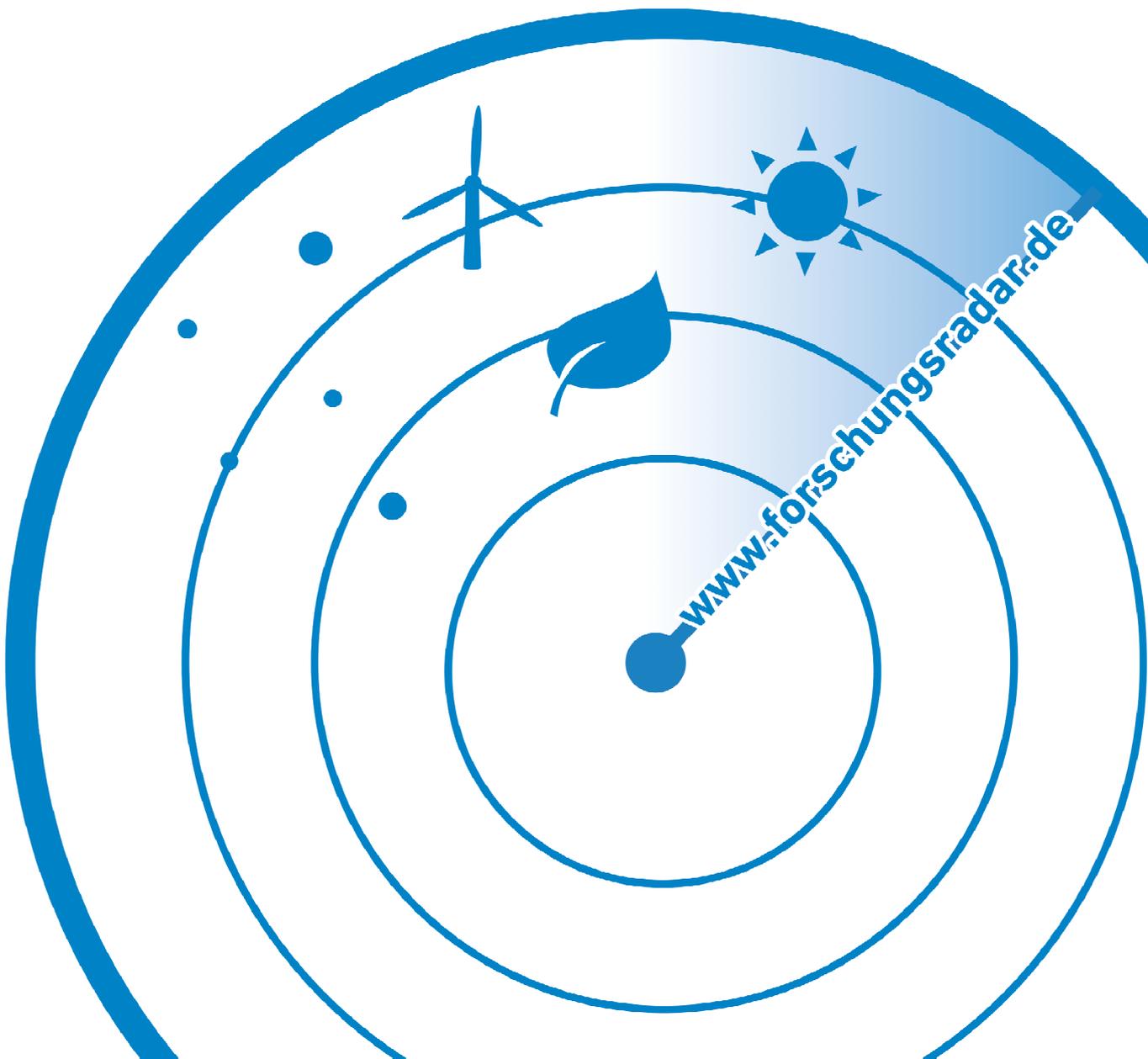


METAANALYSE

Juli 2017

Zusammenspiel von Strom- und Wärmesystem



Inhaltsverzeichnis

1	Stand der Energiewende in der Wärme- und Stromversorgung	3
2	Ziel und Vorgehensweise der Metaanalyse	4
3	Endenergieverbrauch für Wärme und Beitrag Erneuerbarer Energien.....	5
3.1	Endenergieverbrauch für Raumwärme, Klimakälte und Warmwasser	6
3.2	Endenergieverbrauch für Prozesswärme	8
4	Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende.....	9
4.1	Mögliche Auswirkungen neuer Strom-Wärme-Anwendungen auf den Stromverbrauch ...	9
4.2	Flexibilitätsbedarf aus dem Stromsektor.....	11
4.3	„Power-to-Heat“ als Flexibilitätsoption	13
4.4	Die Rolle von Wärmepumpen in der Energiewende	15
4.5	Wärmenetze, Wärmespeicher, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).....	17
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	19
6	Ausgewertete Literatur und Datenquellen.....	21

1 Stand der Energiewende in der Wärme- und Stromversorgung

Mehr als die Hälfte des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland entfällt auf die Wärmeversorgung von Gebäuden sowie die Bereitstellung von Prozesswärme. Der Wärmemarkt ist daher von zentraler Bedeutung für die Energiewirtschaft, die Abhängigkeit von Brennstoffimporten und den Klimaschutz. Die mit Abstand am meisten genutzten Energieträger sind Erdgas, Öl und in der Industrie auch Kohle. Der Anteil Erneuerbarer Energien an der Deckung des Wärmebedarfs steigt nur langsam und lag im Jahr 2016 bei 13,4 Prozent.

Für eine sichere, umweltverträgliche und dauerhaft bezahlbare Energieversorgung ist sowohl eine starke Senkung des Wärmebedarfs als auch die Umstellung auf Erneuerbare Energien erforderlich. Die folgende Tabelle fasst die für Wärme- und Stromsektor relevanten politischen Zielsetzungen sowie den Stand der Umsetzung zusammen:

Ziel	Stand 2015/2016
<ul style="list-style-type: none"> Senkung des Wärmebedarfs von Gebäuden um 20 % bis 2020 gegenüber 2008 	Der Wärmebedarf von Gebäuden hat sich von 2008 bis 2015 um rund 11 Prozent verringert (BMWi 2016). Um das 2020-Ziel zu erreichen, müsste der Wärmeenergieverbrauch stärker und schneller sinken.
<ul style="list-style-type: none"> Reduktion des Primärenergiebedarfs von Gebäuden um 80 % bis 2050 gegenüber 2008 	Der Primärenergiebedarf von Gebäuden ist von 2008 bis 2015 um 15,9 % gesunken (BMWi 2016).
<ul style="list-style-type: none"> 14 % Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis 2020 	Im Jahr 2016 hatten die Erneuerbaren Energien einen Anteil von 13,4 % am Endenergieverbrauch von Wärme und Kälte (BMWi/ AGEE-Stat 2017). Das Erreichen des 14 % -Ziels bis 2020 gilt als wahrscheinlich, für die Zeit danach seien jedoch höhere Ziele erforderlich (Expertenkommission 2016).
<ul style="list-style-type: none"> Verdopplung der Gebäudesanierungsrate auf zwei Prozent pro Jahr 	Die Sanierungsrate wird im aktuellen Monitoring-Bericht zur Energiewende nicht erwähnt. Sie wird nicht regelmäßig ermittelt. Untersuchungen zeigen jedoch, dass sich bislang keine Steigerung der Sanierungsrate abzeichnet (dena 2017).
<ul style="list-style-type: none"> Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf mindestens 35 % bis 2020 und 40 bis 45 % bis 2025 	Im Jahr 2016 lag der Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch bei 31,7 % (BMWi/ AGEE Stat 2017). Auf Basis der Werte von 2015 (31,5 %) schätzte die Expertenkommission zum Monitoring-Prozess das Erreichen des Ausbauziels für 2020 als wahrscheinlich ein. Das Ziel, den Beitrag der Erneuerbaren Energien zum Bruttostromverbrauch bis 2030 auf 60 % zu steigern, solle beibehalten werden (Expertenkommission 2016).
<ul style="list-style-type: none"> Reduktion des Stromverbrauchs um 10 % bis 2020 und um 25 % bis 2050 gegenüber 2008 	Der Bruttostromverbrauch lag im Jahr 2015 um 3,8 % niedriger als 2008. Um das Ziel für 2020 noch zu erreichen, müsste der Verbrauch ab sofort jährlich etwa doppelt so stark sinken. Das gilt als unwahrscheinlich (Expertenkommission 2016).

Tab. 1: Energiewendeziele und Fortschritte im Wärme- und Strombereich

Demnach bleiben die Fortschritte bei der Senkung des Energieverbrauchs sowohl im Strom- als auch im Wärmebereich hinter den klima- und energiepolitischen Zielsetzungen zurück. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien ist in den vergangenen Jahren vor allem im Stromsektor erfolgreich gewesen. Hier wird es darauf ankommen, den weiteren Ausbau an der realen Entwicklung des Stromverbrauchs auszurichten und dabei auch neue Stromanwendungen für Wärme, Verkehr und Industrie zu berücksichtigen.

2 Ziel und Vorgehensweise der Metaanalyse

Vor diesem Hintergrund wertet die vorliegende Metaanalyse die Aussagen aktueller Studien und Szenarien zum möglichen Zusammenspiel von Strom- und Wärmeversorgung für die Energiewende aus und stellt sie vergleichend gegenüber. Der Fokus liegt dabei auf dem Flexibilitätsbedarf des Stromsektors entsprechend der Verfügbarkeit von Wind- und Solarstrom und auf der Nutzung von Strom zur Wärmeversorgung durch Wärmepumpen und Power-to-Heat-Technologien (Heizstäbe, Elektrokessel u.ä.). Insgesamt 32 verschiedene Datenquellen, Studien und Szenarien sind dafür hinsichtlich quantitativer und qualitativer Aussagen zu folgenden Teilaspekten ausgewertet worden:

- Entwicklung des Endenergiebedarfs für Raumwärme, Klimakälte und Warmwasser,
- Entwicklung des Prozesswärmebedarfs,
- Abregelung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien bzw. „Stromüberschüsse“,
- Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK),
- Rolle von Wärmenetzen und Wärmespeichern,
- Bedeutung von Wärmepumpen (Wärmebereitstellung, Stromverbrauch und Leistung, Effizienz, Flexibilität)
- Rolle von „Power-to-Heat“-Technologien (z.B. Heizstäbe, Elektrokessel) zur Nutzung von „Stromüberschüssen“,
- Stromverbrauch für Wärme- und Kälteanwendungen.

Ziel ist es, den aktuellen Kenntnisstand zu den Fortschritten und Herausforderungen der Energiewende im Hinblick auf das Zusammenspiel von Strom- und Wärmeversorgung in Deutschland zu erfassen und aufzubereiten. Die vergleichende Gegenüberstellung von Annahmen und Ergebnissen unterschiedlicher Publikationen verdeutlicht die Bandbreite der Expertendiskussion und sorgt für mehr Transparenz in der energiepolitischen Debatte.

Grundsätzlich ist bei den betrachteten Zukunftsszenarien zu unterscheiden zwischen:

- **Trend- oder Referenzszenarien**, die auf Basis der aktuellen Politik und der historischen Entwicklung der vergangenen Jahre Trends fortschreiben. Hierzu gehören insbesondere Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2015: Aktuelle-Maßnahmen-Szenario; Prognos/EWI/GWS 2014: Referenzprognose / Trendszenario; Prognos/IFEU/IWU 2015: Referenzszenario; Nitsch 2016: SZEN-16 „TREND“.
- **Klimaschutz- oder Zielszenarien**, die sich an bestimmten Zielwerten orientieren, meist an der angestrebten Reduktion der Treibhausgase um 80 bis 95 Prozent bis 2050. Sie erörtern Entwicklungspfade und Maßnahmen, die zur Zielerreichung notwendig wären. Hierzu gehören insbesondere Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2015: Klimaschutzszenario 80 und 95; Prognos/EWI/GWS 2014: Zielszenario; Prognos/IFEU/IWU 2015: Szenarien Effizienz und Erneuerbare Energien; Nitsch 2016: SZEN-16 „KLIMA 2050“ und „KLIMA 2040“, Fraunhofer IWES et al. 2015 sowie Fraunhofer ISE 2015.
- **Technologiespezifischen Studien**, die – zumeist orientiert an der Interessenlage des Auftraggebers – Einzelaspekte herausgreifen. Hier sind zum Beispiel Prognos/AGFW/BDEW 2013 und BEE/Fraunhofer IFAM 2013 zu nennen im Hinblick auf die Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmenetze und Wärmespeicher.

3 Endenergieverbrauch für Wärme und Beitrag Erneuerbarer Energien

Abbildung 1 illustriert den bisherigen Fortschritt der Energiewende im Wärmesektor sowie den Vorschlag der Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ für eine mögliche Zielsetzung zur Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Wärme und Kälte (ohne Strom) und des Anteils Erneuerbarer Energien für das Jahr 2030:

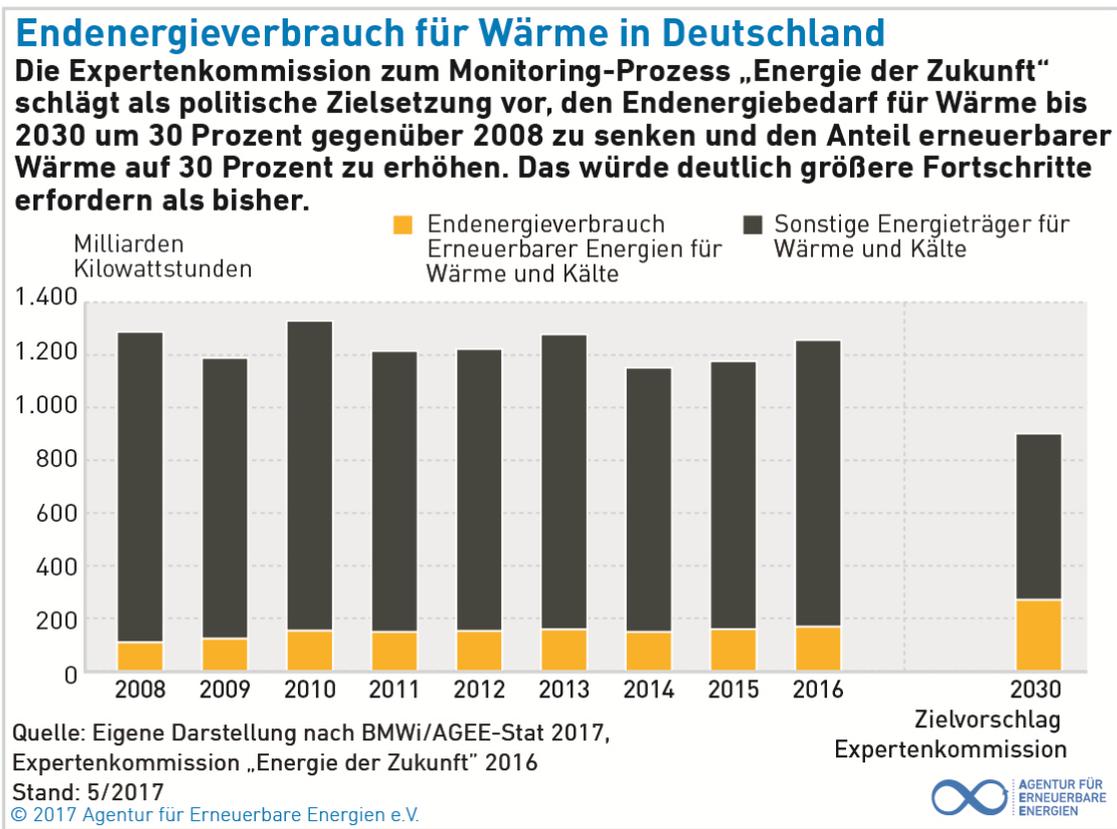


Abb. 1: Endenergieverbrauch und Erneuerbare Energien für Wärme in Deutschland (ohne Strom)

Der Expertenkommission zum Monitoringprozess „Energie der Zukunft“ zufolge wäre ein politisches Ziel sinnvoll, den Endenergiebedarf für Wärme (ohne Strom) bis 2030 gegenüber dem Jahr 2008 um insgesamt 30 Prozent zu senken und den Anteil der Erneuerbaren Energien auf 30 Prozent zu erhöhen¹. Die aktuelle Strategie der Agora Energiewende² sieht bis 2030 eine Reduktion des Gebäudewärmebedarfs um 25 Prozent und der Industriewärme um 10 Prozent gegenüber 2015 vor. Inklusive Prozesskälte und der aus Strom erzeugten Wärme würde der Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte im Jahr 2030 dann bei 1.100 Milliarden Kilowattstunden (Mrd. kWh) liegen, von denen etwa 200 Mrd. kWh durch erneuerbare Wärme und 200 Mrd. kWh durch Strom gedeckt würden. Mangels direkter Vergleichbarkeit zu den anderen Werten in Abb. 1 ist dieser Zielvorgang dort nicht abgebildet.

¹ Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ 2016, S. Z-5, 24
² Agora Energiewende 2017, S. 30f, 71ff

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Ausgehend von einem Endenergiebedarf für Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme und Klimakälte von insgesamt 1.326 Mrd. kWh³ im Jahr 2015 (BMWi 2017, inkl. Strom) sinkt die Nachfrage nach Wärme in allen für die Metaanalyse untersuchten Energieszenarien bis 2050 deutlich. Diese Entwicklung wird allerdings in sehr unterschiedlichem Ausmaß und aufgrund verschiedener Einflussfaktoren angenommen. Im Folgenden werden die Ergebnisse für Gebäudewärme (Raumwärme, -kälte, Warmwasser) einerseits und für Prozesswärme andererseits getrennt dargestellt. Der Grund dafür ist, dass sich diese Anwendungen stark im benötigten Temperaturniveau und dem Lastverlauf unterscheiden und somit andere Anforderungen an die Wärmeerzeugung haben.

3.1 Endenergieverbrauch für Raumwärme, Klimakälte und Warmwasser

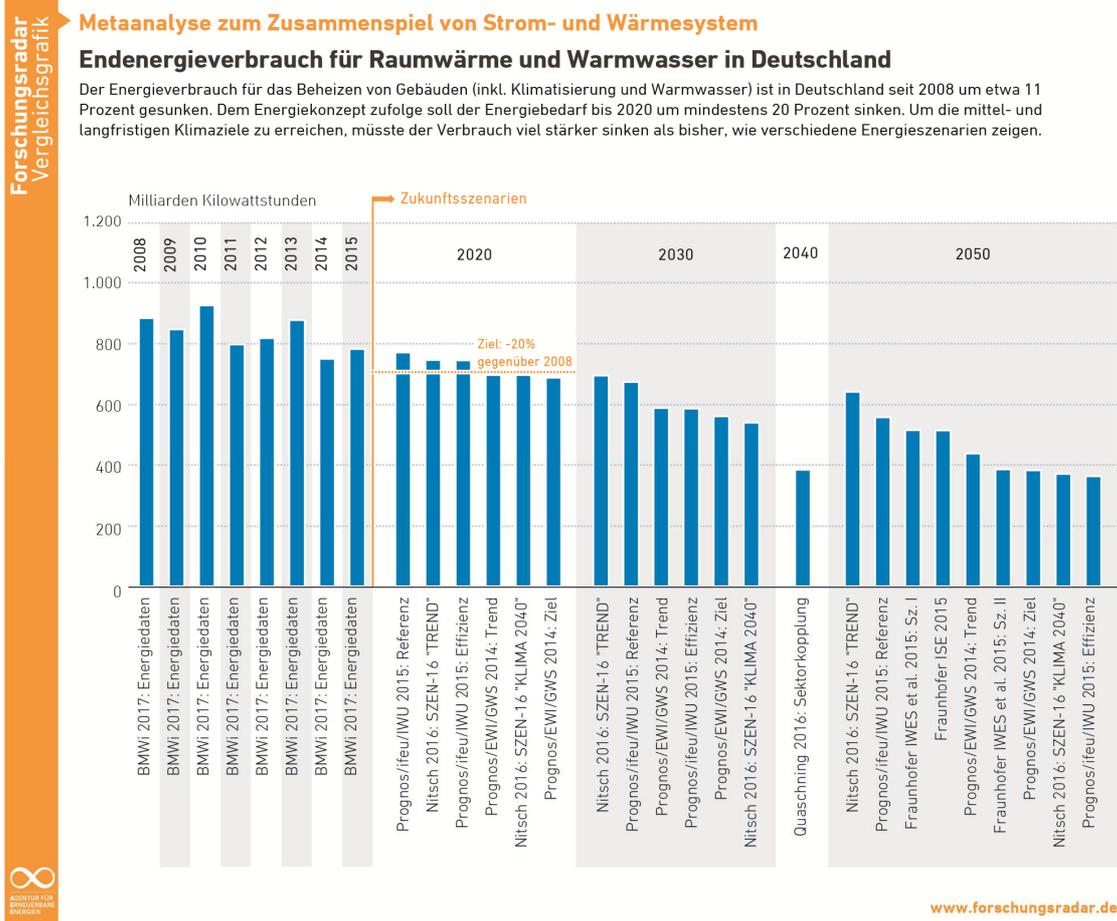


Abb. 2: Endenergieverbrauch für Gebäudewärme in Deutschland

Die Energiestatistik weist für die vergangenen Jahre starke Schwankungen beim Heizenergieverbrauch auf, die mit den jeweiligen Wetterbedingungen bzw. Außentemperaturen zusammenhängen. Das zeigt, dass im Gebäudebestand noch erhebliche Effizienzpotenziale schlummern. Wie bereits in Tabelle 1 beschrieben, sind die Sanierungsrate und -tiefe bislang unzureichend, um die klima- und energiepolitischen Ziele zu erfüllen.

³ Das entspricht 4.772 Petajoule (PJ). Beide Einheiten sind in Energiestatistiken geläufig. In der vorliegenden Metaanalyse erfolgen die Größenangaben durchgängig in Milliarden Kilowattstunden (= Terawattstunden), um die Vergleichbarkeit der Werte zu erleichtern.

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Die ausgewerteten Zukunftsszenarien weisen eine Bandbreite von rund 700 Mrd. kWh (Prognos/EWI/GWS 2014: Zielszenario) bis 780 Mrd. kWh (Prognos/ifeu/IWU 2015: Referenz) für den Endenergieverbrauch an Raumwärme, Klimakälte und Warmwasser im Jahr 2020 auf. Die größeren Reduktionen und damit auch das politische Ziel werden dabei erwartungsgemäß in den Klimaschutz-Zielszenarien erreicht, während die jüngsten Trendszenarien aufgrund der bisherigen Entwicklung nur einen geringen Rückgang des Wärmebedarfs erwarten und das Ziel für 2020 verfehlen. Eine Ausnahme bildet die „Energierferenzprognose“ (Prognos/ EWII/ GWS 2014), die aus heutiger Sicht recht optimistisch war hinsichtlich der zu erwartenden Erfolge bei der Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor.

Im weiteren Zeitverlauf wachsen die Unterschiede zwischen den Szenarien. Der für das Jahr 2050 skizzierte Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser wird mit sehr niedrigen 365 Mrd. kWh (Prognos/ifeu/IWU 2015: Ziel Effizienz) bis 650 Mrd. kWh (Nitsch 2016: SZEN-16 „TREND“) angesetzt. Die Bandbreite der Werte reicht von der maximalen Energieverbrauchsreduktion, die für realistisch erreichbar gehalten wird, bis zu relativ pessimistischen Erwartungen unter den derzeitigen Rahmenbedingungen. Insgesamt zeigt die Analyse, dass die bisher existierenden Instrumente nicht ausreichen, um die politisch angestrebten Energieeinsparungen zu erreichen.

Die wesentlichen Stellschrauben für die Reduktion des Wärmebedarfs in Gebäuden bestehen in der Steigerung der Energieeffizienz durch Wärmedämmung und optimierte Anlagentechnik. Bisher werden die durch Effizienzsteigerungen erzielten Energieeinsparungen jedoch zum Beispiel durch eine Zunahme des Wohnflächenbedarfs pro Kopf teilweise aufgehoben („Reboundeffekte“⁴). Günstig für die Entwicklung des Energiebedarfs wirkt sich in den meisten Studien aus, dass sie für Deutschland einen Bevölkerungsrückgang unterstellen.⁵ Einen steigenden Energieverbrauch sehen die meisten Studien im Bereich der Klimakälte⁶, allerdings ausgehend von einem sehr geringen Niveau (11 Mrd. kWh im Jahr 2015).

⁴ Vgl. z.B. HBS/ifeu 2015, S. 9; Prognos/EWI/GWS 2014, S.451ff.

⁵ Z.B. Prognos/EWI/GWS 2014, S.5; Öko-Institut/ Fraunhofer ISI 2015, S.77

⁶ Z.B. Prognos/EWI/GWS 2014, S.89; Prognos/ifeu/IWU 2015, S.20, Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2015, S. 137ff.

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

3.2 Endenergieverbrauch für Prozesswärme

Effizienzgewinne im Bereich der Prozesswärme⁷ sind in den vergangenen Jahren durch Produktions- und Konsumwachstum praktisch vollständig aufgehoben worden. Dennoch unterstellen die analysierten Studien und Szenarien in der Zukunft auch bei der Prozesswärme eine deutliche Reduktion des Energieverbrauchs, die jedoch wesentlich geringer ausfällt als im Gebäudesektor:

Forschungsradar
Vergleichsgrafik

Metaanalyse zum Zusammenspiel von Strom- und Wärmesystem

Endenergieverbrauch für Prozesswärme in Deutschland

Die Höhe des Prozesswärmebedarfs in Deutschland ist bisher weitgehend stabil, einige Energieszenarien unterstellen jedoch für die Zukunft eine starke Reduktion, vor allem durch weitere Effizienzsteigerungen und Prozessoptimierungen. Die Herausforderung für die Umstellung von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Wärme, erneuerbare Brennstoffe und elektrischen Strom hängt eng mit der Höhe des Prozesswärmebedarfs und den benötigten Temperaturen zusammen.

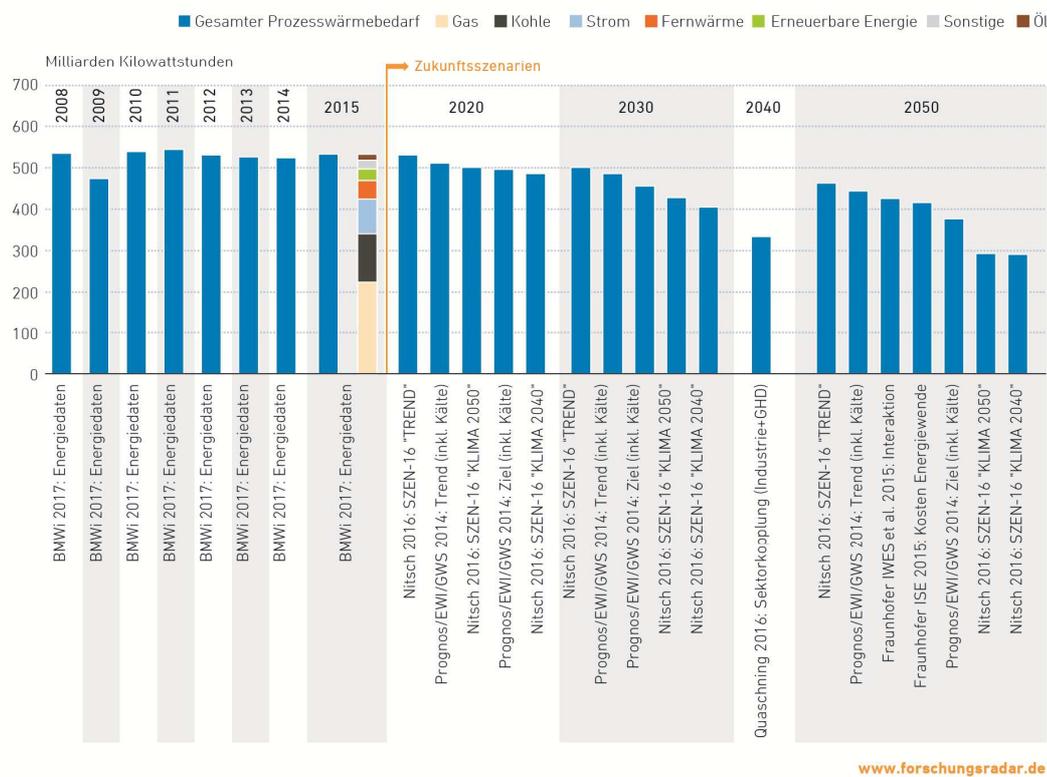


Abb. 3: Endenergieverbrauch für Prozesswärme in Deutschland

Je nach Szenario sinkt der Prozesswärmebedarf gegenüber dem Niveau von 2015 (533 Mrd. kWh) langfristig um etwa 13 Prozent (Nitsch 2016: SZEN-16 „TREND“) bis 45 Prozent (Nitsch 2016: SZEN-16 „KLIMA 2040“). Angenommen werden zumeist ein allgemeiner Fortschritt in der Energieproduktivität, ein struktureller Wandel im produzierenden Gewerbe mit Stagnation oder Rückgang energieintensiver Branchen und eine konsequente Nutzung von Abwärmepotenzialen bzw. Wärmerückgewinnung. Wichtige Anreize dafür werden durch den generell zunehmenden Wettbewerbsdruck, den Emissionshandel und die Verteuerung von Energie erwartet.⁸

Heute werden fast zwei Drittel des Prozesswärmebedarfs mit Erdgas und Kohle gedeckt (siehe Abb. 3), ein Viertel mit Strom und Fernwärme. Erneuerbare Energien tragen nur neun Prozent bei.

⁷ Prozesswärme umfasst zum Beispiel die Energie für Kochen, Waschen, Spülen, Trocknen, Sterilisieren oder Schmelzen.

⁸ Z.B. Prognos/EWI/GWS 2014, S.89

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Der Ersatz der fossilen Energieträger wird auch durch Strom erfolgen, sei es durch die direkte Stromnutzung oder strombasierte Gase. Der Grund dafür liegt darin, dass das verfügbare Biomassepotenzial begrenzt ist und überwiegend so hohe Temperaturen benötigt werden, dass Solarthermie und Wärmepumpen „lediglich“ zum Vorwärmen genutzt werden können. Die Höhe des Prozesswärmebedarfs entscheidet daher wesentlich darüber, wie viel Strom aus Erneuerbaren Energien für eine klimafreundliche Wärmeversorgung benötigt wird.

Gleichzeitig wird deutlich, dass es sinnvoll sein wird, für die Deckung des Wärme- oder Kältebedarfs nicht mehr nur eine Heiztechnologie („monovalent“) vorzusehen, sondern „bivalente“ oder „multivalente“ Systeme⁹, d.h. verschiedene Technologien und Energieträger miteinander zu kombinieren.

4 Zusammenspiel von Strom und Wärme für die Energiewende

Strom- und Wärmeversorgung haben bereits heute viele Schnittstellen. Klassischerweise gehören dazu Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK), die einerseits der Stromerzeugung dienen, deren Abwärme jedoch für die Wärmeversorgung genutzt wird. Sie werden im Zuge der Energiewende weiter eine wichtige Rolle spielen, wenn sie flexibilisiert werden, das heißt in Zukunft nur noch dann Strom erzeugen, wenn nicht genug Strom aus Wind und Sonne zur Verfügung steht (vgl. Kapitel 4.4).

Weitere Schnittstellen sind im Prinzip alle Wärme- und Kälteerzeuger, die mit Strom arbeiten, seien es Wärmepumpen, Klimaanlage, Nachtspeicherheizungen, Elektrodenkessel oder Ähnliches. Die **effiziente** und **flexible** Nutzung von Strom zur Wärme- und Kälteversorgung wird eine Schlüsselrolle für das Gelingen der Energiewende spielen, wie im Folgenden erläutert wird.

4.1 Mögliche Auswirkungen neuer Strom-Wärme-Anwendungen auf den Stromverbrauch

Heute werden rund 180 Mrd. kWh Strom für die Wärme- und Kälteversorgung genutzt, das ist etwa ein Drittel des deutschen Nettostromverbrauchs. Der größte Teil entfällt auf Prozesswärme (84 Mrd. kWh) sowie Prozesskälte (Kühlen und Gefrieren) (47 Mrd. kWh). Aber auch die dezentrale Warmwassererzeugung (elektr. Boiler, Durchlauferhitzer) und die Erzeugung von Raumwärme (Nachtspeicheröfen und andere Stromheizungen) machen einen relevanten Anteil (38 Mrd. kWh) aus.

Wie in Kapitel 3 dargestellt, gibt es zwar erhebliche, aber dennoch begrenzte Potenziale, den Endenergiebedarf an Wärme und Kälte zu reduzieren. Selbst in den ehrgeizigsten Klimaschutzszenarien verbleibt ein Sockel von etwa 360 bis 400 Mrd. kWh Wärmeverbrauch im Gebäudereich und 300 bis 400 Mrd. kWh bei der Prozesswärme. Gleichzeitig sind die Möglichkeiten zur Erschließung „klassischer“ erneuerbarer Wärmetechnologien wie Solarthermie, Biomasse und Geothermie begrenzt, auch wenn es hier wiederum große Bandbreiten bei der Beurteilung der nutzbaren Potenziale gibt.¹⁰ Vor allem für den Prozesswärmebedarf der Industrie, der zum großen Teil auf Hochtemperaturwärme (>300 Grad Celsius) entfällt, ist die direkte Nutzung erneuerbarer Wärmetechnologien nur eingeschränkt möglich.

Vor diesem Hintergrund rückt eine verstärkte Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien bzw. daraus produziertem Wasserstoff oder Methan („EE-Gas“) als Ersatz für fossile Brennstoffe

⁹ Vgl. z.B. Fraunhofer IWES/IBP 2017; Fraunhofer IWES et al. 2015

¹⁰ Vgl. hierzu AEE 2015: [Metaanalyse „Energiewende im Wärmesektor“](#); Prognos/ ifeu/ IWU 2015, S.21f

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

in der Wärmeversorgung ins Blickfeld. Das setzt allerdings voraus, dass der Ausbau erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen erfolgreich voranschreitet und die fossil-nukleare Erzeugung sukzessive beendet wird. Strom kann dann als Hilfsenergie für Wärmepumpen dienen oder er wird in Heizstäben, Elektrodenkesseln und anderen elektrischen Heiztechniken eingesetzt. Indirekt findet Strom auch in Gaskesseln oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen Verwendung, wenn diese künftig mit synthetischem Gas betrieben werden, das mithilfe von Strom erzeugt wird („Power-to-Gas“, „EE-Gas“, „Wind-Gas“).

Für die Energiewende sind dabei die Auswirkungen neuer elektrischer Wärme- und Kälteanwendungen auf die Höhe des Stromverbrauchs (siehe Abb. 4) sowie die Flexibilität von Bedeutung, denn das bestimmt den notwendigen Ausbau von Windenergie und Photovoltaik, den Bedarf an Speichern und die Kosten der Energieversorgung.

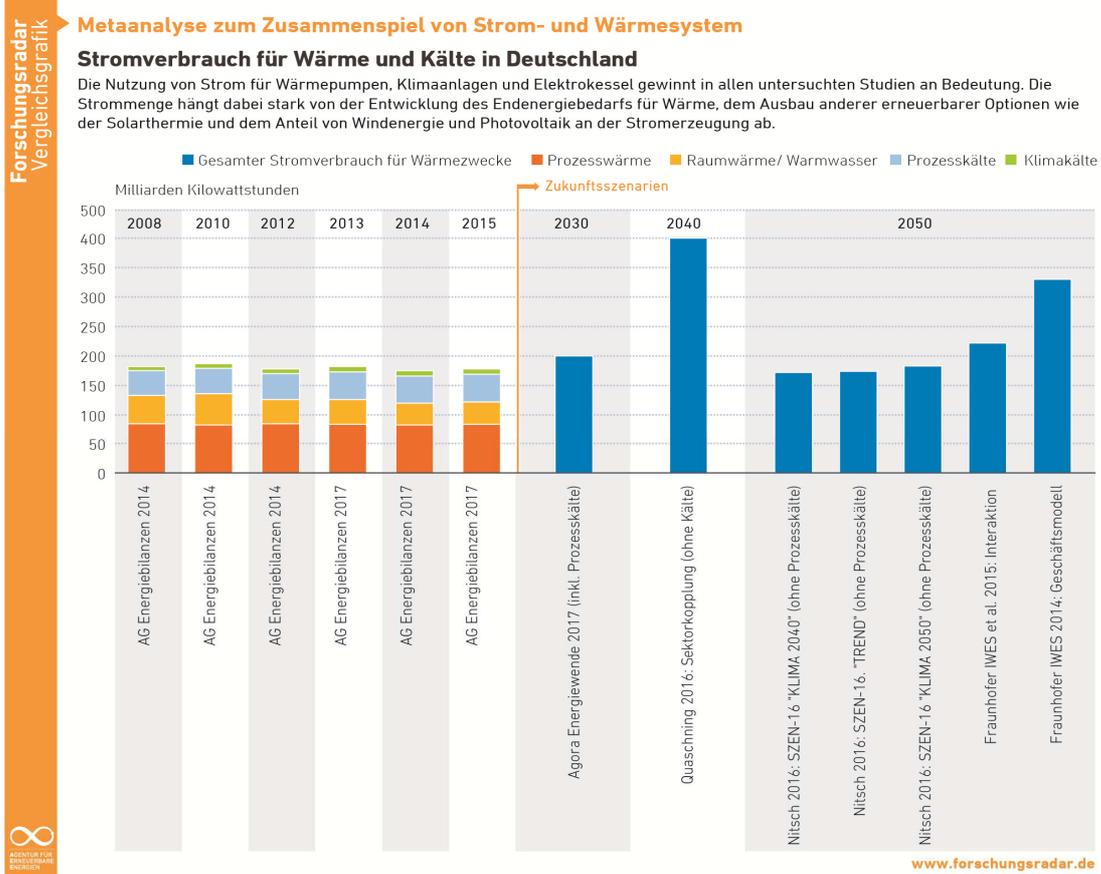


Abb. 4: Stromverbrauch für Wärme und Kälte

Ein Ergebnis der Metaanalyse ist, dass neue Strom-Wärme-Anwendungen nicht notwendigerweise zu einem viel höheren Stromverbrauch führen müssen, wenn alte, ineffiziente Technologien ausgetauscht und bei den neuen auf Effizienz und Flexibilität geachtet wird.¹¹ Folglich weisen manche Klimaschutzszenarien im Vergleich zu heute nur einen leicht höheren Stromverbrauch für Wärmezwecke aus (z.B. Nitsch 2016). Andere kalkulieren jedoch mit bis zu 400 Mrd. kWh zusätzlichem Strombedarf (Quaschnig 2016), weil sie zum Beispiel mit geringeren bzw. langsameren Erfolgen bei der Senkung des Endenergiebedarfs für Wärme rechnen. Je nachdem, wie sich der Wärmebedarf und andere Versorgungsoptionen wie Solarthermie und Biomasse tatsächlich entwickeln, muss die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien entsprechend stärker ausgebaut werden.

¹¹ Vgl. Fraunhofer IWES/IBP 2017; Agora Energiewende 2017, S.31

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

4.2 Flexibilitätsbedarf aus dem Stromsektor

Vorangetrieben wird die Diskussion um die stärkere Einbindung von Strom in die Wärmeversorgung durch den wachsenden Flexibilitätsbedarf des Stromsektors. In den vergangenen drei Jahren hat das sogenannte „Einspeisemanagement“ zur Erhaltung der Netzstabilität deutlich zugenommen (siehe Abb. 5). Im Jahr 2015 sind dadurch fast fünf Mrd. kWh weniger Strom aus Wind, Sonne und Bioenergie erzeugt worden, als möglich gewesen wäre. Zudem wurden Entschädigungszahlungen an die Anlagenbetreiber in Höhe von mehr als 300 Millionen Euro fällig.¹²

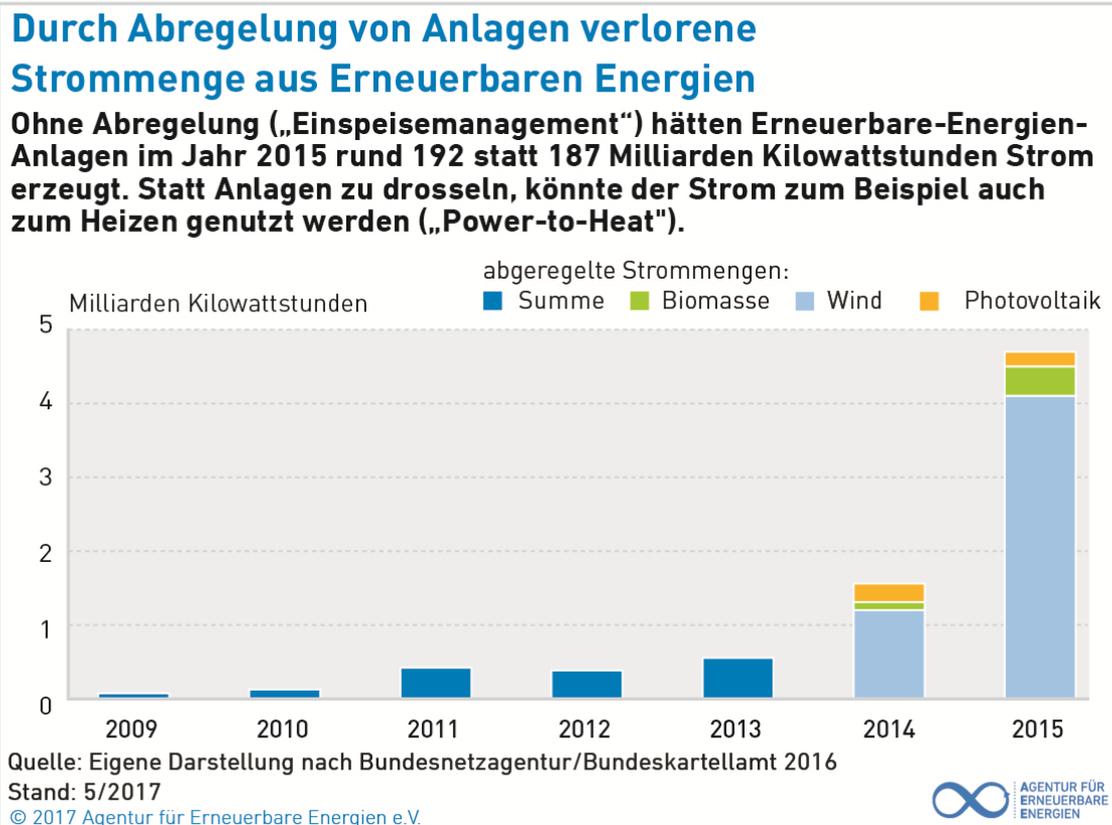


Abb. 5: Abregelung Erneuerbarer-Energien-Anlagen 2009-2015

In diesem Zusammenhang ist zunächst klarzustellen: Es hat in Deutschland noch keine Situation mit einer sogenannten negativen Residuallast gegeben, bei der die Stromerzeugungsleistung aus Erneuerbaren Energien die Stromnachfrage überstiegen hätte, es also tatsächlich zu Überschüssen gekommen wäre. Vielmehr deckt die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in einzelnen Stunden maximal 85 Prozent der Stromnachfrage.¹³ Die Debatte um „überschüssigen Wind- und Solarstrom“ trifft daher für das bisherige Energiesystem nicht zu. Stattdessen liegt die Ursache für die Abregelung Erneuerbarer-Energien-Anlagen derzeit vor allem in Netzengpässen und der mangelnden Flexibilität konventioneller Kraftwerke und KWK-Anlagen.

¹² BNetzA/BKartA 2016, S. 104ff.

¹³ Agora Energiewende 2017b

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Nichtsdestotrotz ist klar, dass der notwendige weitere Ausbau von Windenergie und Photovoltaik in Zukunft regelmäßig zu Erzeugungsleistungen führen wird, für die es auf Basis der bisherigen („konventionellen“) Stromverbraucher keine Nachfrage gibt. Damit Wind- und Solaranlagen aus Gründen des Klima- und Umweltschutzes sowie der Kosteneffizienz so wenig wie möglich gedrosselt werden, braucht es flexible Stromverbraucher. Die Größenordnung, um die es im Hinblick auf die mögliche Abregelung Erneuerbarer Energien bzw. potenzielle Stromüberschüsse geht, illustriert Abb. 6:

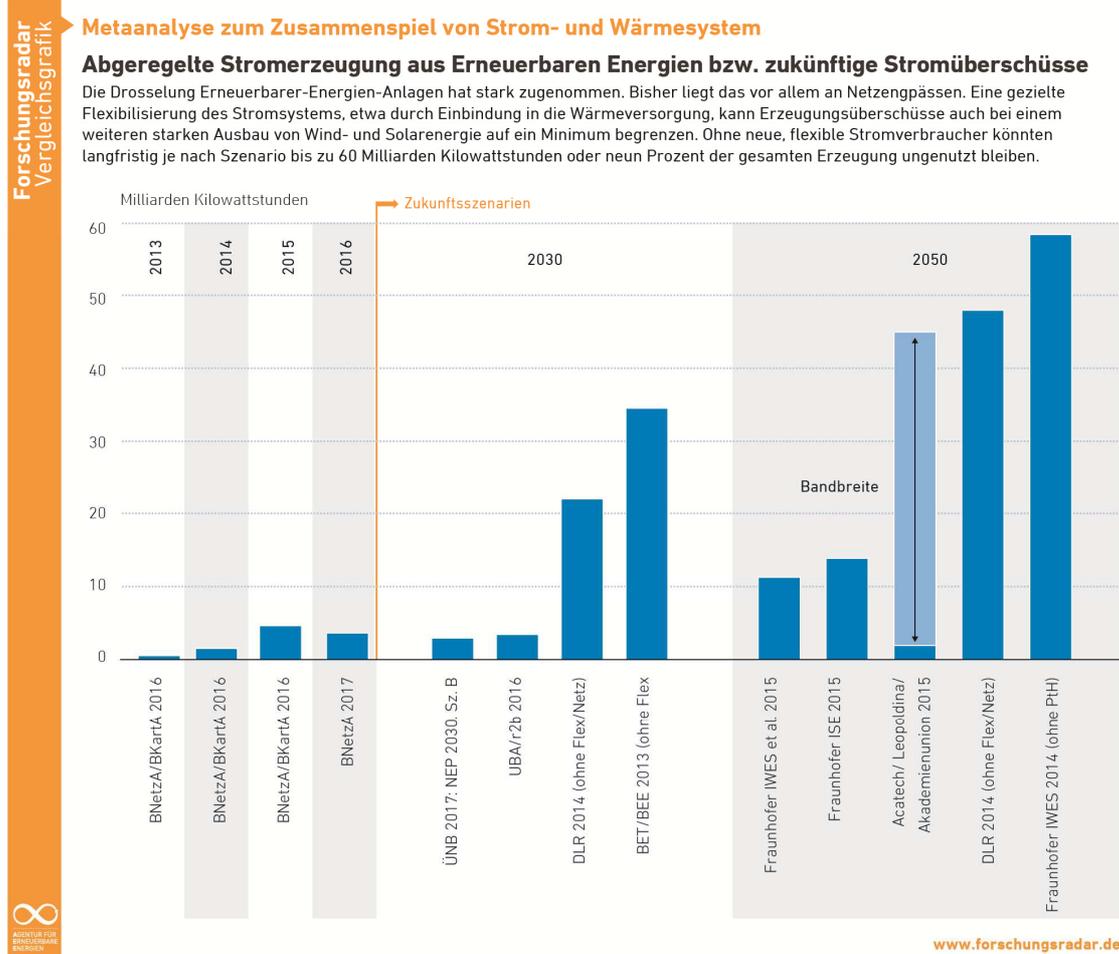


Abb. 6: Abregelung Erneuerbarer-Energien-Anlagen bzw. potenzielle Stromüberschüsse

Ohne die gezielte Nutzung von Flexibilitätsoptionen könnten demnach langfristig bis zu 60 Mrd. kWh Strom aus Erneuerbaren Energien „überschüssig“ sein bzw. abgeregelt werden (in dem dargestellten Beispiel etwa neun Prozent der gesamten Erzeugung). Eine geschickte Verknüpfung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr kann Stromüberschüsse jedoch auch in Szenarien, die sehr hohe Beiträge aus Wind- und Solarenergie vorsehen (Fraunhofer IWES et al. 2015; Fraunhofer ISE 2015), auf ein Minimum begrenzen. Die Abregelung von Erzeugungsspitzen beträgt hier weniger als zwei Prozent der gesamten Stromerzeugung (11 bis 14 Mrd. kWh von rund 800 Mrd. kWh).

Als Flexibilitätsoption wird neben der Verschiebung bestehender Lasten („Demand-Side-Management“) und dem Einsatz von Stromspeichern auch die Möglichkeit diskutiert, vermehrt Strom für die Wärmebereitstellung zu verwenden. Für solche „neuen“ Wärmeanwendungen wird oft der Begriff „Power-to-Heat“ genutzt.

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

4.3 „Power-to-Heat“ als Flexibilitätsoption

Wie in Kapitel 4.1 dargestellt, ist „Power-to-Heat“ (PtH oder P2H), allgemein verstanden als elektrische Wärmeerzeugung, im Grunde nichts Neues. Im Zuge der Energiewende müssen sich jedoch die Technologien und deren Betriebsweise verändern: Effizienz und Flexibilität rücken in den Fokus.

Bis vor wenigen Jahren war es ein Ziel der Umwelt- und Energiepolitik, die Nutzung von elektrischem Strom zur Wärmeversorgung generell zu reduzieren. Gründe dafür waren die Umweltschädlichkeit und geringe Energieeffizienz der Stromerzeugung aus Kohle und Atomenergie sowie die hohen Kosten für die Verbraucher. In der Energieeinsparverordnung (EnEV) von 2009 wurde daher ein gesetzliches Verbot von Nachtspeicherheizungen festgeschrieben. Demzufolge hätten sie bis Ende 2019 aus den meisten Gebäuden verschwinden müssen. Der Ersatz der übrigen Nachtspeicherheizungen wäre spätestens 30 Jahre nach ihrem Einbau fällig gewesen. Allerdings hat der Bundestag das Verbot im Mai 2013 wieder aufgehoben mit der Begründung, die alten Nachtspeicheröfen könnten als Speicher für „überschüssigen“ Strom dienen und damit die Stromnetze entlasten¹⁴.

Das würde aber voraussetzen, dass die Heizungen nur dort stehen, wo Netzengpässe sind, und nur dann laufen, wenn genügend Strom aus Wind und Sonne da ist. Hier liegt das zentrale Problem konventioneller Stromheizungen, Durchlauferhitzer etc., denn sowohl ihr Standort als auch ihr Betrieb richten sich nach dem Wärmebedarf der Nutzer oder pauschal vorgegebenen Einsatzzeiten (Nachtspeicher), aber nicht nach der aktuellen Situation im Stromnetz. Darin besteht ein wesentlicher Unterschied zu „Power-to-Heat“ im Sinne der Energiewende. Hierfür muss sich der Anlagenbetrieb soweit wie möglich an der Verfügbarkeit von Strom aus Erneuerbaren Energien bzw. der jeweiligen Netzsituation orientieren. Neue Strom-Wärmeanwendungen dürfen möglichst keine zusätzlichen, nicht verschiebbaren Lasten im Stromsektor schaffen, die wiederum nur schwer oder gar nicht durch Erneuerbare Energien gedeckt werden könnten.

In der energiepolitischen Debatte ist zu beachten, dass der Begriff PtH nicht einheitlich genutzt wird: Manchmal werden sowohl Wärmepumpen als auch Strom-Direktheizungen darunter gefasst¹⁵, teilweise wird der Begriff ausschließlich für elektrische Heizelemente in Fernwärmenetzen bzw. KWK-Anlagen verwendet und als reine Flexibilitätsoption für den Stromsektor verstanden¹⁶. Im zweiten Fall dient PtH der gezielten Nutzung „überschüssiger“, das heißt anderweitig gerade nicht nutzbarer Strommengen¹⁷, um die Abregelung Erneuerbarer Energien zu vermeiden bzw. zu vermindern. Andere strombasierte Wärmetechnologien wie zum Beispiel Wärmepumpen werden dann separat betrachtet¹⁸.

Auf Basis der letzteren Definition von PtH als Flexibilitätsoption ergibt sich folgendes Bild für die mögliche Entwicklung der installierten Kapazität und des Stromverbrauchs:

¹⁴ Vgl. zum Beispiel [co2online](#) und [energie-experten.org](#)

¹⁵ z.B. BMWi 2016, Expertenkommission 2016

¹⁶ z.B. Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2015

¹⁷ Vgl. z.B. IRENA 2017: Renewable energy in district heating and cooling

¹⁸ z.B. Fraunhofer IWES/IBP 2017, Fraunhofer IWES et al. 2015

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Forschungsradar
Vergleichsgrafik

Metaanalyse zum Zusammenspiel von Strom- und Wärmesystem

Bedeutung von "Power-to-Heat" für die Energiewende

Die Installation von Heizstäben oder Elektrodenkesseln ("Power-to-Heat") dient vor allem der Bereitstellung von Flexibilität für den Stromsektor. Dadurch können zum Beispiel Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen flexibler betrieben werden und es kann Strom aus Erneuerbaren Energien in das System integriert werden, der ansonsten abgeregelt werden müsste. Da das Verhältnis von erzeugter Wärme zu eingesetzter Strommenge z.B. bei Heizstäben 1:1 beträgt, wird ihr Beitrag zur Wärmeversorgung sehr begrenzt sein. Für große Wärmemengen muss der Fokus auf effizienteren Lösungen wie Wärmepumpen liegen, bei denen mit einer Kilowattstunde Strom etwa drei Kilowattstunden Wärme generiert werden.

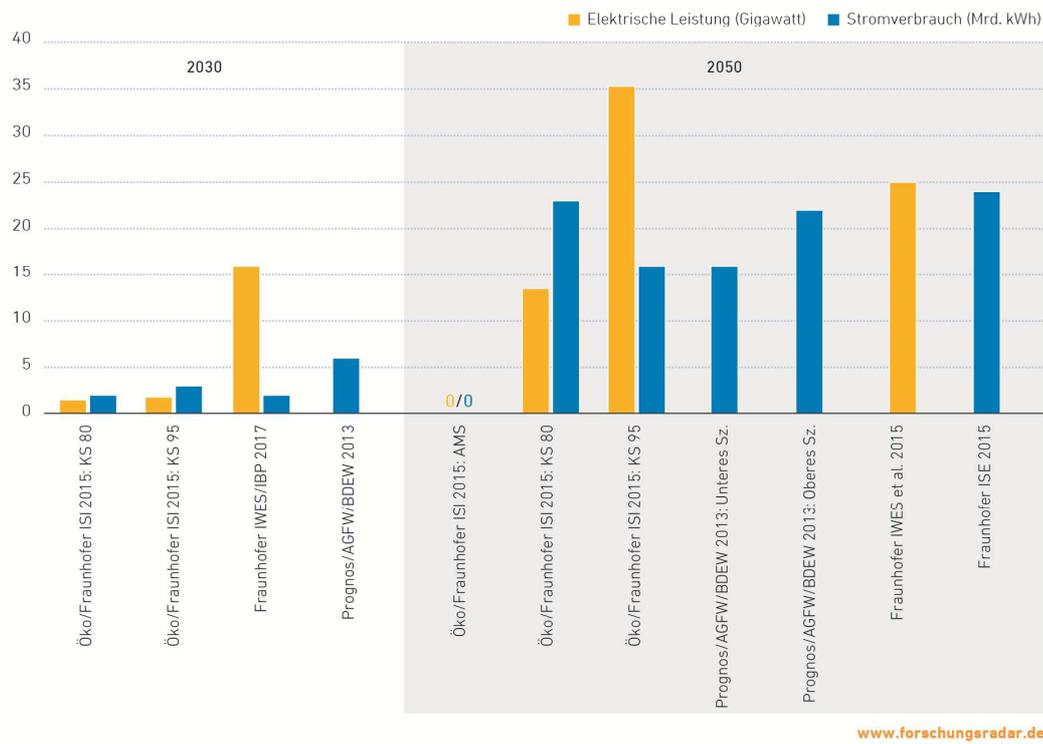


Abb. 7: Bedeutung von „Power-to-Heat“ als Flexibilitätsoption für die Energiewende

Zu erkennen ist in Abb. 7 zum einen, dass die (wenigen) Studien, die sowohl Werte zum Stromverbrauch als auch zur Leistung angeben, sehr geringe Volllaststunden annehmen: Im Fall von Fraunhofer IWES/IBP (2017) sind es im Jahr 2030 rechnerisch ca. 125 h/a, bei Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015) (KS 80) ca. 1.600 h/a im Jahr 2050¹⁹. Das zeigt die hohe Flexibilität dieser Technologie.

Weiterhin ist zu sehen: Die Zeitskala in der Abbildung startet erst bei 2030. Erst ab dann geht es um größere Mengen an Strom und installierter Leistung. Eine starke Nutzung von Power-to-Heat als Flexibilitätsoption sehen z.B. Fraunhofer IWES et al. (2015) erst ab etwa 2035, wenn der Ausbau der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien weiter fortgeschritten ist²⁰ und es tatsächlich in größerem Maße zu Stromüberschüssen kommt (vgl. Abb. 6, S.12).

PtH stellt in diesem Fall quasi die letzte Nutzungsstufe vor der Abregelung dar, was in der relativ geringen Effizienz begründet ist. Der Wirkungsgrad von PtH liegt bei eins, das heißt eine Kilowattstunde Strom produziert eine Kilowattstunde Wärme. Das ist mehr als bei strombasierten Brennstoffen („Power-to-Gas“²¹), aber wesentlich weniger als bei Wärmepumpen. Letztere können

¹⁹ Zum Vergleich: Das Jahr hat 8.760 Stunden. Braunkohle- oder Atomkraftwerke werden in der Regel mit mehr als 7.000 Volllaststunden im Jahr betrieben.

²⁰ Fraunhofer IWES et al. 2015, S. 139, 142

²¹ Hier liegt die Wärmeausbeute bei etwa 0,6 kWh pro Kilowattstunde Strom, wenn das Gas im Brennwertkessel eingesetzt wird (Prognos/ifeu/IWU 2015).

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

mithilfe einer Kilowattstunde Strom rund drei Kilowattstunden Wärme gewinnen. Für die Zukunft wird sogar mit einer weiteren Effizienzsteigerung gerechnet, so dass die sogenannte Jahresarbeitszahl (JAZ) auf vier²² bis fünf steigen könnte²³. Das ist der Grund dafür, dass viele Studien sehr stark auf Wärmepumpen setzen (vgl. Abb. 8).

Eine mögliche Einsatzreihenfolge für die sogenannte negative Residuallast²⁴ ist in Fraunhofer ISE (2015) (S.19) dargestellt:

1. Laden stationärer Batterien
2. Laden Kfz-Batterien
3. Laden von Pumpspeicherwerken
4. Wasserstoffherzeugung (Elektrolyse)
5. Methanisierung
6. Beladen thermischer Speicher mit Wärmepumpe
7. Stromexport
8. Beladen von Wärmespeichern mit Heizstab
9. Überschuss/Abregelung.

4.4 Die Rolle von Wärmepumpen in der Energiewende

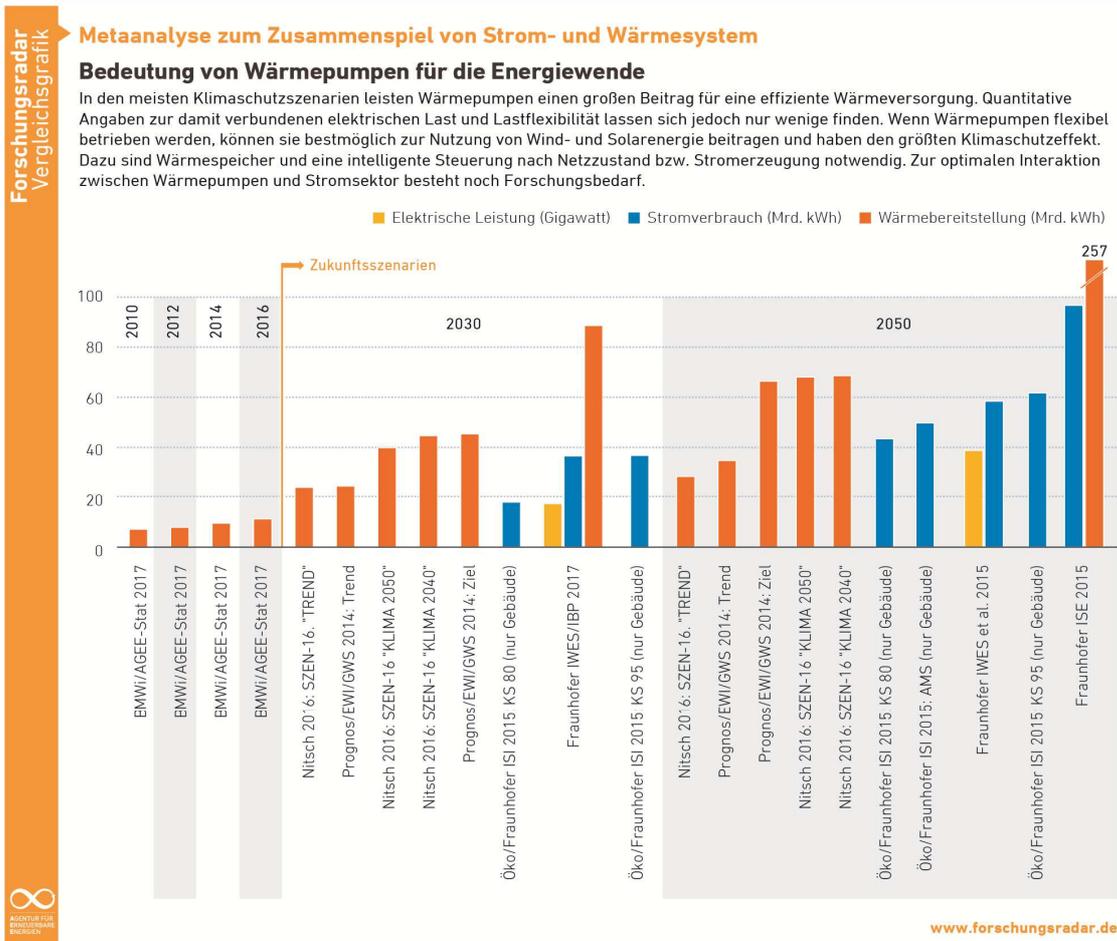


Abb. 8 Bedeutung von Wärmepumpen für die Energiewende

²² z.B. Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2015, S.156

²³ Quaschnig 2016, S.15f

²⁴ = wenn die Stromerzeugungsleistung größer ist als die „konventionelle“ Stromnachfrage („Überschuss“)

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Mit 11,3 TWh trug die Nutzung der oberflächennahen Geothermie bzw. Umweltwärme mithilfe von Wärmepumpen im Jahr 2016 knapp ein Prozent zur Deckung des gesamten Wärmeenergiebedarfs bei. Alle ausgewerteten Studien messen Wärmepumpen aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz eine wachsende Bedeutung für die Energiewende bei. Einige bezeichnen dezentrale Wärmepumpen und Großwärmepumpen in Wärmenetzen und Industrie als Schlüsseltechnologien im Wärmebereich²⁵, die langfristig den größten Teil des Gebäudewärmebedarfs decken könnten²⁶.

Fraunhofer IWES/IBP (2017) halten mindestens fünf bis sechs Millionen Wärmepumpen bis zum Jahr 2030 für erforderlich, um die Klimaschutzziele erreichen zu können und regen an, sie auch in Altbauten zu installieren, zum Beispiel als bivalente Wärmepumpensysteme mit fossilen Spitzenlastkesseln. Im Basisszenario würden Wärmepumpen dann 87 Mrd. kWh Wärme bereitstellen bei einem Stromverbrauch von 36 Mrd. kWh und einer maximal abgerufenen Leistung von 17 Gigawatt. Unter der Annahme, dass alle Wärmepumpen mit einem Wärmespeicher ausgestattet werden, könnten sie unter Berücksichtigung der Speicherfunktion der Gebäudemasse mit einer Flexibilität von sechs Stunden in Bestandsgebäuden und neun Stunden in Neubauten betrieben werden. Unter der Voraussetzung einer flexiblen Steuerung und Ersatz der alten Nachtspeicheröfen durch effiziente Heizungen würde es kaum zu einer Steigerung der Spitzenlast kommen²⁷. Deutlich wird aber auch, dass der Betrieb von Wärmepumpen keinesfalls nur mit „Überschussstrom“ funktionieren wird, sondern ein relevanter neuer Stromverbraucher ist.

Für das Jahr 2050 ergeben sich im Szenario von Fraunhofer ISE (2015) sogar 257 Mrd. kWh Umweltwärme bei einem Stromverbrauch von 97 Mrd. kWh. Das ist mehr als doppelt so viel wie in aktuellen Trendszenarien²⁸. Die enorme Bandbreite zeigt dabei nicht nur den Unterschied zwischen Trend- und Zielszenarien, sondern illustriert auch eine große Unsicherheit hinsichtlich der wirtschaftlich zu erschließenden Potenziale. Schließlich ist Strom zurzeit deutlich teurer als Öl oder Gas.

²⁵ z.B. Fraunhofer IWES et al. 2015; Fraunhofer IWES/IBP 2017; Fraunhofer ISE 2015

²⁶ z.B. Quaschnig 2016; Fraunhofer IWES et al. 2015

²⁷ Fraunhofer IWES/IBP 2017, S.13, 54, 59

²⁸ Prognos/EWI/GWS 2014: Trendszenario; Nitsch 2016: SZEN-16 „TREND“

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

4.5 Wärmenetze, Wärmespeicher, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Die Mehrzahl der hier betrachteten Studien vertritt die These, dass Wärmenetze ein wesentlicher Bestandteil einer klimafreundlichen Wärmeversorgung sein werden (z.B. Fraunhofer IFAM 2013, Fraunhofer IWES/IBP 2017). Wärmenetze können nämlich unterschiedliche Erzeugungseinheiten und Verbraucher verknüpfen: Insbesondere in Städten mit hoher Bebauungsdichte könne die Fernwärme auch in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen. So könnten z.B. große Miets- und Bürohäuser sowie Altbauten, die trotz energetischer Sanierung einen relativ hohen Wärmebedarf haben, mit leitungsgebundener Wärme aus KWK-Anlagen, Solarthermie, Geothermie, Industrieabwärme und „Überschussstrom“ (Power-to-Heat) versorgt werden. Die Fernwärme werde sich dabei von Hochtemperaturnetzen auf Basis von Gas und Kohle zu Niedertemperaturnetzen („kalte“ Fernwärme) mit Gas-KWK, Groß-Wärmepumpen und Solarthermie+PtH wandeln.

Eine besonders wichtige Funktion von Wärmenetzen und –speichern besteht darin, dass sie dabei helfen hohe Anteile von Strom aus Erneuerbaren Energien in das Energiesystem zu integrieren²⁹, indem sie einen flexiblen Betrieb von KWK-Anlagen ermöglichen. Dabei wird die Wärmeversorgung zeitlich von der Stromerzeugung entkoppelt. So kann sich die Stromerzeugung in KWK-Anlagen nach dem Bedarf im Stromsektor richten und gleichzeitig der Wärmebedarf der angeschlossenen Verbraucher gedeckt werden. Die Funktion von Wärmenetzen und Wärmespeichern als Bindeglied zwischen Strom- und Wärmeversorgung illustriert Abb. 9:

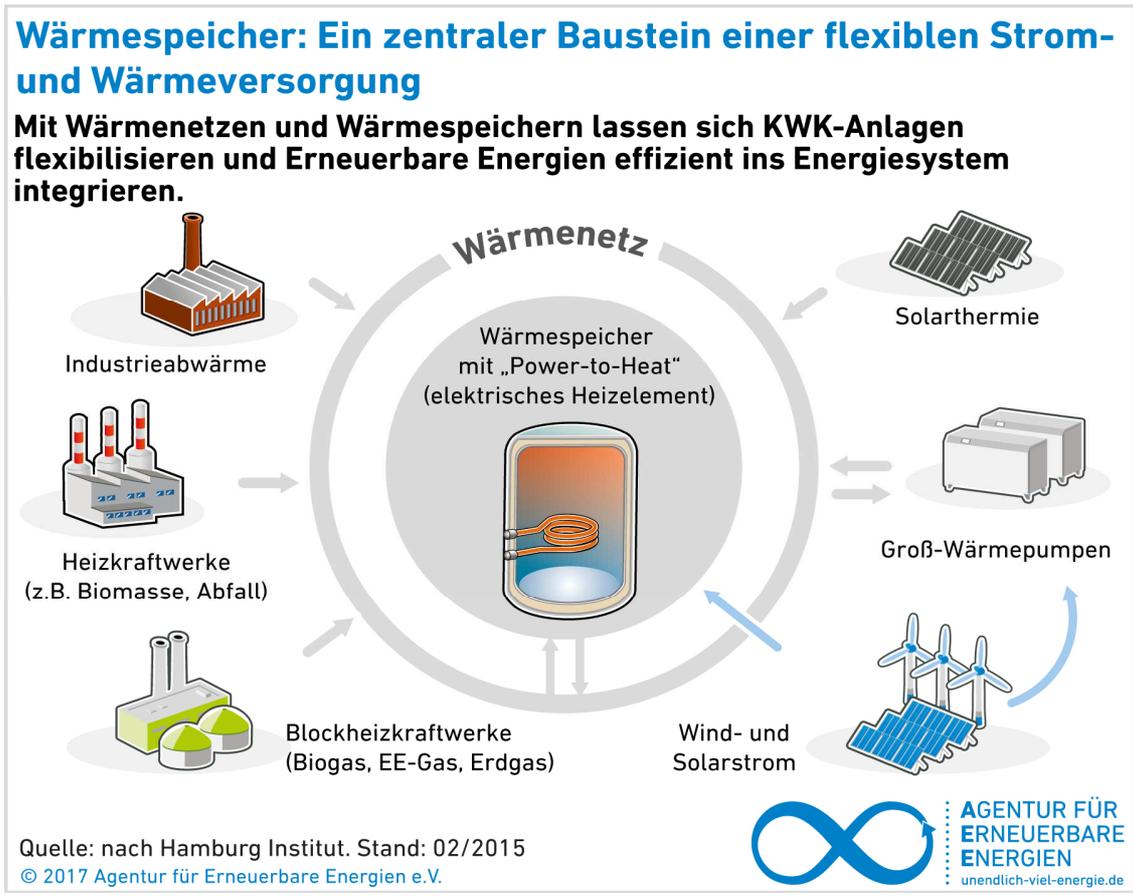


Abb. 9: Wärmenetze und –speicher als Bindeglied zwischen Strom- und Wärmeversorgung

²⁹ Vgl. z.B. BET/BEE 2013 und Fraunhofer IFAM/BEE 2013

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Je nach Bedarf erhöhen oder senken die KWK-Anlagen (Blockheizkraftwerke, Heizkraftwerke) ihre Stromerzeugungsleistung. So können sie positive oder negative Regelleistung für den Stromsektor bereitstellen. Ein ausreichend großer Wärmespeicher ermöglicht es, die KWK-Anlage abzuschalten, wenn genug Strom aus Wind und Sonne da ist, denn die Wärmeversorgung wird dann durch den Speicher gewährleistet. Ist die Stromerzeugung aus Wind und Sonne größer als die Stromnachfrage (negative Residuallast), kann eine integrierte Power-to-Heat-Anlage (vgl. Kap. 4.3) den Strom dazu nutzen, den Wärmespeicher zu erhitzen. Neben dem Lastausgleichseffekt für das Stromnetz hat das die positive Wirkung, dass Brennstoff (z.B. Erdgas) für die Wärmeerzeugung eingespart wird.

Wärmespeicher in Wärmenetzen stellen somit auf drei verschiedene Weisen Flexibilität für den Stromsektor bereit:

- Die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen wird in Situationen mit wenig Stromeinspeisung aus Erneuerbaren Energien erhöht und die dabei anfallende Wärme bei geringer Wärmenachfrage in den Speicher geleitet.
- In Situationen mit hoher Stromeinspeisung aus Erneuerbaren Energien und hoher Wärmenachfrage kann die KWK-Anlage gedrosselt werden, weil die Wärmenachfrage aus dem Wärmespeicher bedient wird.
- In Situationen, in denen die Stromeinspeisung Erneuerbarer Energien die Stromnachfrage übersteigt, kann die KWK-Stromproduktion komplett eingestellt und Stromüberschüsse dazu genutzt werden, die Wärmenachfrage zu bedienen bzw. den Wärmespeicher aufzuheizen.

Wie groß das Lastmanagementpotenzial durch Wärmenetze/-speicher ist, wird unterschiedlich eingeschätzt. Das höchste Potenzial zur zeitlichen Verschiebung von Stromerzeugungsleistung und -last summiert sich bei BET (2013) im Jahr 2020 auf +/-45 bis +/-49,7 Gigawatt (GW). Davon entfallen 23 GW auf die Flexibilisierung fossiler KWK-Anlagen, 15 GW auf Biomasse-BHKW und 7 bis 11,7 GW auf PtH. Dadurch könnte ein großer Teil der in der Studie angenommenen maximalen Überschussleistung (bis zu -25,7 GW) und der maximalen positiven Residuallast (+75 GW) im Jahr 2020 ausgeglichen werden. Eine Studie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) von 2012 rechnet mit einem Ausgleichspotenzial der KWK in Höhe von maximal +/-38,5 GW im Jahr 2030. Fraunhofer IFAM (2013) sieht für das Jahr 2030 ein Ausgleichspotenzial der Fernwärme-KWK mit PtH in Höhe von +/-35 GW.

Es gibt aber auch Stimmen, die der netzgebundenen Wärmeversorgung und KWK-Anlagen für die Zukunft skeptisch gegenüberstehen. Das liegt daran, dass für einen effektiven Klimaschutz die Wärmenachfrage deutlich sinken muss und Strom hauptsächlich aus Wind- und Sonnenenergie bereitgestellt wird. Ein sinkender Wärmebedarf von Gebäuden und niedrigere Vorlauf-temperaturen stellt die traditionelle leitungsgebundene Fernwärmeversorgung mit hohen Fixkosten für die Wärmenetze vor wirtschaftliche Herausforderungen. Gerade im ländlichen Raum und in Neubaugebieten könnte daher künftig die dezentrale Wärmeversorgung, z.B. mit Wärmepumpen oder Pelletkesseln, im Vordergrund stehen. Diese These vertritt z.B. die Studie von ITG Dresden und FBI TU Darmstadt (2016). Aufgrund der sinkenden Wärmedichte steige der Anteil der Wärmeverluste an der Nutzwärme, zudem führten wachsenden Anteile der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung dazu, dass die ökologische Vorteilhaftigkeit der KWK in Zukunft geringer ausfalle, weil die KWK immer weniger konventionellen Strom verdränge.

Wie unterschiedlich sich vor dem Hintergrund die Stromerzeugung in KWK-Anlagen entwickeln könnte, zeigt Abb. 10:

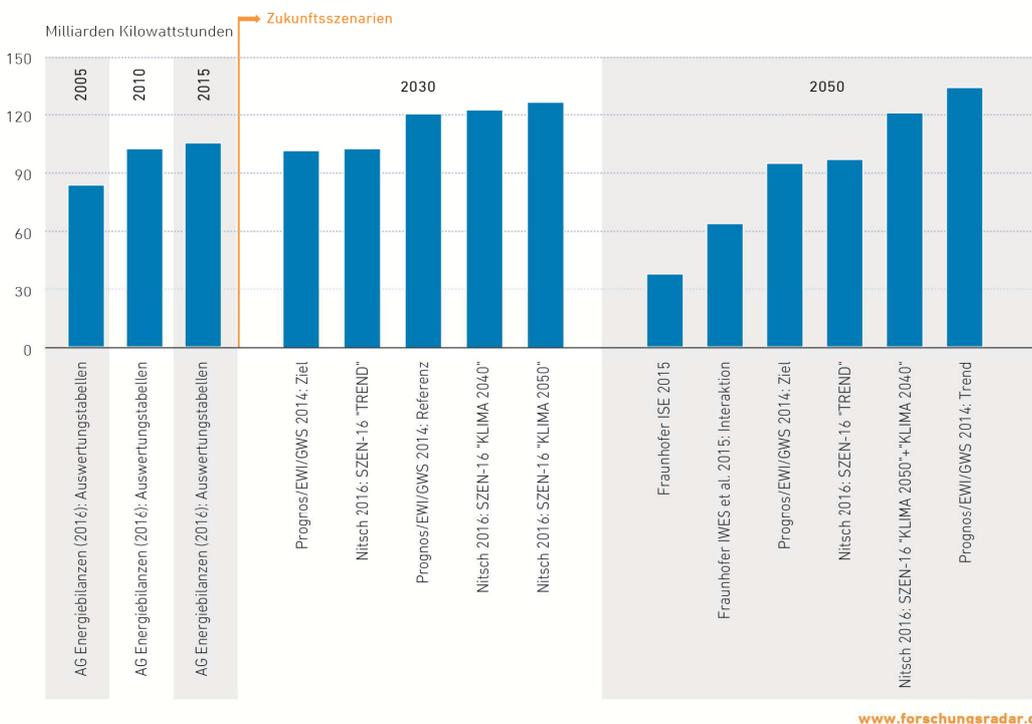
Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Forschungsradar
Vergleichsgrafik

Metaanalyse zum Zusammenspiel von Strom- und Wärmesystem

Nettostromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Deutschland

Die Bedeutung der KWK wandelt sich im Zuge der Energiewende. In Klimaschutzszenarien wird ihr Betrieb mithilfe von Wärmespeichern und Elektroheizern stark flexibilisiert, um große Strommengen aus Windenergie und Photovoltaik zu integrieren. Ob die KWK-Strommenge dadurch zurückgeht oder durch Ausbau von Wärmenetzen und KWK-Leistung steigt, wird sehr unterschiedlich eingeschätzt.



www.forschungsradar.de

Abb. 10: Stromerzeugung aus Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Für ein effizientes und flexibles Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor werden bivalente bzw. Hybridheizsysteme in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Das sind Anlagen, die sowohl mit Strom als auch anderen Energieträgern (z.B. Gas oder Holz) betrieben werden. Bei bivalenten Heizsystemen kann im Fall von Stromüberschüssen die Wärmegewinnung aus elektrischer Energie erfolgen, ansonsten kommt das konventionelle Heizsystem zum Einsatz. Das gilt auch für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, deren Betrieb durch Heizstäbe oder Elektrokessel und große Wärmespeicher stark flexibilisiert und an die Situation im Stromsektor angepasst werden kann.

Viele Studien (z. B. Expertenkommission 2016; Nitsch 2016; Fraunhofer IWES et al. 2015) stellen einen beträchtlichen politischen Handlungsbedarf fest, um den drohenden klima- und energiepolitischen Zielverfehlungen (nicht nur im Wärmemarkt) entgegenzuwirken. Wirksame Instrumente und Maßnahmen als bisher seien erforderlich, um die wachsende Lücke zwischen den politischen Zielen für Klimaschutz und Energieeffizienz und der tatsächlichen Entwicklung zu schließen. Die energetische Sanierung im Gebäudebestand sei besonders dringend, könnte jedoch auf mangelnde Akzeptanz stoßen. Eine ganzheitliche Betrachtung von Gebäudeeffizienz, Anlagentechnik und sozialen Aspekten sei erforderlich.

Zu den möglichen Maßnahmen zählen die Studien zum Beispiel Sanierungskonzepte und die Bereitstellung ausreichender Fördermittel für den Gebäudebestand, flächendeckende kommunale Wärme- und Kältepläne sowie eine Verteuerung fossiler Brennstoffe, z.B. durch CO₂-Bepreisung.

6 Ausgewertete Literatur und Datenquellen

- ▶ [Acatech/ Leopoldina/ Akademienunion \(2015\): Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050.](#)

Die Studie zeigt verschiedene Möglichkeiten auf, wie das Stromsystem der Zukunft bei hohen Anteilen fluktuierender Erneuerbarer Energien ausgestaltet werden könnte. Untersucht werden verschiedene Kombinationen von Erzeugungstechnologien und Flexibilitätsoptionen im Hinblick auf die Kosten des Systems, den Klimaschutzeffekt und Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz.

Der Analyse zufolge gibt es verschiedene Möglichkeiten, fluktuierende Stromerzeuger und Flexibilitätstechnologien zu kombinieren, die alle eine sichere Versorgung gewährleisten und zu relativ ähnlichen Stromgestehungskosten führen. Bei einem Anteil von etwa 90 Prozent Windenergie und Photovoltaik am Stromverbrauch bestehe in etwa der Hälfte der Zeit ein Bedarf an zusätzlicher Stromerzeugung, während in der anderen Hälfte der Zeit überschüssiger Strom eingespeichert, in andere Energieträger umgewandelt (Power-to-Heat, Power-to-Gas) oder abgeregelt werden müsse.

- ▶ [AG Energiebilanzen \(2016\): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990-2015. Stand: Juli 2016](#)
- ▶ [AG Energiebilanzen \(2014\): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990-2013. Stand: September 2014](#)
- ▶ [Agora Energiewende \(2017a\): Energiewende 2030: The Big Picture. Megatrends, Ziele, Strategien und eine 10-Punkte-Agenda für die zweite Phase der Energiewende.](#)

Das Impulspapier beschreibt ein Zielbild für die Energiewende 2030 und macht Vorschläge, wie das Gemeinschaftswerk Energiewende gleichzeitig Klimaschutz, ökonomischen Erfolg und Versorgungssicherheit gewährleisten kann. Für den Wärmesektor beschreiben die Autoren vier Strategien bis zum Jahr 2030: energetische Gebäudesanierung, Halbierung von Kohle und Öl, Ausbau Erneuerbarer Energien, Elektrifizierung der Wärmeversorgung. Der Endenergieverbrauch für Wärme in Gebäuden müsse bis 2030 um ein Viertel sinken, was eine Gebäudesanierungsquote von zwei Prozent pro Jahr erfordere. Der Wärmeverbrauch in der Industrie solle bis dahin durch Effizienzsteigerungen um 10 Prozent niedriger liegen als 2015. Die direkte Nutzung erneuerbarer Wärme wie Geothermie, Solarthermie, Umweltwärme und Abfall-Biomasse soll nach Vorstellung von Agora Energiewende bis 2030 auf etwa 200 Milliarden Kilowattstunden erneuerbare Wärme ausgebaut werden. Fernwärmenetze seien im Zuge einer Modernisierung zu Niedertemperaturnetzen zu entwickeln. Power-to-Heat und Wärmepumpen seien wichtige Mittel für eine effiziente Integration von Wind- und Solarenergie bzw. Klimaschutz. Bis 2030 würden fünf bis sechs Millionen Wärmepumpen eingebaut, die Hälfte davon als Hybridlösungen mit Gas- oder Ölkesseln. Durch den Austausch ineffizienter Strom-Nachtspeicherheizungen ergebe sich lediglich ein zusätzlicher Strombedarf von rund 20 Milliarden Kilowattstunden.

- ▶ [Agora Energiewende \(2017b\): Ein Sonntag fast ohne Kohlestrom. Pressemeldung vom 02.05.2017](#)

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

► [BET \(2013\): Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus Erneuerbaren Energien](#)

Im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE) analysiert das Büro für Energiewirtschaft und technische Planung (BET) die Möglichkeiten zum Ausgleich der zunehmenden fluktuierenden Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Grundlage für die Ermittlung des Ausgleichsbedarfs ist ein BEE-Ausbauszenario bis zum Jahr 2030. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass ausreichend Flexibilitäten vorhanden sind, um die Systemstabilität sicherzustellen. Im BEE-Ausbauszenario komme es deutschlandweit ab 2020 gelegentlich zu Überschüssen an Strom aus Erneuerbaren Energien, die bis 2030 immer häufiger und, größer werden und über längere Zeiträume auftreten. Die Leistungsüberschüsse betragen dann bis zu 84 GW. Umgekehrt beträgt die maximale Residuallast immer noch 71 GW, verglichen mit 86 GW im Jahr 2012. Die Menge an Überschussstrom beträgt im Jahr 2030 insgesamt 34,5 Mrd. kWh bzw. 7,7 Prozent der Erzeugung aus Erneuerbaren Energien. Die Gradienten der Residuallast, also die Leistungsänderung pro Stunde, steigen gegenüber heute deutlich an, so dass die Flexibilitätsoptionen schnell einsetzbar sein müssen.

Die Umstellung der fossilen KWK auf eine stromgeführte Fahrweise durch Flexibilisierung mit Wärmespeicher führe im Jahr 2020 zu einer flexiblen KWK-Leistung in Höhe von 23 GW. Die Auslegung aller Biomasseanlagen auf eine stromgeführte Fahrweise könne ein Lastverlagerungspotenzial von ca. 15 GW im Jahr 2020 ergeben, welches bis 2030 auf 20 GW ansteigen könne. Die flächendeckende Installation von elektrischen Heizstäben in Wärmenetzen böte das Potenzial 7 bis 11,7 GW an Stromüberschüssen in Wärme umzuwandeln.

- [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/ Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik \(BMWi/AGEE-Stat\) \(2017\): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stand: Februar 2017](#)
- [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie \(BMWi\) \(2017\): Energiedaten: Gesamtausgabe. Stand: Mai 2017](#)
- [BMWi \(2016\): Fünfter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Die Energie der Zukunft. Berichtsjahr 2015 \(Langfassung\)](#)
- [Bundesnetzagentur / Bundeskartellamt \(BNetzA/BKartA\) \(2016\): Monitoringbericht 2016](#)
- [Bundesnetzagentur \(2017\): Quartalsbericht zu Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen Viertes Quartal und Gesamtjahr 2016](#)
- [Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt \(DLR\) \(2014\): Möglichkeiten und Grenzen des Lastausgleichs durch Energiespeicher, verschiebbare Lasten und stromgeführte KWK bei hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung](#)

Die Studie untersucht insbesondere das Wechselspiel zwischen Strom- und Wärme-Sektor bzw. die Rolle von KWK, Wärmepumpen, elektrischen Boilern und thermischen Speichern. Die Autoren sehen durch die Modellierungsergebnisse die große Bedeutung des Netzausbaus für Stromspeicher, Back-up-Kapazitäten und Lastausgleichsoptionen bestätigt. Der Ausbau der Stromnetze und die Flexibilisierung von KWK-Anlagen leisten demnach den größten Beitrag zur Integration von Strom aus Erneuerbaren Energien. Ohne erweiterten Netzausbau und neue Flexibilitätsoptionen könnten 48 Mrd. kWh bzw. 11 % der fluktuierenden Erzeugung aus Erneuerbaren Energien im Jahr 2050 abgeregelt werden. Elektrische Boiler (PtH) in KWK-Systemen könnten im Jahr 2050 bis zu 15 % der benötigten Wärme beitragen. Der Einsatz von

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Strom zur Wärmeerzeugung (industrielle Prozesswärme, Wärmepumpen, Nutzung von Überschussstrom mit Elektroheizern in Wärmespeichern) generiere einen zusätzlichen Strombedarf (Wärmepumpen 15 Mrd. kWh und elektr. Boiler 1,3-1,4 Mrd. kWh im Jahr 2050).

- ▶ [Deutsche Energie-Agentur \(dena\) \(2017\): dena-Gebäudereport: Sanierungsrate weiterhin viel zu gering. Pressemitteilung vom 6.2.2017](#)
- ▶ [Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ \(2016\): Stellungnahme zum fünften Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2015.](#)

Im Rahmen des Monitoring-Berichts „Energie der Zukunft“ überprüft die Bundesregierung regelmäßig die Fortschritte bei der Erreichung der deutschen Energie- und Klimaschutzziele. Die Stellungnahme der Expertenkommission dient wiederum der wissenschaftlichen Einordnung und Bewertung des Berichts der Bundesregierung. Sie nimmt eine weitreichendere Beurteilung der absehbaren Entwicklungen sowie eine tiefergehende Analyse der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge im Hinblick auf die bestehenden sowie noch notwendigen Maßnahmen zum Erreichen der politischen Zielsetzungen vor. Auftragsgemäß verzichtet die Kommission auf Modellrechnungen, sondern schätzt anhand der bisherigen Entwicklung und der politisch definierten Zielgrößen ab, inwieweit die deutschen Energie- und Klimaschutzziele erreicht werden.

- ▶ [Forschungsstelle für Energiewirtschaft \(FfE\) \(2012\): Flex – Flexible Betriebsweise von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen](#)

Die Studie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft untersucht anhand eines Regionenmodells die Potenziale einer flexiblen Betriebsweise von KWK-Anlagen mithilfe von Wärmespeichern. Dabei wird analysiert, welchen Beitrag die KWK im Jahr 2030 zur Integration der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien leisten kann hinsichtlich verschiebbarer Energiemengen und Leistung. Der eigens entwickelte Flexibilisierungsalgorithmus zeige, dass die angenommene gesamte installierte KWK-Leistung in Höhe von 38,5 GW bei hohem Wärmebedarf flexibel zur Verfügung stehe. Bei niedrigem Wärmebedarf lasse sich die KWK-Leistung auf 5 GW reduzieren. Die maximale negative Residuallast (überschüssige Erzeugungsleistung) könne dadurch von -31,9 GW auf -22,7 GW reduziert werden. Durch die Flexibilisierung der KWK könnten demnach 6,2 Mrd. kWh mehr Strom aus Erneuerbaren Energien integriert werden.

- ▶ [Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM \(2013\): Flexibilitätsreserven aus dem Wärmemarkt.](#)

Die im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie e.V. (BEE) und des Energieeffizienzverbands für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW) erstellte Studie zeigt anhand von Modellrechnungen mit dem Zeithorizont bis 2030 das mögliche Zusammenspiel zwischen Erneuerbaren Energien, KWK-Anlagen, Wärmepumpen und Fernwärmenetzen auf. Zudem geht es um den volkswirtschaftlichen und systemtechnischen Mehrwert der Nutzung von Wärmeflexibilitäten für den Ausgleich von Erzeugungsschwankungen im Stromsektor.

- ▶ [Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE \(2015\): Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050](#)

Die modellbasierte Studie untersucht die kostenoptimale Transformation des deutschen Energiesystems unter Berücksichtigung aller Energieträger und Verbrauchssektoren in neun verschiedenen Transformationspfaden. Vorausgesetzt wird dabei eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes in Deutschland um mindestens 80 bis 90 Prozent im Vergleich zu 1990. Neun Szenarien

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

unterscheiden sich in Bezug auf die CO₂-Zielwerte, den Beitrag der energetischen Gebäudesanierung, Antriebskonzepte im Bereich der Mobilität und den Zeitpunkt des Kohleausstiegs. Bei allen untersuchten Szenarien spielen Windenergie- und Photovoltaikanlagen eine Schlüsselrolle. Die Anpassung der Nachfrage gelingt in den Szenarien über Flexibilisierung des Verbrauchs und die zunehmende Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien in den Bereichen Wärme und Verkehr.

- ▶ [Fraunhofer IWES/IBP \(2017\): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor.](#)

Im Auftrag der Agora Energiewende formulieren das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) und das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) Mindestanforderungen an Schlüsseltechnologien und -ansätze für mehr Klimaschutz im Gebäudesektor. Hintergrund ist der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung, der für den Gebäudesektor im Jahr 2030 nur noch einen CO₂-Ausstoß von 70 bis 72 Millionen Tonnen vorsieht. Der Studie zufolge sollten Ölheizungen bis 2030 weitestgehend durch Umweltwärme (Wärmepumpen) ersetzt werden. Von zentraler Bedeutung seien Wärmenetze, die künftig vor allem in Verbindung mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen betrieben und zunehmend mit Wärme aus Solarthermie, Tiefengeothermie, industrieller Abwärme und Großwärmepumpen gespeist würden. Der klimagerechte und kosteneffiziente Gebäudewärmemix im Jahr 2030 bestehe aus etwa 40 Prozent Gas, 25 Prozent Wärmepumpen und 20 Prozent netzgebundener Wärme.

Eine Sanierungsrate von zwei Prozent pro Jahr, verbunden mit einer großen Sanierungstiefe, könne für kostengünstigen Klimaschutz sorgen. Die Trendentwicklung sei hierfür jedoch völlig unzureichend. Bis 2030 seien fünf bis sechs Millionen Wärmepumpen erforderlich, erheblich mehr als die etwa zwei Millionen Wärmepumpen, die bis dahin laut Trendszenarien installiert würden. Wärmepumpen sollten nicht nur in Neubauten, sondern auch in Altbauten installiert werden, zum Beispiel als bivalente Wärmepumpensysteme mit fossilen Spitzenlastkesseln. Bei flexibler Steuerung der Wärmepumpen und Ersatz der alten Nachtspeicherheizungen sei kaum mit einer Steigerung der Spitzenlast zu rechnen, die durch thermische Kraftwerke gedeckt werden müsse.

- ▶ [Fraunhofer IWES/ Fraunhofer IBP/ ifeu/ Stiftung Umweltenergierecht \(2015\): Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr](#)

Der Bericht beschreibt die Ergebnisse eines Forschungsprojekts zu der Frage, wie das Zusammenspiel von Strom-, Wärme- und Verkehrssektor in Deutschland ausgestaltet werden muss, um die angestrebte Treibhausgasreduzierung von -80 % bis 2050 möglichst kostengünstig zu erreichen. Im Zentrum stehen dabei die Herausforderungen der Abstimmung von Stromangebot und Stromnachfrage bei einem sehr großen Anteil fluktuierender Erneuerbarer Energien. Aus der Analyse der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Energienutzungsbereichen leiten die Forscher die notwendigen Entwicklungspfade (Roadmaps) für den Verkehrs- und Wärmesektor ab und entwickeln Vorschläge, um die als erforderlich identifizierten Schlüsseltechnologien in den Markt einzuführen.

Im Wärmesektor gewinne die Fernwärme in Städten mit hoher Bebauungsdichte bzw. vielen Wärmesenken an Bedeutung, die künftig allerdings mit niedrigeren Temperaturen betrieben werden müsse, um Wärmepumpen und Solarthermie effizient einsetzen zu können. Wärmespeicher, neue Regelverfahren für Kälteanlagen, Wärmepumpen und KWK-Anlagen dienten der Flexibilisierung im Wärmemarkt.

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

► [Fraunhofer IWES et al. \(2014\): Kombikraftwerk 2. Abschlussbericht](#)

In der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit geförderten Studie wird ein Szenario betrachtet, in dem die Stromversorgung in Deutschland vollständig aus Erneuerbaren Energien bestritten wird. Zentrale Fragestellung der Studie ist, ob die für die Versorgungssicherheit notwendige Netzstabilität in einem solchen System mit 100 Prozent Erneuerbaren Energien jederzeit gewährleistet werden kann. Der Wärme- und Verkehrssektor werden nur hinsichtlich der Bereitstellung flexibler Lasten für den Stromsektor betrachtet, aber nicht weitergehend modelliert.

► [Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik \(IWES\) \(2014\): Geschäftsmodell Energiewende. Eine Antwort auf das „Die-Kosten-der-Energiewende“-Argument.](#)

Die Studie greift die Diskussion um die Kosten der Energiewende auf und vergleicht sie mit den möglichen Erlösen. Dafür stellen die Autoren den Investitionen in neue kapitalkostenintensive Technologien die vermiedenen Kosten für fossile Brennstoffe der alten betriebskostenintensiven Technologien gegenüber. Im Ergebnis sei die Finanzierbarkeit des Gesamtprojekts Energiewende auch unter sehr konservativen Annahmen (d.h. ohne steigende Brennstoffpreise und CO₂-Schadenskosten) möglich. Die Energiewende sei ein risikoarmes Investitionsvorhaben mit positiver Gewinnerwartung. Auch eine erneuerbare Vollversorgung sei wirtschaftlich darstellbar. Das Kostenargument solle im Kontext klimapolitischer Entscheidungen korrigiert werden auf die Bilanzierung des Gesamtgeschäfts mit Kosten und Erlösen.

► [Hamburg Institut Research gGmbH \(2015\): Fernwärme 3.0. Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwärmepolitik.](#)

Die Studie analysiert im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90 / Die Grünen die Bedeutung der Fernwärme für die Energiewende und entwickelt Leitlinien für eine zukunftsorientierte Fernwärmestrategie. Neben dem notwendigen technisch-ökologischen Strukturwandel wird der Zusammenhang von regionalen Wärmesystemen und Bürgerbeteiligung skizziert sowie der notwendige Regulierungsrahmen für den Ausbau der Fernwärme vorgestellt.

► [ITG Dresden/ TU Darmstadt \(2016\): Dezentrale vs. zentrale Wärmeversorgung im deutschen Wärmemarkt](#)

Ziel der im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Heizungsindustrie und anderer Verbände erstellten Studie ist es zu zeigen, ob und unter welchen Bedingungen dezentrale und zentrale Wärmeversorgungssysteme einen bedeutsamen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Klimaschutz leisten können. Die Studie vergleicht ökologische und ökonomische Vor- und Nachteile der jeweiligen Wärmesysteme. Dabei werden nur Wohngebäude berücksichtigt. Eine Sanierung mit dezentralen Heizungssystemen sei dabei in allen untersuchten Gebäudevarianten und Versorgungsgebieten kosteneffizienter als der Anschluss an ein Wärmenetz. Der wirtschaftliche Vorteil dezentraler Systeme falle umso größer aus, je mehr Energie durch den Heizungswechsel eingespart werde, also vor allem bei unsanierten Häusern. Mit der Größe und der baulichen Effizienz der Gebäude sinke der wirtschaftliche Vorteil dezentraler Wärmesysteme gegenüber zentralen Wärmenetzen.

Es sei zu berücksichtigen, dass die ökologisch vorteilhafte Bewertung der Kraft-Wärme-Kopplung in Zukunft geringer ausfallen werde, denn die Gutschrift für die KWK-Stromerzeugung verringere sich durch eine höhere Effizienz der konventionellen Stromerzeugung und den wachsenden Anteil

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Erneuerbarer Energien. Gleichzeitig sinke der Primärenergiefaktor von Strom, weshalb vor allem die Nutzung von Umweltwärme, erneuerbaren Energie und KWK-Wärme für niedrige Primärenergiewerte Sorge und damit ökologisch vorteilhaft sei.

► [Nitsch, Joachim \(2016\): Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung](#)

Die für den Bundesverband Erneuerbare Energie erstellte Kurzexpertise modelliert drei Szenarien zur möglichen Entwicklung der Energieversorgung für Strom, Wärme und Mobilität in Deutschland. Ausgehend vom Stand Ende 2015 beschreibt das Szenario SZEN-16 „TREND“ die vom Autor erwarteten Effekte der derzeit formulierten energiepolitischen Aktionsprogramme und Planungen. Gegenüber der Vorjahresstudie [SZEN-2015] habe sich die Ausgangslage verschlechtert. Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen seien leicht gestiegen und die Anreize für einen Umbau der Energieversorgung seien aufgrund der sehr niedrigen Preise für fossile Energien und Börsenstrom sowie geringe CO₂-Preise gesunken.

Im Vergleich dazu beschreibe das Szenario SZEN-16 „KLIMA 2050“, wie ein im Sinne des Klimaschutzes erfolgreicher Umbau der deutschen Energieversorgung aussehen könne, durch den sich der Ausstoß an Treibhausgasen bis 2050 um 95 % reduziere. Dazu sei eine 100%ige Energieversorgung auf Basis Erneuerbarer Energien erforderlich. Strebe man an, wie bei der Pariser Klimakonferenz (COP 21) angekündigt, die globale Erwärmung unter der 2°C- Marke zu halten, müsse Deutschland seine Energieversorgung bereits bis 2040 praktisch vollständig klimaneutral machen. Diese Entwicklung stelle SZEN-16 „KLIMA 2040“ dar.

► [Öko-Institut/ Fraunhofer ISI \(2016\): Klimaneutraler Gebäudebestand](#)

Die Studie untersucht, wie der deutsche Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 nahezu klimaneutral werden kann. Es werden Konzepte beschrieben, mit welchen Techniken das Ziel erreicht werden kann und welche einzelwirtschaftlichen Kosten bei verschiedenen Optionen der energetischen Modernisierung entstehen. In der Analyse kommen im Jahr 2050 mehr Wärmepumpen und Fernwärme zum Einsatz. Aus der Perspektive des gesamten Energiesystems sei es nämlich günstiger, Erdgas und Biomasse im Industrie- und Verkehrssektor einzusetzen und im Gebäudesektor Niedertemperaturwärme einzusetzen.

► [Öko-Institut/Fraunhofer ISI \(2015\): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht](#)

Die Studie ist die erste von drei geplanten Aktualisierungen des im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit erstellten Klimaschutzszenarios 2050. Im Zentrum steht die Frage, wie sich eine Fortschreibung der aktuellen Politik auf die klimapolitischen Zielsetzungen auswirken würde und welche Maßnahmen und Strategien notwendig wären, um bis 2050 eine darüber hinausgehende Treibhausgasreduzierung um 80 % oder 95 % gegenüber 1990 zu erreichen. Des Weiteren erörtern die Autoren für die verschiedenen energie- und klimapolitischen Entwicklungen jeweils, welche Kosten-Nutzen-Wirkungen für Verbraucher und Volkswirtschaft zu erwarten wären und welche Verteilungseffekte entstehen könnten. Das Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012) bildet dabei die Fortschreibung aller bis Oktober 2012 ergriffenen Maßnahmen ab. In den beiden anderen Szenarien wird eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 Prozent (Klimaschutzszenario 80), respektive 95 Prozent (Klimaschutzszenario 95) modelliert.

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

► [Prognos/ifeu/IWU \(2015\): Hintergrundpapier Energieeffizienzstrategie Gebäude](#)

Das im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienzstrategie Gebäude erstellte Papier untersucht die Potenziale zur Energieeinsparung und -versorgung im Gebäudesektor, die Auswirkungen auf die Kosten des Wohnens und mögliche politische Maßnahmen. Im Zentrum steht die Untersuchung von drei Szenarien mit unterschiedlichem Fokus: Einem Referenzszenario wird ein Zielszenario mit dem Fokus auf Energieeffizienz sowie eines mit dem Fokus auf Erneuerbaren Energien gegenübergestellt.

► [Prognos \(2013\): Maßnahmen zur nachhaltigen Integration von Systemen zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung in das neue Energieversorgungssystem.](#)

Im Auftrag des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) und des Energieeffizienzverbands für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW) verfolgt die Studie das Ziel, das Potenzial für die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in allen KWK-Anlagen für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 zu ermitteln, die daraus resultierenden Vorteile zu quantifizieren und Vorschläge für eine Anpassung und Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen zu erarbeiten. Hintergrund ist die Überprüfung des KWK-Gesetzes, bei der entscheidende Weichen für die zukünftige Rolle der KWK gestellt werden. Eine wesentliche Prämisse der Berechnungen ist, die Verdrängung der Stromeinspeisung aus Erneuerbaren Energien durch den KWK-Einsatz auszuschließen und den Wärmebedarf der an KWK-Systeme angeschlossenen Nutzer zu jeder Zeit bedarfsgerecht zu decken.

► [Prognos/EWI/GWS \(2014\): Entwicklung der Energiemärkte - Energierferenzprognose.](#)

Die im Auftrag des BMWi erstellte Studie zur Energieversorgung in Deutschland berücksichtigt die aktuellen energie- und klimapolitischen Vorgaben in Deutschland und der EU, die Situation auf den internationalen Rohstoffmärkten sowie die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen. Die Autoren prognostizieren die wahrscheinliche energiewirtschaftliche Entwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2030, ergänzt um ein Trendszenario bis zum Jahr 2050. Die Ergebnisse zeigen, dass die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung voraussichtlich nicht erreicht werden.

Zusätzlich beinhaltet die Studie ein (von den Autoren für unwahrscheinlich erachtetes) Szenario auf Basis der aktuellen energiepolitischen Zielsetzungen und Sensitivitätsrechnungen zu bestimmten Fragestellungen. Das Zielszenario zeigt, welche Entwicklungen zur Erreichung der von der Bundesregierung im Energiekonzept definierten Ziele nötig wären. Es unterstellt, dass den energie- und klimapolitischen Ziele in Deutschland Vorrang eingeräumt wird und bestehende Hemmnisse mithilfe politischer Maßnahmen überwunden werden können. Wichtige Rollen spielen demnach die Steigerung der Energieeffizienz, neue und weiterentwickelte Technologien sowie die Reduktion der Erzeugung aus CO₂-intensiven Kraftwerken.

► [Quaschnig, Volker \(2016\): Sektorkopplung durch die Energiewende. Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung](#)

Die Studie erörtert, wie die Energieversorgung in Deutschland klimaneutral gestaltet werden kann. Zu diesem Zweck wird ein Szenario beschrieben, das im Jahr 2040 eine 100 Prozent auf erneuerbaren Energiequellen basierende Versorgung in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr vorsieht und anschließend der politische Handlungsbedarf formuliert. Unter der Annahme ambitionierter Effizienzmaßnahmen, aber gleichbleibender Konsum- und Verhaltensmuster steige der Strombedarf von derzeit 600 Milliarden Kilowattstunden (Mrd. kWh) bis 2040 auf gut 1.300

Metaanalyse: Zusammenspiel von Strom- und Wärmesektor für die Energiewende

Mrd. kWh. Ursache dafür sei eine starke Nutzung von Strom zur (Mit-)Versorgung des Wärme- und Verkehrssektors aufgrund der in Deutschland nur begrenzt verfügbaren Potenziale von Biomasse, Geothermie und Solarthermie. Ohne eine erhebliche Steigerung der Energieeffizienz entstünde sogar ein Strombedarf von mehr als 3.000 TWh. Vor dem Hintergrund des wachsenden Bedarfs an Strom aus Erneuerbaren Energien kritisiert der Autor die politische Entscheidung, den Ausbau von Photovoltaik und Windenergie stark zu begrenzen. Aus Klimaschutzsicht erforderlich sei vielmehr ein erhöhter Ausbaupfad.

► [r2b energy advisors / Umweltbundesamt \(UBA\) \(2016\): Strommarktdesign der Zukunft](#)

Im Auftrag des Umweltbundesamts analysiert die Studie die für den weiteren Umbau des Stromsystems geeignete Ausgestaltung des Strommarktdesigns. Grundlagen dafür sind eine ausführliche Analyse empirischer Daten und die Modellierung von Zukunftsszenarien auf Basis der energiepolitischen Zielsetzungen bis 2030. Aus nationaler sowie länderübergreifender Perspektive modellieren die Autoren den mit dem zunehmenden Ausbau der (fluktuierenden) Erneuerbaren Energien einhergehenden Flexibilitätsbedarf sowie zur Verfügung stehenden Flexibilitätsoptionen. Sie zeigen die veränderten Anforderungen an die verschiedenen Akteure im deutschen Stromsystem auf und erörtern die Gründe für technische Inflexibilität und andere Hemmnisse zur Erschließung von Flexibilitäten. Auf dieser Basis leiten sie die für die weitere Transformation des Energiesystems notwendigen Änderungen an den Rahmenbedingungen ab.

► [Übertragungsnetzbetreiber \(2017\): Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2017. Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber](#)

Im Netzentwicklungsplan Strom bilden die deutschen Übertragungsnetzbetreiber die weitere Entwicklung des Stromsystems in den nächsten Jahren ab unter Berücksichtigung der aktuellen gesetzlichen und politischen Rahmenbedingungen. Der neueste NEP berücksichtigt bereits die Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus dem Sommer 2016. Drei Szenarien blicken auf das Jahr 2030 (A 2030, B 2030 und C 2030), während ein Szenario auf das Zieljahr 2035 schaut (B 2035).

Bearbeiter:

Claudia Kunz, Magnus Maier

Weitere Informationen und Grafiken finden Sie im Forschungsradar Energiewende: www.forschungsradar.de.

Kontakt:

Agentur für Erneuerbare Energien e.V.
Claudia Kunz
Projektleiterin Forschungsradar Energiewende
Tel: 030-200535-43
E-Mail: c.kunz@unendlich-viel-energie.de
www.unendlich-viel-energie.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages