

Der Stromsektor als Rückgrat der zukünftigen Energieversorgung

Klimaziele und Status Quo

Um die notwendige Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95% gegenüber 1990 zu erreichen, muss die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas mittelfristig komplett durch erneuerbare Energien (EE) oder CO₂-freie Brennstoffe ersetzt werden.

In Deutschland ist der Anteil der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2017 zwar bereits auf 36% am Bruttostromverbrauch gestiegen, jedoch beträgt der Anteil von EE am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte erst 13,2% und im Verkehrssektor sogar erst 5,2% [1].

Direkte versus indirekte Elektrifizierung

Bereits heute existieren Technologien, die eine Dekarbonisierung auch im Wärme- und Verkehrssektor ermöglichen. Dazu zählen insbesondere Wärmepumpen und die Elektromobilität, die bei Vorhandensein von ausreichend Strom aus erneuerbaren Quellen eine sehr effiziente und CO₂-freie Versorgung ermöglichen (vgl. oberer Bereich in ► *Abbildung 1*). Die Herstellung von synthetischen, speicherbaren Brennstoffen (sogenanntes P2X) kann ebenfalls einen

wichtigen Bestandteil im zukünftigen Energiesystem einnehmen. Dabei wird in einem ersten Schritt über die Elektrolyse Wasserstoff hergestellt, der bei Bedarf unter Nutzung einer CO₂-Quelle noch weiter zu Brenn- und Kraftstoffen wie Methan, Benzin oder Kerosin konvertiert werden kann (vgl. unterer Bereich in ► *Abbildung 1*).

Die Herstellung synthetischer Brennstoffe hat dabei den Vorteil, dass die Brennstoffe speicherbar sind und in verschiedensten Anwendungen überwiegend unter Nutzung der heutigen Infrastruktur eingesetzt werden können.

Als mögliche CO₂-Quellen sollten dabei vor allem solche zuerst genutzt werden, bei denen eine möglichst hohe CO₂-Konzentration vorliegt, um nicht noch zusätzlich Energie für die CO₂-Abtrennung zu benötigen. Idealerweise bieten sich hier Bioethanol- oder Biomethaneinspeiseanlagen an, bei denen der biogene Kohlenstoff im Kreislauf geführt werden kann und CO₂ als hochkonzentriertes Nebenprodukt anfällt. Das aktuelle Produktionsniveau beider Konversionstechnologien erbringt aktuell 1.360Mt CO₂, womit über den Sabatier-Prozess ca. 10TWh Elektrolysestrom absorbierbar wären, aus dem sich 7TWh zusätzliches Bio-P2G-Methan erzeugen ließe.



Fraunhofer IEE
Dr. Diana Böttger
diana.boettger@iee.fraunhofer.de



Fraunhofer ISE
Prof. Dr. Christof Wittwer
christof.wittwer@ise.fraunhofer.de

DBFZ
Martin Dotzauer
martin.dotzauer@dbfz.de

DLR
Dr. Hans Christian Gils
hans-christian.gils@dlr.de

ISFH
Prof. Dr. Rolf Brendel
rolf.brendel@isfh.de

Dr. Raphael Niepelt
niepelt@isfh.de

Jülich
Dr. Jochen Linßen
j.linssen@fz-juelich.de

Dr. Martin Robinus
m.robinus@fz-juelich.de

KIT
Maryegli Fuss
maryegli.fuss@kit.edu

Dr. Thomas Brown
tom.brown@kit.edu

Abbildung 1:
Anwendungsbereiche von Strom
in Verbindung mit Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff und synthetischen Energieträgern [2]

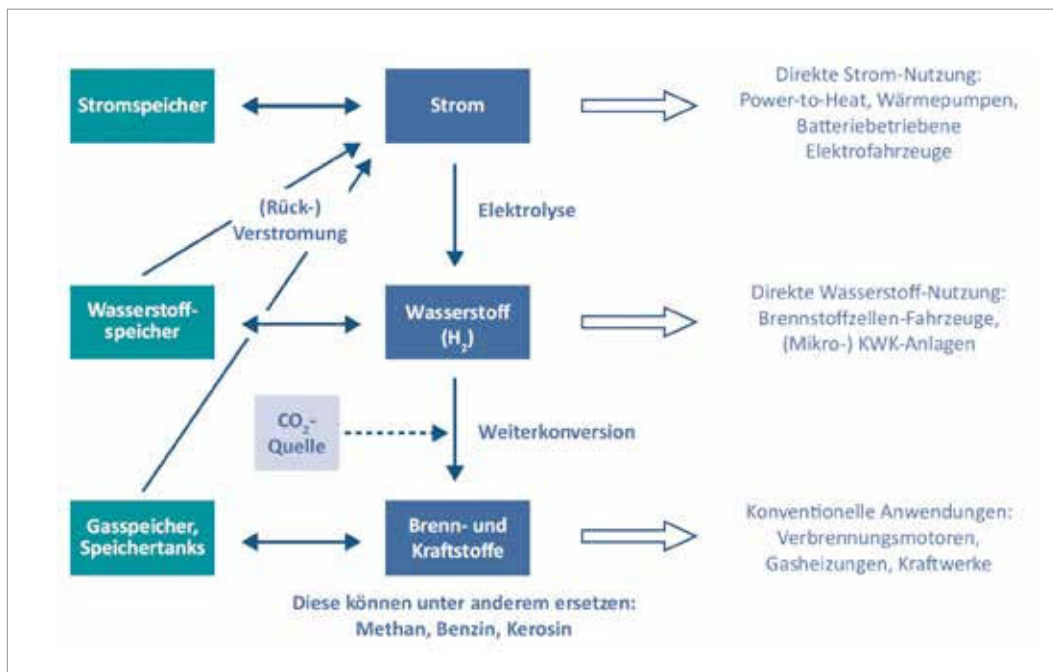


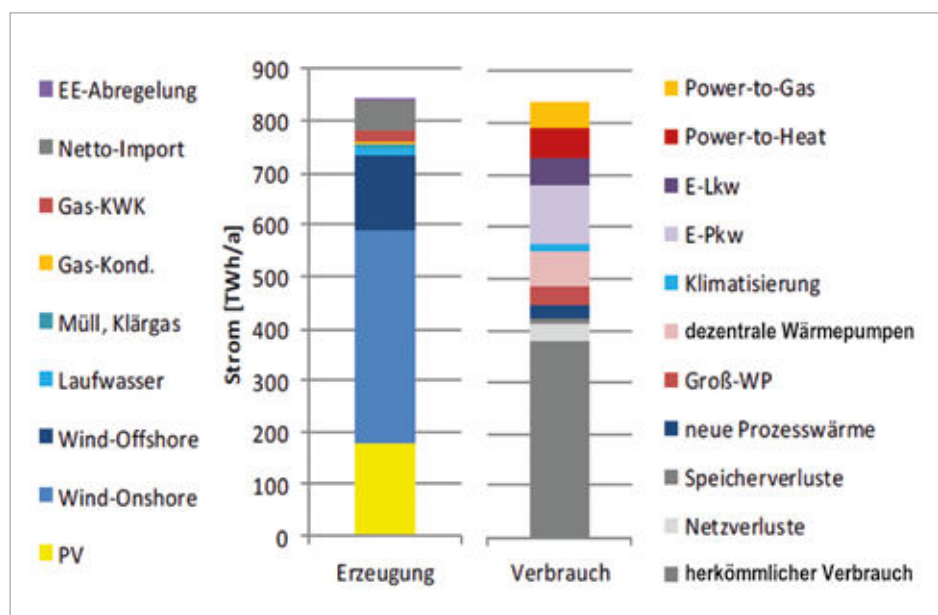
Abbildung 2:
Gesamt-Energieeffizienz von Pkw mit verschiedenen Antriebskonzepten, die alle auf Strom aus erneuerbaren Energien basieren [2]



Der Nachteil dieser indirekten Elektrifizierung gegenüber einer direkten Elektrifizierung besteht jedoch in den erheblichen Wirkungsgradverlusten, die exemplarisch für den Pkw-Bereich in ► **Abbildung 2** dargestellt sind. So erreicht ein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug einen Gesamtwirkungsgrad von 69%, während ein brennstoffzellenbetriebenes Elektrofahrzeug nur auf einen Gesamtwirkungsgrad von 26% kommt. Noch schlechter sieht dies bei einem Auto mit Ver-

brennungsmotor aus, das mit einem synthetischen Kraftstoff betrieben wird. Dieses erreicht einen Gesamtwirkungsgrad von nur 13%. Im Wärmesektor sind die Verhältnisse ähnlich. Der Kettenwirkungsgrad liegt bei der direkten Elektrifizierung der Wärmeerzeugung über die Wärmepumpe um ein Vielfaches höher als bei der Wärmeerzeugung mit synthetischen Gasen.

Abbildung 3
Mögliche Energiebilanz für Deutschland im Jahr 2050 [3]



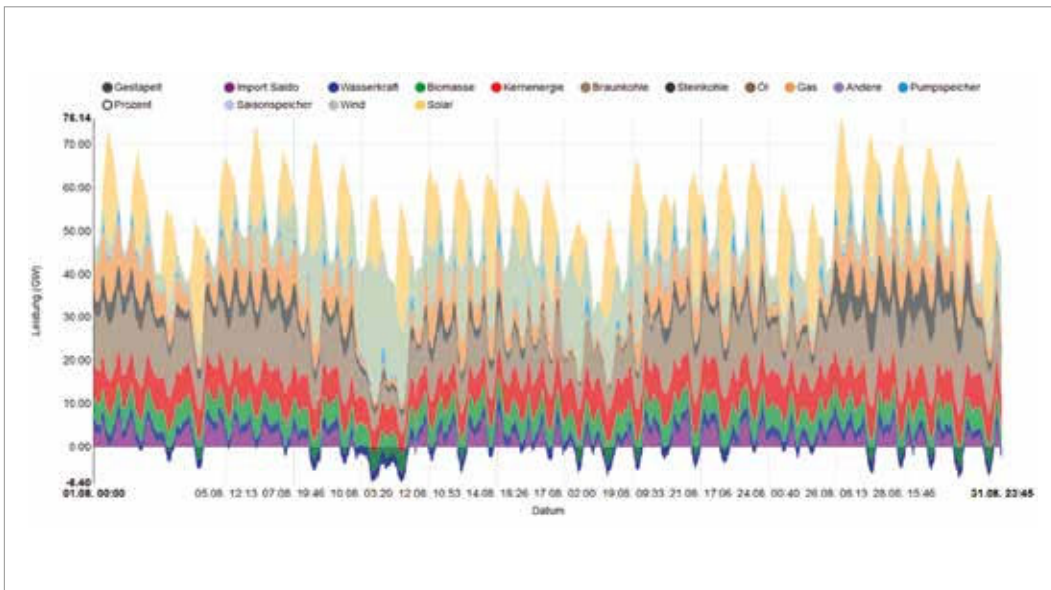


Abbildung 4
Betrieb des Stromsystems heute (August 2019) [4]:
Ausgleich über die Stromerzeugungsseite

Aus diesem Beispiel wird ersichtlich, dass eine indirekte Elektrifizierung aufgrund der deutlich schlechteren Gesamtwirkungsgrade einen entsprechend höheren Ausbau von erneuerbaren Energien erfordert. In beiden Fällen wird der Strombedarf im Vergleich zu heute deutlich zunehmen, sodass der Stromsektor zukünftig das Rückgrat der Energieversorgung darstellen wird.

Beispielhaft ist für ein Szenario mit 95% CO₂-Minderung die Jahresbilanz der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs in Deutschland in ► **Abbildung 3** zu sehen. In diesem Szenario beträgt der Nettostromverbrauch rund 840 TWh und liegt damit um rund 60% über dem heutigen Stromverbrauch. In diesem Szenario kommt dabei die eine Hälfte der Netto-

stromnachfrage aus heutigen Anwendungen und die andere Hälfte aus neuen Sektorkopplungsanwendungen aus dem Wärme- und Verkehrsbereich sowie von Power-to-Gas. Im Vergleich dazu kann bei noch stärkerer indirekter Elektrifizierung die Stromnachfrage auch bis auf 1.000 TWh ansteigen.

Ausgleich von Stromangebot und Stromnachfrage heute über die Stromerzeugungsseite

Die Integration der wetterabhängigen Stromeinspeisung von Windkraft und Photovoltaik erfolgt heute überwiegend über die Nutzung der Flexibilität der

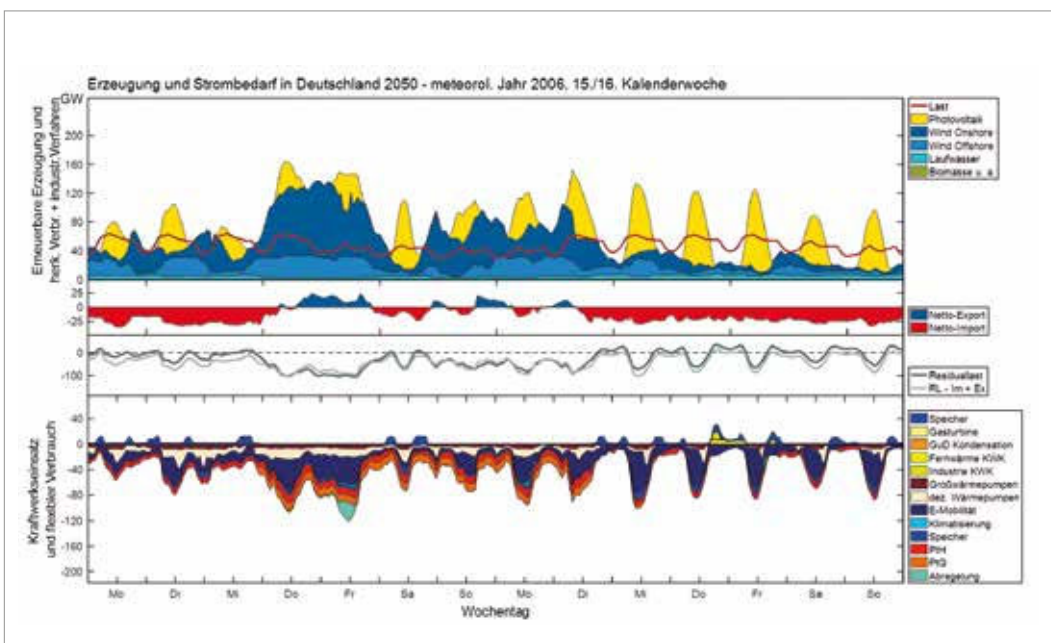


Abbildung 5
Möglicher Betrieb des Stromsystems im Jahr 2050 [5]:
Ausgleich zukünftig verstärkt über die Stromverbrauchsseite

Stromerzeugungsseite wie ► *Abbildung 4* zeigt. So werden im Fall von einem hohen Dargebot von Strom aus EE Gas- und Kohlekraftwerke gedrosselt oder teilweise auch ganz abgeschaltet. Darüber hinaus sieht man an der beispielhaften Situation in ► *Abbildung 4* auch, dass am Wochenende des 10./11. August 2019 auch die deutschen Kernkraftwerke gedrosselt wurden und ein hoher Stromexport in das europäische Ausland stattfand.

Ausgleich von Stromangebot und Stromnachfrage zukünftig verstärkt über die Stromverbrauchsseite

Da zukünftig die Anzahl thermischer Kraftwerke abnehmen und sich die Stromerzeugung in immer größerem Umfang auf die wetterabhängigen Quellen Windkraft und Photovoltaik fokussieren wird, ist eine stärkere Flexibilisierung der Stromnachfrage-seite notwendig, um jederzeit einen Ausgleich zwischen Stromangebot und -nachfrage herzustellen. ► *Abbildung 5* zeigt hierzu ein Szenario mit einer starken Flexibilität der Stromverbrauchsseite. In Zeiten, in denen ein hohes Stromangebot den heutigen herkömmlichen Stromverbrauch (rote Linie in oberer Grafik) übersteigt, werden zunächst Großwärmepumpen und dezentrale Wärmepumpen betrieben. Weiterhin werden Elektrofahrzeuge flexibel geladen, wenn ausreichend Strom zur Verfügung steht. Wenn keine weitere direkte Nachfrage aus dem Wärme- oder Verkehrssektor besteht, werden zusätzlich Power-to-Gas-Anlagen (orange Fläche in unterer Abbildung) betrieben. Aufgrund der hohen Flexibilität in diesem Szenario tritt eine marktbedingte Abregelung von EE (türkise Fläche in unterer Abbildung) nur in vergleichsweise wenigen Fällen auf. Um gleichzeitig eine netzbedingte Abregelung zu vermeiden, ist ein gut ausgebautes Stromnetz bei möglichst erzeugungsnahe Verbrauch notwendig.

Fazit

Unabhängig von der Frage der direkten oder indirekten Stromnutzung wird der Stromsektor zukünftig eine immer wichtigere Rolle bei der Energieversorgung spielen. Wenn die Effizienzvorteile der direkten Stromnutzung gehoben werden können, kann der Ausbau von erneuerbaren Energien deutlich geringer ausfallen als bei indirekter Elektrifizierung über P2X-Brennstoffe. Dies ist jedoch nur mit einer starken Flexibilisierung der Stromnachfrage im Wärme- und Verkehrssektor möglich. Es werden dafür hocheffiziente Speicher (Batterien) benötigt, aber auch thermische und chemische Speicher (Wärme und Wasserstoff).

Quellenangaben

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018): „Erneuerbare Energien in Zahlen: Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2017“, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2017.html> (abgerufen am 07.10.2019)
- [2] acatech et al. (2017): „Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende“
- [3] Fraunhofer IWES (2017): „Analyse eines Europäischen – 95%-Klimazielszenarios über mehrere Wetterjahre – Teilbericht im Rahmen des Projektes: KLIMAWIRKSAMKEIT ELEKTROMOBILITÄT Entwicklungsoptionen des Straßenverkehrs unter Berücksichtigung der Rückkopplung des Energieversorgungssystems in Hinblick auf mittel- und langfristige Klimaziele“, Kassel.
- [4] Fraunhofer ISE (2019): Energy Charts, https://www.energy-charts.de/power_de.htm?source=all-sources&year=2019&month=8
- [5] Fraunhofer IEE (2016): <http://www.energieversorgung-elektromobilitaet.de/SzenarienGenerator.html>