

# AUSWIRKUNGEN DER WASSERSTOFFMOBILITÄT AUF DAS STROMSYSTEM AM BEISPIEL BADEN-WÜRTTEMBERGS

Frieder BORGGREFE<sup>1</sup>, Thomas PREGGER<sup>1</sup>, Hans Christian GILS<sup>1</sup>

## Inhalt

Der Einsatz von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) als potentieller Energieträger der Zukunft wird sowohl den Verkehrssektor als auch den Stromsektor beeinflussen. Im Rahmen von szenarienbasierten Simulationsrechnungen werden die Wechselwirkungen zwischen den Sektoren vor dem Hintergrund der Energiewende und der langfristigen CO<sub>2</sub>-Minderungsziele für die Jahre 2030 bis 2050 untersucht.

## Einleitung

Die Steigerung der Energieeffizienz stellt einen Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in allen Energiesektoren dar. Im Verkehrssektor sind signifikante CO<sub>2</sub>-Minderungen langfristig jedoch vor allem durch die Elektromobilität erreichbar, die eine zusätzliche Stromnachfrage im Energiesystem darstellen wird. Zwei Technologien sind hier sehr vielversprechend: Batteriefahrzeuge und Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb unter Nutzung von erneuerbar erzeugtem Wasserstoff. Dieser Wasserstoff kann in großen Mengen nur mittels Elektrolyseuren aus erneuerbarem Strom gewonnen werden. In diesem Beitrag werden die Auswirkungen einer Implementierung dieser Erzeugungsrouten auf ein den politischen Zielen entsprechendes Stromsystem der Jahre 2030 bis 2050 untersucht. Fokus der Arbeit liegt auf Deutschland und im speziellen dem Bundesland Baden-Württemberg.

Die Ergebnisse basieren auf umfangreichen Simulationsrechnungen mit dem Stromsystemmodell REMix, das am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt wurde. Es wird analysiert, welchen Beitrag die Elektrolyseure zur Integration großer Mengen erneuerbarer Energien (EE) in das Stromsystem haben können und welche zusätzliche Stromerzeugung durch die Nachfrage entsteht. Gleichzeitig wird abgeschätzt, welchen Beitrag die Nutzung von strombasiertem Wasserstoff auf die Emissionsminderungen im Verkehrssektor haben wird.

Der Konferenzbeitrag stellt ausgewählte Ergebnisse einer aktuellen Studie für die Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg (e-mobil BW GmbH) dar (LBST/DLR 2016). Ausgehend von weitergehenden Analysen auf Basis aktueller Szenarien der IEA (IEA 2015) wird der langfristige Ausblick auf die Jahre nach 2030 bis 2050 diskutiert.

## Annahmen zur Entwicklung der Wasserstoffmobilität

Die Ergebnisse aus (LBST/DLR 2016) zeigen, dass die kommerzielle Nutzung von Wasserstoff zunächst im Verkehrssektor stattfinden wird. Erst nach 2030 können signifikante Marktpotenziale in der Industrie erschlossen werden. Die Brennstoffzellentechnologie im Verkehr steht dabei heute noch am Anfang: Es existieren erst wenige seriennahe Fahrzeuge, und auch die Infrastruktur in Deutschland ist mit unter 50 Wasserstofftankstellen noch weit von einer flächendeckenden Versorgung entfernt. In einem ambitionierten Szenario wird in (LBST/DLR 2016) unterstellt, dass durch geeignete Anreize, Regularien und industrielle Verpflichtungen die Stückzahlen der Brennstoffzellenfahrzeuge deutlich erhöht werden können. Forciert durch einen konsequenten Ausbau der Infrastruktur werden bis 2030 im ambitionierten Fall rund 140.000 Brennstoffzellenfahrzeugen im Jahr 2030 in Baden-Württemberg für möglich gehalten, dies entspricht einem Anteil von rund 3% an der gesamten Fahrzeugflotte (ca. 3 Mio. Fahrzeuge insgesamt). Hinzu kommen Wasserstoff-Busse und -LKW sowie bis zu 50 mit Wasserstoff betriebene Schienenfahrzeuge. Der modellgestützte Vergleich dieses ambitionierten Szenarios mit einem Energiesystem ohne Wasserstoffbedarf bildet vor dem Hintergrund weiterer Randannahmen die Grundlage für die durchgeführten Analysen.

---

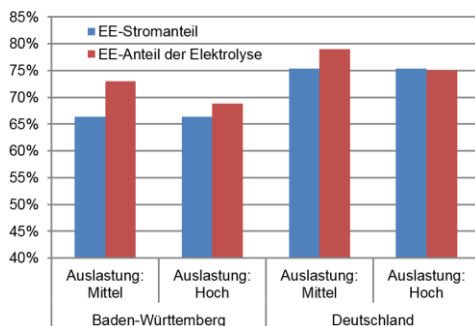
<sup>1</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik, Wankelstraße 5, 70563 Stuttgart, [www.dlr.de/tt](http://www.dlr.de/tt),  
{Tel.: +49 711 6862-431, [frieder.borggreffe@dlr.de](mailto:frieder.borggreffe@dlr.de)},  
{Tel.: +49-711-6862-355, [thomas.pregger@dlr.de](mailto:thomas.pregger@dlr.de)},  
{Tel.: +49-711-6862-477, [hans.gils@dlr.de](mailto:hans.gils@dlr.de)}

## Modellansatz

Mit dem Modell REMix werden die stündlich aufgelöste Einspeisung von EE-Strom und die Lastprofile aller Stromverbraucher abgebildet. Die Modellierung basiert auf einem zielkonformen Szenario der installierten Leistungen im Stromsystem nach Technologien und Regionen im Jahr 2030. Für Baden-Württemberg ist hierbei das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept des Landes (IEKK 2014) die Vorlage, wobei für die Wasserstoffherzeugung entsprechend dem Jahresstrombedarf bilanziell zusätzliche Wind- und PV-Anlagen angenommen wurden. Die Einspeisung aus Wind und Photovoltaik wird mit historischen Wetterdaten dargestellt. Anhand der linearen Optimierung der Systemkosten wird der stündliche Dispatch aller Technologien in Deutschland und seinen Nachbarländern ermittelt. Innerhalb Deutschlands werden einzelne Regionen untersucht. Die Ergebnisse zeigen den optimalen Einsatz der Kraftwerke, Speicher und Elektrolyseure in Abhängigkeit von ihrer Auslegung.

## Ergebnisse: Einfluss auf das Stromsystem und abgeschätzte CO<sub>2</sub>-Minderungen

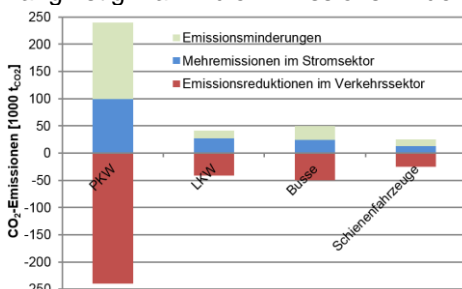
Die Ergebnisse zeigen zum einen, dass überschüssige Strommengen nicht bzw. nur zu einem sehr geringen Anteil für die H<sub>2</sub>-Erzeugung genutzt werden können. Stattdessen wird der Strommix jeder Stunde für die Elektrolyse angesetzt, wobei das Elektrolyse-H<sub>2</sub>-Speicher-System eine durch die Auslegung bestimmte Flexibilität besitzt, die, im Vergleich zum mittleren Strommix, zu tendenziell höheren EE-Anteilen im Wasserstoff führt. Abb. 1 zeigt die resultierenden erneuerbaren Anteile, wobei die Anteile für



den Elektrolysestrom bzw. Wasserstoff zumeist höher liegen, besonders wenn die Elektrolyseure nur mit mittlerer Auslastung, d.h. mit größerer Flexibilität betrieben werden. Dies bedeutet, dass der Einsatz der Elektrolyseure mit dem EE-Anteil korreliert. Daraus lassen sich die spezifischen Emissionen der Wasserstoffnutzung ermitteln. Den Emissionsminderungen im Verkehrssektor durch die Substitution von Benzin- und Dieselfahrzeugen müssen hierzu die Mehremissionen im Stromsektor gegenübergestellt werden.

**Abbildung 1: Mittlere EE-Anteile am Strommix und am Elektrolysestrom im ambitionierten H<sub>2</sub>-Szenario 2030 je nach Elektrolyseauslastung**

Abb. 2 zeigt für das ambitionierte Wasserstoffszenario diese Gegenüberstellung: Im Jahr 2030 können durch die Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen die Emissionen im Verkehrssektor unter Berücksichtigung der Mehremissionen im Stromsektor noch um rund 200 ktCO<sub>2</sub> reduziert werden. Könnte rein erneuerbarer Strom genutzt werden würde die Emissionsminderung im Jahr 2030 bei 350 ktCO<sub>2</sub> liegen. Langfristig kann die Emissionsminderung im Verkehrssektor durch die Substitution konventioneller



Antriebe mit Brennstoffzellenfahrzeugen deutlich zunehmen, sofern der erneuerbare Anteil an der Stromversorgung als auch die Flottendurchdringung weiter ansteigen. Ausgehend von einer forcierten Marktdurchdringung der Wasserstofffahrzeuge nach 2030 in Anlehnung an das Szenario H<sub>2</sub> aus (IEA 2015) und der zeitgleichen zielkonformen Entwicklung des deutschen Strommixes steigt die erzielbare Emissionsminderung im Verkehr bis zum Jahr 2050 auf über 2.500 ktCO<sub>2</sub> an.

**Abbildung 2: Emissionsminderung durch Wasserstoffnutzung im Verkehrssektor, Baden-Württemberg im Jahr 2030.**

## Literatur

- [1] LBST/DLR 2016: Kommerzialisierung der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg – Rahmenbedingungen und Perspektiven. LBST Ottobrunn, DLR Stuttgart im Auftrag der e-mobil BW GmbH, Februar 2016.
- [2] IEA 2015: Internationale Energieagentur (IEA): Technology Roadmap, Hydrogen and Fuel Cells. [www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapHydrogenandFuelCells.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapHydrogenandFuelCells.pdf)
- [3] IEKK 2014: Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg (IEKK). Beschlussfassung: 15. Juli 2014. Landesregierung Baden-Württemberg.