



© RLI

Auswirkungen von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen auf das Energiesystem

Elektrifizierte Fahrzeuge können das Angebot an erneuerbaren Energien mit der Stromnachfrage verbinden. Das kann durch zeitversetzte Produktion, Lastverschiebung oder das Einbinden der Fahrzeugakkus in das Stromnetz passieren. Das Reiner-Lemoine-Institut zeigt in seiner Studie, welche Potenziale sich durch mehr Flexibilität bei der Versorgung elektrischer Pkw und Lkw ergeben.

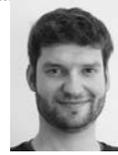
AUTOREN



Jakob Gemassmer, M. Sc.
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Reiner-Lemoine-Institut
in Berlin.



Jörn Hartmann, M. Sc.
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Reiner-Lemoine-Institut
in Berlin.



Alexander Windt, M. Sc.
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Reiner-Lemoine-Institut
in Berlin.



Dipl.-Ing. (FH) Oliver Arnhold
ist Bereichsleiter Mobilität mit
erneuerbaren Energien am
Reiner-Lemoine-Institut in Berlin.

NEUE POTENZIALE

Ein Grund für die Verfehlung der nationalen Klimaziele 2020 ist der fehlende Beitrag des Verkehrssektors. Einzig in diesem Sektor konnte in Deutschland seit 1990 keine Reduzierung der Treibhausgasemissionen erreicht werden [1]. Der Umstieg auf elektrisch angetriebene Fahrzeuge und deren Versorgung mit regenerativ erzeugtem Strom kann dies ändern. Neben Pkw gilt dies auch für Lkw, da Letztere circa ein Drittel der verkehrsgebundenen Emissionen verursachen [2]. Elektrifizierte Fahrzeuge haben das Potenzial, das Dargebot von

erneuerbaren Energien mit der Stromnachfrage zu verbinden – durch zeitversetzte Produktion, Lastverschiebung oder das Einbinden der Fahrzeugakkus in das Stromnetz, der sogenannten Vehicle-to-Grid-Technologie (V2G). Das Reiner-Lemoine-Institut (RLI) hat diese Potenziale in einer Studie ermittelt.

BETRACHTETE SZENARIEN

Nachfolgend werden die Auswirkungen einer Elektrifizierung von Pkw und Lkw auf das nationale Stromsystem beschrieben. Betrachtet werden dabei Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb (BEV)

und Brennstoffzellen-Antrieb (FCEV). Im verwendeten Modell wird neben dem aktuellen nationalen Stromverbrauch auch der künftige Bedarf elektrifizierter Fahrzeuge beleuchtet, **BILD 1**. Das Modell optimiert den Ausbau erneuerbarer Erzeugungsanlagen und den Speicherbedarf hinsichtlich der geringsten Kosten. Zu den Erzeugungsanlagen gehören neben Windenergie- und Photovoltaikanlagen auch Geothermie-, Biomasse-, Laufwasserkraftwerke sowie Power-to-Gas-Technologien.

Die Lastprofile für Pkw werden durch Annahmen zu Fahrleistungen, Wegezweck, Distanzen sowie zur Verfügbar-

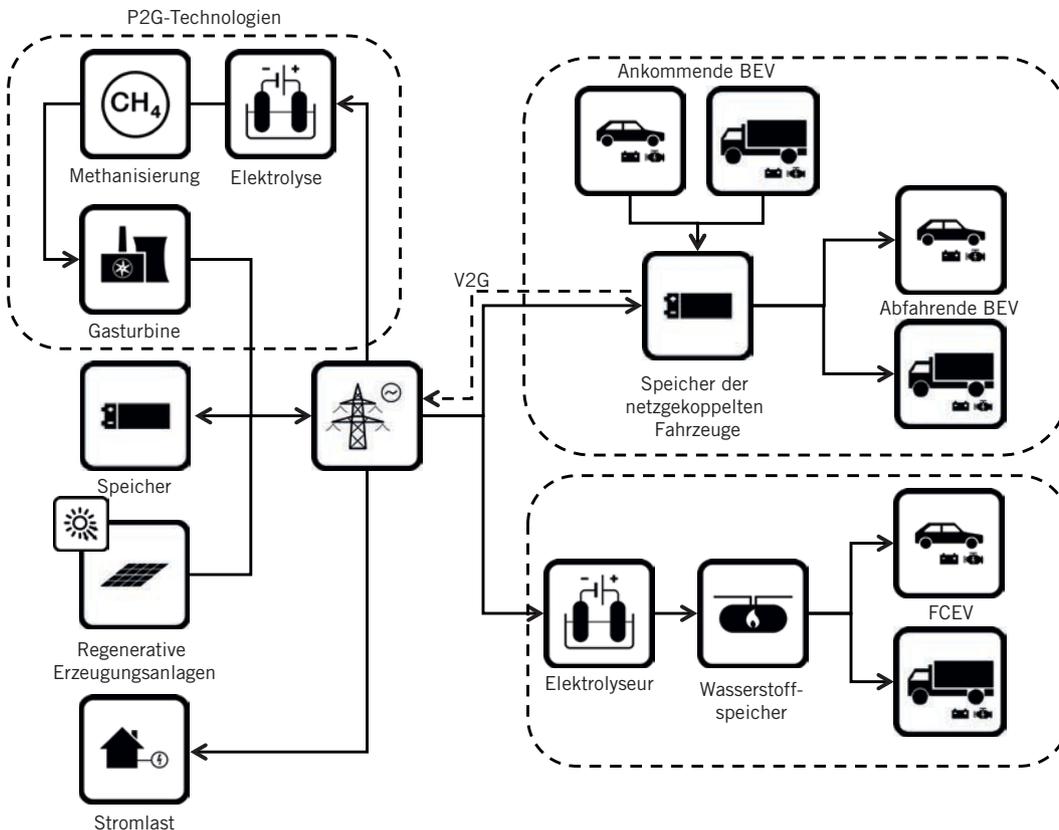


BILD 1 Das modellierte Energiesystem besteht aus Erzeugungsanlagen, Speichern, Stromnetz und Verbrauchern. Zu diesen gehören neben der Stromlast auch BEV und FCEV (© RLI)

ENERGIESYSTEM

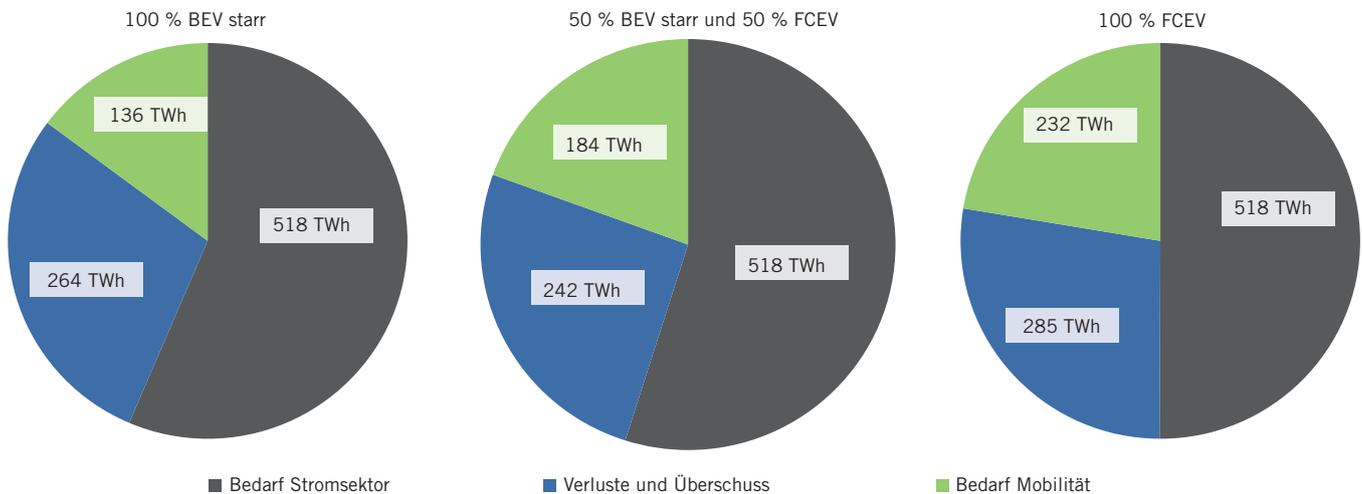


BILD 2 Durch starre BEV steigt der elektrische Energiebedarf um 136 TWh, durch FCEV um 232 TWh (© RLI)

keit von Lademöglichkeiten erstellt. Die Lastprofile der Lkw werden auf Basis automatischer Verkehrszählungen erstellt. Dabei sind für drei verschiedene Lkw-Gewichtsklassen Einsatzzeiten, Distanzen, Kapazitäten, Verbräuche und Ladeleistungen berücksichtigt.

Neben einem FCEV-Szenario werden drei BEV-Szenarien betrachtet. Im Szenario „BEV starr“ findet eine sofortige Vollladung statt, sobald ein Fahrzeug an der Ladesäule angeschlossen wird. Im Szenario „BEV flexibel“ wird zu

Beginn der Ladung lediglich Energie für 100 km Reichweite zur Verfügung gestellt und anschließend nur dann geladen, wenn möglichst kostengünstige erneuerbare Energien direkt genutzt werden können. Die maximale Flexibilität wird im Szenario „BEV V2G“ erreicht. Hier ist es möglich, Strom aus dem Fahrzeug in das Netz zurückzuspeisen, wenn dieser gerade durch andere Verbraucher benötigt wird. Voraussetzung für alle Szenarien ist, dass die nächste Fahrt nicht einge-

schränkt wird. Zusätzlich wird eine 50:50-Mischung von BEV und FCEV betrachtet.

ERHÖHTER ENERGIEBEDARF

Der Stromverbrauch beträgt in Deutschland etwa 518 TWh. Um diesen über regenerative Energien zu decken, müssen insgesamt 645 TWh produziert werden. Durch die Elektrifizierung des Straßenverkehrs erhöht sich der elektri-

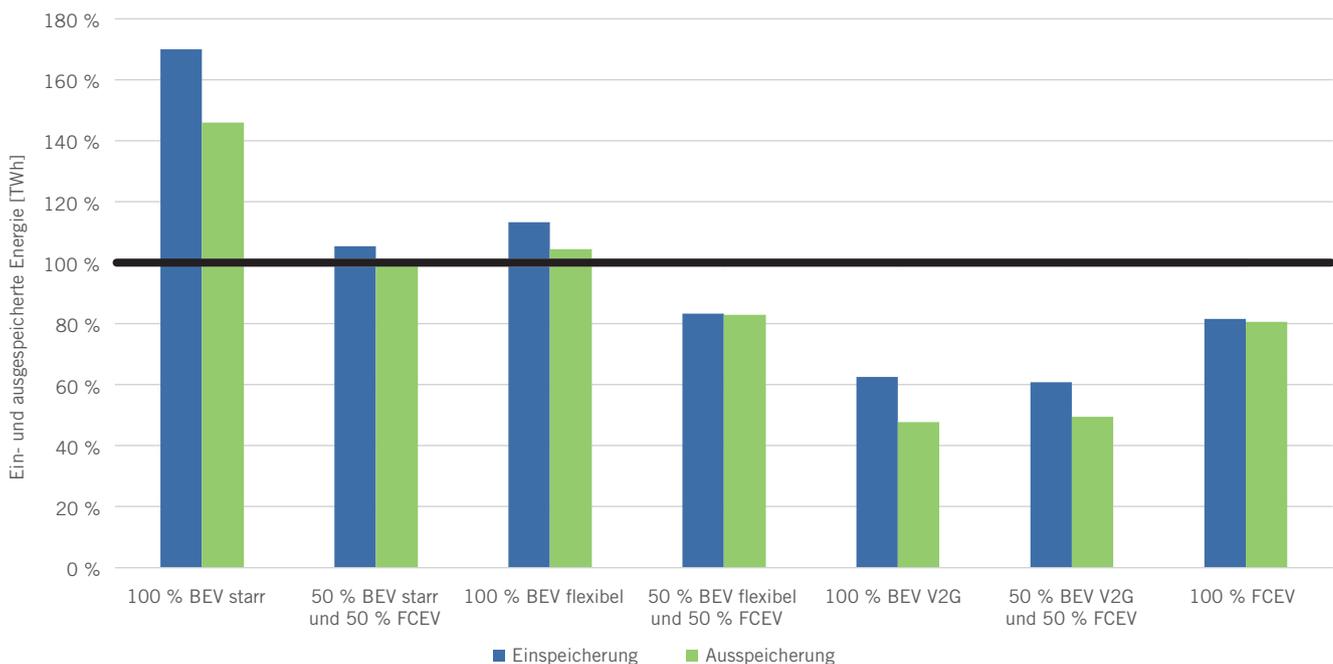


BILD 3 Eine hohe Flexibilität sowie die Nutzung verschiedener Technologien senken den Speicherbedarf (© RLI)

sche Energiebedarf nochmals. So steigt dieser bei vollständiger Umstellung von Pkw und Lkw auf BEV um circa 136 TWh, bei vollständiger Umstellung auf FCEV um circa 232 TWh. Der höhere Energiebedarf von FCEV wird durch die geringere Effizienz der Fahrzeuge und den Umwandlungsverlusten bei der Wasserstoffproduktion per Elektrolyse verursacht. Bei einer Nutzung beider Technologien ergibt sich ein Mehrbedarf von etwa 184 TWh, **BILD 2**.

Die Nutzung von FCEV geht mit einem höheren Energiebedarf einher als die Nutzung von BEV. Hierbei lassen sich jedoch Unterschiede zwischen dem Pkw- und Lkw-Sektor feststellen. Während für Pkw die Nutzung von FCEV gegenüber unflexiblen BEV einen Mehrbedarf von 10 % bedeutet, liegt er für Lkw unter 1 %. Bei der Betrachtung des Lkw-Sektors liegt die erzeugte elektrische Energie beim FCEV-Szenario nur um 1,5 TWh über der des unflexiblen BEV-Szenarios. Dies ist auf die unterschiedlichen Lastprofile zurückzuführen. Für Pkw ist dieses mehr über den Tag verteilt, während Lkw aufgrund der Einsatzzeiten vor allem bei Fahrtende geladen beziehungsweise betankt werden. Dadurch muss die regenerativ erzeugte Energie für BEV-Lkw zwischengespeichert werden, vorrangig in Power-to-Gas-Anlagen (PtG). Aufgrund der Wirkungsgradverluste dieser PtG-Anlagen ist der Bedarf nur minimal geringer, obwohl FCEV deutlich mehr Energie verbrauchen als BEV.

SENKUNG DES SPEICHERBEDARFS

Die Möglichkeit der zeitversetzten Produktion verringert den Speicherbedarf konventioneller Technologien wie Pumpspeicherkraftwerken bei der Umstellung auf FCEV gegenüber der einfachen Nutzung von BEV. Allerdings kann durch höhere Flexibilität beim Einsatz von BEV der Speicherbedarf ebenfalls erheblich gesenkt werden, **BILD 3**. Besonders die V2G-Technologie bietet enormes Potenzial. Sowohl für Pkw als auch für Lkw ergeben sich durch die Nutzung von V2G bei BEV niedrigere Speicherbedarfe als für FCEV. Die V2G-Technologie wird jedoch bislang kaum genutzt. Neben dem fehlenden Angebot der Hersteller ist auch die gesellschaftliche Akzeptanz noch zurückhaltend, wie eine aktuelle Umfrage des Digitalverbands Bitkom

zeigt [3]. Gründe, den privaten Pkw nicht in das Stromnetz einzubinden, liegen unter anderem im hohen bürokratischen Aufwand und noch unzureichenden Anreizen.

Bei Betrachtung des Speicherbedarfs ist die Kombination von BEV und FCEV in jedem Szenario vorteilhaft gegenüber der reinen BEV-Nutzung. Der positive Effekt der zeitversetzten Wasserstoffherstellung für FCEV zeigt sich besonders bei Kombination mit unflexiblen BEV. Mit steigender Flexibilität der BEV wird dieser Effekt geringer. Durch die Nutzung beider Technologien lässt sich der Stromüberschuss mindern, wie **BILD 2** verdeutlicht. Mehr Flexibilität beim Laden batterieelektrischer Fahrzeuge verringert zudem die insgesamt notwendige Energie. In der Summe kann im „BEV flexibel“-Szenario die regenerativ produzierte Energiemenge um etwa 9 % sinken. Die installierte Gesamtleistung an Erzeugungsanlagen sinkt jedoch nicht unbedingt mit steigender Flexibilität.

EINSATZ GÜNSTIGER REGENERATIVER ENERGIEN

Durch den gesteigerten Energiebedarf in Folge der Fahrzeugelektrifizierung müssen mehr Erneuerbare-Energien-Anlagen zugebaut werden. Bei Betrachtung der installierten Leistungen der einzelnen regenerativen Erzeugungsanlagen fällt auf, dass mit steigender Flexibilität auch der Zubau an Photovoltaik-Anlagen (PV) steigt. **BILD 4** zeigt dies für die vollständige Umstellung des Pkw- und Lkw-Sektors auf BEV beziehungsweise FCEV.

Während im BEV-V2G-Szenario 93,9 GW beziehungsweise im FCEV-Szenario 74,4 GW mehr PV zugebaut werden als im starren BEV-Szenario, verringert sich der Zubau von Offshore-Windenergieanlagen von 26,7 auf 2,6 oder 9,7 GW. Beim Vergleich beider starren BEV-Szenarien ist zudem zu erkennen, dass der Mehrbedarf der FCEV fast ausschließlich über PV gedeckt werden kann.

Deutschland steht vor der Herausforderung, den Strom aus Windenergieanlagen im Norden in den Süden des Landes zu transportieren. Die dafür notwendigen Stromtrassen stoßen in der Gesellschaft jedoch auf großen Widerstand. Der verstärkte Zubau von PV



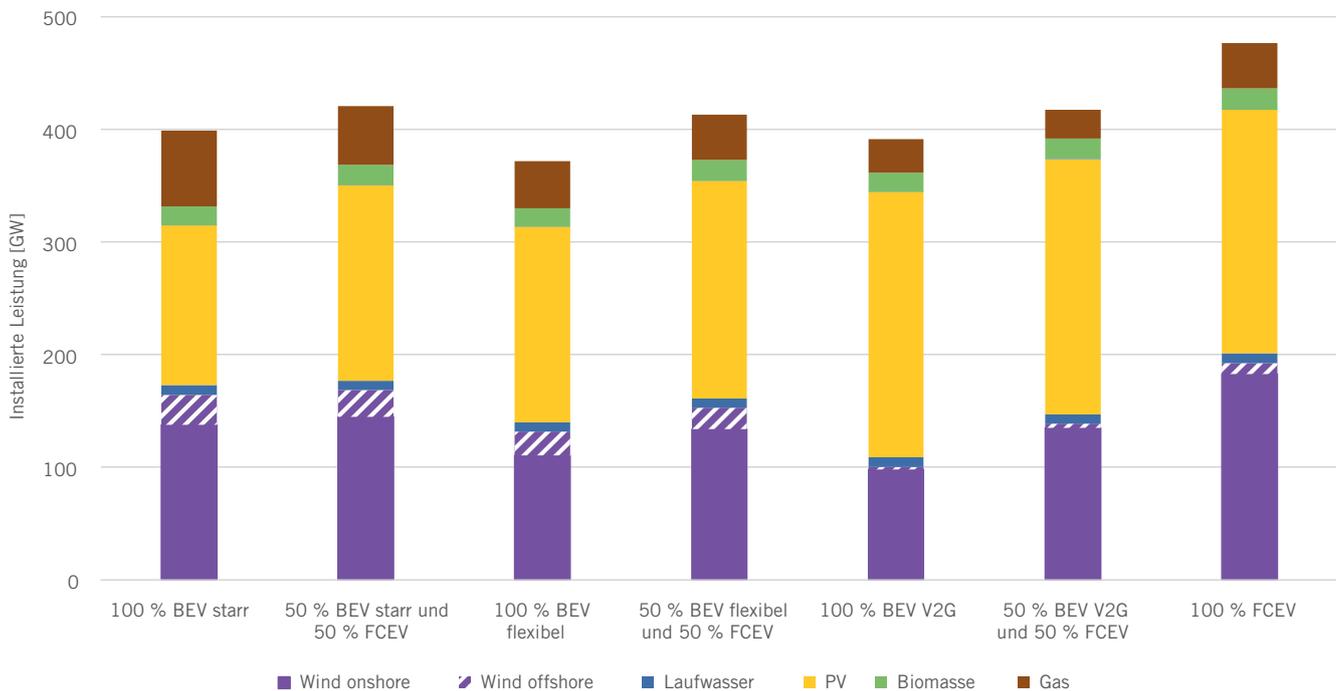


BILD 4 Eine hohe Flexibilität ermöglicht den Einsatz günstiger erneuerbarer Energie, während teure Technologien weniger stark zugebaut werden (© RLI)

kann diese Problematik lösen und Strom für die besonders im Süden Deutschlands angesiedelte stromintensive Industrie liefern. Die Kosten für Photovoltaik sind in den letzten Jahren stark gesunken. PV-Anlagen genießen zudem in der Gesellschaft eine deutlich höhere Akzeptanz als Windenergieanlagen. **BILD 4** zeigt, dass auch am Festland der Zubau von Windenergieanlagen durch mehr Flexibilität gesenkt werden kann.

Mehr Flexibilität bei der Versorgung der Fahrzeuge ermöglicht, dass der nötige Ausbau teurer Technologien, insbesondere Offshore-Wind, verringert wird und im Gegenzug verstärkt günstige Technologien wie PV zugebaut werden. Dadurch muss weniger Strom durch das Land transportiert werden.

ZUSÄTZLICHE FLEXIBILITÄTSOPTIONEN

Für Lkw mit über 7,5 t zugelassenem Gesamtgewicht gelten Fahrverbote an Sonn- und Feiertagen. Zudem sind sie aufgrund der gesetzlich geregelten Lenk- und Ruhezeiten nachts nur wenig im Einsatz. Somit entsteht besonders hier unter der Woche ein Ladebedarf. Diese Standzeiten der Lkw können genutzt werden, um die volatile Stromproduktion der Erneuerbaren flexibel zu

nutzen. Besonders nachts ist durch die typischen Verbrauchszeiten von Haushalten und Industrie aktuell wenig Flexibilität im Stromsektor vorhanden. Pkw können aufgrund der mehr über den Tag verteilten Stand- beziehungsweise Ladezeiten dies nur bedingt ausgleichen. Lkw hingegen bieten durch ihre spezifischen Standzeiten Flexibilität zu Zeiten, zu denen Pkw oder auch die Industrie diese nicht immer bereitstellen können.

Der Einsatz der V2G-Technologie in Lkw birgt ein hohes Potenzial zum zeitlichen Ausgleich regenerativer Energieerzeugung und Stromnachfrage. Besonders große Fuhrparks bieten sich hierfür an, da der administrative Aufwand pro Fahrzeug aufgrund der Skaleneffekte gering ist. Die Gesamtmenge an verschiebbarer Energie ist aufgrund der größeren Batteriekapazität und der teils sehr hohen Fahrzeuganzahl in einem Fuhrpark um ein Vielfaches höher als bei einem einzelnen Pkw. Die Elektrifizierung des Lkw-Sektors kann dadurch einen erheblichen Beitrag für eine gelungene Energie- und Verkehrswende leisten.

ZUSAMMENFASSUNG

In Analysen zeigt das RLI, wie sich die Elektrifizierung von Pkw und Lkw auf

das nationale Energiesystem auswirkt. Betrachtet wurden dabei batterieelektrische und Brennstoffzellenfahrzeuge. Brennstoffzellenfahrzeuge senken den Speicherbedarf erheblich, benötigen jedoch aufgrund ihrer geringeren Effizienz und der notwendigen Wasserstoffherstellung mehr Energie als batterieelektrische Fahrzeuge. Bei Letzteren kann flexibles Laden den Speicherbedarf nur bedingt mindern. Der Einsatz der V2G-Technologie bietet hingegen ein noch höheres Minderungspotenzial als FCEV.

Die Analysen zeigen, wie wichtig eine hohe Flexibilität ist. Neben einer Senkung des Speicherbedarfs besteht durch mehr Flexibilität auch die Möglichkeit, verstärkt günstige und gesellschaftlich akzeptierte Erzeugungsanlagen wie die Photovoltaik einzusetzen. Durch weniger Windenergieausbau, insbesondere von Offshore-Anlagen, muss weniger Strom aufwendig vom Norden in den Süden Deutschlands transportiert werden. Dies entlastet die Stromnetze zusätzlich. Besonders Lkw können hier aufgrund ihrer Einsatzzeiten einen hohen Beitrag leisten.

Es ist nicht davon auszugehen, dass sich die V2G-Technologie in allen Bereichen durchsetzt. Die Szenarien mit Umstellung auf BEV und FCEV zeigen,

dass die Nutzung beider Technologien sowohl den Speicherbedarf senken als auch eine erhöhte Flexibilität bieten und Überschussstrom besser genutzt wird. Beide Technologien können somit einen Beitrag für das Gelingen der Energie- und Verkehrswende leisten.

LITERATURHINWEISE

[1] Indikator: Emission von Treibhausgasen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-emission-von-treibhausgasen>, aufgerufen am 20.03.2019

[2] Klimaschutz in Zahlen: Der Sektor Verkehr. Online: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_verke_hr_bf.pdf, aufgerufen am 20.03.2019

[3] Intelligentes Stromnetz: Verbraucher sind noch zurückhaltend. Online: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Intelligentes-Stromnetz-Verbraucher-sind-noch-zurueckhaltend>, aufgerufen am 18.03.2019



DIESER BEITRAG IST IM E-MAGAZIN
VERFÜGBAR UNTER:
www.emag.springerprofessional.de/atz

