



Speicher in der Energiewende (Teil 2)

Welche Technologien gewinnen vor dem Hintergrund einer zukünftigen Energiesektorenkopplung an Bedeutung?

Von Tim Wehrenberg

Einleitung

Teil 1 dieses Artikels befasste sich mit Technologien, die der Speicherung elektrischer Energie dienen und konzentrierte sich somit überwiegend auf den Stromsektor. Um das Ziel einer Transformation des derzeitigen Energiesystems hin zu einem vollständig auf erneuerbaren Energien (EE) basierenden Gesamtsystem zu erreichen, müssen jedoch ebenfalls der Wärme- und Verkehrssektor berücksichtigt werden. Während hier auf der einen Seite die Substitution der fossilen Energieträger eine große Herausforderung darstellt, bietet eine Integration beider Bereiche jedoch auch zusätzliche Optionen. Zum einen führt sie zu einer erhöhten Flexibilisierung des Energiesystems als Ganzes und somit zur besseren Nutzung fluktuierender Solar- und Windenergie. Zum anderen ergeben sich bei einer Sektorenkopplung, und einer damit einhergehenden Elektrifizierung des Wärme- und Mobilitätsbereichs, Potenziale zur Energieeffizienzsteigerung. Dies gilt im Wärmesektor beim Einsatz von Wärmepumpen sowie im Verkehrssektor bei der Nutzung von Elektroautos. In beiden Fällen ist jedoch die Voraussetzung, dass der genutzte Strom direkt und nicht durch Verbrennungsprozesse in einem thermischen Kraftwerk erzeugt wird. Dies hat den Hintergrund, dass direkt erzeugter Strom, z. B. aus Photovoltaik- und Windenergieanlagen, zu 100 % als Primärenergie zählt. ¹

Während bei einer reinen Betrachtung des Stromsektors hauptsächlich die in Teil 1 dieses Artikels betrachteten Speichertechnologien (elektrische, elektrochemische und mechanische Energiespeicher) eine Rolle spielen, gewinnen bei einer sektorenübergreifenden Betrachtung des Energiesystems weitere Technologien an Bedeutung: die Klasse der thermischen Speicher sowie das sogenannte Power-to-Gas-Konzept. Dabei sind erstere ein wichtiges Puzzlestück bei der Integration des Wärmesektors, wohingegen letzteres einen sektorenübergreifenden, systemorientierten Ansatz zur Nutzung überschüssiger elektrischer Energie darstellt.

Integration des Wärmesektors

Während der EE-Anteil am deutschen Bruttostromverbrauch im Jahr 2016 bei 31,7 % lag, halten die erneuerbaren Energien in den Wärmesektor deutlich langsamer Einzug. So lag ihr Anteil am Endenergieverbrauch Wärme und Kälte im selben Jahr bei lediglich 13,0 %. Dabei sollte gerade der Wärmemarkt mit seinem hohen Endenergieverbrauch Priorität besitzen. Abbildung 1 stellt diesen Umstand grafisch dar. ²

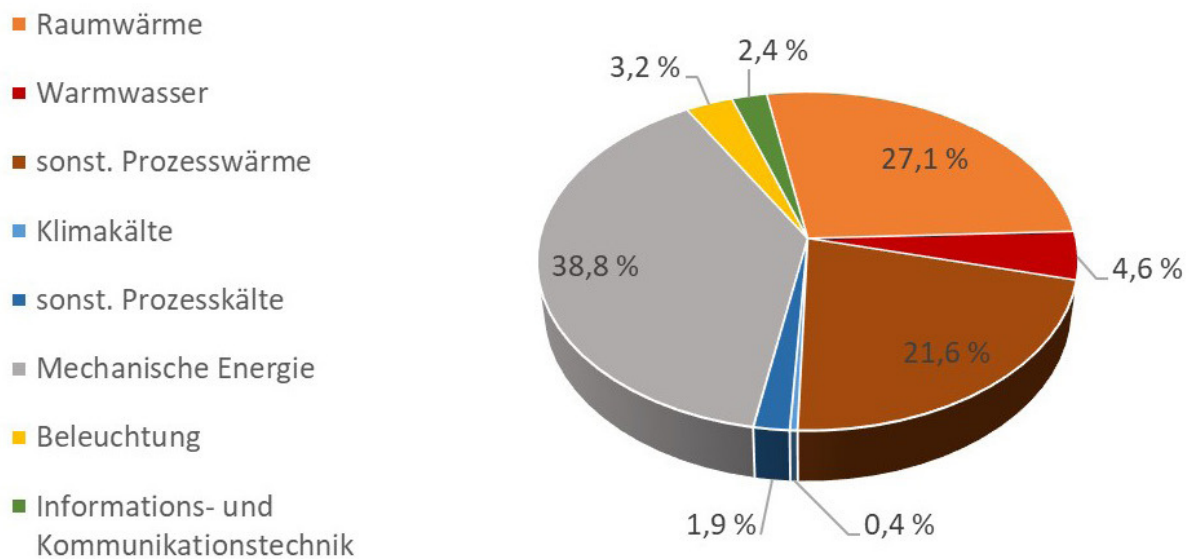


Abb. 1: Struktur des gesamten Endenergieverbrauchs nach Sektoren in Deutschland 2015 (eigene Darstellung nach ³)

Deutlich zu erkennen sind vor allem die hohen Energieverbräuche für Raum- und Prozesswärme. Zusammen mit einem vergleichsweise geringen Bedarf für Warmwasser liegt der Wärmeanteil am gesamten Endenergieverbrauch bei 53,3 % (Stand 2015).

Derzeit basiert die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland fast vollständig auf biogenen Energieträgern. Ihr Anteil liegt bei 87,6 % (Stand 2016). Dabei drängt sich, begründet durch den massiven Ausbau von Photovoltaik- und Windenergieanlagen, die Nutzung von Strom im Wärmesektor geradezu auf. Zwar war es in der Vergangenheit ineffizient, den in thermischen Kraftwerken unter Inkaufnahme von großen Verlusten erzeugten Sekundärenergieträger Strom im Anschluss in Wärme umzuwandeln, jedoch ändert sich dies in einem Energiesystem, das seinen Strom überwiegend direkt aus Sonnen- und Windenergie gewinnt. In diesem Fall handelt es sich bei Strom um einen Primärenergieträger. Dieser kann im Anschluss mithilfe einer Widerstandsheizung nahezu verlustfrei in Wärme umgewandelt werden. Bei der Verwendung von Wärmepumpen ist die erzeugte Wärmeenergiemenge sogar um ein Vielfaches größer als die aufgewendete Menge an elektrischer Energie. Die Umwandlung von Strom in Wärme wird dabei auch als Power-to-Heat bezeichnet. ^{2,4}

Darüber hinaus hat die Verwendung von Strom im Wärmemarkt zwei große Vorteile. Zum einen ist dies, neben der Nutzung solarthermischer Anlagen, die einzige Möglichkeit Wärme ohne Umweltbelastungen am Entstehungsort zu erzeugen. Zum anderen lassen sich durch die Umwandlung von Stromüberschüssen aus Solar- und Windenergie zu großen Teilen sowohl die Abregelung von Photovoltaik- und Windenergieanlagen als auch die vergleichsweise teure Energiespeicherung in Stromspeichern vermeiden. Die so erzeugte Wärme kann im Anschluss entweder direkt genutzt oder vergleichsweise preisgünstig in thermischen Energiespeichern gespeichert werden. Letzteres wird bereits auf dem EUREF-Campus in Berlin realisiert, wo der Energieversorger GASAG überschüssigen Windstrom aus Brandenburg via Elektroheizer in Wärme umwandelt, diese in zwei isolierten Speicherbehältern mit je 22 m³ Fassungsvermögen zwischenspeichert und bei Bedarf zur Wärmeversorgung des Campus nutzt. Darüber hinaus sollen beide Speicher zukünftig im Sommer auch Kühlenergie aufnehmen, die zuvor aus Windstrom erzeugt wurde und der Klimatisierung dienen soll. ^{4,5}

Thermische Speicher

Die drei grundlegenden Wärmespeicherprinzipien sind die sensible, die latente sowie die thermochemische Wärmespeicherung, dargestellt in Abbildung 2.

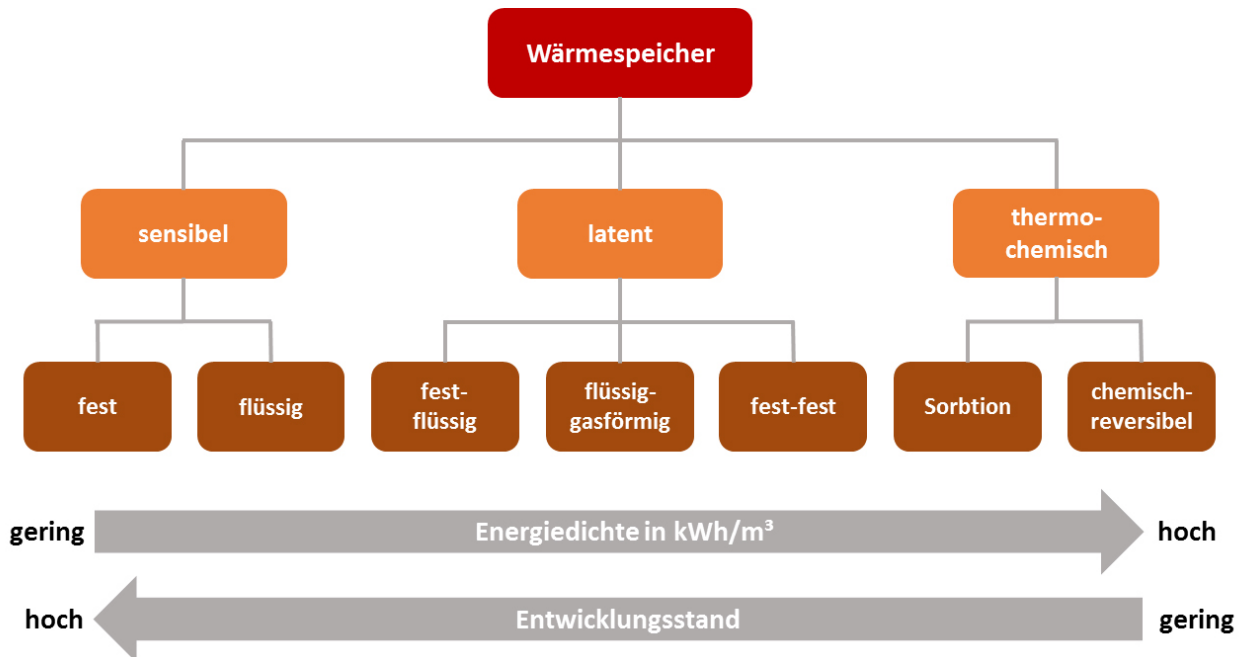


Abb. 2: Übersicht über die verschiedenen Technologien zur Speicherung thermischer Energie (eigene Darstellung nach ⁶⁾)

SENSIBLE WÄRMESPEICHERUNG

Die sensible Wärmespeicherung ist mit großem Abstand die am weitesten entwickelte und eingesetzte Wärmespeichertechnologie. Bei ihr erfolgt die Speicherung thermischer Energie durch Erwärmung eines Speichermaterials. Hierbei findet explizit kein Phasenwechsel statt. Die gespeicherte Wärmeenergie ist dabei proportional zur Temperaturerhöhung, zur Masse sowie zur spezifischen Wärmekapazität* des Speichermaterials. Letztere bemisst dabei seine Fähigkeit thermische Energie zu speichern und stellt eine thermodynamische Stoffeigenschaft dar. ^{6,7}

Grundsätzlich lassen sich diverse Stoffe, sowohl in fester als auch in flüssiger Form, als Speichermaterial für sensible Wärmespeicher verwenden. Am häufigsten wird jedoch Wasser genutzt, da es eine hohe spezifische Wärmekapazität besitzt und weitere Vorteile, wie z. B. geringe Kosten sowie eine hohe Verfügbarkeit und Umweltverträglichkeit, bietet. Da aufgrund der physikalischen Eigenschaften von Wasser das maximale Temperaturniveau auf 100 °C (bei 1 bar Umgebungsdruck) begrenzt ist, gibt es die Möglichkeit der druckbeladenen Speicherung. Bei einer Druckerhöhung auf 5 bis 10 bar lassen sich auf diese Weise Temperaturniveaus von bis zu 200 °C erreichen. ^{4,6}

* Energiemenge, die 1 kg eines bestimmten Stoffes zugeführt werden muss, um seine Temperatur um 1 Kelvin zu erhöhen.

Sensible Wärmespeicher haben vor allem den Vorteil einer hohen technischen Reife sowie geringer Kosten. Sowohl innerhalb der Klasse der thermischen Speicher als auch technologieübergreifend stellen sie die mit großem Abstand preiswerteste Möglichkeit zur Energiespeicherung dar. So ist die Speicherung von 1 kWh Strom in einer Lithium-Ionen-Batterie ca. um den Faktor 100 teurer als die Speicherung von 1 kWh Wärme in einem sensiblen Wärmespeicher. Dem stehen als Nachteile jedoch eine im Vergleich zu anderen Wärmespeichertechnologien geringere Energiedichte sowie tendenziell größere Wärmeverluste aufgrund der höheren Speichermaterialtemperaturen gegenüber. Letzteres führt zu der Notwendigkeit einer guten Wärmedämmung. Die meisten Anwendungen finden sensible Wärmespeicher im Bereich der Kurzzeitspeicherung (Tagesspeicher). Bei großen Speichervolumina oder sehr guter Isolierung sind sie jedoch auch zur Langzeitspeicherung (Saisonalspeicher) geeignet. ^{6,7}

LATENTE WÄRMESPEICHERUNG

Latentwärmespeicher speichern zusätzlich zur sensiblen (fühlbaren) Wärme die für einen Phasenwechsel notwendige Energie. In der Regel wird dabei der Phasenübergang fest-flüssig genutzt. Die hierbei auftretende Volumenänderung beträgt üblicherweise weniger als 10 % und ist somit technisch beherrschbar. Die spezifische Schmelzenthalpie** und somit die im Phasenwechsel gespeicherte Energie ist ebenfalls ausreichend hoch. Im Gegensatz dazu führt der Phasenübergang flüssig-gasförmig zu einer hohen Volumenzunahme und ist technisch daher nur schwer umsetzbar. Als Speichermedium kommen diverse Materialien in Frage. Jedoch werden meist spezielle Salze oder Paraffine verwendet. ^{4,6}

Bedingt durch die beim Schmelzprozess konstant bleibende Temperatur haben Latentwärmespeicher im Vergleich zu sensiblen Wärmespeichern den Vorteil eines deutlich geringeren Temperaturniveaus und somit geringerer Wärmeverluste an die Umgebung. Des Weiteren besitzen sie eine höhere Energiedichte. Nachteile sind hingegen die höheren Kosten sowie die materialbedingte schlechtere Wärmeübertragung. Dabei ist gerade die Verbesserung des Wärmetransports zur Erhöhung der Lade- und Entladeleistung noch ein Kernpunkt von Forschung und Entwicklung. Anwendung finden Latentwärmespeicher sowohl zur Kurzzeit- als auch zur Langzeitspeicherung. Außerdem bietet sich bei dieser Technologie aufgrund der geringeren Wärmeverluste eine Nutzung als mobiler Wärmespeicher an. Insbesondere für ländliche Gebiete mit geringem lokalen Wärmebedarf kann dies eine wirtschaftlich interessante Option sein. ^{4,6,7}

** Energiemenge, die aufgebracht werden muss, um 1 kg eines bestimmten Stoffes an seinem Schmelzpunkt bei konstantem Druck zu verflüssigen.

THERMOCHEMISCHE WÄRMESPEICHERUNG

Bei der thermochemischen Wärmespeicherung wird sich der Wärmeumsatz einiger reversibler chemischer Reaktionen zunutze gemacht. Dabei wird einer chemischen Verbindung Wärme zugeführt, woraufhin diese in einer endothermen Reaktion in zwei Produkte zerfällt. Prinzipiell treten bei dieser Technologie keine thermischen Verluste auf, da die gespeicherte Energie nicht als Wärme, sondern in Form von Reaktionsenergie gespeichert wird. Erst bei der exothermen Rückreaktion, durch Wiederausammenführung der beiden Reaktionsprodukte, wird die gespeicherte Energie wieder als Wärme freigesetzt. Voraussetzung ist dabei grundsätzlich, dass die Reaktionsprodukte getrennt und über einen längeren Zeitraum speicherbar sind. ^{6,7}

Neben der verlustfreien Speicherung liegt ein weiterer Vorteil dieser Technologie in der im Vergleich zur sensiblen und latenten Wärmespeicherung deutlich höheren Energiedichte. Zusammengefasst lässt sich somit sagen, dass diese Art der Wärmespeicherung diejenige mit dem größten Potenzial ist. Allerdings befindet sie sich derzeit noch überwiegend in der Grundlagenforschung und findet daher kaum Anwendung in der Praxis. Auf lange Sicht stellt sie jedoch eine sehr vielversprechende Option, vor allem zur Wärmespeicherung über lange Zeiträume (Saisonalspeicher), dar. ^{6,7}

Power-to-Gas

Die Power-to-Gas-Technologie ist eine Sonderform unter den Energiespeichertechnologien. Bei ihr handelt es sich nicht per se um einen Stromspeicher, sondern vielmehr um einen sektorenübergreifenden, systemorientierten Ansatz zur Nutzung überschüssiger elektrischer Energie. Diese wird dabei verwendet, um mittels Elektrolyse Wasserstoff (H₂) herzustellen, welcher direkt genutzt oder in einem weiteren Prozess in Methan (CH₄) umgewandelt werden kann. Das so erzeugte Brenngas kann auf verschiedene Arten Anwendung finden: als Speichermedium im Stromsektor, Brennstoff für die Wärmeversorgung, Kraftstoff für den Verkehrssektor sowie zur industriellen Nutzung. Die Power-to-Gas-Technologie könnte zukünftig somit einen großen Beitrag zur Integration des Wärme- und Verkehrssektors in das regenerative Energiesystem leisten. Im Folgenden zeigt Abbildung 3 die mögliche Einbindung von Power-to-Gas in ein solches Energiesystem. ⁶

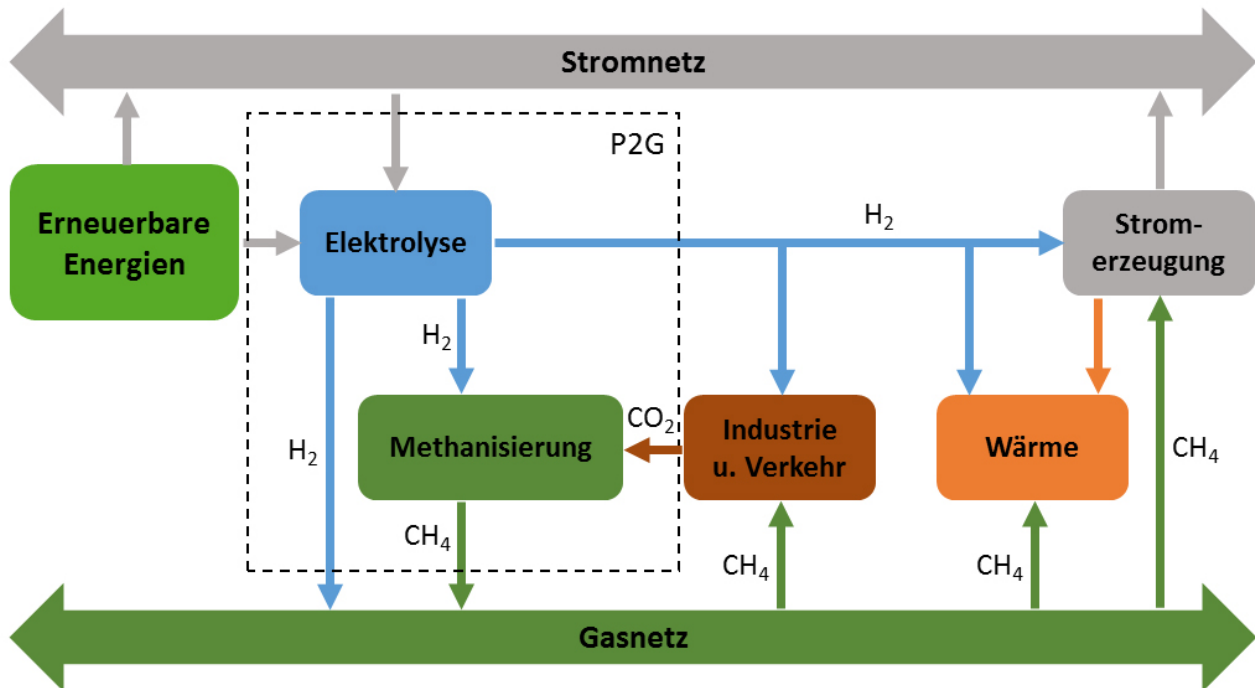


Abb. 3: Mögliche Einbindung von Power-to-Gas (P2G) in das Energiesystem
 (eigene Darstellung nach ⁸⁾

SPEICHER IM STROMSEKTOR

Von einem Stromspeicher kann bei dieser Technologie nur gesprochen werden, wenn das erzeugte Brenngas anschließend wieder rückverstromt wird. Hierfür eignen sich Brennstoffzellen und bei der Verwendung von Methan ebenfalls Gasturbinen. Dabei liegt der Wirkungsgrad des gesamten Stromspeicherprozesses (Strom -> Gas -> Strom) für Wasserstoff zwischen 34 und 44 % und für Methan zwischen 30 und 38 %. Bei Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung liegen die Wirkungsgrade ca. 15 % höher. Somit ist die Stromspeicherung mittels Power-to-Gas im Vergleich zu anderen Stromspeichertechnologien sehr ineffizient. ^{6,9}

Der Vorteil dieser Technologie besteht jedoch in dem bei weitem größten Speicherkapazitätspotenzial aller derzeitigen Energiespeichertechnologien. Aus diesem Grund und wegen der geringen Selbstentladung stellt Power-to-Gas die aus heutiger Sicht interessanteste Langzeitspeicheroption für die Zukunft dar. Dabei bietet sich zur Speicherung des erzeugten Brenngases vor allem das Erdgasnetz an. Dieses hat in Deutschland eine Kapazität von ca. 230 TWh (Stand 2013), womit, unter Berücksichtigung der Wirkungsgradverluste

bei der Verstromung des Brenngases, ungefähr ein Viertel des jährlichen deutschen Bruttostromverbrauches in Höhe von knapp 600 TWh (Stand 2016) gedeckt werden könnte. Somit wäre z. B. eine Überbrückung mehrmonatiger windschwacher Zeiträume grundsätzlich möglich. Während Methan dabei wie konventionelles Erdgas eingespeist werden kann, sollte der eingespeiste Wasserstoffanteil aufgrund technischer Restriktionen jedoch maximal zwischen 1 und 2 % betragen. ^{2,6,7,10}

BRENNSTOFF FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG

Sofern das im Power-to-Gas-Verfahren erzeugte Brenngas in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen verstromt wird, trägt es sekundär ebenfalls zur Wärmeversorgung bei. Es ist allerdings ebenfalls möglich, das Brenngas direkt und ausschließlich zur Wärmegewinnung zu verfeuern, z. B. zum Kochen oder Heizen. Sofern ein Brennwertkessel zum Einsatz kommt, werden hierbei Wirkungsgrade bis zu 69 % erreicht. Bei überwiegender Verwendung des Brenngases zur reinen Wärmegewinnung ist allerdings die zuvor beschriebene direkte Umwandlung von Strom in Wärme (Power-to-Heat) aufgrund ihres höheren Wirkungsgrades zu bevorzugen. ^{11,12}

KRAFTSTOFF FÜR DEN VERKEHRSEKTOR

Abbildung 4 zeigt den Anteil des Verkehrssektors am Endenergieverbrauch in Deutschland (Stand 2015). Sein hoher Anteil von 29,5 % in Verbindung mit der Tatsache, dass der Mobilitätsbereich derzeit noch nahezu vollständig auf fossilen Brennstoffen in Form von Erdöl basiert (EE-Anteil in Deutschland 2016: 5,2 %), verdeutlicht die Notwendigkeit der Einbeziehung des Verkehrssektors in die Energiewende. ^{2,3}

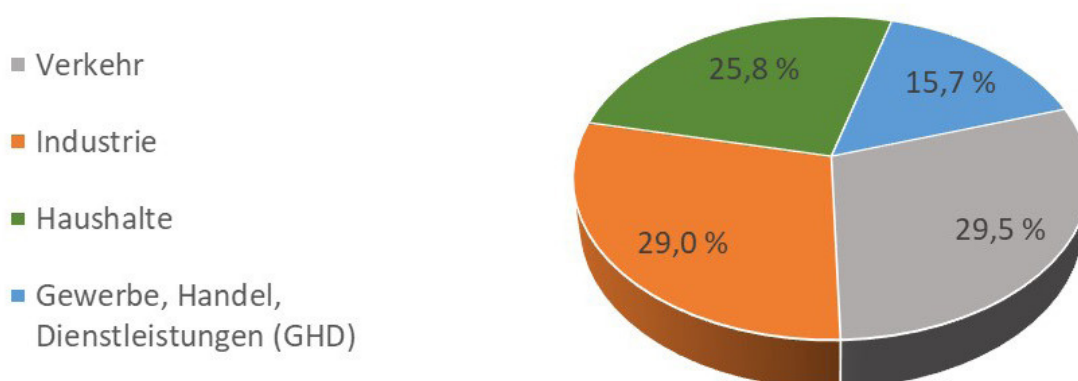


Abb. 4: Struktur des gesamten Endenergieverbrauchs nach Sektoren in Deutschland 2015 (eigene Darstellung nach ³)

Vor diesem Hintergrund kann es sinnvoll sein, das mithilfe des Power-to-Gas-Verfahrens produzierte Brenngas im Mobilitätsbereich einzusetzen. Als Energiewandler bieten sich hier sowohl der Verbrennungsmotor als auch der Elektromotor in Kombination mit einer Brennstoffzelle an. Im Vergleich zur Elektromobilität auf Basis von Batterietechnologien, wie z. B. Lithium-Ionen-Batterien, hat die Nutzung der Power-to-Gas-Technologie dabei zwar den Vorteil einer höheren Energiedichte, ihr Nachteil ist jedoch der deutlich höhere Primärenergieverbrauch (ca. Faktor 3). Daher wird die Nutzung von Power-to-Gas im Mobilitätsbereich in Fachstudien lediglich als Ergänzung zur klassischen Elektromobilität gesehen, nämlich vor allem im Luft- und Schiffverkehr sowie in eingeschränkterem Maße auch im Straßengüterverkehr.^{6,7}

Quellen

- ¹ Günther, M. (2015). Energieeffizienz durch Erneuerbare Energien: Möglichkeiten, Potenziale, Systeme. Wiesbaden.
- ² Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017). Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Berlin.
- ³ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2016). Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2015. Berlin.
- ⁴ VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (2015). Potenziale für Strom im Wärmemarkt bis 2050: Wärmeversorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien. Frankfurt am Main.
- ⁵ Energie & Management Verlagsgesellschaft mbH.
<https://www.energie-und-management.de/nachrichten/detail/energiewende-made-in-berlin-121736?scope=EXK&user=41602>
(letzter Zugriff am 27.10.2017)
- ⁶ Sterner, M. u. Stadler, I. (2014). Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration. Köln, Regensburg.
- ⁷ Technische Universität Berlin, Fachgebiet Elektrische Energiespeichertechnik (2015).
- ⁸ European Power to Gas Platform. <http://www.europeanpowertogas.com/about/power-to-gas>
(letzter Zugriff am 27.10.2017)
- ⁹ Sterner, M.; Jentsch M.; Holzhammer U. (2011). Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Kassel.
- ¹⁰ Deutscher Bundestag, Wissenschaftliche Dienste (2017). Sachstand: Entwicklung der Stromspeicherkapazitäten in Deutschland von 2010 bis 2016. Berlin.
- ¹¹ Ingenieur.de (letzter Zugriff am 27.10.2017)
<http://www.ingenieur.de/Themen/Energiespeicher/Wirkungsgrad-Power-to-Gas-konkurrenzfaehig>
- ¹² Groscurth H. u. Bode S. (2013). Discussion Paper Nr. 9: "Power-to-heat" oder "Power-to-gas"? arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik. Hamburg.