

# Dekarbonisierung des deutschen Energiesystems durch sinkenden oder steigenden Stromverbrauch?

Andrej Guminski und Serafin von Roon

*Spätestens seit der Veröffentlichung des Entwurfs zum „Klimaschutzplan 2050“ und des „Grünbuch Energieeffizienz“ ist klar, dass die Bundesregierung auf die Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors setzt, um den Anteil der erneuerbaren Energien in diesen Sektoren zu steigern. Dieser Schritt ist nicht unumstritten und stellt einen Paradigmenwechsel in Wissenschaft und Politik dar, denn auf einmal rückt die Senkung des Bruttostromverbrauchs in den Hintergrund. Es gilt jetzt, klar zu trennen zwischen dem herkömmlichen Stromverbrauch, der weiterhin auf Energieeinspar- und -effizienzpotenziale hin untersucht werden muss, und dem neuen, hier Koppelstrom genannten Stromverbrauch, welcher in Kauf genommen wird, um die Ziele der Energiewende zu erreichen. Da die Betrachtung der Energiewende als rein nationales Projekt zu kurz greift, verdienen mögliche positive und negative Effekte des European Union Emissions Trading System (EU ETS) in Bezug auf diese Neuausrichtung besondere Beachtung.*

Die Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 °C, im Vergleich zur Durchschnittstemperatur vor der Industrialisierung, wurde durch das Klimaabkommen von Paris (COP21) im Dezember 2015 als offizielles Ziel anerkannt [1]. Bei der Übersetzung dieser Vorgabe in nationale Ziele und Maßnahmen kommt es jedoch zu Zielkonflikten. Besonders kontrovers diskutiert wird in Deutschland die zukünftige Entwicklung des Stromverbrauchs.

## Emissionen und Stromverbrauch senken – Zielkonflikt?

Da der Atomausstieg bis 2022 feststeht und die Carbon Capture and Storage-Technologie in Deutschland vorerst nicht zum Zuge kommen wird, muss der Anteil der erneuerbaren Energien (EE) am Bruttoendenergieverbrauch (BEEV) bis 2050 auf 60 % steigen, um die Ziele der Bundesregierung bei der Reduktion der Treibhausgase (THG) realisieren zu können [2]. Durch die Beschlüsse der COP21 ist dieses Ziel mittlerweile als eine untere Grenze anzusehen. Um den Anteil der EE mindestens auf dieses Niveau anzuheben, muss sowohl im Stromsektor als auch im Wärme- und Verkehrssektor der Anteil der EE am BEEV steigen.

Bei isolierter Betrachtung der Sektoren ist hierfür eine Kombination aus Effizienzmaßnahmen und der direkten Verwendung von EE notwendig [3]. Abb. 1 zeigt, dass der Anteil der EE am BEEV in Wärme- und Verkehrssektor stagniert, während im Strom-



Maßnahmen zur Energieeffizienz und Sektorkopplung sollten in erster Linie als Mittel zur Dekarbonisierung betrachtet werden  
Foto: denisismagilov | Fotolia.com

sektor der Ausbau der EE auf Zielkurs liegt. Die Behandlung der Sektoren als unabhängige Komponenten des Energiesystems führt also bisher nur zu einem Teilerfolg. Nach aktuellem Wissenstand wird diese Betrachtungsweise auch weiterhin nicht zu den gewünschten THG-Reduktionen führen.

Im Diskussionspapier „Grünbuch Energieeffizienz“, erschienen im August 2016, schlägt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) daher eine andere Richtung ein: „Um die Dekarbonisierung (...) zu erreichen, ist der Einsatz von erneuerbarem

Strom in allen Sektoren notwendig“ [3]. Dies kann durch Methoden der Sektorkopplung wie z. B. die Elektrifizierung von Endverbrauchern oder Power-to-Gas (PtG) erreicht werden. Da die Sektorkopplung zu einer Erhöhung des Stromverbrauchs führt, steht diese jedoch in direktem Konflikt zum Ziel der Bundesregierung, bis 2050 eine Senkung des Bruttostromverbrauchs um 25 % gegenüber 2005 zu erreichen [2, 4].

In Bezug auf diesen Zielkonflikt muss differenziert argumentiert werden. Es bedarf in Zukunft einer Unterscheidung zwischen

herkömmlichem und dem durch die Sektorkopplung zusätzlich entstehenden „Koppelstrom“. Auch wenn schon jetzt absehbar ist, dass das Ziel der Bundesregierung zur Senkung des Stromverbrauchs nicht erreicht wird, müssen die Bemühungen, den herkömmlichen Stromverbrauch durch Energieeinsparungs- und Effizienzmaßnahmen weiter zu senken, aufrechterhalten werden. Gleichzeitig darf dieses Ziel – im Sinne der Reduktion der THG-Emissionen – kein Hemmnis für die Implementierung von Methoden zur Sektorkopplung darstellen. Eine Anpassung der Zielsetzung, die zwischen herkömmlichem Stromverbrauch und Koppelstrom unterscheidet, ist folglich wünschenswert.

### Herkömmlicher Stromverbrauch – reichlich Effizienzpotenzial vorhanden

Die Identifikation von Energieeffizienz und -einsparpotenzialen beim herkömmlichen Stromverbrauch erfordert eine Detailanalyse. Abb. 2 zeigt, welche Anwendungsarten in den Sektoren Verkehr, Industrie, Haushalte und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) momentan elektrisch betrieben werden.

#### Verkehr

Der Strom (~10 TWh) im Verkehrssektor wird hauptsächlich vom Güter- und Personenschienenverkehr verbraucht. Elektrische Straßenfahrzeuge (ESF) sind statistisch gesehen noch keine relevanten Verbraucher in diesem Sektor. Gemessen am gesamten

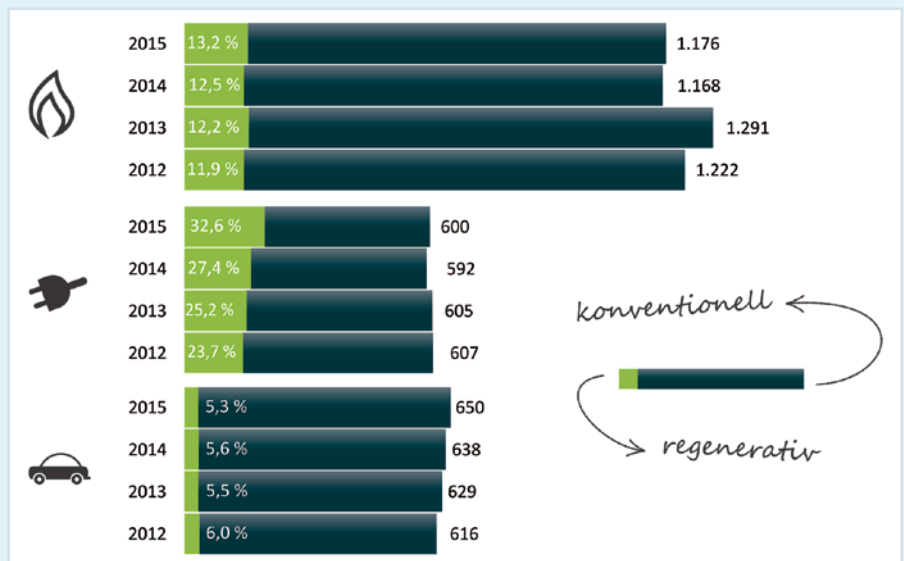


Abb. 1 Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch nach Sektoren in TWh [17, 18]

elektrischen EEV sind die Einsparpotenziale im Verkehrssektor vernachlässigbar [5].

#### Industrie

Die Industrie ist mit einem Anteil von 44 % am gesamten elektrischen Endenergieverbrauch (EEV) das Energieverbrauchssegment mit dem höchsten Stromverbrauch. Hauptanwendungen für elektrische Energie sind Querschnittstechnologien wie z. B. Kompressoren und Ventilatoren und industriesegment-spezifische Prozesstechnologien wie Elektrolyseure und Elektrolichtbogenöfen [6].

Abb. 3 zeigt, dass sich bei den branchenübergreifenden Querschnittstechnologien

zum Teil erhebliche Effizienzpotenziale heben lassen. Erfahrungen aus den Lernenden Energieeffizienznetzwerken (LEEN) der FfE GmbH zeigen, dass die individuellen Effizienzmaßnahmen zu erheblichen Einsparungen beim Stromverbrauch führen können.

#### Haushalte

In Deutschlands 40,3 Mio. Haushalten sind Kühlschränke, Spülmaschinen, Wäschetrockner und Fernseher Beispiele für Geräte, die für einen hohen Anteil am Stromverbrauch stehen [7]. Unter Einbezug sämtlicher elektrischer Verbraucher sind laut der Greenpeace-Studie „Klimaschutz: Der Plan“ im Haushaltsbereich Stromeinsparungen von ca. 34 % bis 2050 möglich [8].

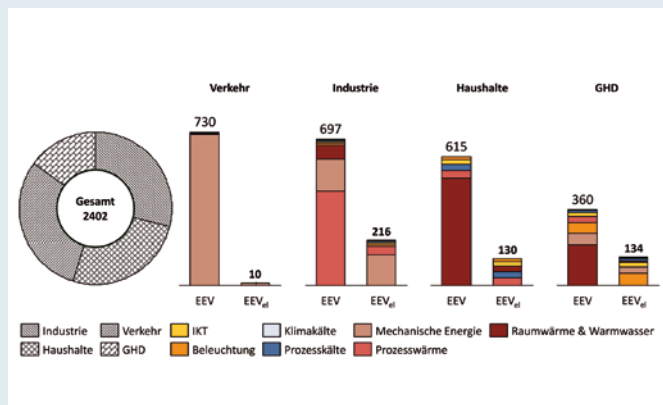


Abb. 2 Endenergieverbrauch nach Anwendungsarten und Energieverbrauchssegment in TWh [19]

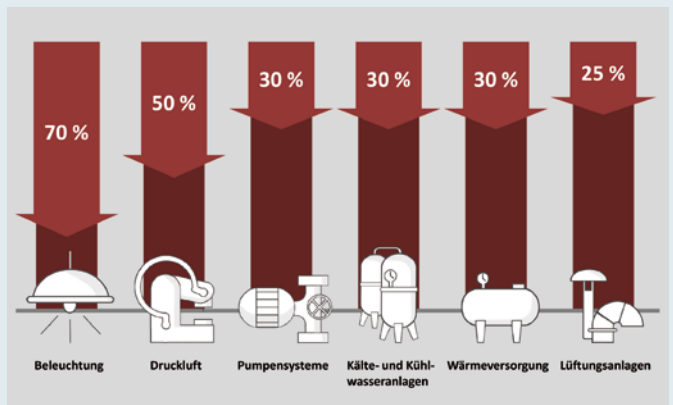


Abb. 3 Energieeffizienzpotenziale von Querschnittstechnologien in der Industrie [20]

## Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Der Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)-Sektor umfasst elektrische Endanwendungen wie z. B. die Straßenbeleuchtung, Kompressoren, Pumpen und Ventilatoren für kleine und mittelständische Unternehmen sowie branchenspezifische Fahrzeuge wie Bagger und Traktoren [5]. Bis 2050 existiert gemäß Greenpeace ein Potenzial zur Stromersparung durch Effizienzmaßnahmen (z. B. Einsatz von LED Leuchten bei der Straßenbeleuchtung) von 29 % [8].

In den Verbrauchssegmenten Industrie, Haushalte und GHD existieren mit Blick auf den herkömmlichen Stromverbrauch Energieeffizienzpotenziale, deren Realisierung weiterhin angestrebt werden sollte. Bei der Analyse der Potenziale muss, unabhängig vom Verbrauchssegment, jedoch die Möglichkeit eines Rebound-Effektes berücksichtigt werden. Letzterer beschreibt das Phänomen, dass trotz der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen und einhergehenden Kosteneinsparungen der absolute Energieverbrauch nicht zurückgeht, weil die Energiedienstleistung dafür intensiver genutzt wird. Die Höhe des Rebound-Effektes wird in der Wissenschaft kontrovers diskutiert. Werte von bis zu 50 % werden für möglich erachtet [9].

Auch vor dem Hintergrund des in Zukunft anfallenden Koppelstromverbrauchs bleibt die Energieeffizienz maßgebend. Es muss

sichergestellt werden, dass hocheffiziente Technologien zum Einsatz kommen, um die Rückwirkungen auf die Stromerzeugungsseite und die Netzinfrastruktur zu minimieren.

## Koppelstrom – Elektrifizierung vor Power-to-Gas

Eine an der FfE durchgeführte Meta-Studienanalyse einschlägiger Energieszenarien zeigt, dass sich zunehmend ein Paradigmenwechsel in Wissenschaft und Politik vollzieht. In der Vergangenheit gab es nur vereinzelte Zielszenarien, die die Sektorkopplung und den einhergehenden Anstieg des Stromverbrauchs berücksichtigt haben (s. Abb. 4) [9, 10]. In diesen Szenarien waren jedoch die Wasserstoffherzeugung und/oder pessimistische Annahmen bei der Energieeffizienz für den Anstieg des Stromverbrauchs verantwortlich. Der Klimaschutzplan-Entwurf 2050, aktuelle Energieszenarien und auch Teile der momentanen Gesetzgebung zeigen, dass in Zukunft mit einem steigenden Strombedarf aufgrund höherer Elektrifizierung zu rechnen ist.

## Klimaschutzplan-Entwurf 2050

Der Entwurf des Klimaschutzplans 2050 vom 21.6.2016 beschreibt die Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors als zentralen Baustein der Sektorkopplung. Es wird von einem zusätzlichen Strombedarf durch die Sektorkopplung bei „(...) gleich-

zeitigen Anstrengungen zur Steigerung der Energieeffizienz (...)“ von 200–250 TWh bis 2050 ausgegangen [11].

## Aktuelle Studie zur Sektorkopplung

Im Vergleich zur Substitution fossiler Endenergie durch direkte Elektrifizierung kommt es bei der Verwendung von PtG, bei gleichbleibender Anwendungsleistung, zu einem wesentlich höheren Stromverbrauch. Dies ist bedingt durch die Umwandlungsverluste bei der Wasserstoff- und Methanherzeugung (ca. 35 %). Unter der Annahme, dass der gesamte fossile EEV nach Abzug der Potenziale für Biomasse, Solarthermie und Geothermie in Deutschland durch PtG gedeckt wird, steigt der Stromverbrauch auf ca. 3.000 TWh im Jahr 2040. Erfolgt die Substitution durch den Einsatz effizienter elektrischer Endanwendungen wie Wärmepumpen und ESF so steigt der Stromverbrauch auf ca. 1.300 TWh [12].

Die Kurzanalyse zeigt, dass bei einer Sektorkopplung durch Elektrifizierung von Endverbrauchern der Koppelstrom einen Ausbau der EE zur Stromerzeugung erforderlich machen würde, welcher die aktuellen (ambitionierten) Ausbaupläne um ein Vielfaches überschreiten würde. Bei einer Kopplung der Sektoren durch PtG wäre der Bedarf an zusätzlichem Strom aus EE sogar noch höher.

Der zukünftige Beitrag der Energieeffizienz wird hierdurch verdeutlicht. Im Falle einer starken Sektorkopplung sinkt zwar der potenzielle Beitrag der Energieeffizienz zur THG-Vermeidung. Die Energieeffizienz trägt ab diesem Zeitpunkt jedoch maßgeblich zur Verringerung des nötigen EE-Zubaus im Stromsektor bei. Folglich kommt auch bei der Sektorkopplung dem Effizienzgedanken eine Schlüsselrolle zu [12].

## Projekt Merit-Order der Energiespeicher 2030 (MOS2030)

Die Ergebnisse des FfE-Projektes MOS2030 zeigen, dass im Sinne eines kostenoptimierten Einsatzes der Methoden zur Sektorkopplung, PtH auch noch 2030 vor PtG liegen wird. Die Methoden der Elektrifizierung stellen zudem vergleichsweise günstige Flexibilität für das Stromsystem zur Verfügung. Für zusätzliche klassische Stromspeicher besteht bis 2030 keine Notwendigkeit.

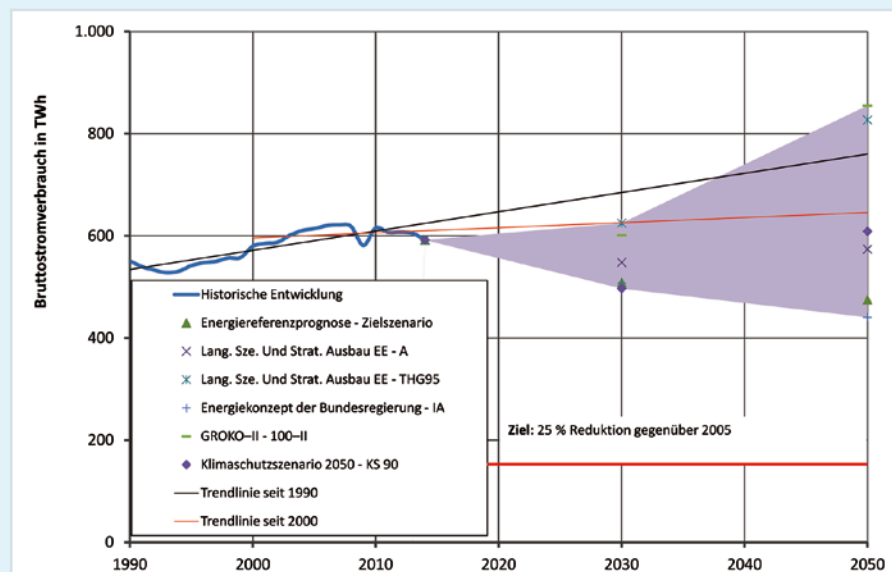


Abb. 4 Bruttostromverbrauch ausgewählter Energieszenarien zum Jahr 2030 und 2050 und historischer Verlauf 1990 bis 2014 in TWh [7, 10, 19, 21, 22, 23]

**Aktuelle Gesetzgebung**

Auch von regulatorischer Seite wird die Elektrifizierung der Endverbraucher bereits seit einiger Zeit an verschiedenen Stellen gefördert:

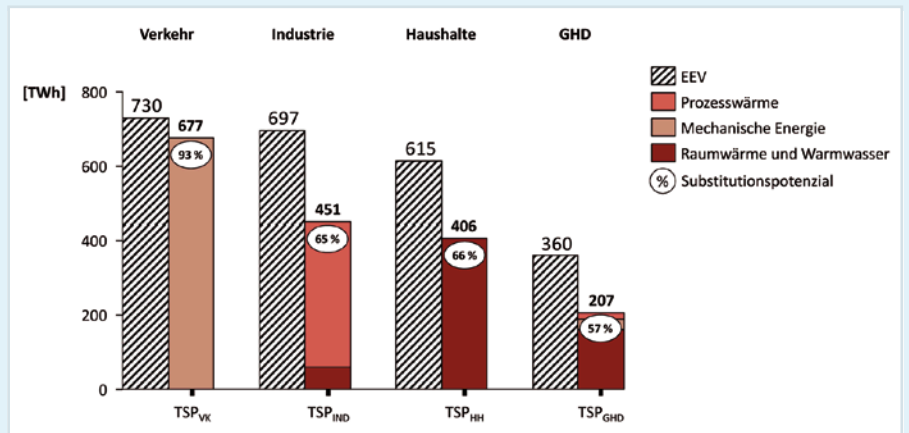
- § 13 Abs. 6a EnWG (Entwurf): Förderung des Einbaus von PtH-Modulen in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen;
- § 14a EnWG: Reduzierte Netznutzungsentgelte für Nutzer von vollständig unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen, die dem zuständigen Netzbetreiber das Abschalten der Geräte (bspw. Wärmepumpe) bei kritischen Netzsituationen erlauben;
- Förderung von ESF, Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeugen [13];
- Förderung Wärmepumpe [14].

**Substitutionspotenziale bei Wärme und Verkehr**

Um die politische Diskussion anzureichern und eine aus System- und Akteursicht möglichst kosteneffiziente Kopplung der Sektoren zu ermöglichen, müssen wirtschaftliche Substitutionspotenziale identifiziert werden. Hierzu bedarf es einer Analyse der Anwendungsstruktur des fossilen EEV. Ausgangspunkt der Analyse ist das theoretische Substitutionspotenzial (TSP), dargestellt in Abb. 5. Das TSP ergibt sich aus dem EEV abzüglich des bereits elektrischen oder erneuerbaren EEV und zeigt somit auf, für welche Anwendungsarten fossiler EEV anfällt.

Aus Abb. 5 wird ersichtlich, dass das TSP 1.741 TWh beträgt. Ca. 60 % hiervon entfallen auf fossil betriebene Wärmeerzeuger und 40 % auf konventionelle Verkehrsleistungen. Mit Blick auf eine möglichst effiziente Substitution drängen sich vor allem die Wärmepumpe und das ESF als Substitutionstechnologien auf. Abb. 6 verdeutlicht die Effizienzvorteile, die diese Technologien im Vergleich zu den konventionellen Alternativen aufweisen. Dies zeigt, dass die Sektorkopplung auch aus Energieeffizienz-sicht erstrebenswert sein kann.

Die Elektrifizierungspotenziale sind jedoch begrenzt. Eine von der FfE GmbH durchgeführte Kurzstudie zu den Elektrifizierungspotenzialen in der Industrie hat ergeben, dass die Potenziale der Wärmepumpe im



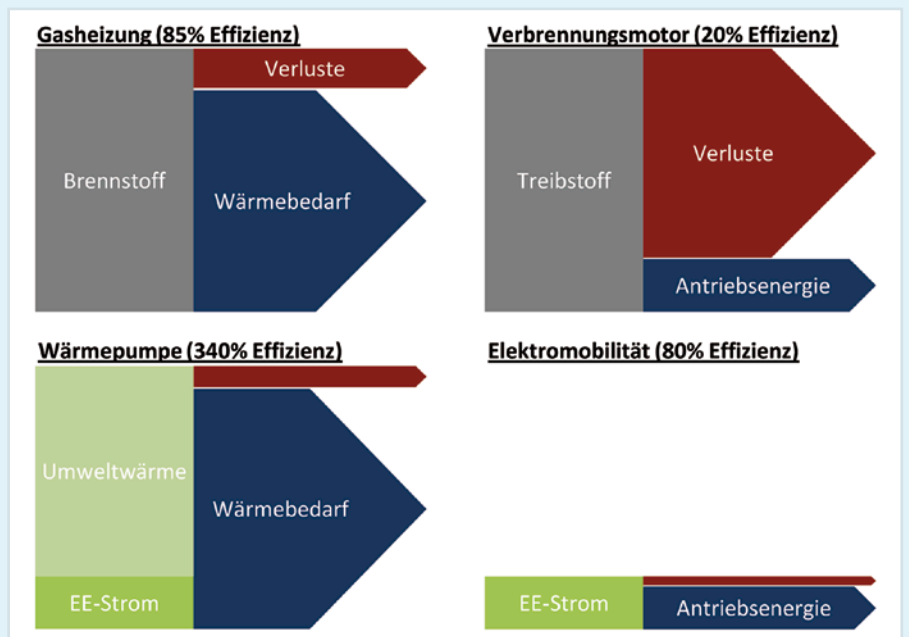
**Abb. 5** Theoretisches Substitutionspotenzial (TSP) nach Energieverbrauchssegmenten für 2014 in TWh [19]

Bereich der Prozesswärmebereitstellung durch die häufig sehr hohen Temperaturanforderungen begrenzt sind [15]. Wird statt einer Wärmepumpe ein Heizstab und/oder Elektrodenheizkessel verwendet, führt die Elektrifizierung aufgrund der vergleichsweise geringen Wirkungsgrade zu erheblichen Mehrkosten aus Akteursicht. Dies schränkt das wirtschaftliche Elektrifizierungspotenzial stark ein [16].

**Elektrifizierung in einem funktionsfähigen EU ETS**

Bei einer Realisierung der Substitutionspotenziale durch Elektrifizierung (oder

durch andere Methoden der Sektorkopplung) entstehen Rückwirkungen auf die Stromerzeugungsseite und die Netzinfrastruktur. Unter den aktuellen Bedingungen führt jede zusätzlich verbrauchte Einheit Strom in der Regel dazu, dass mehr Strom aus fossilen Kraftwerken in das Netz gespeist werden muss. Diese Erhöhung des Stromverbrauchs muss zusätzlichen EE-Ausbau induzieren. Sogar in der Grenzwertbetrachtung führt die Elektrifizierung der Bereiche Wärme und Verkehr nicht zu einer Erhöhung der Gesamtemissionen, da die Emissionen der Stromerzeugungsseite durch das EU ETS gedeckelt werden.



**Abb. 6** Effizienzgewinne durch Elektromobilität und Wärmepumpe [24]



Wird bspw. der Verkehrssektor elektrifiziert, so fallen die unmittelbaren Emissionen der Verbrennungsmotoren weg. Es entstehen jedoch zusätzliche elektrische Verbraucher, deren Bedarf gedeckt werden muss. Folglich muss mehr Strom erzeugt werden. Da die Emissionen des Stromsektors jedoch gedeckelt sind und nicht über ein bestimmtes Maß hinaus steigen dürfen, kann der erhöhte Stromverbrauch nicht zu Mehremissionen führen. Folglich werden die gesamten Emissionen der Verbrennungsmotoren eingespart, auch ohne dass der Verkehrssektor dem EU ETS unterliegt. Die gleiche Logik trifft auch auf die Elektrifizierung des Wärmesektors zu. Durch eine Einbindung des Wärme- und Verkehrssektors in das EU ETS könnte die Realisierung der Substitutionspotenziale durch eine sukzessive Reduktion der zulässigen Emissionen beschleunigt werden.

## Energieeffizienz und Sektorkopplung

Die in diesem Artikel dargelegte Logik des Koppelstroms zeigt, dass sowohl im Bereich der Energieeffizienz als auch bei der Sektorkopplung erhebliche Potenziale existieren. Bei der Realisierung dieser Potenziale muss die Reduktion der THG die ausschlaggebende Zielgröße darstellen. Folglich sollten Maßnahmen zur Energieeffizienz und Sektorkopplung in erster Linie als Dekarbonisierungsmaßnahmen betrachtet werden.

Im Rahmen der Großprojekte „Dynamis“ (gefördert durch das BMWi) und „Synergie“ (gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung) wird das Potenzial verschiedener Ausführungen der Elektrifizierung und der Sektorkopplung im Allgemeinen als Maßnahme zur THG-Vermeidung und zur Steigerung der Flexibilität in der Industrie in Zukunft an der FfE eingehend untersucht.

## Anmerkungen

- [1] Bals, C.; Kreft, S.; Weischer, L.: Wendepunkt auf dem Weg in eine neue Epoche der globalen Klima- und Energiepolitik – Die Ergebnisse des Pariser Klimagipfels COP 21. Bonn: Germanwatch e.V., 2016.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Ein gutes Stück Arbeit Energie der Zukunft –

Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende. Berlin 2015.

- [3] Grünbuch Energieeffizienz – Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2016.
- [4] Bradshaw, A.; Erdmann, U.; Münch, W.; Pittel, K.; Rehtanz, C.; Sedlbauer, K.; Umbach, E.; Wagner, U.: Priorisierung der Ziele – Zur Lösung des Konflikts zwischen Zielen und Maßnahmen der Energiewende in: Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München: Eberhard Umbach, 2015.
- [5] Schlomann, B.; Wohlfarth, K.; Kleeberger, H.; Hardt, L.; Geiger, B.; Pich, A.; Gruber, E.; Gerspacher, A.; Holländer, E.; Roser, A.: Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013 – Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Kurzfassung. Nürnberg: Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES), 2015.
- [6] Gerhardt, N. et al.: Potenziale für Strom im Wärmemarkt bis 2050 – Wärmeversorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien. Frankfurt am Main: VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V., 2015.
- [7] Schlesinger, M.; Lindenberger, D.; Lutz, C.: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose – Projekt Nr. 57/12 – Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 2014.
- [8] Greenpeace e.V.: Klimaschutz: Der Plan – Energiekonzept für Deutschland. Hamburg 2015.
- [9] Madlener, R.: Steigerung der Energieeffizienz: Problem oder Lösung? – SES-Fachtagung „Energiekrise als Chance“. Aachen: RWTH Aachen University, 2010.
- [10] Nitsch, J.: GROKO – II Szenarien der deutschen Energieversorgung auf der Basis des EEG-Gesetzesentwurfs – insbesondere Auswirkungen auf den Wärmesektor. Berlin: Bundesverband Erneuerbare Energien e.V., 2014.
- [11] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Klimaschutzplan 2050 (Entwurf) – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin 2016.
- [12] Quaschnig, V.: Sektorkopplung durch die Energiewende – Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW), 2016.
- [13] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Elektromobilität (Umweltbonus) in: <http://www.bafa.de/bafa/de/wirtschaftsfoerderung/elektromobilitaet/index.html> (13.7.2016). Eschborn 2016.

[14] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Förderübersicht Wärmepumpe (Basis-, Innovations- und Zusatzförderung) (14.12.2015). Berlin 2015.

- [15] Gruber, A.; Biedermann, F.; von Roon, S.: Industrielles Power-to-Heat Potenzial in: Vortrag bei der IEWT 2015 in Wien. München: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2015.
- [16] Guminski, A.; von Roon, S.: Transition towards an All-Electric System – A Merit-Order of Electrification. In: The 15th IERE General Meeting & German Forum. Berlin, 2015.
- [17] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland – Unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Berlin 2016.
- [18] In Anlehnung an: Corradini, R.; Conrad, J.; Samweber, F.: Wärme- und Verkehrswende weiterhin nicht sichtbar. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2016. URL: <https://www.ffe.de/publikationen/609> (besucht am 8.4.2016).
- [19] Zahlen und Fakten Energiedaten – Nationale und internationale Entwicklung. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2016.
- [20] In Anlehnung an: Energieberatung in Industrie und Gewerbe. – Der Schlüssel zum Kostensenken. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2013.
- [21] Nitsch, J. et al.: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global – Leitstudie 2011. Bonn: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik, Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung, 2012.
- [22] Schlesinger, M.; Lindenberger, D.; Lutz, C.: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Basel, Köln, Osnabrück: Prognos AG, EW, GWS, 2010.
- [23] Öko-Institut e.V.; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI): Klimaschutzszenario 2050 – 1. Modellierungsrunde. Freiburg, Berlin 2014.
- [24] In Anlehnung an: Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IWES): Stellungnahme zum BMWi Grünbuch – Pro Effiziente Sektorkopplung – Wärmepumpen und Elektromobilität. Kassel 2015.

*A. Guminski, M. Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Dr. S. von Roon, Geschäftsführer, Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, München*  
[aguminski@ffe.de](mailto:aguminski@ffe.de)