

Wirtschaftliche und technische Aspekte der Dekarbonisierung des Wärmesektors

Die Transformation des Energieversorgungssystems zu einer de-karbonisierten Energiebereitstellung bedingt ein koordiniertes Zusammenspiel der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Dabei ist die Kopplung des Stromsektors mit dem Wärmesektor eine der entscheidenden Maßnahmen bei der Transformation. Die Aufnahme von Wind- und Sonnenenergie in das Netz kann durch genaue Einspeiseprognosen optimiert werden, die Kopplung zum Wärmesektor mittels Wärmepumpen und Power-to-Heat (Heizstab) ermöglicht die weitere Flexibilisierung der Nachfrageseite. Diese Interaktion wird durch intelligente Lösungen der Systemtechnik für das Energie- und Netzmanagement ermöglicht. Die Entwicklung von entsprechenden Anreizsystemen, Marktmechanismen und Geschäftsmodellen ist ebenfalls erforderlich, um diese Kopplung auch wirtschaftlich erfolgreich zu gestalten. Der Beitrag stellt das im Forschungsvorhaben „Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr“ erstellte 80 %-Szenario für das Jahr 2050 vor und zeigt anhand von Beispielen zukünftige Anforderungen und Entwicklungen zu dieser Thematik auf.

1. Randbedingungen

Für die Erreichbarkeit der Klimaziele sind Wind und PV die tragenden Säulen, da sie relativ kostengünstig mit hohem technischem Ausbaupotenzial verfügbar sind und auch zu hohem Teil den sektorübergreifenden Strombedarf decken können.

Im Projekt wurde untersucht, wie die Schnittstellen zwischen Stromsektor und dem gesamten Energieversorgungssystem ausgestaltet werden müssen. Es wurde bewertet, wie hoch der Strombedarf in einem kostenoptimierten, sektorenübergreifenden Zielszenario sein könnte, wenn das klimapolitische Ziel einer Reduktion der Treibhausgase (THG) um 80 % bis zum Jahr 2050 erreicht werden soll. Die damit verbundenen Herausforderungen hinsichtlich der zeitlichen Vereinbarkeit von dargebotsabhängigem Stromangebot und nur teilweise flexibler Stromnachfrage werden unter den entstehenden Synergien und Rückkopplungen zwischen den Sektoren betrachtet. Mit einem sektorenübergreifenden Zubauoptimierungsmodell wurde ein Energieversorgungssystem für das Jahr 2050 bestimmt, bei dem die Kosten (Betriebskosten, Investitionen inkl. Infrastruktur) in Summe über den Strom-, Wärme- und Verkehrssektor minimal sind.



Fraunhofer IWES
 Dr. Kurt Rohrig
 kurt.rohrig@iwes.fraunhofer.de
 Prof. Dr. Clemens Hoffmann
 clemens.hoffmann@iwes.fraunhofer.de
 Norman Gerhardt
 norman.gerhardt@iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IBP
 Dr. Dietrich Schmidt
 dietrich.schmidt@ibp.fraunhofer.de
 Patrick Schumacher
 patrick.schumacher@ibp.fraunhofer.de

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

Wuppertal Institut
 Prof. Dr. Stefan Lechtenböhrer
 stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org

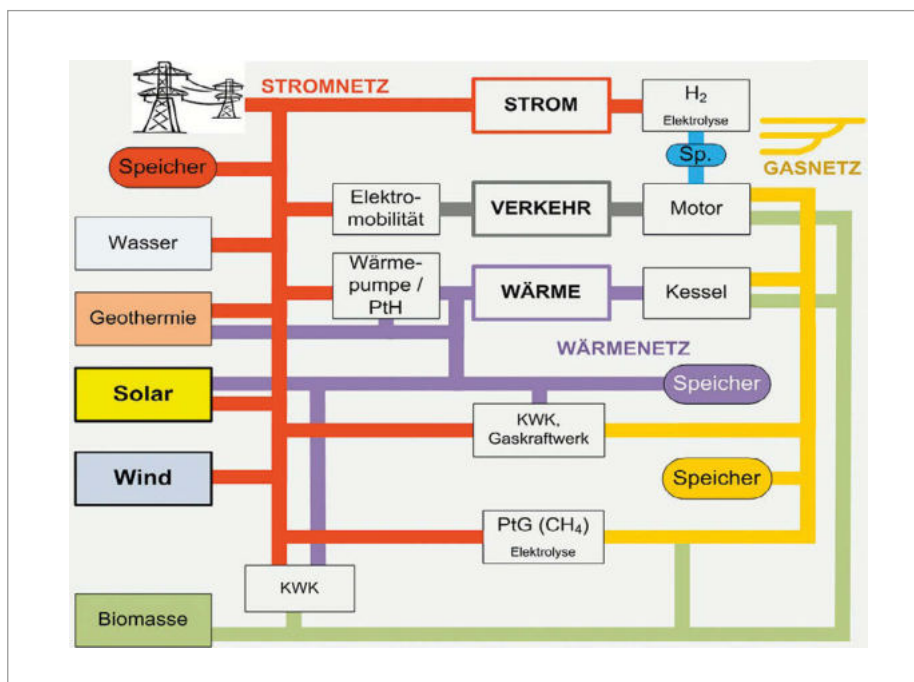


Abbildung 1
 Interaktion und Sektorkopplung
 Quelle: angelehnt an [Stern, M. 2009]

Mögliche Entwicklungsoptionen von wichtigen Eingangsgrößen wurden dabei vorab im Rahmen von Sensitivitätsrechnungen analysiert und bewertet (Gebäudedämmung, Biomassekonversion, verschiedene Verkehrsinfrastruktur und Technologienoptionen im Bereich Pkw und Lkw).

Neben den THG-Minderungsanforderungen für Deutschland (–80 % gegenüber 1990, alle Sektoren inkl. internationaler Verkehr) wurde auch für Europa ein THG-Minderungsziel von –80 % unterstellt (Ziel der EU). Dies führt – aufgrund des gegenwärtigen Flugverkehrsanstieg und des notwendigen Lastenausgleichs zwischen den Ländern – zu einem ambitionierteren Ziel für Deutschland von –30 % gegenüber dem nationalen Kyoto-Protokoll (bzw. –86 % statt –80 % THG-Minderung).

Zudem wird unterstellt, dass vor dem Hintergrund des prognostizierten globalen Bevölkerungswachstums und sich dadurch verschärften Nutzungskonkurrenzen, Biomasse, insbesondere Energiepflanzen, nur restriktiv für energetische Zwecke genutzt werden (keine Importe, kein Ausbau der bestehenden Anbaufläche von ca. 2 Mio. ha).

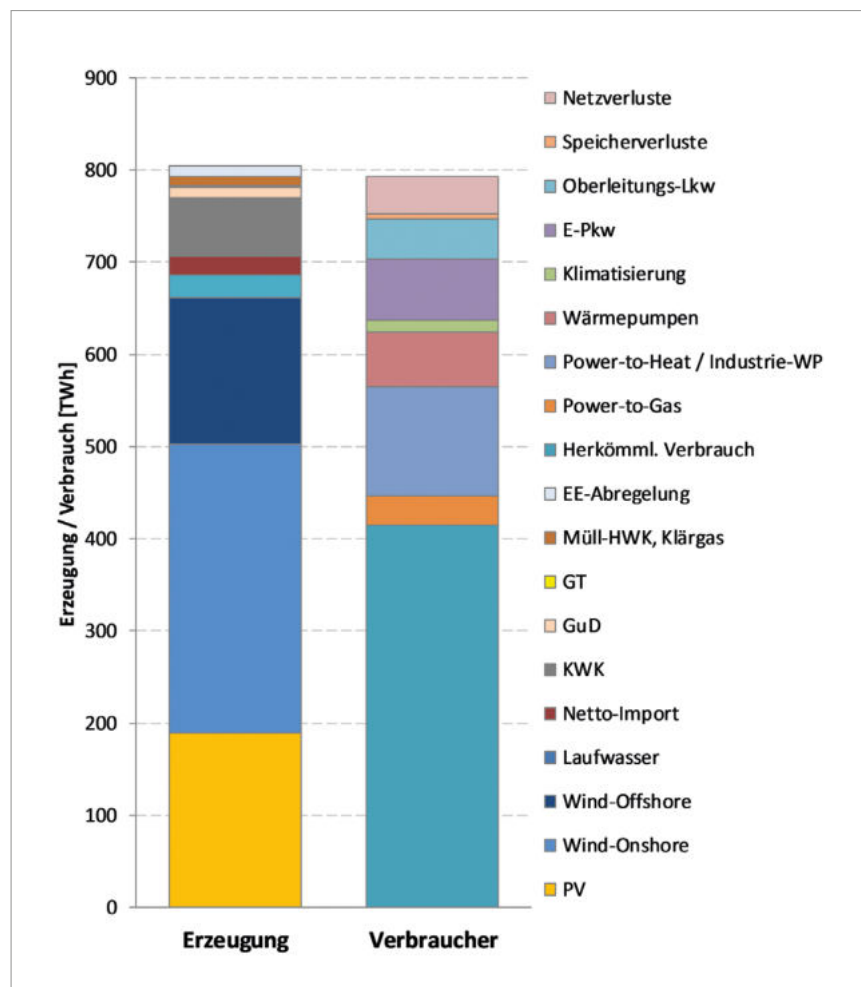
Alle folgenden Ergebnisse beziehen sich auf dieses kostenoptimale Energieversorgungssystem des Jahres 2050.

2. Ergebnisse Stromerzeugung und -verbrauch im Jahr 2050

Unter den vorgegebenen Randbedingungen – bei denen vor allem mittels Wind- und Solarenergie auch die Nachfragen im Wärme- und Verkehrssektor weitestgehend klimaneutral erzeugt werden – resultiert ein jährlicher Strombedarf von 793 TWh/a (netto, inkl. Netz- und Speicherverluste) in Deutschland (gegenüber ca. 540 TWh/a für 2014).

Hierbei werden die Effizienzpotenziale zur Verbrauchsreduktion bei heute bestehenden Stromanwendungen (herkömmlicher Verbrauch) umgesetzt – der Strombedarf geht hier von 538 TWh/a auf 415 TWh/a zurück. Andererseits kommt es zu einem hohen Zuwachs an neuen stromnutzenden Anwendungen (siehe *Abbildung 2*).

Abbildung 2
Energiebilanz
Deutschland 2050



2.1 Strom im Wärmesektor

Die Modellrechnungen zeigen, dass zur Erreichung des THG-Reduktionszieles unter den gegebenen Randbedingungen eine starke Elektrifizierung des Wärmesektors notwendig ist.

Zum einen werden effiziente Technologien wie Wärmepumpen (WP) statt z. B. Heizstäben eingesetzt, um den bereits hohen Strombedarf nicht noch weiter zu erhöhen, da durch die weitgehende Elektrifizierung der Wärmebereitstellung der Flächenverbrauch für die hohen EE-Erzeugungsleistungen eine große Herausforderung darstellt.

Zum anderen werden hoch flexible bivalente Systeme benötigt, um die fluktuierenden erneuerbaren Energien in das Stromsystem mit möglichst geringem Stromspeicherbedarf einbinden zu können.

In *Abbildung 3* ist der optimierte TechnologiemiX im Wärmesektor für das Basisszenario dargestellt:

- Bei Einfamilienhäusern (EFH) kommt es zu einer sehr hohen Durchdringungsrate für WP, wobei durch technische Restriktionen ein Teil auf Luft-WP entfällt.

Abbildung 3
Technologiedurchdringung Wärmemarkt

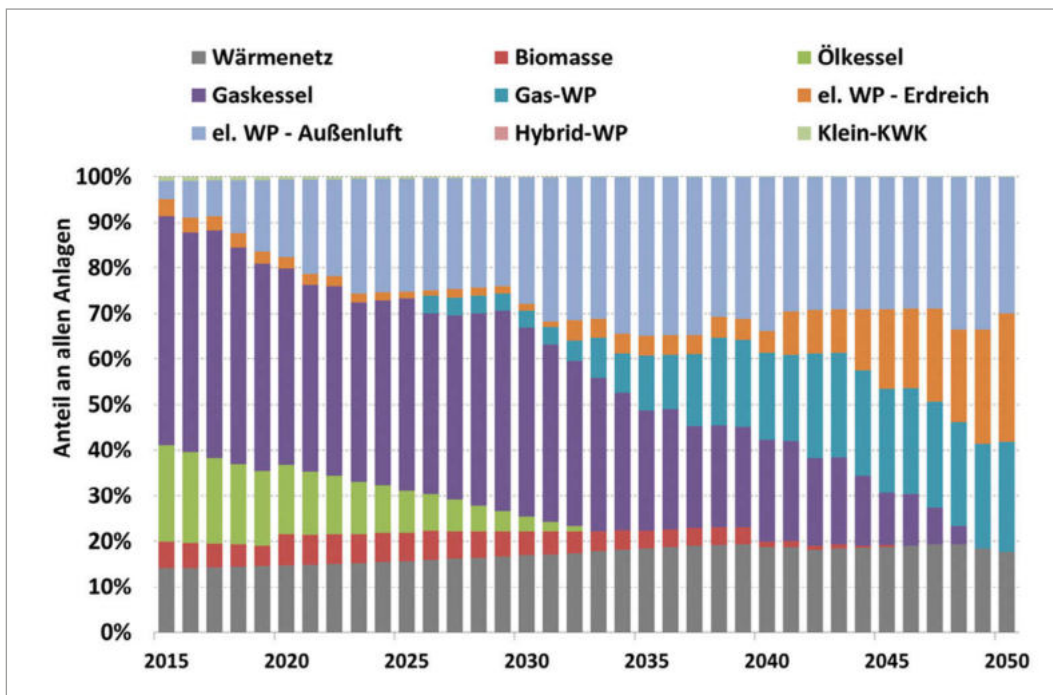
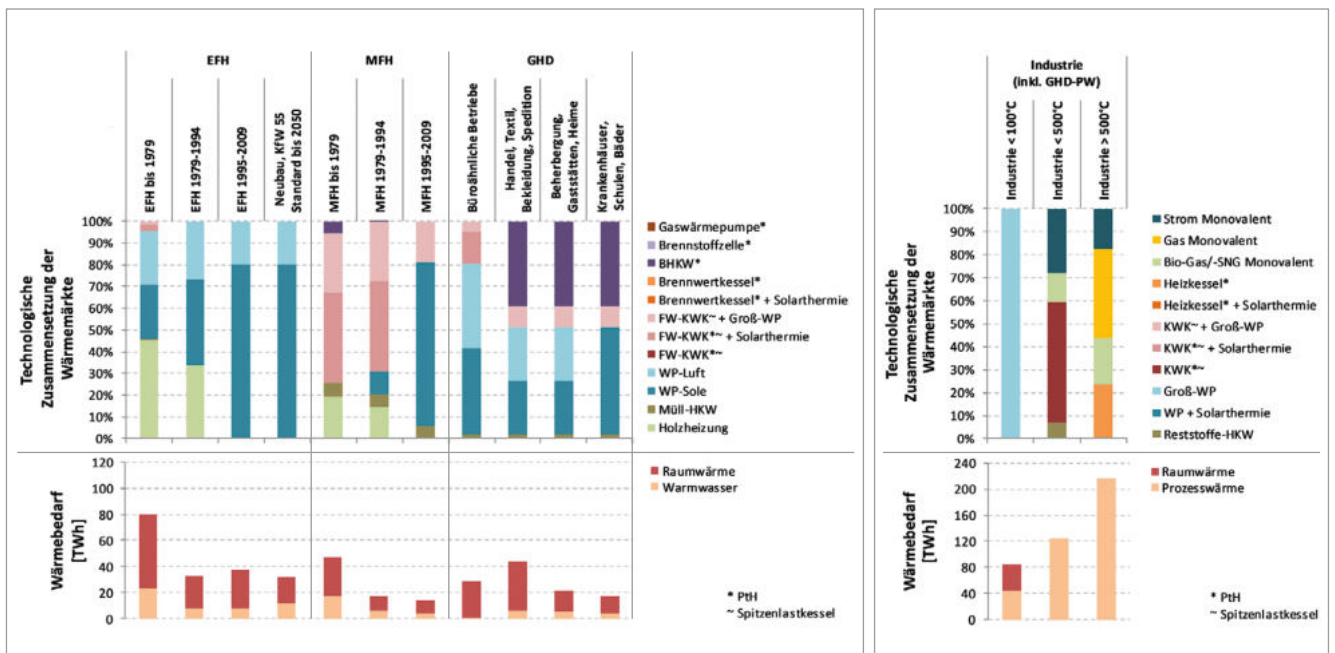


Abbildung 4
Zeitliche Entwicklung der Heizungstechniken

- Bei Mehrfamilienhäusern (MFH) werden je nach Baualterklasse neben WP auch komplexe bivalente Fern- oder Nahwärmesysteme eingesetzt, die teilweise mit Groß-WP kombiniert sind.
- Im Bereich der Gewerbeanwendungen (GHD) werden die WP durch bivalente BHKW-Systeme (KWK + Heizpatrone) ergänzt.
- Im Hochtemperatursektor wird, wo möglich, auf Effizienz gesetzt. Bei Warmwasser unter 100 °C werden daher Groß-WP eingesetzt, bei Prozessdampf bis 500 °C KWK-Systeme mit Elektrodenkesseln und für Prozesswärme über 500 °C neben Biomasse und Gas auch vermehrt Strom.

Ein wesentlicher Faktor, der einen starken Einfluss auf das Design des zukünftigen Energiesystems hat, sind die Fortschritte, die im Bereich der Gebäudesanierung und -dämmung erreicht werden können. Das politische Ziel ist die Erhöhung der Sanierungsrate im Gebäudebestand auf 2 % pro Jahr und eine Reduktion des Wärmebedarfs um 20 % bis 2020 sowie des (fossilen) Primärenergiebedarfs um 80 % bis 2050. Dadurch soll bis 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand entstehen.

Zusätzlich zur Sanierungsrate hat die Sanierungstiefe einen Einfluss auf den künftigen Energiebedarf im Gebäudesektor. Dieser wird im Projekt durch eine Variantenrechnung untersucht. Eine höhere Sanierungstiefe verringert zum einen den Endenergiebedarf im Haushalts- und Gewerbe-Bereich und zum anderen ermöglicht der Einsatz von Niedrigtemperatur-Heizsystemen wie beispielsweise Flächenheizungen den effizienten Einsatz von WP.

2.2 Regulatorischer Rahmen der Schlüsseltechnologien Wärmepumpen und Elektrodenheizkessel

Die derzeitige Marktdurchdringung der strombasierten Wärmetechnologien wird im Wettbewerb mit fossilen Referenztechnologien dadurch rechtlich gehemmt, dass die Stromnutzung eine deutlich höhere Kostenbelastung im Vergleich zu fossilen Brennstoffen aufweist. Dies ist darin begründet, dass die geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen im EEG, Stromsteuergesetz etc. eine nahezu vollständigen Belastung der Strombezugskosten für strombasierte Wärmetechnologien – wie insbesondere Power-to-Heat [2] – mit allen staatlich induzierten Stromkostenbestandteilen verursachen (vor allem der EEG-Umlage, den Netzentgelten und der Stromsteuer). Diese Wettbewerbsnachteile können durch vorhandene staatliche Förderungen und Privilegierungen in ordnungsrechtlichen Vorschriften nicht ausreichend ausgeglichen werden.

Für den Einsatz von Elektrodenheizkesseln als einer PtH-Anwendung in bivalenten Fernwärmesystemen besteht bislang lediglich eine mittelbare finanzielle Förderung in Form der Wärmenetze- und Wärmespeicherförderung im KWKG. Jedoch ist es wirtschaftlich unattraktiv, überschüssigen EE-Strom, der z. B. aufgrund negativer Börsenpreise aberegelt wird, zur Wärmeerzeugung zu nutzen [5].

3. Fazit

Zur Erreichung eines nachhaltigen Energiesystems ist eine verstärkte Interaktion der Sektoren Strom und Wärme notwendig.

Strombasierte Technologien auf Basis regenerativer Erzeugung stellen eine kostengünstige und effiziente Möglichkeit zur CO₂-Reduktion im Wärmesektor dar. In Hinblick auf den steigenden Strombedarf und dem damit zusammenhängenden zusätzlichen Flächenverbrauch für Wind- und Solarkapazitäten sind die Effizienz im Wärmesektor und ein Fortschreiten der Gebäudesanierung bedeutende Hebel zur Erfüllung der gesteckten CO₂-Ziele.

Dezentrale und zentrale WP für Haushalte, Gewerbe, Fernwärme sowie Industrie ist die Schlüsseltechnologie zur effizienten Erhöhung des EE-Anteils im Wärmesektor. Der Anteil der WP sollte kontinuierlich gesteigert werden. Unmittelbar bestimmt die energetische Sanierung und damit auch die Systemtemperaturen die Effizienz der WP. Weiter spielt auch die Flexibilisierung des Wärmesektors eine bedeutende Rolle; vermehrt sollten flexible bivalente Hybridsysteme wie beispielsweise KWK + PtH eingesetzt werden. Begrenzt verfügbare holzartige Biomasse sollte besonders dort eingesetzt werden, wo Temperaturen nicht weiter reduziert werden können, was in ländlich geprägten Altbauten als auch in der Industrie mit Temperaturen größer 100 °C der Fall ist. Schließlich ist auch eine Transformation der Fernwärmenetze zwingend nötig, denn nur bei geringen Netztemperaturen ist ein Einsatz von Groß WP und Solarthermie möglich und sinnvoll, sie bleiben aber trotz hohen Kosten eine bedeutende Technologie zur Versorgung von Stadtteilen mit hoher Wärmedichte.

Um diese Entwicklungen zu unterstützen, sollten strombasierte Anwendungen von einzelnen staatlich induzierten Stromkostenbestandteilen befreit [3] und die Stromsteuer im Rahmen der europäischen Vorgaben der Richtlinie 2003/96/EG reduziert werden. Die Einführung einer verfassungskonform ausgestaltbaren dynamischen EEG-Umlage sowie die Verlagerung der Stromsteuer auf die Energiesteuer für fossile Wärmeerzeuger könnten einen Beitrag dazu leisten, diese Ziele zu erreichen [4].

Die finanzielle und sonstige Förderung der effizienten Wärmetransformationstechnologien sollte intensiviert sowie generell die ungleiche Kostenbelastung zwischen Strom einerseits und Gas und Öl andererseits beseitigt werden. Dies könnte durch eine ebenfalls verfassungskonform ausgestaltbare sektorübergreifende CO₂-Abgabe als Modifikation einer bestehenden Energiesteuer erreicht werden.

4. Literatur

- [1] IWES/IBP/IFEU/SUER: Abschlussbericht Projekt „Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr“, 2015 {<http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-356297.html>}
- [2] Peter Birkner/Oliver Antoni/Johannes Hilpert, Rechtliche Rahmenbedingungen für den Einsatz von Power-to-Heat“, Teil 2, EuroHeat&Power 12/2013
- [3] IWES: Stellungnahme zum BMWi-Grünbuch – Pro effiziente Sektorkopplung – Wärmepumpen und Elektromobilität, 2015
- [4] IWES/SUER/IFAM: Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien, 2014