Die Rolle der Wärme im Energiesystem: Systemaspekte

Wuppertal Institut
Prof. Dr. Manfred Fischedick
manfred.fischedick@wupperinst.org

Dietmar Schüwer
dietmar.schuewer@wupperinst.org

IZES
Prof. Dr. Uwe Leprich
leprich@izes.de

Fraunhofer IWES
Norman Gerhardt
norman.gerhardt@iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IBP
Patrick Schumacher
patrick.schumacher@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE
Prof. Dr. Hans Martin Henning
hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

Gerhard Stryi-Hipp
gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de

ZSW
Maike Schmidt
maike.schmidt@zsw-bw.de

Entwicklung und aktuelle Bedeutung der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien

Der zentrale Treiber des Endenergiebedarfs in Deutschland ist die Wärmenachfrage in Form von Raumwärme (29,2 %), Warmwasser (5,5 %) und Prozesswärme (21,1 %). Mit insgesamt 5.179 PJ (1.439 TWh) ist Wärme verantwortlich für rund 56 % des gesamten Endenergiebedarfs von 9.268 PJ im Jahr 2013[1]. Hinzu kommt eine weitere Nachfrage von 2,1% für Klimakälte (0,4 %) und sonstige Prozesskälte (1,7 %). In der Endenergiebilanz für Deutschland verringerte sich in den Jahren von 1990 bis 2012 der Brennstoffverbrauch für die Wärmebereitstellung um 13 %. Im Vergleich zum Kraftstoffverbrauch beispielsweise, welcher sich im gleichen Zeitraum sogar geringfügig erhöhte (+ 3 %), fällt die Bilanz im Wärmebereich deutlich positiver aus, gleichwohl bleibt der größte Teil des bestehenden Effizienzpotenzials bis dato nicht ausgeschöpft.

Beim Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmesektor fallen die Erfolge der letzten Jahre – insbesondere im Vergleich zum Stromsektor – bescheiden aus. Zwischen 2007 und 2014 stieg der Anteil erneuerbarer Wärme lediglich von 7,6 % auf 9,9 %, der Anteil erneuerbaren Stroms jedoch von 14,2 % auf 27,8 %. Seit 2012 stagniert der Anteil erneuerbarer Wärme bei knapp 10 %[2].

Wie *Abbildung 1* zeigt, dominiert innerhalb der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien mit einem Anteil von fast 87 % (113 Mrd. kWh in 2014) nach wie vor der Einsatz von Biomasse (inkl. biogener Anteile des Abfalls), darunter insbesondere die Verbrennung von traditionellen biogenen Festbrennstoffen wie Holz. Der Rückgang bei fester Biomasse im Jahr 2014 ist insbesondere auf den milden Winter zurückzuführen. Er überkompensiert den geringen Ausbau der „neuen" erneuerbaren Energietechnologien Solarthermie (5,3 % bzw. 6,9 Mrd. kWh) und Geothermie und Umweltwärme (zusammen 8,1 % bzw. 10,6 Mrd. kWh). Diese Technologien liegen zwar noch auf niedrigem Niveau, haben aber die größten Zubaupotenziale, wohingegen die Biomassepotenziale unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien und Nutzungskonkurrenzen begrenzt sind.

Insgesamt hat die Entwicklung der erneuerbaren Energien im Wärmesektor im Vergleich zum Stromsektor noch großen Nachholbedarf im Energiesystem. Dies zeigt auch die sektorale Bilanz der durch erneuerbare Energien vermiedenen Treibhausgas-Emissionen (*Abbildung 2*). Auch hier klafft die Entwicklung der Beiträge zur Emissionsreduzierung immer weiter auseinander. Perspektivisch muss sich das deutlich ändern, sollen die Klimaschutzziele der Bundesregierung erreicht werden. Die Analyse von Klimaschutzszenarien zeigt, dass zwischen 2008 und 2030 der Wärmesektor für Raumwärme und Warmwasserbedarf mit minus 62 % einen ähnlich großen CO_2-Reduktionsbeitrag leisten kann bzw. muss wie der Stromsektor (minus 57 %). Diese Reduktionspotenziale liegen aufgrund begrenzter kurz- bis mittelfristig erschließbarer Potenziale deutlich über denen der Sektoren Verkehr (minus 22 %) und Industrie (minus 10 %). Daraus wird deutlich, dass es eine erfolgreiche Energiewende nur mit erfolgreicher Wärmewende geben kann (Matthes et al. 2013).

Die Klimaschutzziele der Bundesregierung für das Jahr 2050 sehen u. a. eine Reduktion der CO_2-Emissionen um 80 bis 95 % gegenüber 1990 vor. Wie die Matrix in *Abbildung 3* zeigt, führen zahlreiche Wege zum gewünschten Ziel mit Hilfe der beiden Stellschrauben „Reduktion des Endenergiebedarfs" (Spalte 1 und 2) und „Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen pro Kilowattstunde Wärmebereitstellung" (Zeile 1 und 2).
Die Reduktion des Endenergiebedarfs kann durch eine energieeffiziente Gebäudehülle oder durch Solararchitektur erzielt werden, die Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen durch effiziente Heizungsanlagentechnik (Brennwerttechnik, Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpen, Wärmerückgewinnung ...) und insbesondere durch den Einsatz erneuerbarer Energien.

Die Beispiele A und B in *Abbildung 3* zeigen, dass eine Reduktion des Endenergiebedarfs um 30 % bei gleichzeitiger Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen um 49 % (A) zum ähnlichen Ergebnis führt wie eine Energiebedarfsreduktion um 50 % und CO_2-Minderung bei der Anlagentechnik um 35 % (B).

1 Quelle: BMWi Energiedaten Gesamtausgabe, Stand: Mai 2015 (www.bmwi.de)
2 Quelle: BMWi, Stand: August 2015 (www.erneuerbare-energien.de)

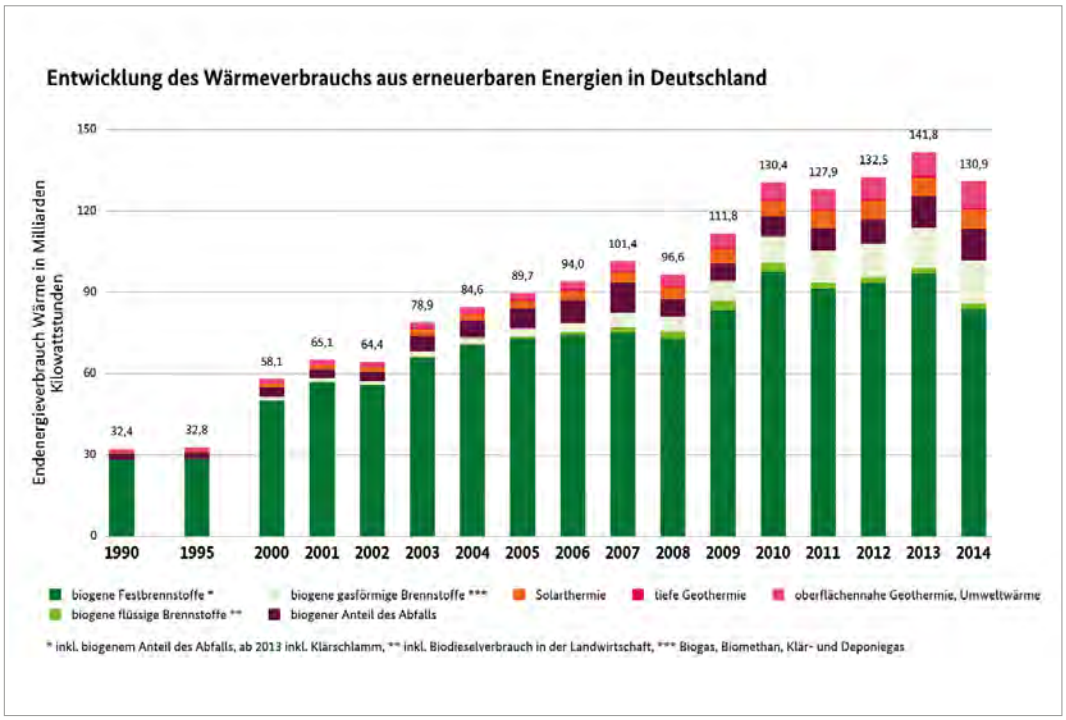


Abbildung 1
Anteil erneuerbarer Wärme: *Entwicklung des Wärmeverbrauchs aus erneuerbaren Energien*
Quelle 1: BMWi auf Basis AGEE-Stat, Stand Februar 2015, S. 21

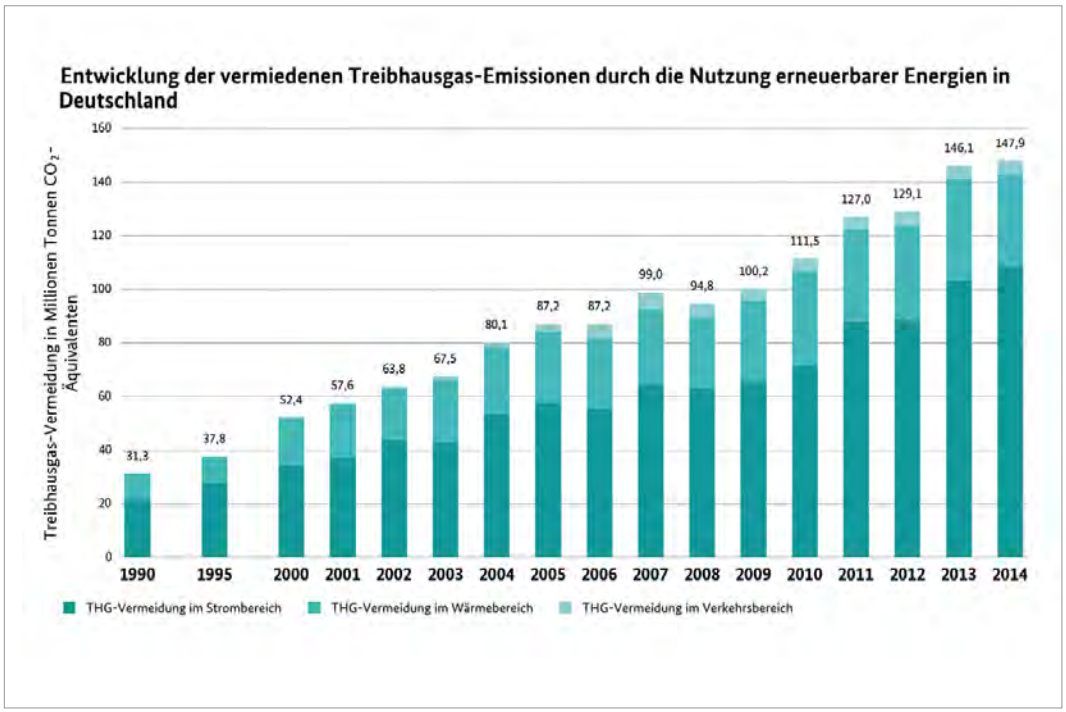


Abbildung 2:
Treibhausgas-Emissionen:
Entwicklung vermiedener Treibhausgas-Emissionen durch Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland
Quelle 1: BMWi auf Basis AGEE-Stat unter Verwendung von Daten des UBA, Stand Februar 2015, S. 31

Abbildung 3
Erreichen von CO_2-Minderungszielen im Gebäudebereich:
Wechselwirkung zwischen baulichem Wärmeschutz (Endenergiebedarf) und Anlagentechnik bzw. Anteilen erneuerbarer Energien (spez. CO_2-Emissionen)
Quelle 2: Henning 2015

Endenergie RW	Endenergie RW + WW	spezifische CO_2-Emissionen für Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) in % bezogen auf den Wert heute									
EE_{RW}	$EE_{RW}+EE_{WW}$	100%	93%	86%	79%	72%	65%	58%	51%	43%	36%
% (heute)	% (heute)	CO_2-Emissionen für Raumwärme und Warmwasser in % bezogen auf den Wert heute									
100%	100%	100%	93%	86%	79%	72%	65%	58%	51%	43%	36%
90%	91%	91%	85%	78%	72%	65%	59%	53%	46%	40%	33%
80%	82%	82%	77%	71%	65%	59%	53%	47%	42%	36%	30%
A 70%	74%	74%	68%	63%	58%	53%	48%	42%	37%	32%	27%
60%	65%	65%	60%	56%	51%	46%	42%	37%	33%	28%	24%
B 50%	56%	56%	52%	48%	44%	40%	36%	32%	28%	24%	20%
40%	47%	47%	44%	40%	37%	34%	30%	27%	24%	21%	17%
30%	38%	38%	36%	33%	30%	28%	25%	22%	19%	17%	14%

Wechselwirkungen Stromwende <> Wärmewende und Bedeutung von Systemlösungen

Wie *Abbildung 4* veranschaulicht, ist der Transformationsprozess hin zu einer dekarbonisierten Energiewelt gekennzeichnet durch eine zunehmende Wechselwirkung zwischen den Sektoren Strom, Wärme, Gas und Mobilität.

Wichtige Schnittstellen zwischen dem Wärme- und Stromsystem sind:

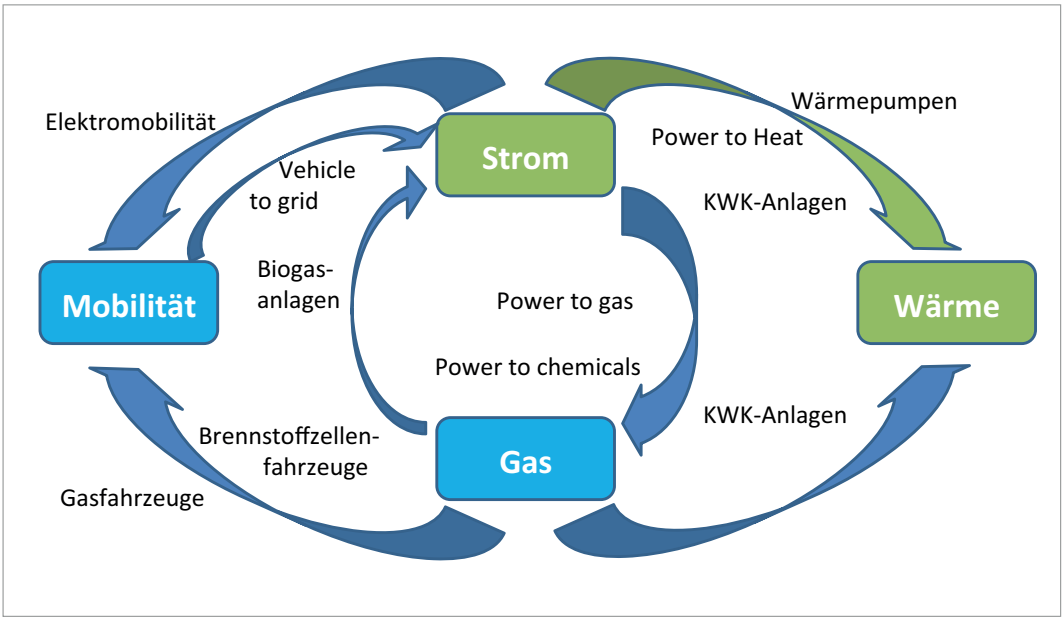
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- elektrische Wärmebereitstellung / Power to Heat (Elektro-Wärmepumpen, Widerstandsheizung, elektrische Anwendungen für industrielle Prozesswärme)
- Flexibilisierung durch Steuerung der Erzeugung (z. B. KWK-Regelenergie) oder Lasten (z. B. Wärmepumpen)

Die Vielfalt an neuen technologischen Optionen führt auch zu einer Diversifizierung der netzgebundenen Wärmeversorgung inklusive dem direkten und indirekten Einsatz von Strom (vgl. *Abbildung 5*).

Die zunehmenden Wechselwirkungen im Energiesystem erhöhen den Komplexitätsgrad des Transformationsprozesses und erfordern ein hohes Maß an Kooperation und interdisziplinärer Kompetenz. Wichtige Aufgaben sind jetzt:

- Wechselwirkungen identifizieren
- Synergieeffekte ausschöpfen
- ggf. Zielkonflikte beachten

Abbildung 4
***Wechselwirkungen** zwischen den Sektoren Strom, Wärme, Gas und Mobilität*
Quelle: Wuppertal Institut



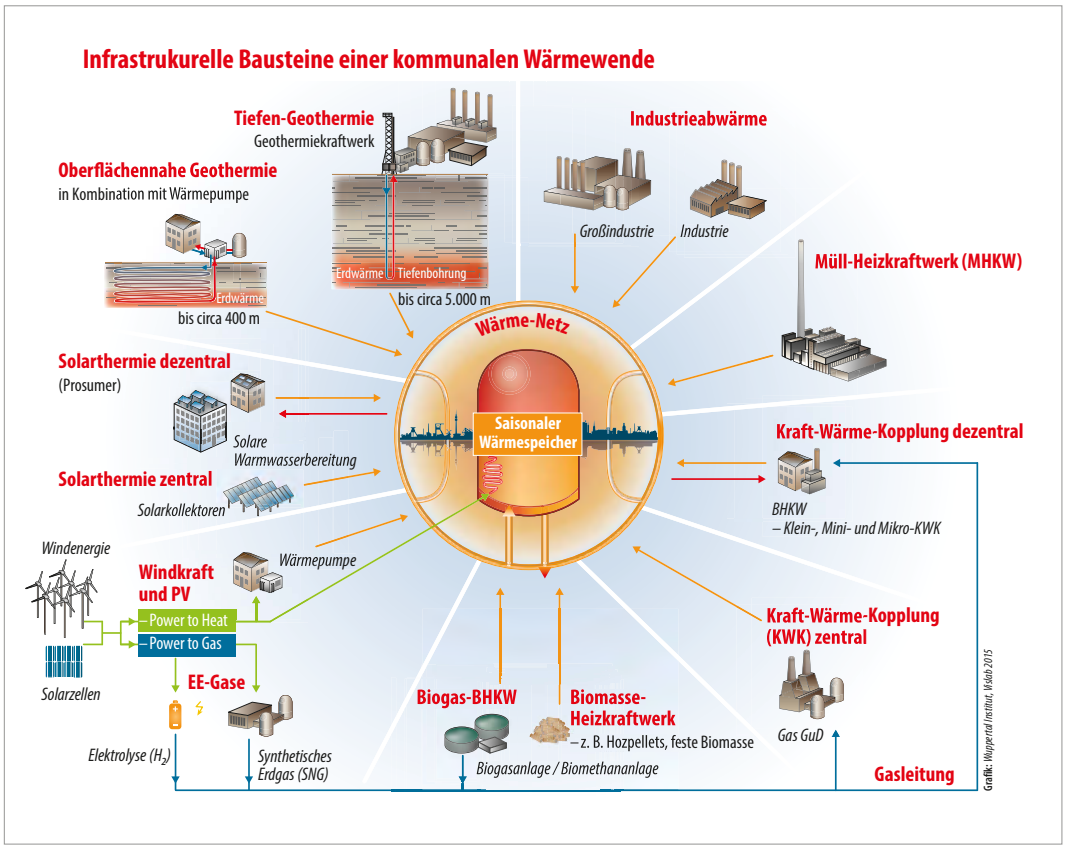


Abbildung 5
Kommunalen Wärmewende: *infrastrukturelle Bausteine*
Quelle: Wuppertal Institut

Insgesamt müssen die bisher eher auf Einzelfälle ausgerichteten Maßnahmen im Wärmesektor zukünftig verstärkt Dynamiken und Synergien innerhalb von größeren Strukturen wie Städten, Quartieren und Infrastrukturen integrativ betrachten.

Beispiele einer solchen systemischen Herangehensweise können sein:

- Energetische Sanierung von Quartieren anstelle von Einzelgebäuden, um das Spannungsfeld Dämmung vs. Heizungserneuerung durch intelligente Systemlösungen aufzulösen, Skaleneffekte erschließen zu können und den Zugang zu weiteren technischen Lösungen zu ermöglichen
- Einbindung saisonaler Wärme-/Kältespeicher für Abwärme, Solar- und KWK-Wärme sowie Umgebungskälte
- Entwicklung von „Low-Ex-Konzepten" im Wechselspiel zwischen Versorgung und Nachfrage (inklusive Ertüchtigung von Fernwärmenetzen bzw. Etablierung von entsprechenden Nahwärmenetzen)
- Entwicklung bzw. verbindliche Einführung flächendeckender und einheitlich strukturierter kommunaler Wärmenutzungspläne bzw. Energiekonzepte (raumbezogene „Masterpläne Wärmeversorgung")

Ein konkretes Beispiel für den Ansatz der integrativen und systemischen Infrastrukturoptimierung ist die Einspeisung kostengünstiger solarthermischer Wärme aus Freiflächenanlagen in bestehende KWK-Nah- und Fernwärmenetze nach dänischem Vorbild (Sperber und Viebahn 2014). Eine Zukunftsaufgabe besteht darin, die Flexibilisierungspotenziale des Wärmemarktes (KWK-Anlagen, Wärmepumpen und Elektroheizer in Verbindung mit Speichern) zu entwickeln und technisch und betriebswirtschaftlich optimierte, strommarktgekoppelte Wärmesysteme zu etablieren. Dieser Ansatz verbindet die Wärme- und Stromsysteme miteinander und verbessert die Integration fluktuierend einspeisender erneuerbarer Stromquellen in das Energiesystem.
Das Beispiel Dänemark kann als etabliertes großmaßstäbliches Realexperiment angesehen werden. Zur Übertragung auf die deutsche Situation sollten hierauf aufbauend regionale Realexperimente entwickelt, begleitet und ausgewertet werden.

Daneben muss eine substanzielle Marktausweitung solarer, geothermischer und Umgebungswärme auch im Prozesswärmemarkt erfolgen. Dafür ist ebenfalls eine Instrumentenausweitung und integrative Planung zum Beispiel gewerblicher Versorgungskonzepte unumgänglich.

Fazit

Um die kurz-, mittel- und langfristigen Herausforderungen bei der Transformation zu meistern und die Chancen im Wärmesektor zu nutzen, bedarf es innovativer Ansätze. Nachfolgend werden Schlussfolgerungen getroffen und Lösungsansätze skizziert:

- Eine erfolgreiche Energiewende ist nur mit einer Wärmewende erreichbar.
- Haupthemmnis für den Umbau hin zu einer klimaverträglichen Wärmeversorgung war bisher nicht etwa mangelnde Verfügbarkeit technischer Lösungen, sondern fehlender Umsetzungswillen bzw. mangelhafte Implementierung.
- Infrastrukturelle und intersektorale Zusammenhänge werden komplexer und müssen in ihrer Gesamtwirkung bedacht werden.
- Das „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ und die „Energiewende Plattform Gebäude“ der Bundesregierung sind erste wichtige Schritte. Aber für eine erfolgreiche Wärmewende sind die bisherigen politischen Instrumente noch nicht ausreichend.
- Ein wichtiger Treiber für Investitionen in erneuerbare Wärme sind hohe Öl- und Gaspreise. Mit dem tendenziell sinkenden Preisniveau dieser fossilen Brennstoffe ging in den letzten Jahren ein Anreiz für mögliche Investoren verloren. Wie das Beispiel Dänemark zeigt, könnten CO_2-abhängige Steuern auf fossile Brennstoffe (ggf. gekoppelt an die Entwicklung der Brennstoffpreise) ein langfristiges Signal und Anreiz zum Umstieg auf erneuerbare Wärme setzen.
- Langfristig angelegte Sanierungsstrategien im Gebäudebereich sind unerlässlich. Hier können verbindlich zu erstellende individuelle Sanierungsfahrpläne und die Einführung eines Klimaschutz-Obolus für unsanierte Gebäude Transparenz und – unabhängig von Bundeshaushalt – Planungssicherheit für Gebäudeeigentümer herstellen.
- Die Energiepolitik muss verstärkt auf den Wärmesektor fokussieren bei gleichzeitig ganzheitlicher Betrachtung von Gebäudeeffizienz, Anlagentechnik, Sektorkopplung und sozialen Aspekten. Mögliche Maßnahmen sind:
  - Einführung dynamischer EEG-Umlagen als Anreiz für Nachfrageflexibilität
  - Verlagerung der KWK-Einspeisevergütung in die Wintermonate, um damit ein Fenster für die Einspeisung solarer (Fern-)Wärme in den Sommer- und Übergangsmonaten zu öffnen
  - Weiterentwicklung des Marktanreizprogramms (z. B. haushaltsunabhängige verlässliche Förderung)
  - Ertragsorientierte Förderung der Einbindung von erneuerbaren Energien in die Fernwärme
  - Kopplung (Zusammenführung) von EnEV und EnWG zu einem konsistenten und transparenten Instrument
- Die Umsetzung der Wärmewende in Deutschland ist auch ein wichtiger Impuls für die Umsetzung ambitionierter Klimaschutzpfade auf europäischer und globaler Ebene.
- Eine wirkliche Energiewende erfordert die Notwendigkeit, Rebound-Effekte in den Griff zu bekommen. Energiebewusstes Verhalten muss gefördert werden, damit Effizienzeinsparungen nicht durch Mehrverbrauch (z. B. durch zunehmende Komfortansprüche) zunichte gemacht werden.
- Die Erfahrung zeigt, dass Effizienzpotenziale heute häufig durch falsche Bedienung und nicht sachgerechten Einbau unausgeschöpft bleiben. Daher bedarf es der Entwicklung adäquater Produkt-Service-Systeme, die eine effektive Ausschöpfung der Effizienzpotenziale neuer Produkte (z. B. Heizungstechnologien) möglich machen, durch frühzeitige Einbindung der Nutzer in die Produktentwicklung (z. B. im Rahmen von auf Co-Creation und Co-Development ausgerichteten Living Laboratories).

Quellenverzeichnis

1. BMWi (2015): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2014, Grafiken und Diagramme unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin. www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen.html. Last access: 10 November 2015.
2. Henning, H.-M. (2015): Anlagentechnik im Gebäudebereich – neue Entwicklungen und ihre Umsetzung. Gehalten auf der Kongress der Energieagentur Rheinland-Pfalz am 16. Juli 2015, Mainz. www.energieagentur.rlp.de/veranstaltungen/jahreskongress/vortraege. Last access: 08 Dezember 2015.
3. Matthes, F. C.; Hansen, P.; Horn, M.; Dieckmann, J.; Eichhammer, W.; Ziesing, H.-J. (2013): Politikszenarien für den Klimaschutz VI – Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. http://www.uba.de/uba-info-medien/4412.html
4. Sperber, E.; Viebahn, P. (2014): Techno-ökonomische Perspektive – Systeminnovationen am Beispiel des Strom-Wärme-Systems. FVEE-Jahrestagung 2013, Freiburg. http://elib.dlr.de/85028. Last access: 27 Februar 2014.