wärmenetze und kommunale Wärmepläne. Unter

Berücksichtigung der Entwicklungspotenziale dieser Technologien liefert das Papier Empfehlungen für die Wärmewende.

Eine erfolgreiche Wärmewende muss insbesondere den spezifischen Bedingungen des Wärmemarktes gerecht werden. Dieser ist geprägt von einer großen Heterogenität und hohen Komplexität, was Eigentümer und Betreiber, Heiztechnologien und Anlagengrößen, sowie Gebäudetypen und Anwendungsfelder angeht. Dabei ist seine künftige Entwicklung stark von externen Faktoren abhängig, beispielsweise der Entwicklung fossiler Energiepreise, den Entwicklungen im Stromsektor (Power to heat) und den Fortschritten bei der Gebäudeeffizienz. Eine große Herausforderung stellt auch die Infrastrukturfrage dar, denn im Gegensatz zum Stromsektor sind verschiedene Infrastrukturlösungen möglich, beispielsweise eine dezentrale Beheizung mit Biogas (Gasnetz), Wärmepumpen (Stromnetz) oder Holz kombiniert mit Solarwärme sowie eine zentrale Wärmeversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplung (Nahwärmenetze). Aufgrund der fehlenden Sicherheit künftiger Entwicklungen sind Infrastrukturentscheidungen im Wärmesektor mit einem hohen Investitionsrisiko behaftet. Weiter erschweren die starken saisonalen Wärmebedarfsschwankungen eine verstärkte Nutzung von Strom im Wärmesektor.

Eine erfolgreiche Wärmewende erfordert:

- sowohl eine verstärkte Politik zum Ausbau erneuerbarer Energien und der Umsetzung von Effizienzmaßnahmen, als auch eine verstärkte Forschungsförderung, um die großen Technologiepotenziale zu heben,
- sowohl marktstimulierende als auch regulatorische Maßnahmen,
- die Erarbeitung eines langfristig angelegten Transformationskonzeptes und einer berechenbaren und verlässlichen Förderpolitik, um die notwendige Investitionssicherheit herzustellen,
- konkrete und differenzierte Zielsetzungen, um der Heterogenität der Marktakteure, Investoren und Technologien gerecht zu werden und
- eine wissenschaftlich fundierte Bewertung der Ziel- und Handlungsoptionen und die Erarbeitung eines Konsenses, wie das angestrebte Zielsystem strukturiert und der Transformationsprozess gestaltet werden soll.

Anforderungen an die Förderpolitik sind:

- stärkere Adressierung des Gebäudebestands durch Anreize oder durch Pflichten, zur signifikanten Erhöhung der energetischen Sanierungsrate auf 3% pro Jahr,
- Abgleich, Harmonisierung und Vereinfachung der verschiedenen regulatorischen Instrumente im Wärme- und Kältemarkt (EEWärmeG, EnEV, etc.),
- regelmäßige Überprüfung der Praxistauglichkeit und Wirksamkeit der Instrumente,
- Verpflichtung zur Prüfung der Nutzung erneuerbarer Energien für Gebäudeeigentümer, die ihre Wärmeanlagen modernisieren, inklusive einer Prüfung der Option Nahwärmeversorgung,
- stärker ertragsorientierte Ausgestaltung der Förderinstrumente, verbunden mit der Ausstattung der EE-Wärmeerzeugungsanlagen mit Messeinrichtungen zur Effizienz- bzw. Ertragskontrolle,
- verpflichtende Erstellung von Gebäudesanierungsfahrplänen und
- wissenschaftlich fundierte Erarbeitung von Ausbauplänen für Nahwärmenetze mit EE und KWK und Entwicklung von politischen Instrumenten zur Umsetzung derselben.

Der Wärmesektor bedarf einer verstärkt systemischen Betrachtung:

- Ein integriertes Energiekonzept für Wärme, Kälte, Strom und Mobilität unter Berücksichtigung möglicher Effizienzfortschritte ist zu entwickeln, aus dem die Ziele für den Wärmesektor abzuleiten sind. Denn eine optimierte nachhaltige Wärmeversorgung hängt von der Ausgestaltung des Strom- und Mobilitätssektors ab.
- Auch eine nachhaltige Wärmeversorgung wird durch eine Lösungsvielfalt für unterschiedliche Anwendungstypen, Größenklassen, Investoren etc. geprägt sein. Es sind deshalb Konzepte zur Systemintegration zu entwickeln, die diese Vielfalt ermöglichen und daraus Vorteile gewinnen.
- Die Kopplung des Strom- und Wärmesystems nimmt kontinuierlich zu, wobei die Perspektiven und Auswirkungen bislang nicht bekannt sind. Es sind deshalb wissenschaftliche Studien erforderlich, die die mögliche Rolle des Stromsektors im Wärmemarkt untersuchen und fundiert bewerten.
- Es ist zu prüfen, inwieweit die bisher eher auf Einzelanlagen ausgerichteten Fördermaßnahmen durch systemtechnische Ansätze ergänzt werden können.

1 Einführung und Zielsetzung

Die Bundesregierung strebt bis zum Jahr 2050 ein weitgehend CO₂-neutrales, auf erneuerbaren Energien aufbauendes Energiesystem an. Dies kann nur erreicht werden, wenn nicht nur im Stromsektor, sondern mit vergleichbarer Intensität auch in den Sektoren Wärme/Kälte sowie Verkehr eine grundlegende Transformation stattfindet.

Der Sektor Wärme/Kälte ist seit 2008 nahezu unverändert für mehr als die Hälfte (57–59 %) des Endenergieverbrauchs verantwortlich¹. Dennoch hat die Politik für den Wärme-/Kältesektor relativ bescheidene Ziele zum Ersatz der fossilen Wärmequellen durch erneuerbare Energien gesetzt. So soll der Anteil der erneuerbaren Energien (EE) von 9,8 % im Jahr 2012 auf 14 % im Jahr 2020 gesteigert werden.

Trotzdem ist es unsicher, ob im Bereich Wärme aufgrund der bescheidenen Marktentwicklung die für das Jahr 2020 gesetzten Ziele tatsächlich erreicht werden.

Das vorliegende FVEE-Positionspapier will einen Beitrag zur Weiterentwicklung des Wärme-/Kältemarktes im Gebäudesektor² leisten, indem es die Komplexität und die Heterogenität des Wärme-/Kälte-Sektors, die Herausforderungen und zu überwindenden Barrieren bei seiner Transformation und mögliche Lösungsansätze vorstellt. Es erläutert die Rolle der einzelnen Technologien und deren Entwicklungsbedarf und gibt Empfehlungen zur Weiterentwicklung. Der FVEE will damit zu einer Versachlichung und Intensivierung der Diskussion im Wärme-/Kältemarkt beitragen, um die Markteinführung der EE zu beschleunigen und die Energieeffizienz³ zu steigern.

2 Zielsetzungen und Sachstand des regulatorischen Rahmens

Der Gesetzgeber verfolgt das Ziel, bis 2050 einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Deshalb muss durch Auflagen und Anreizsysteme der Wärmebedarf von Gebäuden signifikant gesenkt und die Wärmebereitstellung weitgehend auf EE umgestellt werden. Eine wesentliche Herausforderung für die Gestaltung des regulatorischen Rahmens im Wärmebereich liegt sowohl in der großen Vielfalt der technischen Wärmeversorgungsoptionen als auch der Heterogenität des Gebäudebestands und der Eigentümer und Betreiber. Anders als im Stromsektor, wo das elektrische Netz einen direkten Zugang zu allen Akteuren bietet, ist die Steuerung des Wärme-sektors durch ein einfaches System wie das EEG nicht möglich. Dies hat zu einer großen Komplexität des regulatorischen Rahmens im Wärmemarkt geführt. Auf Bundesebene werden die EE im Wärmebereich seit Mitte der 1990er-Jahre durch Zuschüsse im Marktanreizprogramm (MAP) und dessen Vorläufern gefördert, später kamen zinsgünstige Darlehen der KfW hinzu. Im Neubau wurden diese seit 2009 durch eine Nutzungspflicht gemäß dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz EEWärmeG ersetzt. In Baden-

Württemberg gilt seit 2010 das Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) mit einer Nutzungspflicht auch bei Heizanlagen austausch. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) setzt Anreize zur Nutzung erneuerbarer Energien, indem der fossile Gesamtprimärenergiebedarf eines Gebäudes begrenzt wird.

EEWärmeG

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ist zum 1. Januar 2009 in Kraft getreten und formuliert das Ziel, den Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis 2020 auf 14 % zu steigern. Der Anteil erreichte 8,9 % im Jahr 2010 und 9,9 % im Jahr 2014⁴. Das Gesetz verpflichtet Bauherren von Neubauten, einen Mindestanteil der Wärmeversorgung durch erneuerbare Energien bereitzustellen. Alternativ erkennt das Gesetz auch Ersatzmaßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs im Gebäudebereich an: Nutzung von Abwärme, zusätzliche Dämmmaßnahmen, Wärmeversorgung aus Fernwärmenetzen oder Kraft-Wärme-Kopplung.

1 Zahlen für 2013: 29,6% Raumwärme/-kälte, 5,5% Warmwasser, 22,8% Prozesswärme/-kälte, Quelle: ARGE Energiebilanzen.

2 Das vorliegende Papier konzentriert sich auf die Deckung des Gebäudewärme- und -kältebedarfs mittels erneuerbarer Energien. Zweifelsfrei ist Prozesswärme- und -kälte ebenfalls ein sehr wichtiges Thema, soll hier jedoch aufgrund der speziellen Anforderungen an Technik und Integration sowie der anders gearteten Anforderungen von Seiten der Akteure (z. B. Unternehmen als Investoren) nur am Rande behandelt werden.

3 Wenn im folgenden Text von einer „nachhaltigen Wärmeversorgung“ die Rede ist, so bezeichnet dieser Begriff eine klimafreundliche, auf erneuerbaren Energien und Energieeffizienz basierende Wärmeversorgung.

4 Quelle: Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) im Auftrag des BMWi, 25.03.2015

Der Ende 2012 vorgelegte Erfahrungsbericht zum EEWärmeG untersucht sowohl die Nutzung von erneuerbaren Energien und Ersatzmaßnahmen im Neubau als auch die Nutzung von erneuerbaren Energien im Wärmemarkt insgesamt. Evaluiert wurde der Zeitraum zwischen 1. Januar 2009 und 31. Dezember 2011. Die Erreichung des 14 %-Zieles wird im Erfahrungsbericht als „unsicher“ bezeichnet. Aus dem Erfahrungsbericht geht hervor, dass der Einsatz von erneuerbaren Energien v. a. im Neubau zwar eine wachsende Rolle spielt, im Gebäudebestand aber kaum voran kommt. Die im EEWärmeG möglichen „Ersatzmaßnahmen“ werden im Neubau sehr häufig angewendet, vor allem Effizienzmaßnahmen.

MAP

Im Gebäudebestand ist das Marktanzreizprogramm (MAP) das zentrale Förderinstrument für Investitionen in erneuerbare Energien zur Deckung des Bedarfs an Wärme und Kälte. Durch das MAP werden unter Beachtung des im EEWärmeG vorgegebenen gesetzlichen Rahmens erneuerbare Energien im Wärme- und Kältemarkt finanziell gefördert. Aufgabe des MAP ist es, im Interesse des Klimaschutzes und der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Energieressourcen zu einer nachhaltigen Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien beizutragen. Es ist somit ein wichtiges Instrument zur Zielerreichung im Wärmebereich.

Das für Förderungen zur Verfügung stehende staatliche Budget hatte in den vergangenen Jahren ein Volumen von ca. 350 Mio. Euro pro Jahr. Die Förderzuschüsse wurden zu etwa gleichen Teilen durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und die KfW vergeben. Das BAFA fördert die kleineren Anlagen mit direkten Investitionszuschüssen und die KfW die größeren Anlagen durch kostengünstige Kredite mit Teilschulderlass. Seit Beginn der MAP-Förderung im Jahr 1999 wurden über 1,7 Mio. Anlagen mit insgesamt ca. 2,1 Mrd. Euro gefördert und Investitionen in Höhe von über 20 Mrd. Euro angestoßen. Den großen Erfolgen des MAP standen in der Vergangenheit immer wieder auch Engpässe in der Mittelbereitstellung wegen zu geringer oder zu spät freigegebener Budgets gegenüber, was mehrfach zu einem für die Branche schädlichen „Stop and Go“ führte.

EnEV

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) trat im Februar 2002 in Kraft und ersetzte damals die gültige Wärmeschutzverordnung von 1995 sowie die Heizungsanlagenverordnung von 1998. Erstmals wurde mit ihr ein ordnungspolitisches Instrument im Gebäudesektor eingeführt, das sowohl die Effizienz der Gebäudehülle als auch die der Anlagentechnik adressiert. Die Anforderungen der EnEV sind differenziert nach Neubau und Bestandsgebäude (bei Sanierung) sowie nach Wohn- und Nichtwohngebäuden. Je nach angewandtem Berechnungsverfahren müssen bestimmte Grenzwerte bei den Bauteilen (max. U-Werte beim Bauteilverfahren) oder beim Primärenergiebedarf des Gesamtgebäudes (max. $Q_{p,Ref}$ -Werte und max. Transmissionswärmeverlust H'_T beim Referenzgebäudeverfahren) eingehalten werden. Bei der Einhaltung der geforderten maximalen Primärenergiebedarfe besteht weitgehend Wahlfreiheit, ob sie durch gute Dämmung, durch effiziente (KWK, Wärmerückgewinnung ...) oder durch erneuerbare Anlagentechnik realisiert wird.

Die EnEV wurde vielfach novelliert. Bis einschließlich September 2009 waren ihre Anforderungen, gemessen an den Effizienzpotenzialen und dem Stand der Technik, relativ schwach. Erst mit der EnEV 2009 und 2014 (die z. T. erst 2016 wirksam wird) wurden Standards gesetzt, die in Richtung „Niedrigenergiehaus“ gehen. Bemerkenswert ist die mehrfache und zuletzt relativ starke Absenkung der in der EnEV definierten Primärenergiefaktoren für Strom⁵, die in hohem Maße strombasierte Heizungstechnologien begünstigt.

2016 soll die EnEV erneut novelliert werden und dabei europäische Vorgaben umsetzen, u. a. die Einführung des Niedrigstenergiegebäudestandards für öffentliche Gebäude (ab 2019) und für private Gebäude (ab 2021) nach der EU-Gebäuderichtlinie EPBD vom 19. Mai 2010. Im Zuge der EnEV-Novelle plant das BMUB, die Verordnung besser mit dem EEWärmeG abzugleichen.

Ausblick

Vor dem Hintergrund der hohen Komplexität im Wärmemarkt empfiehlt es sich, die Weiterentwicklung regulatorischer Instrumente auf Basis eines langfristigen Gesamtkonzepts für die Wärmeversorgung zu führen. Die Bundesregierung plant dementsprechend. Das BMWi hat in seiner 10-Punkte-Energie-Agenda vom Juni 2014 angekündigt, bis Ende 2015 eine umfassende Gebäudestrategie zu verabschieden.⁶

⁵ Der Faktor wurde schrittweise von 3,0 (EnEV 2002) auf 2,7 (EnEV 2007), 2,6 (EnEV 2009), 2,4 (EnEV 2014) sowie 1,8 (im Jahr 2016) gesenkt.

⁶ BMWi, Zentrale Vorhaben Energiewende für die 18. Legislaturperiode (10-Punkte-Energie-Agenda), Berlin, Juni 2014

3 Charakteristik des Wärme-/Kältemarktes

Der Wärme-/Kältemarkt weist eine Reihe von Charakteristiken auf, die ihn vom Strommarkt deutlich unterscheiden und seine Steuerung erschweren:

- Er ist geprägt von einer großen Heterogenität und hohen Komplexität, was die Eigentümer und Betreiber, die Heiztechnologien und Anlagengrößen sowie die Gebäudetypen betrifft, in denen die Anlagen eingesetzt werden.
- Er weist eine sehr starke Abhängigkeit von der Entwicklung global geprägter fossiler Energiepreise (Erdgas, Erdöl) auf, die nicht verlässlich prognostizierbar sind.
- Er weist eine kontinuierlich zunehmende Verschränkung mit dem Stromsektor auf durch den steigenden Einsatz von Wärmepumpen, Kraft-Wärme-Kopplung und Power-to-Heat-Technologien, sodass Lösungsansätze für das Strom-Wärme-System gefunden werden müssen.
- Der künftige Wärmebedarf und die Heiztechnik hängen vom künftigen Stand der Gebäudeeffizienz ab. Der Gebäudebestand bietet große Potenziale zur Reduktion des Wärmebedarfs, deren Erschließung jedoch kapitalintensiv ist und in vielen Millionen Einzelobjekten jeweils angepasst erfolgen muss. Die Umsetzung erfolgt in der Regel durch das lokale Handwerk.
- Der künftige Wärmemarkt ist mit unterschiedlichen Infrastrukturen denkbar. In Frage kommen dezentrale Beheizung mit Biogas (Gasnetz), Wärmepumpen (Stromnetz) oder Holz kombiniert mit Solarwärme sowie zentrale Wärmeversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplung (Nahwärmenetze). Unsicherheiten über den künftigen Wärmemarkt und die Entwicklung fossiler Energiepreise führen dazu, dass langfristige Infrastrukturentscheidungen (Bau von Nahwärme- und Gasnetzen) mit einem hohem Investitionsrisiko behaftet sind.
- Der Ausbau der EE in der Wärmeversorgung muss die Nutzungsgrenzen von Biomasse, tiefer Geothermie und Solarthermie berücksichtigen.
- Die starken saisonalen Bedarfsschwankungen für Wärme erschweren eine verstärkte Nutzung von Strom im Wärmesektor.

Darüber hinaus prägen individuelle Gewohnheiten, Werte und Einstellungen die Entscheidungen von Gebäudeeigentümern für oder gegen den Einsatz erneuerbarer Wärme:

- Im Altbaubestand mit vielfach ineffizienten, aber noch funktionierenden Heizanlagen werden Ge-

bäude oft erst bei Besitzerwechsel saniert oder wenn veraltete Technologien ausfallen. Diese Gewohnheiten sind mit den bestehenden regulatorischen Maßnahmen kaum zu beeinflussen.

- Fehlendes Wissen und negative Einstellungen von Gebäudeeigentümern gegenüber dem Sanierungsaufwand, der Ästhetik, der Funktionalität, der Komplexität, der Wirtschaftlichkeit und den Kosten erneuerbarer Wärmetechnologien wirken der Entscheidung für eine energetische Sanierung entgegen.
- Das Unabhängigkeitsstreben eines Teils der Verbraucher („persönliche Energieautarkie“) und ökologisch motivierte Investitionsentscheidungen sind nennenswerte Treiber, jedoch in einigen Technologiebereichen zu schwach verbreitet, um den Markt spürbar zu beeinflussen.

Sozio-ökonomische Effekte beeinflussen das Investitionsverhalten im Wärmemarkt entscheidend. Gebäudeeigentümer bzw. Bauherren wägen mit dem vorhandenen Wissen ab, ob sich eine Investition in erneuerbare Wärmetechnologien lohnt und ob ausreichend Kapital vorhanden ist. Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, wird die Sanierungsinvestition entweder zugunsten fossiler Wärmetechnologien getroffen oder gar nicht realisiert. Das hat folgende Gründe:

- Fehlendes Wissen über die Wirtschaftlichkeit resultiert in Unsicherheit der Entscheider über die „richtige“ Wahl des Energieträgers bzw. Versorgungssystems und den richtigen Zeitpunkt der Sanierung.
- Diskontinuität in der Förderung erhöht diese Unsicherheit der Sanierungsentscheidung.
- Die Eigentumsstruktur des Wohnungsbestands in Deutschland (Mietquote ca. 53 %⁷) dämpft die Dynamik energetischer Sanierungen: Sanierungsbedingte Mietkostenerhöhungen, die nicht in gleichem Umfang durch eingesparte Nebenkosten kompensiert werden, bedeuten für viele Mieter eine finanzielle Überforderung. Deshalb regelt der gesetzliche Rahmen, dass Vermieter die Kosten für energetische Sanierungen nur begrenzt an die Mieter weitergeben können. Für die Wohnungseigentümer mindert dies die Wirtschaftlichkeit der Investition.
- Der energetische Standard eines Gebäudes (Gebäudehülle) hat Einfluss auf die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlagentechnik. So unterscheidet sich ein (unsaniertes) Bestandsgebäude von einem Neubau z. B. durch einen höheren

⁷ Statistisches Bundesamt: Mikrozensus – Zusatzerhebung 2010: „Bestand und Struktur der Wohneinheiten – Wohnsituation der Haushalte“, Abbildung 4

Wärme- und Leistungsbedarf und höhere Vorlauftemperaturen.

- Die Wohnungswirtschaft ist räumlich inhomogen strukturiert. Einerseits sind in einigen Regionen (z. B. des Ruhrgebietes oder im Osten Deutschlands) die Akteure mit den gesetzlichen Anforderungen zur energetischen Sanierung (EnEV) bzw. mit der Integration erneuerbarer Wärme oft finanziell überfordert. In Regionen mit hohen Mietpreisen und -erträgen, insbesondere in den zentralen Metropolen, ist zwar das Kapital für energetische Sanierungen vorhanden, oftmals ist aber wegen der bereits hohen Mieten die weitere Anhebung (der Kaltmiete) nicht mehr sozialverträglich möglich.



Solarthermie-Anlage
© BSW

In Gebieten mit hohem Nachfragedruck auf dem Wohnungsmarkt sind die Mieten schon jetzt so stark gestiegen, dass sehr aufwändige energetische Sanierungen negative soziale Auswirkungen mit sich bringen können.

4 Wärme- und Kälte-Technologien: Aufgaben, Marktdurchdringung und Potenziale

Kapitel 4 fasst die aktuelle Situation und die Potenziale der wesentlichen Wärme-/Kältetechnologien auf der Basis erneuerbarer Energien zusammen. Die daraus resultierenden Empfehlungen folgen im Kapitel 6.

4.1 Solarthermie

Aufgabe, Wechselwirkungen und Perspektiven im Strom-Wärme-System

Solarthermische Anlagen wandeln Sonnenlicht in Wärme um, die meist zur Trinkwassererwärmung und zur Unterstützung der Raumheizung von Wohngebäuden genutzt wird. Die Solarthermie spart ohne weitere infrastrukturelle Voraussetzungen wie z. B. Stromnetzausbau oder umfassende Gebäudemaßnahmen fossile Brennstoffe und Biomasse ein und vermeidet den sommerlichen Verbrauch von Gas und Öl für Niedertemperaturwärme weitgehend. Solarwärme kann auch in Wärmenetze eingespeist und für industrielle Anwendungen genutzt werden, wobei die Technik jeweils anzupassen und zu beachten ist, dass bei steigendem Bedarfstemperaturniveau die Solarwärmeerträge sinken.

Solarthermie benötigt in Mitteleuropa immer eine Zusatzwärmequelle oder einen ausreichend großen Wärmespeicher (Saisonalspeicher) zur Versorgung in strahlungsarmen Zeiten. Grundsätzlich können Sonnenkollektoren mit allen anderen gebäudetypischen

Wärmeerzeugern kombiniert werden. Da die Investitionskosten der restlichen Wärmeanlage in der Regel nicht reduziert werden können, muss sich die Wirtschaftlichkeit allein durch die Endenergieeinsparung ergeben, was bislang in vielen Fällen nur schwer erreichbar ist.

In Wohngebäuden ist Solarthermie eine wesentliche Maßnahme zur Energieeinsparung im Wärmebereich, da sie problemlos 60 % des Energiebedarfs zur Trinkwassererwärmung deckt. Energieeffiziente Gebäude sollten daher nur in Ausnahmefällen auf solare Wärme verzichten. Mit den etwas teureren Kombianlagen kann auch die Raumwärmebereitstellung unterstützt werden. Sogenannte Solaraktivhäuser mit solaren Deckungsanteilen über 50 % am Gesamtwärmebedarf sind neben Passivhäusern ein möglicher Lösungsweg für die von der EU bis 2021 für den Neubau geforderten Niedrigstenergiegebäude.

Die Einspeisung von Solarwärme in Nahwärmenetze ermöglicht die solare Versorgung von Gebäuden ohne geeignete Dachflächen und die Installation von großen Wasserspeichern, die als saisonale Wärmespeicher hohe solare Deckungsanteile ermöglichen. Anlagen in Dänemark zeigen, dass dies zu relativ günstigen Kosten realisiert werden kann. Solare Nahwärme kann auch den Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) optimieren helfen, da diese bei Stromüberschuss im Sommer abgeschal-

tet werden können. Eine zunehmende Bedeutung der Solarthermie wird künftig in der Prozesswärmeerzeugung erwartet, da hier wie bei der Trinkwasserbereitung ein ganzjährig konstanter Wärmebedarf besteht und Skaleneffekte durch größere Anlagen erzielt werden können. Hemmend wirken dabei bislang jedoch die Vielzahl divergierender Prozessabläufe sowie hohe Anforderungen an die Rentabilität.

Die Photovoltaik (PV) wies in den letzten 10 Jahren sehr starke, die Solarthermie dagegen nur geringe Kostensenkungen auf, weshalb die Nutzung der PV als Alternative zur Solarthermie auch für die Wärmeerzeugung interessant geworden ist. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass bei direkter Wärmeerzeugung mit Solarstrom die PV-Anlage etwa die dreifache Fläche einer solarthermischen Anlage benötigt. Dieser Flächenvorteil entfällt allerdings, wenn der PV-Strom eine Wärmepumpe antreibt, dann sind allerdings die zusätzlichen Investitionskosten zu berücksichtigen. Auf vielen Dächern von Ein- und Zweifamilienhäusern kann genügend Solarstrom erzeugt werden, um den Jahreswärmebedarf des Gebäudes bei guter Dämmung mit einer Wärmepumpe rechnerisch zu decken. Diese Deckung stellt sich aber nur in der Jahresbilanz ein, weil die Solarstromerzeugung überwiegend im Sommerhalbjahr anfällt und der Wärmebedarf, der durch die Wärmepumpen gedeckt werden soll, überwiegend im Winterhalbjahr. Deshalb ist ein massiver Ausbau von PV plus Wärmepumpen nur dann systemkompatibel, wenn andere (nachhaltige) Stromquellen die Stromunterversorgung im Winter und neue Stromlasten (z. B. Power-to-Gas) das Stromüberangebot im Sommer ausgleichen. Da der Ertrag einer PV-Anlage nicht vom Temperaturniveau des zu versorgenden Prozesses abhängt, hat diese einen Vorteil bei der Prozesswärmeversorgung. Dies macht deutlich, dass ein Vergleich von Solarthermie und Photovoltaik in der Wärmeversorgung eine umfassende Systembewertung erfordert.

Solarstrahlung spielt eine wichtige Rolle in nachhaltigen Energiesystemen, da sie dezentral und nahezu unbegrenzt zur Verfügung steht. Um sie deutlich stärker in solarthermischen Systemen zu nutzen, müssen in erster Linie der Sanierungsstau im Heizungskeller aufgelöst und Kostensenkungen realisiert werden. Da die industrielle Kollektorproduktion bereits deutlich optimiert wurde, müssen die Kostensenkungen vor allem durch Optimierung und Vereinfachung der Systemtechnik sowie durch reduzierten Vertriebs- und Montageaufwand realisiert werden.

Um deutlich höhere Solarthermieanteile in der Wärmeversorgung zu erreichen, müssen darüber hinaus die solaren Deckungsanteile in den Gebäuden erhöht werden und Marktsegmente mit bislang geringem Volumen (v. a. Mehrfamilienhäuser und industrielle Prozesswärme) entwickelt werden. Darüber hinaus ist

zu untersuchen, wie das Erfolgsmodell der großen solarthermischen Freiflächenanlagen in Dänemark auf Deutschland übertragen werden kann. Weiterhin ist die Verfügbarkeit geeigneter Flächen in Deutschland spezifisch zu analysieren (vgl. Diskussion um PV-Freiflächenanlagen).

Marktdurchdringung der solaren Wärme

Der Markt der Solarwärmeeinrichtungen hat sich seit dem Jahr 2008 etwa halbiert. Im Jahr 2013 wurden ca. 1 Mio. m² Solarkollektoren installiert, im Jahr 2014 schrumpfte der deutsche Markt nochmals um ca. 10%. Eine Besserung zeichnet sich aktuell nicht ab. Das hat vor allem folgende Ursachen:

- Die Solarthermie ist eine Zusatzwärmequelle, die sich über Brennstoffeinsparungen refinanzieren muss. Bei den heutigen Preisen für Solaranlagen und den immer noch relativ günstigen fossilen Energien wird die Wirtschaftlichkeit meist nicht erreicht.
- Für Neubauten wählt nur eine Minderheit der Bauherren Solarthermie zur Erfüllung der Pflichten gemäß EEWärmeG.
- Die Förderquote von ca. 15 % an der Investitionssumme im Rahmen des Marktanreizprogramms stellt für die Hausbesitzer unter den aktuellen Randbedingungen keinen ausreichenden Anreiz dar. Bei Mehrfamilienhäusern besteht zudem das Hemmnis, dass die Investitionskosten oft nicht vollständig bzw. nicht ohne Probleme vom Eigentümer auf die Mieter umgelegt werden können.
- Die zunehmende Komplexität von Heizungsanlagen erhöht die Anforderungen an das installierende Handwerk, das mit Nachwuchsproblemen zu kämpfen hat. Dies erhöht tendenziell die Mangelhäufigkeit und senkt die Installationsbereitschaft. Zudem sind häufig in anderen Handwerkerbereichen (z. B. der Badersanierung) höhere Margen zu erzielen.
- Die steigende Konkurrenz durch die Photovoltaik in Bezug auf Investitionsmittel und Dachflächen setzt den Solarwärmemarkt zusätzlich unter Druck. Aufgrund der starken Präsenz der Photovoltaik in der Öffentlichkeit nimmt die Wahrnehmung der Solarwärme durch potenzielle Kunden ab.

Potenziale für die weitere Optimierung und Forschungsbedarf

Aufgrund der genannten Marktbarrieren wurden von den deutschen und europäischen Solarthermie-Technologieplattformen übergeordnete Ziele für Forschung und Entwicklung definiert:

- 1) Reduzierung der Kosten der Solarwärme aus Sicht der Investoren (Kosten für Komponenten, Vertrieb, Installation und Wartung),

- 2) Erhöhung der solaren Deckungsanteile am Wärmebedarf eines Gebäudes und
- 3) Erschließung bislang kaum erschlossener Marktsegmente für die Solarthermie (Mehrfamilienhäuser, Prozesswärme, Nahwärme)

Diese Ziele können durch folgende F&E-Maßnahmen erreicht werden:

- Optimierung der hydraulischen und regelungstechnischen Kopplung aller Komponenten der Wärmeversorgungssysteme (Solarthermie, Nachheizwärmeerzeuger, Speicher etc.) einschließlich der Weiterentwicklung von Systemreglern sowie Funktions- und Ertragskontrollverfahren zur Erkennung und Meldung von Anlagenfehlern.
- Weiterentwicklung von Gebäuden mit hohen solarthermischen Deckungsanteilen (über 50 %, sog. SolarAktivHäuser), damit sie erstens eine wettbewerbsfähige Lösung für den von der EU-Gebäuderichtlinie bis 2021 geforderten Niedrigstenergiegebäudestandard (Nearly zero-energy buildings) bei Neubauten darstellen und zweitens die erhöhten Anforderungen bei Bestandssanierung mit dem Ziel der Kostensenkung und Integration in die allgemeine Bautechnik erfüllen.
- Weiterentwicklung von Hybridsystemen aus Solarwärme und Wärmepumpen, Erarbeitung adäquater Auslegungsregeln und optimierter Regelung sowie Abschätzung des Marktpotenzials.
- Durchführung von Felduntersuchungen zur umfassenden Evaluation der Qualität ausgeführter Anlagen in Bezug auf Funktion, Ertrag und Endenergieeinsparung unter Berücksichtigung von Hilfsenergien. Daraus Ableitung des Verbesserungspotenzials in Bezug auf Technik, Funktionskontrolle, Normung und Zertifizierung sowie Formulierung von Anforderungen in Förderprogrammen und gesetzlichen Regelungen.
- Entwicklung von optimierten Systemreglern, u. a. durch die Integration neu entwickelter Prognoseverfahren.
- Potenzialanalyse zur solarthermischen Unterstützung vorhandener Nah- und Fernwärmesysteme, Analyse der Akzeptanz in Verbindung mit großen solarthermischen Freiflächenanlagen (insbesondere im Kontext der Diskussion um große PV-Freiflächenanlagen), Entwicklung einer Technologie- und Umsetzungsroadmap zur Erschließung dieses Marktsegmentes.
- Durchführung von wissenschaftlich basierten marktnahen Untersuchungen zur Frage, wie die notwendige Halbierung der Endkundenpreise für die Solarwärme erreicht werden kann, auch unter Betrachtung möglicher Änderungen der bisherigen Vertriebswege.

4.2 Biomasse

Nutzungsformen und Wechselwirkungen im Strom-Wärme-System

Biomasse kann in vielfältiger Art und Weise energetisch genutzt werden. Als einzige erneuerbare Energiequelle kann sie sowohl Strom und Wärme als auch Kraftstoffe für den Mobilitätssektor bereitstellen. Der energetische Einsatz von Biomasse im Strom-Wärme-System muss begrenzte Biomassepotenziale und konkurrierende Nutzungen (v. a. Naturschutz, Ernährung, Bau und Chemie) berücksichtigen. Der steigende Preis der Biomasse befördert eine zunehmend werthaltige Nutzung – bevorzugt in Kaskaden – und eine stringente Ausrichtung an Effizienzkriterien. Insofern wird die energetische Biomassenutzung zumindest außerhalb der Verwertung von Reststoffen vielfach als Übergangstechnologie verstanden. Als „Speicheroption“, die zum Ausgleich der Residuallast aus fluktuierend einspeisenden EE Einsatz findet, kann die Biomasse – insbesondere in Form von Biogas/Biomethan – bereits kurz- bis mittelfristig erhebliche Beiträge zur bedarfsgerechten Stromerzeugung liefern. Diese Ausgleichsoption ist konkurrenzfähig gegenüber anderen Ausgleichsoptionen und zudem am Markt eingeführt. Die KWK bietet die Möglichkeit, die freigesetzte Energie möglichst weitgehend zu verwerten, was standortnahe Wärmesenken voraussetzt.



Holzpellets
© Agentur für
Erneuerbare Energien

In Deutschland stammen zurzeit fast 90 % der erneuerbaren Wärme aus Biomasse, vor allem aus Holz. Aufgrund der insbesondere durch die energetische Nutzung gestiegenen Nachfrage und der genannten Konkurrenzsituation haben vormals kostenfreie Holzsortimente (z. B. Sägewerksnebenprodukte) deutlich an Wert gewonnen. Deshalb verschiebt sich auch aufgrund der ökologischen Vorzüge die Nachfrage für die energetische Verwertung im Wärmesektor in Richtung biogener Reststoffe. Auch qualitativ schlechtere Sortimente des Holzsektors (z. B. aus der Landschaftspflege) werden verstärkt verlangt. Dies erhöht jedoch die Anforderungen an die Qualität der Brennstoffbereitstellung sowie an die Verfügbarkeit emissionsärmerer Feuerungs- und Konversionstechniken. Für die Konversion der Biomasse zu Wärme

stehen verschiedene technische Verfahren zur Verfügung. Als etabliert kann die Verbrennung fester Holzbiomassen in unterschiedlichen Leistungsgrößen gelten, wobei neben der alleinigen Wärmeversorgung mittels Biomasse bereits heute Kombi-Lösungen mit fossilen Kesseln, solarthermischen Anlagen und Wärmepumpen im praktischen Einsatz sind. Für die gekoppelte Strom- und Wärmebereitstellung gibt es funktionierende Systeme ab wenigen kW bis zu mehreren MW elektrischer Leistung. Die Mitverbrennung holzartiger Biomasse in Kohlekraftwerken ist mit Anteilen von bis zu 5 Energieprozent nachgewiesen. In Einzelfällen werden flüssige Bioenergieträger zur Wärmebereitstellung eingesetzt (Ethanolöfen, Heizölbeimischungen und Pflanzenöl-BHKW mit Wärmeauskopplung). Diese Ansätze haben sich am Markt aus verschiedenen ökonomischen und technischen Gründen bisher nicht durchgesetzt. Gleichwohl existieren 200 bis 250 MW an stillgelegten oder mit anderen Brennstoffen betriebenen Pflanzenöl-BHKW, die bei günstigen Marktbedingungen wieder in das Energiesystem integriert werden könnten.

Mit dem verstärkten Ausbau der Biogas-Gewinnung durch anaerobe Vergärung hat die Nutzung von KWK-Wärme aus Biogas- und (über das Gasnetz versorgte) Biomethan-BHKW in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

Angesichts der sich anbahnenden Knappheit im Bereich der Biomasse-Versorgung sowie aufgrund der erzielbaren Temperaturniveaus der Verbrennungsprozesse, die in einem Bereich von 800 bis 1200 °C liegen, erscheint ein Einsatz biomasse-basierter Wärme vorrangig im baulichen Bestand und hier insbesondere als KWK-Anwendung sowie im Bereich der Industrie als Prozesswärme sinnvoll.

Marktdurchdringung der Bioenergie im Wärmebereich

Feste Biomasse: Seit 2001 hat die Nutzung fester Biomasse als primäre Heizungsquelle im Neubau stark zugenommen. Holzfeuerungen haben einen Anteil von etwa 80 % an der aus erneuerbaren Energien erzeugten Wärme erreicht. Das EEWärmeG erkennt Einzelraumfeuerungsanlagen nur bedingt an; dies ist dann der Fall, wenn die Wärme über integrierte Wassertaschen an einen Heizkreislauf eines Zentralheizsystems abgegeben wird. Es handelt sich bei den berücksichtigten Anlagen daher in erster Linie um Zentralheizungen. Aus der Statistik kann der Anteil der festen Biomasse in Neubauten bis 2010 nur abgeschätzt werden. Dieser macht im Wohngebäudebereich etwa 87 % des Anteils der „sonstigen verwendeten Heizenergie“ aus, im Nichtwohngebäudebereich etwa 75 %. Seit 2011 liegen durch eine Erweiterung des Erhebungsbogens spezifischere Daten vor. Gemessen an der Anzahl der genehmigten

Gebäude stellten die Biomasseheizungsanlagen im Jahr 2011 einen relativen Anteil von etwa 5,4 % in Wohngebäuden, im Nichtwohngebäudebereich von 14,4 % dar.

Flüssige Biomasse findet bislang weder in Reinform noch als Beimischung zum Heizöl in bedeutsamen Mengen Einsatz. Vereinzelt werden, allerdings mit geringer Relevanz, biogene Altfette und Altöle zu Heizölsubstituten verarbeitet und vermarktet. Aufgrund wieder gesunkener Pflanzenölpreise ist die Nutzung in kleinen BHKW mit weitgehender Wärmeauskopplung in den letzten Jahren leicht angestiegen. Es ist zu berücksichtigen, dass die flüssige Biomasse bislang als einzige Fraktion einer Nachhaltigkeitsverordnung unterliegt. Zudem sind Pflanzenöle aus Raps ein Koppelprodukt zum Rapsschrot bzw. Rapskuchen, die beide ein sehr proteinreiches Futtermittel darstellen. Die Bedeutung der flüssigen Biomasse könnte im Zuge einer Re-Etablierung bestehender Pflanzenöl-KWK-Anlagen als Beitrag zur bedarfsgerechten Stromerzeugung im Bereich der dezentralen Wärmeversorgung steigen.

Gasförmige Biomasse: Die Errichtung von Biogasanlagen war bisher stark von der Anreizwirkung des EEG abhängig. Gab es vor dem Jahr 2000 nur wenige Biogasanlagen, so hat der Ausbau mit dem EEG 2004 stark zugenommen. Mit der Novelle 2012 ist der Zubau deutlich zurückgegangen und mit der Novelle 2014 kam er – trotz noch vorhandener Ausbaupotenziale – fast gänzlich zum Erliegen. Aufgrund des begrenzt steigerungsfähigen Energiepflanzenbaus und unter Berücksichtigung von Flächennutzungskonkurrenzen und zukünftigen Nachhaltigkeitsanforderungen ergibt sich, dass der Zuwachs der – größtenteils leitungsgebundenen – Wärme aus Biogas künftig unter den derzeitigen ökonomischen Rahmenbedingungen vor allem aus der Optimierung des Anlagenbestandes resultieren muss. Daher könnten Ansätze z. B. im Sinne eines „Anlagenpoolings“ zur Umsetzung angepasster Wärmenetze sowie zur Ermöglichung der Gasaufbereitung und -einspeisung an Bedeutung gewinnen.

Potenziale für die weitere Optimierung

Optimierungspotenziale für die Wärmebereitstellung aus Biomasse ergeben sich insbesondere in

- der Weiterentwicklung der Kessel hin zu emissionsarmen, hocheffizienten Systemen,
- gezielterem Einsatz von Biomassetechnologien unter Berücksichtigung der jeweiligen Versorgungsfrage,
- einer besseren Ausrichtung auf eine nachhaltige sowie langfristig verfügbare Rohstoffbasis und
- der stärkeren Verzahnung der Infrastruktur- und Stadtentwicklungsplanung.

Die Wirkungsgrade von Wärmebereitstellungsanlagen auf Biomassebasis liegen bei 85 bis 90 %. Seit einigen Jahren sind Biomasse-Brennwertgeräte (insbesondere für die Verfeuerung von Pellets) und Abgaskondensationsanlagen (für große Holzhackschnitzelfeuerungen) am Markt erhältlich, die höhere Wirkungsgrade ermöglichen. Die Praxis zeigt jedoch, dass die Systeme häufig im Jahresdurchschnitt lediglich eine Effizienz von rund 75 %, zum Teil sogar unter 70 %, erreichen. Insofern ist neben der Erhöhung der Nennwirkungsgrade auch auf die Optimierung der Jahresnutzungsgrade zu achten. Entsprechende Schulungen der Heizungsbauer, Auslegungshinweise und vor allem deutlich verbesserte Systemregler können die Jahreseffizienz um 5 bis 10 %-Punkte erhöhen.

Im Bereich der Einzelraumfeuerungsanlagen werden verstärkt die Emissionen in den Blick genommen, da Kleinfeuerungsanlagen für einen erheblichen Teil der gesundheitsschädlichen Feinstaubemissionen verantwortlich sind⁸. Die Forschung konzentriert sich in diesem Zusammenhang insbesondere auf primär- und betriebsseitige Minderungsansätze sowie integrierte Abscheidemechanismen (u. a. auch mit katalytischer Wirkung).

Eine wichtige Herausforderung stellt die zunehmend notwendige Systemintegration von Biomasseanlagen dar. Im Zusammenhang mit einer verstärkten Nutzung von solarthermischer Wärmebereitstellung, Wärme aus Wärmepumpen und Wärme aus Überschussstrom werden die Biomassefeuerungsanlagen deutlich flexibler werden müssen, um die verbleibenden Versorgungslücken effizient und emissionsarm zu schließen. In Verbindung mit intelligenten Regelsystemen wird die Biomasse zunehmend zur Absicherung von Zeiten eingesetzt werden, in denen weder Wärme aus anderen erneuerbaren Quellen oder aus Abwärme ausreichend zur Verfügung steht noch Überschussstrom angeboten wird.

Aufgrund der Integrationsmöglichkeiten der Biomasse im Strom- und Wärmesektor und des hohen Temperaturniveaus der Umwandlung wird die Biomasse künftig vor allem im Bereich hocheffizienter KWK-Technologien oder in Wärmeanwendungen im Altbau als Brückenfunktion relevant werden. Dies gilt zumindest für die nächsten Dekaden, bis die energetische Sanierung oder der Gebäudeersatz erfolgt sind. Im Bereich der Privathaushalte werden daher die Weiterentwicklung der Biomasseheizsysteme hin zu Biomasse-KWK-Systemen und die intelligente Kombination mit anderen erneuerbaren Energien in den Fokus rücken.

Die gezielte Nutzbarmachung von nicht-holzartigen Nebenprodukten und Reststoffen (z. B. Stroh, Laub, Landschaftspflegeheu) stellt eine weitere wichtige Option für künftige Anwendungen dar und bedarf der Weiterentwicklung der Brennstoffaufbereitungsverfahren, der Biomasseanlagen und der Entwicklung preisgünstiger aber zuverlässiger Abscheidertechnologien auch für kleine Leistungsbereiche.

Im Rahmen eines auf Biomasse gestützten Ausbaus der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung im Sinne des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes (KWKG) bestehen im Bereich der leitungsgelassenen Systeme zur Wärmeversorgung von Gebäuden bereits heute besonders hohe Effizienzpotenziale. Dieser eher zentrale Ansatz zur Versorgung größerer Raumeinheiten bietet bei einem zunächst biomassebasierten Betrieb hinreichende Flexibilität im Hinblick auf den zukünftigen Einsatz von alternativen oder ergänzenden Energieträgern. Außerdem bietet er die Möglichkeit, auf der Basis einer bereits installierten Infrastruktur zeitnah auf technologische Innovationen zu reagieren und diese in die Wärmeverbundkonzeption zu integrieren. Zur generellen Realisierung leitungsgelassener Systeme ist eine stärkere Verzahnung zwischen Infrastruktur- und Bauleitplanung erforderlich.

Dringender Handlungsbedarf besteht im Hinblick auf eine biogene Wärmeversorgung, die auf Reststoffen basiert und die Effizienz der Abfallverbrennungsanlagen steigert. Diese werden vielfach noch entsorgungsorientiert betrieben. Der Paradigmenwechsel hin zu einer versorgungsorientiert ausgerichteten Kreislaufwirtschaft, in der anfallende Abwärmeströme weitestgehend genutzt werden, hat vielfach noch nicht stattgefunden. Die Erschließung dieser Potenziale gewinnt an Bedeutung, da mit dem geforderten Ausbau stofflicher Biomasse-Nutzungen in Form von Kaskadenprozessen der biogene Anteil in den zu verbrennenden Abfällen über den bisherigen Wert von 50 % hinaus ansteigen wird. Darüber hinaus bieten nicht vollständig ausgelastete Abfallentsorgungsanlagen mit effizienter Wärmenutzung die Option, hochkontaminierte Biomassen zu behandeln.

Die Mitverbrennung von Biomasse (Holz, Kompakte) in Kohlekraftwerken zeigt unter der Voraussetzung effizienter Anlagenkonzepte mit einer weitreichenden Auskopplung von Fernwärme grundsätzlich positive ökobilanzielle Effekte. Jedoch sind die möglichen Auswirkungen auf dezentrale Nutzungsoptionen, auf die stoffliche Nutzung von Holz und auf die ILUC-Effekte (indirect land use change) durch potenzielle Importe von Holz noch nicht genügend

⁸ Laut UBA übersteigen die Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen mittlerweile die aus Motoren von LKW und PKW, wobei mit der Novellierung der Kleinanlagenfeuerungsverordnung (1.BImSchV) 2010 rechtliche Vorgaben zur Minderung gesetzt wurden, die zunehmend greifen werden.

untersucht, sodass hier ein weiterer Forschungsbedarf festgestellt werden kann. Die Torrefizierung (Röstung) und Kompaktierung von Biomassen kann logistische und betriebstechnische Vorteile für die Mitverbrennung aufweisen.

Forschungsbedarf

- Erforschung und Etablierung von hinreichend umfassenden aber gleichzeitig leicht anzuwendenden Systemen zur Sicherung der Nachhaltigkeit bei der Gewinnung von Biomasse
- Erforschung und Entwicklung geeigneter Methoden zum Monitoring der energetischen Biomassennutzung im Wärmebereich und zur Abschätzung von zukünftigen Anwendungsgebieten der energetischen Biomassennutzung (2050)
- Zu berücksichtigen ist dabei der regionale Kontext und die Verbundoptionen (Einzelgebäude- versus Wärmenetze inkl. eingebundener Speicher) sowie die Kombination mit anderen EE.
- Erarbeitung interkommunaler Strategien zur Wärmeversorgung im Sinne von Prioritätsgebieten biogener Wärme unter Einbeziehung der Infrastruktur- und Bauleitplanung, des zu erwartenden demographischen Wandels und des Wandels der Energieversorgung
- Entwicklung und Optimierung von Biomasse-KWK-Anlagen im Leistungsspektrum von wenigen kW_{el} bis ca. 5 MW_{el} unter Nutzung noch zu erforschender thermodynamischer und thermochemischer Grundlagen für ein breites Brennstoffband (Reststoffe und agrarische Nebenprodukte) mit hoher Flexibilität im Betrieb
- Entwicklung von Emissionsminderungsoptionen
- Erforschung und Entwicklung von Systemreglern zum Verbund der verschiedenen erneuerbaren Wärmeoptionen und zum Verbund mit dem Stromnetz sowie mit Mobilitätsoptionen der Zukunft

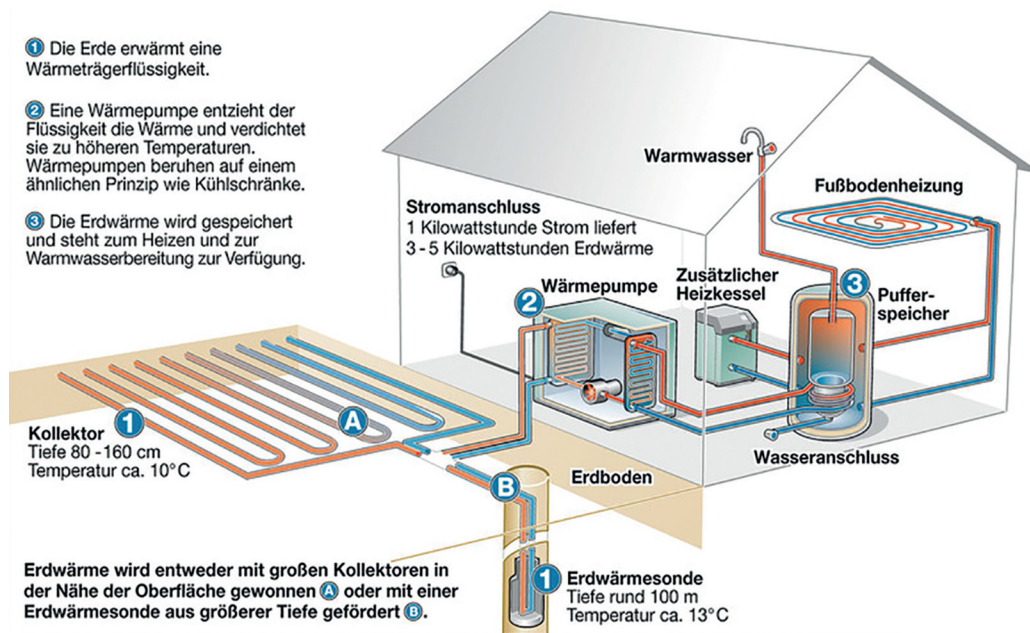
4.3 Wärmepumpen

Werden anstelle von Öl- oder Gaskesseln Wärmepumpen installiert, so tritt der Energieträger Strom an die Stelle von fossilen Brennstoffen. Kurz- bis mittelfristig führt dies zur erhöhten Auslastung von Kohle-, Gas- oder Atomkraftwerken. Wärmepumpen nutzen aber auch Strom aus EE oder KWK-Anlagen, der sonst hätte abgeregelt werden müssen. Langfristig ist daher die Relevanz von Wärmepumpen für den Klimaschutz gesichert. Schon kurzfristig ist neben der Perspektive einer direkten Nutzung von „Überschussstrom“ auch die CO₂-Wirksamkeit eines höheren Stromverbrauches durch Wärmepumpen mit der Deckelungswirkung des europäischen CO₂-Marktes zu reflektieren. Derzeit wirkt sich aber dieser Deckel

wegen eines Überangebots an CO₂-Zertifikaten nicht aus.

Langfristig können die Klimaziele nur mit deutlichen Anteilen von Wärmepumpen am Wärmemarkt kosteneffizient erreicht werden. Je höher ihre Effizienz, die Jahresarbeitszahl (JAZ) ist, desto früher und desto stärker treten die positiven Wirkungen ein. Solange Wärmepumpen noch nicht zu relevanten Teilen mit Überschussstrom aus KWK und EE betrieben werden, sollten daher die in den derzeitigen Wärmeetzen geltenden strengen Anforderungen an die JAZ beibehalten werden. Der derzeitige Trend zu Luft-Wärmepumpen, der sich auf geringere Investitionskosten stützt und zudem von vermeidbaren Fehlern bei ausgeführten Erdsondenbohrungen profitiert, weist in die falsche Richtung. Wenn man die höheren Stromkosten der Luft/Wärmepumpen während der gesamten Lebensdauer berücksichtigt, sind erdgekoppelte Wärmepumpen nicht nur klimafreundlicher, sondern häufig auch wirtschaftlicher. Bei weiterhin sinkenden Preisen für PV-Anlagen gewinnt ihre Kombination mit Wärmepumpen an Bedeutung.

Wärme wird besonders in der kalten und dunklen Jahreszeit benötigt. Die Wärmepumpen sind daher gerade dann in Betrieb, wenn die Nachfrage nach Strom ohnehin hoch ist. Die damit verbundenen zusätzlichen Lastspitzen können durch einen netzgeführten Betrieb der Wärmepumpen abgefangen werden. Für eine unterbrechungsfreie Beheizung erfordert dieser allerdings zusätzliche, mit Verlusten behaftete thermische Pufferspeicher. Aus Systemsicht günstig ist auch die Kombination von Wärmepumpen mit KWK-Anlagen innerhalb des gleichen Verteilnetzes, da die Wärmepumpen gerade dann Strom benötigen, wenn die KWK-Anlagen an kalten Tagen ohnehin in Vollast fahren. Andererseits könnte zusätzliche elektrische Leistung aus Gaskraftwerken bereitgestellt werden und müsste dann allerdings in der Kraftwerksplanung berücksichtigt werden. Es sollte aber im Rahmen einer Wärmepumpen-Ausbaustrategie auch geprüft werden, ob stattdessen hybride Systeme gegenüber monovalenten Wärmepumpensystemen vorteilhafter sind. Die Auswirkungen des Zubaus von Wärmepumpen auf den Kraftwerkspark sind noch zu untersuchen. Sie hängen vom Zusammenspiel von Temperatur, Stromlastgang und dem Angebot an EE im Verlauf der kalten Jahreszeit ab. Besonderes Interesse sollte auch der Weiterentwicklung thermisch angetriebener Sorptionswärmepumpen (Ab- bzw. Adsorptionswärmepumpen) gelten, die analog zu den elektrisch betriebenen Wärmepumpen Umweltwärme auf ein Nutzwärme-Temperaturniveau transformieren, dabei aber Wärme z. B. aus einem Gaskessel (Gas-Wärmepumpe) nutzen. Die Ausnutzung fossiler Brennstoffe kann im Vergleich zu Brennwertkesseln damit signifikant erhöht werden. In



Oberflächennahe
Geothermie / Wärme-
pumpe
© Agentur für
Erneuerbare Energien

bereits verfügbaren Geräten wird dabei von Einsparungen im Bereich zwischen 20 % und 30 % ausgegangen. Gegenüber elektrisch betriebenen Wärmepumpen entfällt die Mehrbelastung des Stromnetzes.

Forschungsbedarf:

- Effizienzerhöhung auf Komponentenebene; v. a. Untersuchungen zur Prozessführung, zu geeigneten Sorptionsmaterialien und zu optimierten Wärmeübertragern,
- Feldtests zur Optimierung der systemtechnischen Einbindung und Regelung,
- Aktivitäten im Bereich Normung und Standardisierung zur Unterstützung auf der Herstellungs-, Planungs- und Installationsseite.

4.4 Kälte

Aufgabe, Wechselwirkungen und Perspektiven im Strom-Wärme- und Kälte-System

Der Einsatz erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Nutzkälte kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen. Im EEWärmeG wird zur Kälteerzeugung aus EE (neben der direkten Kälteentnahme aus dem Erdboden bzw. aus Grund/Oberflächenwasser) explizit die thermische Kälteerzeugung mit Wärme aus erneuerbaren Energien genannt. Dies adressiert die Nutzung solarer Wärme für den thermischen Antrieb von Kälte- und Klimatisierungsprozessen (Solare Kühlung; präziser: Solarthermische Kühlung). Das Augen-

merk lag hier in den vergangenen Jahren auf der Demonstration der Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Anlagen. Der Einsatzbereich dieser Technologie ist hoch und umfasst klassische Gebäudekühlung und -klimatisierung, Prozesskältebereitstellung für den gewerblichen und industriellen Bereich und die Möglichkeit der Unterstützung von Kältenetzen (peak-shaving).

In den Analysen zur solaren Kühlung von Gebäuden zeigt sich, dass Anwendungen im mittleren und höherem Kälteleistungsbereich vorteilhaft sein können, in denen neben einem hohen Raumkühlbedarf auch hoher und zeitlich langfristiger Warmwasserbedarf besteht, der ebenfalls über das Solarkollektorfeld bedient werden kann. Dies beeinflusst die Wirtschaftlichkeit positiv und erhöht auch das Einsparpotenzial an Primärenergie und Treibhausgas-Emissionen. Beispiele für solche Anwendungen sind Hotels und Kliniken sowie die Kühlung von gewerblichen Räumen mit produktionstechnisch bedingtem hohem Warmwassereinsatz. Diese und vergleichbare Bereiche können einen Ansatzpunkt für die systematische Weiterentwicklung der Technologie bilden.

Im Komfortwohnungsbau spielt Kühlung eine zunehmende Rolle. Aufgrund der relativ kleinen Kälteleistungsbereiche und der hohen Kosten ist solarthermische Kühlung hier noch keine Option. EE lassen sich aber auch mit konventioneller elektrischer Kompressionskältetechnik einsetzen, wenn durch spezielle systemtechnische Maßnahmen dafür gesorgt wird, dass photovoltaischer Strom durch die Kälteversor-

gung in höherem Maße als bisher im Gebäude selbst genutzt wird. Maßnahmen dieser Art können z. B. Kältespeicher und geeignete Regelstrategien sein. Im verarbeitenden Gewerbe finden derzeit insbesondere Kombinationen von PV-Dächern mit elektrischen Kompressionskälteanlagen Anwendung. Lebensmittelproduzenten und -logistiker sind Beispiele dafür, dass ein zunehmender Kältebedarf durch hohe Sonneneinstrahlung bedingt ist und dass sich diese Technologie technisch und wirtschaftlich gut in das bestehende System einbinden lässt.

Marktdurchdringung der EE-Kälte

Trotz der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der solaren Kälte und der nachgewiesenen Funktionsfähigkeit sowie günstiger Umweltbilanzen hat die solare Kühlung in Deutschland aufgrund der Kostennachteile gegenüber der Kompressionskälte noch keine nennenswerte Verbreitung erreicht. Daran haben auch bisherige Fördermaßnahmen kaum etwas verändert. Insgesamt liegen die Herstellungszahlen thermisch angetriebener Kälteeinheiten deutscher Hersteller noch im dreistelligen Bereich; davon wird nur ein kleiner Anteil in Anlagen mit solarthermischem Antrieb eingesetzt.

Die Frage nach den Ursachen der bisher ausbleibende Marktdurchdringung der solaren Kühlung adressiert mehrere Ebenen:

- Neben dem Aufbau eines Kollektorfeldes ist auch ein zusätzlicher hoher investiver Aufwand für die thermisch betriebene Kälteeinheit erforderlich. Die Kosten dieser Kälteeinheit übersteigen in der Regel noch deutlich die Kosten einer konventionellen kältetechnischen Einheit (elektrisch betriebene Kompressionskälteanlage). In den letzten Jahren sind zwar die Preise für Ab- bzw. Adsorptionskältemaschinen durch eine langsam steigende Nachfrage für das Einsatzgebiet Abwärmenutzung gesunken, die spezifischen Investitionskosten pro Nennkälteleistung sind dennoch hoch. Dies betrifft insbesondere kleinere Anlagen für die Einzelgebäudekühlung.
- Der technische Aufwand zum Aufbau einer solaren Kühlung ist vergleichsweise hoch und verlangt eine planerische und installationsseitige Gesamtsicht von Solar-, Wärme- und Kältetechnik. Dies beherrschen nicht alle Akteure. Außerdem erhöht sich der Kostenaufwand für Planung und Installation. Hier macht sich auch ein Mangel an Standardisierung und Normung bemerkbar. Eine Standardisierung und ein hohes Maß an Vorkonfektionierung der Systeme werden in Verknüpfung mit flexiblen Bereitstellungsmöglichkeiten zu wesentlich attraktiveren wirtschaftlichen Bedingungen führen, v. a. im Systemverbund der

Anwendungen Heizen, Kühlen und Brauchwarmwasser.

- Für den Einfamilienwohnungsbau und für das Einzelwohnungssegment im Bestand spielt die solare Kühlung derzeit keine Rolle, da die marktverfügbaren Kälteaggregate in der Leistung zu groß sind. Auch für den Mehrfamiliengebäudebereich ist die Technik wirtschaftlich zu unattraktiv, da die Volllastbetriebsstundenzahl unter den gegebenen klimatischen Randbedingungen im Verhältnis zur Investition gering sind (typischerweise < 500 h/a);
- In kommerzieller Anwendung in Gewerbe und Industrie sind häufig maßgeschneiderte Einsatzmöglichkeiten zwingend. Die bisherigen Fördermaßnahmen und Randbedingungen der Förderung sind für diese Akteure nicht attraktiv genug. Daher wird weitgehend auf Ersatzmaßnahmen zurückgegriffen.

Potenziale für die weitere Optimierung und Forschungsbedarf

- Weitere Standardisierung und Vorkonfektionierung von thermischen Heiz- und Kühlsystemen unter Einhaltung einer genormten primärenergetischen Mindesteffizienz. Dies kann insbesondere die Attraktivität für den Wohngebäudebereich erhöhen.
- Steigerung der Umwandlungseffizienz derartiger Systeme, um die Kosten zu senken.
- Feldtests in Anlagen mit hohem Kühlbedarf und hohem Brauchwarmwasserbedarf zur systemtechnischen Standardisierung. Erkenntnisse aus F&E-Arbeiten zur hocheffizienten Rückkühlung können dafür genutzt werden.
- Minimierung des Sekundärenergiebedarfs (v. a. Strom) von thermischen Heiz- und Kühlsystemen.
- Fokussierung der Entwicklung auf gasbetriebene Sorptionswärmepumpen für hohe Temperaturhübe (Ersatz von Bestandsheizung) und für niedertemperierte Umweltwärmequellen (Luft), um die Anwendungsbreite und Gesamtjahreseffizienz stark zu erhöhen.
- Systemtechnische Ansätze zur Nutzung des PV-Stroms in konventioneller Kälteerzeugung. Untersuchung geeigneter Regelungs- und Speicherstrategien, evtl. auch direkte Kopplungsmaßnahmen.
- In der Ersatzmaßnahme Fernkälte aus Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) kann auch der Einsatz solarthermischer Kälteerzeugung im Kältenetz zu Spitzenlastzeiten sinnvoll sein und sollte im Zusammenhang mit geeigneten Kältespeichertechniken untersucht werden.

4.5 Tiefengeothermie

Aufgabe, Wechselwirkung und Perspektiven im Strom-Wärme-System

Der Anteil der tiefen Geothermie an der regenerativ erzeugten Wärme ist immer noch gering und liegt weit unter dem ausschöpfbaren Potenzial der geothermischen Ressourcen. Die tiefe Geothermie nutzt Wärmereservoirs im Untergrund (unterhalb von 400m mit Temperaturen über 60 °C) und erlaubt deren Verwendung als Heiz- oder Prozesswärme sowie zur Stromerzeugung.

Nutzbare Lagerstätten in Deutschland sind Heißwasseraquifere, Störungszonen und kristalline Gesteine (Niederenthalpiesysteme). Zurzeit werden jedoch nur erstere zur geothermischen Wärmeversorgung genutzt. Etwa 95 % des geothermischen Potenzials in Deutschland sind nur durch Enhanced (oder Engineered) Geothermal System (EGS)-Technologien erschließbar. Diese nutzen produktivitätssteigernde Maßnahmen im Reservoir. Für eine zukünftige Nutzung des Wärmepotenzials unter noch nicht erkundeten geologischen Bedingungen sind noch große F&E-Anstrengungen notwendig.

Die Erschließung des tiefen geothermischen Wärmepotenzials erfordert erhebliche Investitionen und wird daher erst ab einer Anlagenleistung im MW-Bereich wirtschaftlich. Im Bereich der tiefen Geothermie gibt es in Deutschland zurzeit 26 Heizwerke und Heizkraftwerke mit einer installierten Wärmeleistung von rund 300 MW_{th}. Im Jahr 2014 trug die tiefe Geothermie mit etwa 350 GWh zur Wärmebereitstellung in Deutschland bei. Die größten geothermischen Heizwerke haben eine installierte thermische Leistung von 40 MW. Derzeit sind etwa 45 neue Anlagen in Bau oder Planung. Die meisten dieser Einrichtungen befinden sich bisher im Norddeutschen Becken, im Oberrheingraben und insbesondere im Süddeutschen Molassebecken.

Aufgrund der geologischen Gegebenheiten und zum Teil geringen Erfahrung mit der energetischen Nutzung des tiefen Untergrundes ist eine Wärmebereitstellung aus tiefer Geothermie noch immer technisch anspruchsvoll, insbesondere wenn das geothermische Fluid heißer als 100 °C ist. Technische Herausforderungen ergeben sich dabei insbesondere bei der untertägigen Reservoirerschließung als auch bei der obertägigen Anlagengestaltung. Die relevanten Thermalwasserparameter (insb. Fördermenge und -temperatur sowie Fluidzusammensetzung) können nicht genau vorausgesagt werden (Fündigkeitsrisiko).

Weil die Bohrkosten überproportional mit der Bohrtiefe ansteigen, das Temperaturprofil jedoch nur proportional mit der Tiefe, erfordert die wirtschaftlich erfolgreiche Implementierung einer geothermischen Versorgungsanlage ihre optimale Einbettung in die

Wärmebedarfsstrukturen. Wirtschaftlich ist die tiefe Geothermie bereits heute dort, wo attraktive Wärmereservoirs kostengünstig erschlossen werden können, das Geothermiefluid eine Temperatur unter 100 °C besitzt und geeignete Abnehmerstrukturen existieren, vor allem im Alpenvorland im Bayerischen Molassebecken.

Im Vergleich dazu herrschen im Norddeutschen Becken andere Bedingungen vor. Trotz eines großen prognostizierten geothermischen Potenzials ist dort das Fündigkeitsrisiko aufgrund geologischer Reservoir-Heterogenitäten oder lückenhafter geologischer Datenlagen noch relativ hoch. Aufgrund einer daraus resultierenden geologisch-technischen Komplexität stehen Wärmeversorger beim Einsatz geothermischer Technologien vor großen Herausforderungen.

Die Standortgebundenheit geothermischer Anlagen bei begrenzten geologischen Vorkommen an einem Ort, das Fündigkeitsrisiko sowie eine lange Realisierungsdauer (von durchschnittlich sieben Jahren) und damit verbunden ein hoher Kapitalbedarf in einer frühen Projektphase führen dazu, dass große Energieversorger bisher in Deutschland nur in Ausnahmefällen geothermische Anlagen betreiben. Bisher prägen Stadtwerke bzw. kommunale Energieversorger die Eigentümerstruktur.

Marktdurchdringung

Die Nutzung der Tiefen Geothermie in Deutschland ist durch eine überschaubare Anzahl bestehender Geothermieanlagen gekennzeichnet. Seit 2009 gab es nur geringen Zuwachs an geothermischer Wärmeinspeisung. Die Marktdurchdringung, gemessen an der Anzahl der in Planung befindlichen Geothermie-Anlagen, ist rückläufig.

Ökologisch und ökonomisch ist eine gekoppelte Bereitstellung von Strom und Wärme durch geothermische Systeme vorteilhaft, hinsichtlich rechtlicher und förderungspolitischer Rahmenbedingungen bestehen jedoch Unklarheiten.

Da sich die geologischen Eigenschaften von Standort zu Standort gravierend unterscheiden können, ergeben sich die besten Erfolge auf der Lernkurve, wenn an einem Standort mehrere Bohrungen niedergebracht werden. Sowohl beim Bohren ergeben sich dann aufgrund der geologischen Kenntnisse verringerte Kosten als auch beim Betrieb, denn Menge und Eigenschaften des geothermischen Fluids sind dann bereits bekannt.

Ordnungspolitische Instrumente wie die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) oder die Einräumung eines Verbandsklagerechts erhöhen den Realisierungszeitraum geothermischer Projekte anstatt tiefe Geothermie gezielt zu fördern.

Potenziale für die weitere Optimierung und Forschungsbedarf

Um eine wirtschaftliche Nutzung geothermischer Ressourcen zu erreichen, sind technologische Weiterentwicklungen auf allen Stufen des Gesamtsystems notwendig. Hierzu gehören die Erhöhung der Planungssicherheit bei der Erschließung der Lagerstätten sowie der Zuverlässigkeit beim Bau und Betrieb der geothermischen Anlagen.

- Weiterentwicklung geothermiespezifischer Erkundungsmethoden zur Senkung des Fündigkeitsrisikos
- Entwicklung innovativer Bohrtechnologien und -strategien zur Reduzierung der Bohrkosten

- Weiterentwicklung von Methoden zur Optimierung der Reservoirproduktivität sowie zur Senkung des Risikos induzierter Seismizität
- Effizienzerhöhung sowie Standardisierung von Systemkomponenten (insbesondere bei Pumpen) sowie Entwicklung verfahrenstechnischer Lösungen für Korrosion und Scaling mit dem Ziel eines nachhaltigen Anlagenbetriebs
- Durchführung von Untersuchungen sowie Demonstration von geothermischen Anlagen in Kombinationen mit anderen EE, auch in Ballungszentren und Metropolen

5 Wärme- und Kälte-Systemkomponenten: Aufgaben, Marktdurchdringung und Potenziale

5.1 Systemintegration von Wärme-/Kältetechnologien

Sowohl die fossile als auch die erneuerbare Wärmeerzeugung findet gegenwärtig vielfach in Einzelanlagen statt, d. h. in Einzelhausheizsystemen, die voneinander unabhängig betrieben werden. Daneben sind in Ballungsgebieten unterschiedlich große Wärmenetze etabliert, die teilweise von großen fossilen Heizkraftwerken (Fernwärme), aber auch von kleineren KWK-Anlagen auf Basis unterschiedlicher Energieträger bzw. Biomasseheizwerken (Nahwärme) betrieben werden.

Mit der zunehmenden Energiebereitstellung aus EE im Strom- und Wärmebereich entstehen unterschiedliche Herausforderungen, die eine stärkere Integration des Strom-Wärme-Systems nahelegen:

- Aus Effizienzgründen muss die Nutzung der Biomasse vor allem in Kraft-Wärme-Kopplung erfolgen, was die Kopplung des Strom-Wärme-Systems und den Abgleich der Strom-Wärme-Erzeugung mit saisonal unterschiedlichen Lastprofilen für Strom und Wärme erfordert.
- Bei stromgeführter KWK kann eine zunehmend fluktuierende Stromnachfrage zu einer eingeschränkten Verfügbarkeit der Wärmeversorgung führen. Andererseits entsteht in Zeiten des Stromüberschusses durch „Power-to-Heat“ eine zusätzliche Option der Wärmebereitstellung.
- Klein- und Kleinst-KWK-Anlagen in Einzelobjekten, die bislang in den meisten Fällen zur kombinierten Wärme- und Eigenstromversorgung dienen, könnten künftig dazu beitragen, das Stromnetz zu stabilisieren.

- Bisher typische Kombinationen aus erneuerbaren und fossilen Energien sind solarthermische Anlagen als Ergänzung zu Öl-, Gas- oder Holzkesseln sowie Elektroheizpatronen in Kombination mit Stückholzkesseln. In Verbindung mit Niedrigenergiehäusern und Wärmepumpensystemen kommen vermehrt Holzöfen zur Minderung des Strombedarfs in den Wintermonaten zum Einsatz.

Zunehmend setzt sich auf allen Entscheidungsebenen das Verständnis durch, dass die Energiewende im Wärmemarkt nur dann gelingt, wenn der Gebäudewärmebedarf ausreichend abgesenkt wird. Insofern wird es zukünftig über die Abhängigkeiten hinaus, die bereits im EEWärmeG und in der EnEV vorgesehen sind, weitergehende verbindende Regelungen geben. Im Zuge der zeitgestaffelten Verschärfungen der Gebäudeeffizianz Anforderungen und der langfristigen Sanierungszeiträume wird es immer größere Unterschiede in den Gebäudewärmebedarfen und den Bedarfskurven geben.

In Verbindung mit den unterschiedlichen Vorteilen und Restriktionen der einzelnen erneuerbaren Wärmeoptionen wird es zu einer weitergehenden Ausdifferenzierung der Lösungskonzepte kommen. Potenziale zur Systemintegration bestehen zum einen durch die verbesserte Kombination unterschiedlicher erneuerbarer Energieträger, zum anderen aber auch durch eine engere Verknüpfung des Strom- und Wärmemarktes. Weil sich Wärme zumindest im Tagesumfang leichter speichern lässt, wird sich die Wärmebereitstellung zunehmend an den Bedürfnissen der Stromnetzstabilität ausrichten müssen. Gleichzeitig wird es Verknüpfungspunkte zwischen Wärmesektor

und Mobilität geben. Bisher zeigen jedoch viele Ansätze zur Kombination und Systemintegration sowohl ökonomisch als auch energetisch eher niedrige Gesamteffizienzen. Dies ist vor allem auf nicht optimal abgestimmte Systemkomponenten und verbesserungsbedürftige Regelsysteme zurückzuführen.

Forschungsbedarf

Es besteht ein umfassender F&E-Bedarf zur Untersuchung systemtechnischer Fragestellungen: mögliche nachhaltige (Strom-)Wärme- und Kälte-Systeme, die gegenseitigen Abhängigkeit ihrer Komponenten und Sektoren sowie die notwendigen Steuer- und Regelstrategien der komplexer werdenden und weitergehend integrierten Systeme. Hierzu müssen Methoden zur Systementwicklung und -optimierung, der Variantenbewertung sowie der Beschreibung und Darstellung der komplexen Systeme erarbeitet und angewendet werden.

Weiterhin sind notwendig:

- die Entwicklung von optimierten Transformationspfaden, auf denen die identifizierten Zielsysteme erreicht werden können
- die Bereitstellung von praxisnahen Methoden für die Planung. Dabei sind einerseits die technologischen Perspektiven der Komponenten und Systeme des Strom-Wärme- und Kälte-Systems und der Systeme, in die sie eingebettet sind, zu berücksichtigen (z. B. Gebäudetechnik, Informations- und Kommunikationstechnologie) als auch soziale, regulatorische und ökonomische Aspekte bezüglich der Implementierung (Image der Technologien, Investorentypen und deren Motivation und Handlungsoptionen, Geschäftsmodelle).

5.2 KWK

Aufgabe, Wechselwirkungen und Perspektiven im Strom-Wärme-System

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)⁹ ist ein Prozess, der zugleich Strom und Wärme/Kälte erzeugt. Die Energieträger werden wesentlich effizienter genutzt und Primärenergie wird eingespart. Aufgrund dessen wird der Ausbau von KWK sowohl von der Europäischen Union (EU-Richtlinie 2004/8/EG), wie auch von Deutschland (KWKG, EnEV, MAP, Energiesteuergesetz, EEWärmeG) unterstützt. Der Prozess selbst stellt bereits einen Schnittpunkt im Strom-Wärme-System dar. Die gekoppelte Erzeugung bedarf daher der zeitgleichen Nachfrage nach beiden Endenergien oder der Speicherung einer von beiden. Für Wärme und Kälte gibt es bereits gute Speichertechnologien, so dass die Gesamteffizienz auch dann gewahrt bleibt,

wenn die Nachfrage nach Strom und Wärme zeitlich auseinanderfällt. Für die Nutzung von Biomasse ist die KWK-Technologie in Deutschland notwendig, um die Effizienzziele zu erreichen. Der Einsatz wird zunehmend durch den Strombedarf gesteuert, um die fluktuierende Einspeisung der erneuerbaren Energien auszugleichen. Wärmeseitig bedürfen KWK-Anlagen Standorte nahe den Verbrauchszentren in Ballungsgebieten oder Industrie. Die Kapazitäten für die Versorgung mit Raumwärme und Warmwasser werden sich dabei den Gebäudestandards hin zum Passivhaus anpassen müssen, sodass dezentrale Nahwärme-Konzepte an Bedeutung gewinnen.

Marktdurchdringung der KWK im Wärmebereich

National hat der Ausbau von KWK-Anlagen zugenommen, was mitunter an der Anreizwirkung der Eigenerzeugungsprivilegien (Ersparnis der EEG-, KWK- und Offshore-Umlagen, Netzentgelte, Konzessionsabgaben, Stromsteuern sowie Steuerbegünstigungen bei Brennstoffen) liegt, welche die Wirtschaftlichkeit der Anlagen deutlich erhöhen. Dennoch sinkt der Anteil des KWK-Stroms an der Nettostromerzeugung, da Deutschland zunehmend mehr Strom in Kondensationskraftwerken erzeugt und exportiert. Dies kontrastiert unvorteilhaft mit dem offiziellen Ziel, bis zum Jahr 2020 einen KWK-Anteil von 25 % zu erreichen.

Neue KWK-Kleinanlagen mit 1 kW_{el} sind für Neubauten heutigen Dämmstandards konzipiert und in der Erprobung. Die Ausbaupotenziale liegen damit nicht nur in der Industrie und in Ballungsgebieten, sondern auch in der Wärmeversorgung von Gebäuden, die nicht an Wärmenetze angeschlossen sind. Mittels Investitionszuschüssen wird der Ausbau von Kleinanlagen bis 20 kW_{el} gefördert. Rund 11.000 der im Zeitraum von 2009 bis 2013 zugebauten und durch das KWKG geförderten 24.000 Anlagen liegen im Leistungsspektrum von 2 bis 10 kW_{el}. Das größte Potenzial besteht aber in der Industrie sowie im Ausbau und der Verdichtung bestehender Wärmenetze in Ballungsgebieten.

Potenziale für die weitere Optimierung und Forschungsbedarf

Die KWK ist eine technisch ausgereifte Technologie in den mittleren und großen Leistungsklassen. In den kleinen und sehr kleinen Leistungsklassen (z. B. für den dezentralen Einsatz in Einfamilienhäusern) gibt es bereits mehrere nationale wie internationale Hersteller, die erste Anlagen anbieten. Diese müssen ihre Langlebigkeit und Wirtschaftlichkeit noch unter Beweis stellen. Investitionskostenzuschüsse und Ein-

⁹ Aus Gründen der Lesbarkeit wird bei der Verwendung des Begriffs „Kraft-Wärme-Kopplung“ in diesem Text auf die explizite Benennung der Kälte-Komponente verzichtet, sie ist jedoch implizit mit eingeschlossen.

speiseprämien schaffen einen gewissen Ausgleich, doch fehlendes Wissen und mangelnde Akzeptanz sowie rechtliche und organisatorische Hürden sind noch zu überwinden.

Optimierungsbedarf besteht in den Wärmeverteilnetzen. Erhebungen verzeichnen dort teils erhebliche Effizienzeinbußen. Doch auch hier sind es weniger technische als vielmehr wirtschaftliche Rahmenbedingungen, die eine stärkere Nutzung der KWK bisher hemmen.

5.3 Wärmespeicher

Aufgabe, Wechselwirkungen und Perspektiven im Strom-Wärme-System

Wärmespeicher spielen derzeit in erster Linie im Niedertemperatur-Sektor als Pufferspeicher für Gebäude-Heizungssysteme eine Rolle. Zukünftig wird die Rolle von Nieder- und Hochtemperatur-Speichern jedoch insbesondere an der Schnittstelle zwischen Strom- und Wärmemarkt (Flexibilisierung der KWK, Power-to-Heat, Heat-to-Power) relevant sein, außerdem in der Einbindung höherer Anteile an Solarthermie in die Wärmeversorgung, für die industrielle Abwärmennutzung oder in Solarthermischen Kraftwerken (CSP). Im Wesentlichen kommt es darauf an, die Anforderungen integrierter Prozesse voneinander zu entkoppeln. An der Schnittstelle zwischen Strom- und Wärmesektor geschieht dies mit dem Ziel, die Flexibilität der Anlage sowohl in Bezug auf die Strom- und Wärmeseite zu erhöhen und dadurch die spezifischen Nachfrageprofile in beiden Sektoren in optimierter Weise zu decken.

Wärmespeicher zeichnen sich durch eine hohe Heterogenität in der Anwendung und der verwendeten Technologien aus. Im Vergleich zu Strom lässt sich Wärme verhältnismäßig einfach speichern. Die drei wichtigsten Vorzüge der Wärmespeicherung gegenüber anderen Speichertechnologien sind die vergleichsweise niedrigen Kosten, die hohe Zyklenfestigkeit und die hohe Ressourcengügsamkeit.

Solare Wärme (**Solarthermie**) ist ebenso wie Wind und PV nicht regelbar und schwankt signifikant im täglichen und jahreszeitlichen Rhythmus. Daher muss solare Wärme zwischengespeichert werden, um bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden zu können. Für niedrige solare Deckungsgrade des Gesamtwärmebedarfs – z. B. zur solaren Unterstützung der Warmwasserbereitung – reichen kleine Warmwassertagesspeicher aus, um das mittägliche Dargebotsmaximum bis zu den Bedarfsspitzen für Warmwasser – typischerweise am Vormittag und am Abend – speichern zu können. Eine Erhöhung des solaren Ertrages in einem Gebäude ist nur begrenzt durch alleinige Vergrößerung der solarthermischen Anlage erreichbar. Sollen auch signifikante Anteile des Heizwärmebedarfs solar gedeckt werden, sind bei Einzelgebäuden Mehrtageswärmespeicher (z. B. 800 Liter für ein EFH) für typische Kombianlagen mit ca. 25 % solarer Deckung des Gesamtwärmebedarfs, Wochenspeicher (z. B. 5.000 Liter für ein EFH) für SolarAktivHäuser mit ca. 60 % solarer Deckung und deutlich größere saisonale Speicher für eine solare Deckung von 90 % bis 100 % erforderlich. Die saisonale Speicherung der Wärme bietet sich insbesondere für Nahwärmenetze auf Quartiersebene an, da große Wärmespeicher mit z. B. 10.000 m³ Wasserinhalt ein sehr gutes Oberfläche-Volumenverhältnis aufweisen und den Ertragsüberschuss der Solarwärmeeanlage im Sommer mit geringen Verlusten zeitversetzt im Winter zur Beheizung bereitstellen können. Berechnungen zeigen, dass große saisonale Wärmespeicher langfristig in Verbindung mit Wärmenetzen eine unverzichtbare Komponente im Energiesystem darstellen.

KWK-Anlagen – seien es Heizkraftwerke, die in Fernwärmenetze einspeisen, seien es BHKWs zur dezentralen Objektversorgung – werden bislang überwiegend wärmegeführt gefahren und können so als „Must-Run“-Anlagen nicht flexibel auf den aktuellen Strombedarf reagieren. Der Einsatz von thermischen Speichern ermöglicht die zeitliche Entkopplung des Strom- und Wärme-Outputs. Im Falle einer geringen Stromnachfrage bei gleichzeitig hoher Wärmenachfrage kann Wärme aus dem Speicher ausgekoppelt werden, ohne dass die KWK-Anlage am Netz sein muss. Im Falle einer hohen Stromnachfrage ohne gleichzeitigen Wärmebedarf kann der Speicher geladen werden. Darüber hinaus können Wärmespeicher mit einer elektrischen Widerstandsheizung ausgerüstet werden, sodass zu Zeiten sehr niedriger oder gar negativer Strompreise der Wärmespeicher mit Strom aus dem Netz aufgeladen oder alternativ negative Regelernergie bereitgestellt werden kann.

Der betriebswirtschaftliche „Wert“ einer mittels Wärmespeicher flexibilisierten KWK-Anlage liegt darin begründet, dass der Anlagenbetreiber unabhängig

Bau eines saisonalen Wärmespeichers für ein solares Nahwärmenetz
© ZAE Bayern



von der aktuellen Wärmenachfrage auf die zukünftig erwartete größere Volatilität der Strompreise reagieren und zu Hochpreiszeiten Strom an der Börse anbieten kann, während er zu Niedrigpreiszeiten die Anlage herunterfahren kann. Im Falle sehr niedriger Strompreise kann mittels einer elektrischen Widerstandsheizung Wärme zu vergleichsweise geringen Kosten produziert werden. Diese liegen bei geeigneten energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen unter den Kosten einer brennstoffbasierten Wärmeerzeugung im Spitzenlastkessel. Darüber hinaus ermöglicht der Speicher auch die Teilnahme an Regelenergie- und Intradaymärkten. Der volkswirtschaftliche Wert des Speichers und somit einer flexiblen KWK ergibt sich insbesondere aus der Möglichkeit, höhere Anteile an erneuerbaren Energien in die Stromversorgung einzubinden, wenn die Leistung konventioneller „Must-Run“-Einheiten reduziert wird. Durch den Speicher können die Anlagen auch einen Beitrag zur gesicherten Leistung und daher einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten.

Der „Wert“ des Speichereinsatzes ist je nach Anwendung unterschiedlich: Abwärmenutzung und Einbindung von Solarthermie reduzieren Brennstoffverbrauch und -kosten. Speicher, die das Wärmemanagement unterstützen, ermöglichen eine geringere Dimensionierung und eine bessere Auslastung der konventionellen Wärmeerzeuger, die sich positiv auf Investitionskosten, Verschleiß, Effizienz und Emissionen auswirkt. Bei der Verstromung von Abwärme reduziert sich der Bedarf an extern zu beziehendem Strom.

Wärmepumpen in Kombination mit Warmwasserspeichern: Die Kombination einer Wärmepumpe mit einem Niedertemperatur-Speicher erlaubt eine stromgeführte Fahrweise des Wärmepumpen-Heizungssystems und ermöglicht die Verschiebung der Strom-Nachfrage. Die Wirtschaftlichkeit des Systems hängt signifikant von der zeitlichen Struktur der (Endkunden)-Strompreise, den Investitionskosten und der Effizienz des Gesamtsystems ab. Das System Wärmespeicher plus Wärmepumpe konkurriert mit anderen Lastmanagement- und Flexibilitätsoptionen.

Marktdurchdringung der Wärmespeicher

Solarthermie: Einzelne Forschungsvorhaben mit Pilotanlagen mit großen saisonalen Wärmespeichern haben gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, durch Einspeichern des Ertragsüberschusses im Sommer solare Deckungsgrade im Bereich von über 50 % über das ganze Jahr zu erhalten. Diese Speicher sind noch nicht wirtschaftlich. Bei weiterer technischer Optimierung, Kostenminimierung und gleichzeitiger Steigerung der Energiepreise kann jedoch langfristig für große Quartierspeicher der wirtschaftliche Bereich erreicht werden.

Da große Speicher aufgrund des günstigeren Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen geringere Verluste und deutlich geringere spezifische Investitionskosten aufweisen, werden saisonale Wärmespeicher überwiegend in solar unterstützten Nahwärmenetzen eingesetzt. Als thermische Speicher kommen vor allem Erdbecken, Kies-, Wasser-, Erdsonden- oder Aquiferspeicher zum Einsatz.

Thermische Speicher in KWK-gespeisten Nah- und Fernwärmenetzen sind in der Regel drucklose Heißwasserspeicher (bei ca. 90–99 °C), gelegentlich aber auch Dampfspeicher (120–130 °C) mit einer typischen Speichergröße bis zu 12–14 h der Wärmelast des Wärmenetzes. Hinzu kommen Aquiferspeicher mit langen Speicherzyklen von Tagen bis hin zu Monaten. Wärmespeicher in KWK-Anlagen sind mittlerweile eine etablierte Technologie. Große Heißwasserspeicher haben Marktreife erreicht, müssen aber, um ökonomisch gegen andere Flexibilitätsoptionen im Strommarkt zu bestehen, noch weitere Effizienzsteigerung und Kostensenkungspotenziale ausschöpfen.

Forschungsbedarf

Forschung muss dazu beitragen, Wärmespeichersysteme und -komponenten stärker zu standardisieren, um damit Kosten zu senken.

Weitere Forschung für Wärmespeichern sollte sich auch auf deren Systemintegration von richten. Dies betrifft insbesondere Langzeitspeicher für solare Wärme, Speicher in Wärmenetzen und in industriellen Prozessen sowie in der Objektversorgung. Die Kopplung des Wärme- und Stromsektors durch Optimierung der Speicherbeladung und Schichtung mit PV-Strom (direkt oder Umschichtung mit Wärmepumpe) ist hier ein wichtiger Forschungsgegenstand. Im Bereich saisonaler Wärmespeicher geht es um weitere technische Optimierung und Kostenminimierung, damit große Quartierspeicher wirtschaftlich betrieben werden können.

Für Hochtemperatur-Wärmespeicher besteht ein hoher Forschungsaufwand in der Technologieentwicklung. Grund hierfür ist eine hohe Anzahl an potenziellen Technologien zur Speicherung der Wärme. Viele technologische Ansätze z. B. für Latentwärmespeicherkonzepte oder thermochemische Speicher sind noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase. In der Energietechnik werden Latentwärmespeicher auf der Basis von Salzen zurzeit auf ihre Eignung für solarthermische Kraftwerke untersucht. Wichtige technische Herausforderungen der Forschung sind hier die Kopplung von Prozessen durch Speicher. Unterschiedliche Wärmeströme, Temperaturniveaus und Zeitpunkte der Verfügbarkeit an der Wärmequelle und Bedarf an der Wärmesenke müssen dabei mit Hilfe der Wärmespeicher in Einklang gebracht werden.

Zudem muss die Forschung die Entwicklung frei skalierbarer Wärmespeicher voranzutreiben, um eine standardisierte Massenanwendung zu ermöglichen. Im Bereich der thermochemischer Speicher verfolgen aktuelle Forschungsarbeiten das Ziel, neue Reaktionssysteme zu identifizieren und die gekoppelten Vorgänge aus Wärmetransport und Stofftransport zu beherrschen. Bei Latentwärmespeichern kommt es darauf an, Wärmetauscherstrukturen zu entwickeln, die trotz geringer Wärmeleitfähigkeit der verwendeten Materialien eine ausreichend hohe Be- und Entladeleistung ermöglichen.

Außerdem müssen die im Labor und als Pilotanlagen getesteten Konzepte auf Industriemaßstab skaliert und in Industrieprozesse integriert werden.

Es ist das Ziel der Forschung, Speicherwirkungsgrade von 90% bei deutlich geringeren Investitionskosten zu realisieren. Große Herausforderungen stellen bei großen Warmwasserspeichern die turbulenten Strömungen innerhalb des Speichers dar, die sowohl Speicherkapazität als auch Wirkungsgrad erheblich limitieren.

5.4 Heizen mit EE-Strom/Power to Heat (PtH)

PtH (Überschussstrom)

Aufgrund zunehmender Anteile an fluktuierenden EE im Stromnetz kommt es immer häufiger vor, dass der Netzeinspeisung aus EE kein entsprechender Strombedarf gegenübersteht. Dann sinken die Strompreise an der Börse auf nahezu Null oder sogar darunter. Wenn die dann noch laufenden konventionellen Kraftwerke nicht weiter herunterregelt werden können, kann es sinnvoll sein, den überschüssigen Strom zur Wärmeerzeugung zu nutzen, vorzugsweise in der Industrie oder in den großen Wärmespeichern der Fernwärmeversorgung. Diese hybriden Systeme, die hauptsächlich durch Gas-KWK oder Gas-Kessel versorgt werden, können durch einen Elektrodenkessel diesen Strom flexibel nutzen. Dadurch lassen sich Brennstoffe einsparen, mit denen sonst die Wärme erzeugt worden wäre. Dieses Verfahren zur Einsparung fossiler Energieträger ist effizienter und insbesondere technisch wesentlich einfacher und billiger als die Erzeugung von Gas aus Überschussstrom (Power to Gas, PtG). Zudem wird die Vorhaltung von negativer Regelleistung in Zeiten hoher EE-Einspeisung für PtH immer wichtiger werden.

Die energiewirtschaftliche Bedeutung von PtH aus Elektrodenkesseln ist aber noch marginal und wird auch bei EE-Anteilen unter 70 % an der Stromversorgung noch sehr beschränkt bleiben. Zwar beträgt der nationale „EE-Überschussstrom“ gemäß Netzentwicklungsplan für das Jahr 2035 und einem unter-

stelltem EE-Anteil von 67 % ca. 36 TWh (und damit ca. 6 % des Wärmebedarfs in den Bereichen Haushalte und Gewerbe-Handel-Dienstleistungen). Aber unter Berücksichtigung der Einbindung Deutschlands in Europa sowie der bestehenden Speicher und der neuen flexiblen Verbraucher im Bereich E-Mobilität und Wärmepumpen reduziert sich der „EE-Überschussstrom“ auf ca. 1 TWh. Das ist weit weniger als 1 % des Wärmebedarfs im Bereich Haushalte und Gewerbe-Handel-Dienstleistungen. Erst bei einer weiteren Erhöhung des EE-Ausbaus im Stromsektor wird PtH stark zunehmen, um den Strom, der dann nicht mehr von anderen effizienteren Anwendungen genutzt werden kann, flexibel zu verwenden.

In naher bis mittlerer Zukunft sind somit PtH-Technologien nur dann wirtschaftlich, wenn die Wärmeerzeugung mit dem überschüssigen EE-Strom sehr einfach und kostengünstig erfolgen kann und zu diesen Zeiten ein entsprechender Wärmebedarf vorhanden ist. Voraussetzungen sind eine ausreichende Stromleitungskapazität zwischen Erzeuger und Speicher, ein sehr günstiger Wärmeerzeuger (Heizstab), ausreichende und aufnahmebereite Wärmespeicherkapazitäten und ein ausreichender Wärmebedarf in angemessener Zeit nach Beladung des Wärmespeichers.

5.5 Wärmenetze und kommunale Wärmepläne

Wärmenetze sind eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung von effizienter KWK, Tiefengeothermie, kostengünstiger solarer Wärme und industrieller Abwärme. Häufig bleiben Potenziale ungenutzt, weil es in Deutschland noch zu wenige Wärmenetze gibt. Um Abhilfe zu schaffen, ist das EEWärmeG in seiner jetzigen Form wenig geeignet, da es auf einzelne Gebäude und nicht auf die Quartiersebene oder sonstige Siedlungseinheiten ausgerichtet ist. Neue Wärmenetze müssen von kollektiv wirksamen Entscheidungen getragen werden.

Als Initiatoren und Akteure zur Durchführung kollektiver Entscheidungen sind die Kommunen und deren Gremien besonders geeignet. In Dänemark hat die langjährige kommunale Wärmeplanung dazu beigetragen, dass dort bereits heute über 40 % des Wärmebedarfs aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden und bis zum Jahr 2035 eine Vollversorgung mit erneuerbarer Wärme angestrebt wird.

Jede Kommune hat ihre eigene, unverwechselbare Charakteristik. Dennoch treten bei der Erstellung von Wärmeplänen in allen Kommunen ähnliche Fragen mit strukturellem, technischem oder finanziellem Hintergrund auf. In diesen Fällen kann von den übergeordneten Verwaltungsebenen (Land oder Bund) Hilfestellung geleistet werden. Aufgabe der Wissen-

schaft ist es, erstens diejenigen Fragen zu identifizieren, die in jeder Gemeinde gestellt werden, und dann zweitens die Elemente zur Beantwortung dieser Fragen (z. B. Daten zu Technik und Kosten) in einem Katalog zusammenzufassen, der jeder Gemeinde zur Verfügung gestellt werden kann.

Darüber hinaus können von der Wissenschaft Mindestanforderungen an die Struktur eines Wärmeplanes ausgearbeitet werden, mit denen abgesichert wird, dass spätere Ausarbeitungen des Konzepts

möglich sind, dass die Ergebnisdarstellung auch für Außenstehende transparent ist, dass ein quantitativer Vergleich mit anderen Kommunen möglich wird und dass sich die Ziele der verschiedenen Gemeinden ohne die Gefahr von Doppelzählungen zu einem Gesamtziel auf Landes- oder Bundesebene aufaddieren lassen. Hierfür müssen Leitlinien erarbeitet werden, die den Umfang, die Vorgehensweise, die Dokumentation und die Struktur der Darstellung umreißen.

6 Empfehlungen für den Ausbau nachhaltiger Wärme- und Kälte-Technologien

6.1 Technologieübergreifende Empfehlungen

Der Gesetzgeber hat die Möglichkeit, den Wärmemarkt mit regulatorischen Instrumenten zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Verbreitung von EE zu beeinflussen. Die künftige Wärmepolitik sollte dabei folgende technologieübergreifenden Aspekte berücksichtigen:

- Eine beschleunigte Transformation des Wärmesektors erfordert **sowohl einen Technologieentwicklungsschub durch verstärkte F&E-Anstrengungen als auch verstärkte Markteinführungshilfen**.
- Die Bedeutung der einzelnen Wärmetechnologien für eine nachhaltige Wärmeversorgung ist nur aus einer ganzheitlichen Betrachtung des Energiesystems und der Verknüpfungen des Wärme-, Strom- und Mobilitätssektors zu bewerten. Deshalb müssen **Instrumente zur Bewertung der Rolle von Einzeltechnologien im Gesamtenergiesystem Strom-Wärme-Mobilität entwickelt werden**, wobei energetische, ökologische und ökonomische Aspekte zu berücksichtigen sind.
- Zur Erreichung der anspruchsvollen CO₂-Minderungsziele müssen prinzipiell alle technologischen Ansätze im Bereich Dämmung und EE-Wärme sowohl im Gebäudebestand als auch im Neubau genutzt werden. Um eine rasche Entwicklung von Technologien zu erreichen, die sich auf unterschiedlichem Entwicklungsstand bewegen, ist eine **technologiespezifische Unterstützung der F&E sowie der Markteinführung erforderlich**.
- Generell ist bei F&E und Markteinführung eine große **Bandbreite an nachhaltigen Versorgungsoptionen zu gewährleisten**, da sowohl die Investoren in ihren Motivationen und Argumenten als auch die Anwendungsfälle sehr heterogen sind und es deshalb nicht eine ideale Lösung gibt, sondern auch künftig eine große Bandbreite von Lösungen eingesetzt werden wird.
- Die gesetzlichen **Effizienzanforderungen im Neubau** müssen weiterhin schrittweise erhöht werden, um die Weiterentwicklung der Effizienz- und erneuerbaren Wärmetechnik zu stimulieren.
- **Künftig muss der Gebäudebestand wesentlich stärker adressiert werden**, um entweder durch Anreize (wie z. B. MAP oder Steuerabschreibung) oder durch Pflichten (wie z. B. Sanierungspflicht) eine signifikante Erhöhung der energetischen Sanierungsrate auf 3 % jährlich zu erreichen. Die Instrumente und ihre Wirksamkeit sind bekannt, sodass die Politik entscheidungsfähig ist.
- Aufgrund der hohen Heterogenität der Marktakteure, Investoren und Technologien **bedarf eine erfolgreiche Wärmewende der Klarheit und Kontinuität in der Politik**, um nennenswerte Ergebnisse zu erzielen.
- EEWärmeG und EnEV sowie alle anderen Instrumente im Wärmemarkt sollten auf ihre **Verständlichkeit und Klarheit** bezüglich ihrer Wirkung auf den Wärmemarkt hin untersucht und besser aufeinander abgestimmt werden, um Zielsetzungen und Maßnahmen zur Deckung zu bringen. Außerdem müssen die Praxistauglichkeit und Wirksamkeit der Instrumente überprüft werden.

- Fördermaßnahmen im Wärmesektor sollten, den positiven Erfahrungen aus dem Stromsektor folgend, stärker **ertragsorientiert** ausgestaltet werden und sich an der Differenz zur Kostendeckung orientieren. Deshalb sollten alle EE-Wärmeerzeugungsanlagen nachvollziehbare Einrichtungen zur Effizienzkontrolle bzw. Ertragskontrolle aufweisen. Dies könnte z. B. im EEWärmeG festgelegt werden.
- **Umsetzungskontrollen** von gesetzlichen Anforderungen sollten auf Wirksamkeit hin überprüft werden und in allen Bundesländern zur Pflicht werden.
- Die bisher eher auf Einzelanlagen ausgerichteten Fördermaßnahmen müssen durch **systemtechnische Ansätze** ergänzt werden.
- Sinnvoll ist eine verbindliche Einführung von **Gebäudesanierungsfahrplänen**. Dadurch soll vermieden werden, dass einzelne Sanierungsschritte unkoordiniert und möglicherweise unter Zeitdruck erfolgen. Nach Abschluss einer ganzen Kette von Teilsanierungen soll sich ein effizientes Ganzes ergeben.

Zur Steuerung der Wärmewende ist es erforderlich, dass

- die **Wirksamkeit** von umgesetzten technischen Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung regelmäßig überprüft wird, wobei der ökonomische Aufwand und die aus der Planung resultierenden Erwartungswerte berücksichtigt werden,
- **bei unter den Erwartungen liegenden Ergebnissen** die Systeme entlang der vollständigen Wirkungskette von den Komponenten und dem System über Planung, Installation und Betrieb analysiert werden und
- die Ergebnisse aus diesen transdisziplinär durchzuführenden Felduntersuchungen genutzt werden, um im Rahmen eines langfristig angelegten **kontinuierlichen Verbesserungsprozesses** eine zielgerichtete Planung der Wärmewende zu erreichen.

Darüber hinaus sind folgende übergeordnete Punkte bei der Weiterentwicklung des Wärmemarktes zu berücksichtigen:

- Eine wesentliche Zukunftsaufgabe ist die **Auflösung des Investitionsstaus** in der Wärmeanlagentechnik. Wenn Gebäudeeigentümer ihre Wärmeanlagen modernisieren, sollte die Prüfung der Möglichkeiten zur Integration erneuerbarer Wärme zur Pflicht werden. Dazu gehört auch der Übergang von Einzelgebäudeversorgungen zu

Quartiers- bzw. Nahwärme-Versorgungsstrukturen mit KWK oder EE. Da Quartiersversorgungen nicht von den einzelnen Gebäudeeigentümern geprüft werden können, sind Konzepte zu entwickeln, damit die Prüfung von übergeordneten Institutionen durchgeführt werden kann (siehe Erstellung von kommunalen Wärmeplänen, Kap. 5.5).

- **Nahwärmenetze mit EE und KWK** sind für die Umsetzung nachhaltiger Wärmeversorgungsstrukturen unverzichtbar. Deren Ausbau erfolgt allerdings unter den aktuellen rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht mit ausreichender Geschwindigkeit. Deshalb müssen Ausbaupläne auf Basis von fundierten Hemmnisanalysen wissenschaftlich fundiert erarbeitet und notwendige politische Instrumente entwickelt werden.
- In **Felduntersuchungen und Evaluationen** neuer Technologien müssen kontinuierlich Umsetzungserfahrungen gesammelt und mögliche Konsequenzen auf die Markteinführungspolitik geprüft werden.
- **Kommunikationsmaßnahmen** zur Reduzierung sozio-kultureller Sanierungshemmnisse sollten verstärkt werden (Best-Practice-Sammlungen, Amortisationsrechner, Imagekampagnen).

6.2 Systemintegration von Wärme-/Kältetechnologien

Die Systemintegration der Wärme- und Kältebereitstellung aus erneuerbaren Energien umfasst eine gemeinsame Betrachtung von Wärmebedarfsreduzierung, abgestimmter Nutzung verschiedener erneuerbarer Energiequellen und ihrer zielgerichteten Vernetzung mit dem Strom- und Mobilitätssektor.

Um das Zusammenspiel der Sanierung von Heizungsanlagen mit Maßnahmen der Wärmebedarfsminderung zu verbessern, sind neben Auslegungs- und Beratungswerkzeugen auch technische Optionen bereitzustellen, die eine einfache Anpassung der Kesselleistungen erlauben (z. B. Leihheizgeräte). Für die Umstellung der Heizenergieversorgung auf erneuerbare Energien gilt es, die unterschiedlichen erneuerbaren Wärmequellen im optimierten Verbund zu betrachten. Es müssen Beratungs- und Planungswerkzeuge entwickelt werden, die den jeweils ökologisch und ökonomisch günstigsten Mix bestimmen und dem Nutzer vermitteln. Um die sich aus der Kombination der verschiedenen erneuerbaren Energieträger (einschließlich Abwärme und Netzüberschussstrom) ergebenden Vorteile auszuschöpfen, müssen zum einen die Systemkomponenten für die Teilanwendun-

gen optimiert und leicht verschaltbar gestaltet werden. Zum anderen müssen entsprechende intelligente Verbundsystemregler entwickelt und standardisiert angeboten werden.

Über diese rein wärmetechnischen Aspekte hinaus muss der Systembeitrag von Wärmeversorgungsanlagen in den Strom- und Mobilitätsmarkt integriert werden. KWK-Anlagen in unterschiedlichen Leistungsbereichen können durch einen angepassten Betrieb zur lokalen Stromnetzstabilisierung und zur Bereitstellung der Residuallast beitragen und gleichzeitig eine sichere Wärmeversorgung bieten. Weitergehende Wechselwirkungen zwischen dem Strom- und Wärmemarkt bestehen in heute bereits etablierten PtH-Anwendungen, in der Demonstration befindlichen PtG-Anwendungen sowie mittelfristig in weitergehenden Kombinationen (z. B. im vorausschauend geplanten Einsatz von Wärmepumpen).

Bei der zunehmenden Integration der Wärmeversorgung in ein Strom-Wärme- und Kälte-System sind u. a. folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- In der Wärmeversorgung wird es auch künftig eine Vielfalt von Lösungen für unterschiedliche Einsatzbereiche, Verbrauchssituationen, Investoren etc. geben. Es sind Konzepte zur Systemintegration zu entwickeln, die diese Vielfalt ermöglichen und daraus Vorteile gewinnen.
- Infrastrukturentscheidungen für das Wärmesystem (z. B. Nahwärmenetze, Gasnetze) müssen auf ein integriertes Strom-Wärme-System abzielen. Deshalb ist es erforderlich, Methoden zur Entscheidungsfindung und Geschäftsmodelle zur Umsetzung zu entwickeln.
- Die einzelnen Bestandteile des Stromsystems (Anteile der verschiedenen EE an der Stromerzeugung, Einführung von Stromspeichern, Smart-Grid-Technologien, Regelkraftwerke etc.) müssen im Rahmen einer zunehmenden Integration des Strom-Wärme-Systems überprüft werden, um ihre Auswirkungen auf den Wärmesektor zu bewerten.

6.3 Solare Wärme

Die wesentlichen technischen Entwicklungspotenziale für die Solare Wärme liegen

- in der Standardisierung mit robusten und kostengünstigen Kompaktsystemen (Integration von solarthermischem und zweitem Wärmeerzeuger),
- in Gebäuden mit höheren solaren Deckungsanteilen an der Wärmeversorgung,
- in der Erschließung der solarthermischen Prozesswärme und



*Außenteststand des TestLab Solar Thermal Systems des
© Fraunhofer ISE*

- in solar unterstützten Wärmenetzen.
Zentrale Zielsetzung ist eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit durch Kostensenkung der Solarwärme. Um dies zu erreichen, sind geeignete regulatorische Rahmenbedingungen und eine Ausweitung der Forschung erforderlich.

Kostensenkungen: Die Installationskosten betragen bei kleinen thermischen Solaranlagen derzeit etwa 50% der gesamten Anlagenkosten. Kostensenkungen können durch eine weitere Standardisierung der Solaranlagen, vereinfachte Montagekonzepte und deren Integration in die Gebäudehülle sowie durch eine optimierte Einbindung in die Gebäudewärmeversorgung erreicht werden. Kompakte, technisch einfache und robuste Lösungen stehen dabei im Vordergrund. Das umfasst die optimierte Anpassung der Nachheizung (Kessel oder Wärmepumpe) an die Sonnenwärme und die Integration beider Energiequellen zu einem Wärmeerzeuger. Vorteile sind einfachere Installation und Wartung sowie vereinfachte Bedienung und ein reduziertes Fehlerrisiko, wodurch die Kosten sinken. Mit Kompaktsystemen wird der Kundennutzen leichter vermittelbar, was den Vertriebs Erfolg erhöht. Dies ermöglicht auch in den Vertriebsstrukturen eine Kostenreduktion, die bei der Komponentenherstellung vielfach schon erzielt wurde.

Um in der Markteinführung der Solarthermie eine dynamische Entwicklung anzustoßen, werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- **Entwicklung von Roadmaps** mit überprüf-
baren Zielen, und zwar sowohl zur Markt-
entwicklung durch Förderprogramme, gesetzliche
Regelungen, Öffentlichkeitsarbeit und Normen
als auch zu F&E mit dem Ziel, die Kosten zu sen-
ken, Technologiefortschritte und Innovationen zu
erreichen sowie Marktsegmente und Anwen-
dungsfelder zu entwickeln.
- **Erhöhung der Mindestanforderung des EE-
WärmeG:** Der geforderte Beitrag durch Sonnen-
kollektoren (zurzeit 15 % des Gesamtwärmebe-

Biogasanlage
 der Naturgas Quesitz
 GmbH
 © DBFZ



darfs) sollte deutlich angehoben werden, da im Zuge des steigenden Wärmestandards im Neubaubereich der Raumheizbedarf weiter abnimmt und der Anteil der Warmwasserbereitstellung und der Wärmeverteilung kontinuierlich ansteigt. Die nach EEWärmeG pauschaliert geforderten Kollektorflächen sind entsprechend anzuheben.

- **Erhöhung der Fördersätze in den bestehenden Förderprogrammen:** Solarthermische Anlagen sollten im MAP und von der KfW deutlich stärker gefördert werden mit dem Ziel, die Deckungslücke zur Wirtschaftlichkeit zu schließen.
- **Systematische Markterschließung der Solarwärme für Mehrfamilienhäuser und Gebäudeensembles** durch Förderprogramme, Ansprache der Wohnungswirtschaft und begleitende Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte.
- **Verbesserung der Randbedingungen für neue Wärmenetze** auch außerhalb von Ballungsräumen, z. B. durch Anreize zur Erstellung kommunaler Wärmepläne.
- **Verbesserung der technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen für die Einspeisung von Niedertemperaturwärme in Wärmenetze**, z. B. durch Schaffung von Anreizen zur Verringerung der Temperaturen in bestehenden Wärmenetzen und Entwicklung, Etablierung und Bewertung von neuen Niedertemperaturnetzen (Low-Ex-Konzepte).
- **Weiterentwicklung der einschlägigen Normen und Regeln** im Wärmebereich mit dem Ziel, den Nutzen der solarthermischen Komponenten und Anlagen sachgerecht abzubilden und unbillige Hemmnisse für deren Verbreitung abzubauen.
- **Implementierung von Verfahren zur Garantie von solaren Erträgen** in größeren Anlagen für Mehrfamilienhäuser, Gewerbe und Wärme-

netze mit dem Ziel, die geplante Wirtschaftlichkeit von Investitionen nachweisbar zu erreichen.

- **Unterstützende Maßnahmen zur weiteren systematischen Erschließung von solaren Prozesswärmeanlagen**, unter Beibehaltung der Förderquote, mit Definition und Überprüfung von Kostensenkungszielen.
- **Verstärkte Informationen über die Bedeutung der Solarthermie als Baustein einer nachhaltigen Wärmeversorgung**, um sie bei potenziellen Anwendern, Planern und Installateuren bekannter und attraktiver zu machen. Dazu gehört auch eine stärkere Bewerbung der Förderprogramme wie auch integrierte Weiterbildungs- und Schulungssysteme für Planer und Installateure.

6.4 Biomasse

Biomasse ist eine hochwertige und begrenzte Ressource mit vielfachen Nutzungsoptionen (z. B. Ernährung, Futtermittel, Material und Energie) und darüber hinaus gehenden Funktionen im Ökosystem (z. B. Biodiversität, Erholungsräume). Sie wird im Zuge der aus Klimaschutzgründen verfolgten Substitution fossiler Kohlenstoffquellen für Energie und Materialien (Bioökonomie) und aufgrund der weiter wachsenden Weltbevölkerung und ihrer Ansprüche künftig verstärkt nachgefragt werden. Prinzipiell muss die Biomassebereitstellung und -nutzung unter nachhaltigen Bedingungen erfolgen und bei der Biomassegewinnung ist die Erhaltung der Schutz- und Erholungsfunktion der Natur sicherzustellen. Der Ernährungssicherung muss vor der energetischen Nutzung der Biomasse Vorrang eingeräumt werden und in der Bioökonomie ist die stoffliche Verwendung in Nutzungskaskaden anzustreben.

Für die energetische Biomassenutzung ergeben sich daraus folgende Empfehlungen:

- die **Bereitstellung von Bioenergie** sollte nachrangig zu anderen erneuerbaren Lösungen erfolgen, niedrigere oder vergleichbare Kosten aufweisen, und außerdem auf eine höchstmögliche Effizienz (mindestens 80 % Gesamtnutzungsgrad) im Energiesystem abstellen (KWK-Lösungen mit stromnetzstabilisierender Wirkung; Stromkennzahl mindestens 1).
- Generell ist eine bessere **Integration von Biomassekonversionsanlagen** in das Wärmeversorgungskonzept von Gebäuden und Quartieren im Verbund mit anderen erneuerbaren Wärmequellen zu realisieren, um hohe Jahresnutzungsgrade des Gesamtkonzepts zu gewährleisten und

um die Speicherfähigkeit der Biomasse optimal auszunutzen (z. B. kostengünstiges Back-Up für andere erneuerbare Wärmequellen mittels Einzelraumfeuerungen mit Wassertaschen).

- **Wärmenetzen** sollte bei ökonomischer und ökologischer Vorteilhaftigkeit unter Berücksichtigung der Effekte des demographischen Wandels Vorrang vor der Nutzung von Biomasse in Einzelraumfeuerungsanlagen eingeräumt werden. In der derzeitigen Wärmeversorgungsstruktur gibt es noch vielfältige Optionen, um mittels einer engen Verzahnung von Infrastruktur- und Bauleitplanung (Wärmekataster) zentrale Wärmeversorgungs-konzepte unter Einbeziehung vorhandener oder neuer Wärmenetze zu identifizieren und bevorzugt umzusetzen.
- **Nicht in Wärmenetze integrierte Biomasse-heizanlagen** mit dem Ziel einer alleinigen Abdeckung der Wärmebedarfe aus Biomasse sollten sich zunehmend auf den energetisch nicht oder nur schwer sanierungsfähigen Altbaubestand (z. B. denkmalgeschützte Gebäude oder Gebäude mit erhaltenswerter Fassade) konzentrieren.
- Der weitere Ausbau der **Wärme aus Biogas** muss unter den derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen künftig aus der Optimierung des Anlagenbestandes resultieren. Ansätze im Sinne eines „Anlagenpoolings“ zur Umsetzung angepasster Wärmenetze, zur bedarfsgerechten Stromerzeugung sowie zur Ermöglichung der Gasaufbereitung und -einspeisung sollten daher weiter entwickelt werden.
- Der direkte Bezug von aufbereitetem **Biogas (Biomethan) über das Erdgasnetz** ist zwar seit 2009 möglich, kann aber im Sinne des EEWärmeG nur in Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden. Dies sollte, angesichts der vorhandenen ökobilanziellen Einschätzungen (KWK vor Treibstoff vor Wärme), auch weiterhin so gehandhabt werden. Aus dem gleichen Grund sollte auch der Einsatz flüssiger Bioenergieträger im EEWärmeG auf die Nutzung in KWK-Anlagen beschränkt werden. Insbesondere da in der Öffentlichkeit, trotz vorhandener Nachhaltigkeitsverordnung, beim Einsatz von flüssigen Bioenergieträgern aus nachwachsenden Rohstoffen die Nachhaltigkeitsbedenken besonders hoch sind.
- Bei der **Weiterentwicklung des EEWärmeG** sollten sowohl die hier vorgeschlagenen Ansätze integriert als auch für alle Kessel und Öfen technische Mindeststandards vorausgesetzt werden.
- Weiterhin sollten die technischen und rechtlichen Voraussetzungen geschaffen werden, um im Wärmebereich künftig verstärkt **nicht-holzartige**

Festbrennstoffe einsetzen zu können. Dabei sollte die regionale Verfügbarkeit biogener Reststoffe und Nebenprodukte besondere Beachtung finden.

- Angesichts der zunehmenden **stofflichen Biomassenutzung** sind Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine vollständige und effiziente Nutzung der (anteilig) biogenen Abwärme aus thermischen Abfallbehandlungsanlagen fördern. Dabei ist die energetische Optimierung der gesamten Reststoffkette einschließlich der Abfallverbrennungsanlagen und der gegebenenfalls noch vorhandenen freien Kapazitäten dringend erforderlich, um kontaminierte Biomassen aus der vorhergehenden stofflichen Verwertung effizient zu nutzen.
- Die **Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken** kann kurzfristig eine Minderung der Treibhausgasemissionen ermöglichen. Diese darf aber nur unter strikter Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien – auch bei Importen – und hoher Effizienz der Energieverwertung (KWK) stattfinden. Keinesfalls darf der Betrieb von Kohlekraftwerken durch die Mitverbrennung zeitlich verlängert werden.
- Essentiell für eine zielführende Weiterentwicklung des erneuerbaren Wärmemarktes ist ein zeitnahes **Monitoring**. Hier besteht insbesondere bei den Biomassefeuerungsanlagen ein erheblicher Nachholbedarf, der in enger Zusammenarbeit mit dem Schornsteinfegerhandwerk zeitnah angegangen werden sollte.

Insgesamt sollte Biomasse zukünftig bevorzugt für die Systemintegration aller erneuerbaren Energien genutzt werden. Das heißt, vorrangig sind erneuerbare Wärmeangebote aus der Solarthermie, von effizienten Wärmepumpen, aus der Abwärme und aus Überschussstrom zu erschließen. Biomasse sollte dann mittelfristig nur noch die verbleibenden Bedarfslücken schließen. Deshalb ist eine maßgebliche Weiterentwicklung der Flexibilität und der regelungstechnischen Einbindung und Vernetzung der Biomassefeuerungsanlagen in kombinierte Wärmeversorgungs-konzepte voranzutreiben. Dabei sollte – unter Beibehaltung hoher Effizienzen der Einzeltechnologien – kurzfristig durch geeignete Regelungskonzepte der Jahresnutzungsgrad kombinierter Systeme um mindestens 5 bis 10 Prozentpunkte angehoben werden. Außerdem kann Biomasse als Brennstoff in KWK auch Strom bereitstellen. Auch hier muss die Entwicklung der notwendigen Integrationskonzepte zur Absicherung der Stromnetzstabilität und der Versorgungssicherheit gefördert werden.

6.5 Wärmepumpen

Folgende Aktivitäten sollten zum effizienten Einsatz von Wärmepumpen umgesetzt werden:

- **Abbau der regulatorischen und betriebswirtschaftlichen Hemmnisse** bei der Installation von Erdwärmesonden wenigstens in den geologisch unkritischen Gebieten, da erdgekoppelte Wärmepumpen grundsätzlich effizienter sind als Luft-Wärmepumpen.
- Verstärkter Einsatz von effizienten **Wärmepumpen im Gebäudebestand** (z. B. Hybridsysteme, Einsatz in Heizungsanlagen mit reduzierter Betriebstemperatur).
- **Qualitätskontrollen** zur Erhöhung der durchschnittlichen Arbeitszahlen von Wärmepumpen.
- Verstärkung der **Forschungs- und Entwicklungsarbeiten** im Bereich effizienter Wärmepumpen und Systemeinbindung.
- Verbesserung der **Datengrundlage**, um die Effizienz von Wärmepumpen durch Maßnahmen im Bereich des installierenden Handwerks zu verbessern. Hilfreich wäre die Durchführung des Evaluationsprogramms, das in den Richtlinien zum Marktanzreizprogramm der Bundesregierung schon 2008 angekündigt wurde.

6.6 Kälte

Bei der Umwandlung von erneuerbarer Wärme in Kälte ist der benötigte Wärmeaufwand erheblich. Bei der Gestaltung von regulatorischen Instrumenten für Wärme und Kälte aus erneuerbaren Energien könnte diesem Sachverhalt durch eine veränderte Gewichtung in der Transformation erneuerbarer Energie in Kälte Rechnung getragen. Als Beispiel kann pro Energieeinheit Nutzkälte eine Energieeinheit erneuerbarer Wärme größer 1 angesetzt werden.

Die elektrisch betriebene Kompressionskältetechnik sollte ins EEWärmeG aufgenommen werden, weil dadurch PV-Strom genutzt werden kann und die solarthermische Kühlung in diesem Leistungssegment derzeit nur begrenzt wirtschaftlich konkurrenzfähig ist. Es muss durch geeignete regelungstechnische und anlagentechnische Merkmale (z. B. Kältespeicher, Betrieb der Kältemaschine nur bei ausreichender PV-Leistung, usw.) sichergestellt werden, dass PV-Strom vor Ort für die Kälteversorgung eingesetzt wird. Außerdem sollte sichergestellt sein, dass die passive Gebäudekühlung (durch Verschattung, Reduzierung interner Wärmelasten und durch freie Kühlung) Vorrang vor der aktiven Kühlung hat.

6.7 Tiefengeothermie

Folgende Aktivitätsfelder zur Entwicklung einer Wärmeversorgung aus tiefen geothermischen Quellen sind von zentraler Bedeutung:

- Das **geologische Grundlagenwissen** ist durch geeignete wissenschaftliche Exploration zu fördern mit dem Ziel, relevante geologische Wissenslücken zu schließen und eine öffentlich zugängliche Datenbasis zu schaffen. Diese wissenschaftliche Maßnahme entlastet interessierte Wirtschaftsunternehmen von kostenintensiver Explorationstätigkeit und dient der allgemeinen Senkung des geologischen Fündigkeitsrisikos. In diesem Zusammenhang geht es auch um eine unabhängige Bewertung sicherheitsrelevanter geologischer Fragestellungen.
- **Neue Technologien** sollten im Rahmen von Demonstrationsprojekten unter Berücksichtigung der Wärmebedarfsstrukturen von den Teilnehmern am Wärmemarkt implementiert werden. Öffentliche Investitionshilfen bei der Technologieentwicklung und dem Aufbau von Wärmenetzen sind erforderlich.
- Verstärkung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Wechselwirkungen von untertäglichem Geschehen und obertägigem Anlagenbetrieb zur **Steigerung der Systemverlässlichkeit**, insbesondere bei Temperaturen oberhalb von 100 °C und bei der Nutzung komplexer Thermalwasserfluide.
- Tiefengeothermische Projekte sollten bei den vorgeschriebenen **berg- und kommunalrechtlichen Genehmigungsverfahren** politisch unterstützt werden, um den strukturellen Vorteil der konventionellen Versorgung aus fossilen Brennstoffen auszugleichen, die als Vergleichstechnologie die Wirtschaftlichkeitsbewertung der tiefen Geothermie maßgeblich beeinflusst. In diesem Zusammenhang könnte eine Liberalisierung der urbanen Wärmenetze nach dem Vorbild der Strom- und Erdgasnetze zur Integration der tiefen Geothermie in den Wärmemarkt entscheidend beitragen.

6.8 KWK

KWK und Wärmespeicher sind Bindeglieder zwischen dem Strom- und Wärmemarkt und spielen eine wichtige Rolle bei der Umsetzung der Energiewende. Die für das Jahr 2020 gesetzten **Ziele zum Ausbau der KWK** sollten weiterhin verfolgt und geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um diese zu erreichen. Der Ausbau der KWK ist notwendig, um energieeffiziente, flexibel regelbare Stromerzeugungskapazitäten zum

Ausgleich der Residuallast zur Verfügung zu haben, die hohen ökologischen Ansprüchen genügen. Die im Grünbuch genannten Ansätze für die Weiterentwicklung des KWKG (KWK unter Nutzung von Speicheroptionen stärker flexibilisieren, verstärkter Einsatz für Systemdienstleistungen und vorrangige Förderung emissionsarmer Anlagen) weisen in die richtige Richtung.

Die kurzfristigen Maßnahmen sollten sich auf die **Verbesserung der wirtschaftlichen Situation** der KWK konzentrieren, um den Erhalt und weiteren Ausbau von Anlagen sicherzustellen. Ziel ist eine Vermeidung von Technologie-Lock-Ins: Technologieentwicklungen zur Bereitstellung von Flexibilität im Strom-Wärmesystem sollte sichergestellt werden, auch wenn diese zum jetzigen Zeitpunkt nur eingeschränkt wirtschaftlich sind. Niedrige Börsenstrompreise hemmen aktuell den Betrieb und den Ausbau der KWK und damit auch eine kostengünstige und effiziente Flexibilitätsoption durch die Kopplung von KWK mit Speichern. Nah- und Fernwärmeversorgungen sollten durch gezielte Maßnahmen gefördert werden (Beispiel Dänemark), da sie langfristig einen wichtigen Beitrag zur Kosteneffizienz des Energiesystems und zu einer hohen Systemstabilität leisten. Der FVEE schließt sich dem Vorschlag des Begleitforschungsvorhabens zum EEWärmeG an, vorerst auf die Forderung nach einem anteiligen Einsatz von EE im Rahmen der Ersatzmaßnahme KWK (siehe Art. 13 Abs. 2 Unterabsatz 3 der EE-RL 2009/28/EG) zu verzichten, um die Wirtschaftlichkeit der KWK-Technologie und damit die europarechtlich gewünschte Marktdurchdringung zu wahren. Die Förderdetails sollten aber so ausgestaltet werden, dass der Ausbau anderer erneuerbarer Energien (etwa durch Beiträge der Solarthermie in den Sommermonaten) nicht behindert wird.

6.9 Wärmespeicher

Für marktfähige Technologien hat sich die Förderung von Wärmespeichern im Rahmen des Marktanreizprogramms und des KWKG-Gesetzes als erstes wirksames Mittel erwiesen. Die Vergütung für Speicherleistung sollte in den kommenden Jahren sinnvoll harmonisiert und Anreize sollten zielkonform ausgerichtet werden.

- Die Flexibilisierung der KWK durch Wärmespeicher ist aus Sicht der System- und Versorgungssicherheit und des Klimaschutzes in der langfristigen Perspektive zielführend.
- Die Förderung von Wärmespeichern sollte eine **langfristige Kosteneffizienz** anstreben. Zunächst sollten Anreize geschaffen werden, größere Anlagen in wärmegeführten Wärmenetzen



*Keramik-Materialien
im Test als
Wärmespeicher*
© DLR

mit Wärmespeichern nachzurüsten und zu einem späteren Zeitpunkt kleinere Anlagen, deren Nachrüstung und Einbindung ins System deutlich komplizierter und kostenintensiver ist. Davon unbenommen sollte die Fortführung der Wärmespeicherförderung mittels Investitionszuschüssen sichergestellt werden.

- Hemmnisse bei der **Sektorkopplung zwischen Strom und Wärme** sollten abgebaut werden. Anreize im Strom- und Wärmemarkt müssen harmonisiert und ein einheitlicher regulatorischer Rahmen der Sektoren geschaffen werden. Derzeit ist der Wärmemarkt in Bezug auf CO₂-Ziele, Anteil erneuerbarer Energien und Energieeffizienz nicht im gleichen Maße wie der Strommarkt reguliert und die Anreize reichen nicht aus, um die gewünschte Marktdynamik zu erreichen. So hat z. B. die Vergütung für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EEG) kein entsprechendes Äquivalent im Wärmemarkt. Durch Schaffung von zielkonformen Anreizen im Wärmemarkt steigen mittelfristig der Bedarf und die Wirtschaftlichkeit von Wärmespeicherlösungen.
- Wärmespeicher können zur Systemstabilität beitragen. Deshalb muss der Zugang der Nachfrageseite zur **Bereitstellung von Systemdienstleistungen** im Strommarkt (Regelenergie und Intraday-Markt, sowie Reservekapazitäten) uneingeschränkt gewährleistet werden.

Viele Wärmespeichertechnologien befinden sich noch im Forschungsstadium. Marktbasierte Anreiz- und Fördermechanismen greifen hier zu kurz. Pilotprojekte im Bereich Hochtemperatur- und Langzeitspeicherung zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung der Speicher und Einbindung in Industrie- und Kraftwerksprozesse sind weiterhin dringend erforderlich und sollten vorrangig gefördert werden. Für kostengünstige Wärmespeicher sind die im Kap. 5.3 genannten Forschungsaktivitäten zu verstärken.

6.10 Power to Heat (PtH)

Derzeit gibt es noch gravierende Hemmnisse beim Einsatz von PtH, da der Überschussstrom an der Börse zwar nahezu kostenfrei bezogen werden kann, aber vom Endverbraucher dennoch die üblichen Aufschläge für Netznutzung, EEG-Umlage sowie die Steuern zu bezahlen sind. Hier sollten Regelungen entwickelt werden, die die Nutzung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien erleichtern. Dabei ist darauf zu achten, dass nur Überschussstrom verheizt wird und nicht etwa ein zusätzlicher, aus konventionellen Kraftwerken zu deckender Strombedarf generiert wird, wie es beispielsweise beim Neubau von Nachtspeicherheizungen der Fall ist. Ziel der Regelungen ist es, dass das volkswirtschaftlich unsinnige Abschalten von PV- oder Windenergieanlagen vermieden wird.

Sowohl für den Umgang mit negativen Strompreisen als auch für die Vermeidung von Netzengpässen gibt es konkrete Vorschläge zur Anpassung von heutigen Regelungen im Strommarkt, so dass Strom aus erneuerbaren Energien, der bisher abgeregelt wird, im Wärmesektor künftig betriebswirtschaftlich sinnvoll genutzt werden kann. Dazu gehören eine Absenkung der EEG-Umlage für diesen „Überschuss“-Strom sowie bei mangelnder Durchleitungskapazität Maßnahmen, die dessen erzeugernahe Nutzung ermöglichen. Hieraus können Kostenentlastungen für den Endverbraucher resultieren. Eine technologieneutrale Alternative zu einer Absenkung der EEG-Umlage für PtH stellt die Einführung einer dynamischen EEG-Umlage dar.

6.11 Wärmenetze und kommunale Wärmepläne

Die Energiewende kann auf lokaler Ebene durch eine integrale Planung und Umsetzung von Kommunen meist kostengünstiger und erfolgreicher umgesetzt werden als durch unkoordinierten Aktivitäten einzel-

ner Bauherren. Kommunen verfügen über vielerlei Kompetenzen mit kollektiven Auswirkungen, z. B. in der Flächennutzungs- und Bauleitplanung, Wasserver- und Abwasserentsorgung oder in der Ausweisung und Förderung von Sanierungsgebieten. Um diese Kompetenzen auch für die Energiewende zu nutzen, sollte das Kompetenz- und Aufgabenspektrum der Kommune im Bereich der Daseinsfürsorge ergänzt werden mit der **Zuständigkeit für die Erstellung von langfristig angelegten Wärmeplänen**. Dazu sind folgende Regelungen erforderlich:

- Erweiterung des Zuständigkeitsbereichs der Kommunen.
- Hilfen von Bund oder Land bei der Erstellung von Wärmeplänen, z. B. zur Erstellung von landes- oder bundesweiten Wärmeatlanten, die von jedem Gebäude Lage, Grundfläche, Volumen, Dachausrichtung und Schätzwert für den Wärmebedarf enthalten. Die Daten wären in einer GIS-kompatiblen (Geographisches Informationssystem) Form so aufzubereiten, dass auf der kommunalen Ebene Ergänzungen und weitere Auswertungen mit dem zur Verfügung gestellten GIS-System möglich sind.
- Vorgaben für den strukturellen Aufbau von kommunalen Wärmeplänen. Durch eine einheitliche Struktur soll Folgendes erreicht werden:
 - Transparenz
 - Vergleichbarkeit beliebiger Kommunen
 - Ausweisung des jeweiligen kommunalen Anteils an der Erreichung des übergeordneten nationalen Ziels.
- Zugriffsmöglichkeit auf die Daten der örtlichen Energieversorger, soweit diese der Erstellung von Wärmeplänen dienlich sind.
- Erstellung von Mindestanforderungen und Förderung von kommunalen Wärmeplänen.

7 Fazit

Die Entwicklung einer nachhaltigen Wärmeversorgung muss deutlich beschleunigt werden, um die Energiewendeziele zu erreichen. Der FVEE will mit diesem Positionspapier seinen Beitrag dazu leisten. Aufgrund der großen Vielfalt und hohen Komplexität des Wärme- und Kältemarktes sind in den vergangenen Jahren unterschiedliche politische Instrumente entstanden, die nicht optimal aufeinander abgestimmt sind. Durch strukturelle Bedingungen, wie

z. B. das Fehlen eines alle Akteure verbindenden Netzes, sowie starke externe Faktoren, wie z. B. Preise für fossile Energien, ist die politische Beeinflussbarkeit des Wärme- und Kältemarktes deutlich geringer als im Strommarkt. Man kann davon ausgehen, dass die Herausforderungen im Wärme- und Kältemarkt künftig noch deutlich zunehmen, da die Anzahl der Technologieoptionen steigt, die Ressourcen im Bereich erneuerbaren Wärmeenergien begrenzt sind und die

Verzahnung des Wärme- und Kälte-Stromsystems an Bedeutung gewinnen wird.

Um erfolgversprechende Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln, bedarf es einer **systematischen, interdisziplinären Bestandsaufnahme** der heutigen und künftigen Herausforderungen im Wärme- und Kältemarkt, die über die bisherigen Arbeiten deutlich hinausgeht. Dieses Positionspapier kann dafür eine Grundlage sein, da Experten aller Wärme- und Kälte-disziplinen des FVEE zusammengearbeitet und die jeweilige Situation, Herausforderungen und Perspektiven ihrer Technologie und ihres Marktsegmentes beschrieben haben. Zusätzlich wurden für die einzelnen Sektoren und das Wärmesystem Empfehlungen erarbeitet, wie diese weiterentwickelt werden könnten. Diese Potenzialbeschreibungen und Empfehlungen stellen noch kein vollständiges und ausgewogenes Gesamtkonzept für eine erfolgreiche Wärmewende dar, bieten allerdings einen guten Überblick und benennen einen Großteil der zu berücksichtigenden Herausforderungen einer erfolgreichen Wärme- und Kältepolitik.

Auf der Bestandsaufnahme aufbauend müssen neue **Methoden und Instrumente zur ganzheitlichen Abbildung und Beschreibung des Wärme- und Kältesystems** entwickelt werden. Mit den bisherigen sektorspezifischen Betrachtungen kann ein solch komplexes System mit seinen vielfältigen gegenseitigen Beeinflussungen und die zunehmende Verzahnung mit dem Stromsystem nicht beschrieben werden. Hier sind neue Ansätze zu entwickeln, die die Komplexität abbilden, ohne vom Nutzer Expertenwissen in allen erfassten Sektoren vorauszusetzen. Diese Instrumente sollen dazu genutzt werden, **Lösungsansätze zu entwickeln** und diese auf ihre Wirksamkeit und ihre Nebeneffekte hin zu untersuchen. Damit soll die Politik, Wirtschaft und Wissenschaft dabei unterstützt werden, konsistente politische Instrumente zur Entwicklung des Wärme- und Kältemarktes bereitzustellen, die dessen Komplexität und der Langfristigkeit seines Transformationsprozesses gerecht werden.

Das vorliegende Positionspapier beschreibt eine Vielzahl detaillierter Empfehlungen zu einzelnen Technologien und Fragestellungen im Wärme- und Kältemarkt, denen hier einige wenige Empfehlungen hinzugefügt werden, die für den Gesamtmarkt gültig und von übergeordneter Bedeutung sind.

Übergeordnete forschungspolitische Empfehlungen sind:

- Die Herausforderungen für konventionelle und erneuerbare Wärmetechnologien und ihre Entwicklungspotenziale wurden in den vergangenen Jahrzehnten massiv unterschätzt, weshalb im

Vergleich zu Stromtechnologien deutlich geringere Fördermittel für die Forschungsförderung bereitgestellt und die Forschungsinfrastruktur nur wenig ausgebaut wurde. **Deshalb muss für eine erfolgreiche Wärmewende sowohl die Markteinführung von erneuerbaren Energien in der Wärme- und Kälteversorgung (und Kombination mit der Effizienzsteigerung) deutlich stimuliert als auch die Forschungsförderung für Wärmetechnologien deutlich ausgebaut werden.**

- Die Kopplung des Strom- und Wärmesystems nimmt kontinuierlich zu, sowohl bei der Gleichzeitigkeit der Erzeugung (KWK), als auch bei der Nutzung von Strom als Wärmeerzeuger (Wärmepumpen, Power to Heat). **Es muss deshalb umfassend untersucht werden, welche Rolle der Stromsektor künftig im Wärmemarkt spielen kann, wo dabei die Vor- und Nachteile sowie die Grenzen liegen und welche Rolle der Stromsektor unter verschiedenen Randbedingungen wahrscheinlich einnehmen wird.**
- Wärmeversorgungssysteme werden immer komplexer, weshalb die systemtechnische Betrachtung immer wichtiger wird. Allerdings ist unklar, nach welchen Zielgrößen die Systeme in ihrer Struktur und ihrer Betriebsweise optimiert werden, wer hierbei welchen Einfluss nimmt, wer welche Steuer- und Regelaufgaben übernimmt und wie die zunehmende Komplexität für Hersteller, Planer, Installateure, Investoren und Nutzer beherrschbar bleibt. **Es muss deshalb erforscht werden, wie sich Wärme- und Kälteversorgungssysteme systemisch in ihrer Komplexität erfassen und beschreiben lassen. Darauf aufbauend sind neue Methoden und Instrumente zu entwickeln, mit deren Hilfe Fragestellungen in Wärme- und Kältesystemen ganzheitlich und systemisch bearbeitet und beantwortet werden können.**

Übergeordnete förderpolitische Empfehlungen sind:

- Die Komplexität des Wärme- und Kältesystems und die ambitionierten Zielsetzungen der Wärmewende werden auch künftig einen Instrumentenmix von Fordern und Fördern erfordern. **Die verschiedenen Instrumente im Wärme- und Kältemarkt sollten abgeglichen, harmonisiert und möglichst vereinfacht werden.** Die Wirksamkeit der Instrumente auf die einzelnen Technologien, Akteure und Marktsegmente muss dazu bewertet und mögliche Interaktionen und „Nebenwirkungen“ auf andere Sektoren betrachtet werden.

- Die Instrumente und Maßnahmen zur Beschleunigung des Transformationsprozesses sollten künftig **verstärkt die Entwicklung des Gesamtwärmesystems** und nicht nur den Ausbau von Einzeltechnologien unterstützen. Die Lösungen sollen im Idealfall den Ausbau der notwendigen Infrastruktur im Wärme- und Kältemarkt ermöglichen, Lock-In-Effekte vermeiden, sich an mittel- und langfristigen statt nur an kurzfristigen Zielsetzungen orientieren und die kurzfristigen Schwankungen von externen Faktoren ausgleichen können, um den Akteuren im Markt Kontinuität und Sicherheit zu bieten.
- **Die Politik im Wärme- und Kältemarkt bedarf konkreterer und detaillierterer Zielsetzungen, die die Komplexität des Systems und die technologischen und sozio-ökonomischen Entwicklungen berücksichtigen.** Hierzu sind die Ziel- und Handlungsoptionen wissenschaftlich fundiert zu bewerten und ein Konsens darüber herzustellen, wie das angestrebte Zielsystem strukturiert und der Transformationsprozess gestaltet werden soll. Der aktuelle Sanierungsstau im Wärme- und Kältemarkt und die Unsicherheiten bei der Weiterentwicklung der politischen Instrumente sind vor allem verursacht durch die Unsicherheit darüber, wo sich das Wärme- und Kältesystem langfristig hin entwickeln wird, welche Technologien welche Bedeutung haben werden, wie stark sich der Wärmebedarf tatsächlich senken lässt, welche Rolle Strom im Wärme- und Kältemarkt spielen wird und wie sich der Transformationsprozess gestaltet angesichts der Verfügbarkeit und der Preisentwicklung von fossilen Energien.

In der Vergangenheit konzentrierte sich das energiepolitische Interesse auf den Stromsektor. Daraus resultierten Erfolge, die noch vor wenigen Jahren undenkbar waren. Der Wärmesektor ist unter Berücksichtigung seiner Kopplungen zu den anderen Sektoren wenigstens ebenso bedeutend. Zukünftig muss er im politischen und im Forschungsbereich sehr viel stärker als bisher berücksichtigt werden. Dieses Positionspapier enthält dazu wissenschaftlich fundierte Anregungen, die auf dem Konsens einer Vielzahl von Forschungsinstitutionen beruhen.