

Klimavorteil Elektromobilität?

Handlungsempfehlungen zur Gestaltung des Beitrags
der Elektromobilität zum Klimaschutz

Policy Paper

Berlin / Freiburg
24.08.2017

Wissenschaftliches Analyse- und Dialogvorhaben zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität (Vergabenummer 16EM2111) im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Autorinnen und Autoren

Peter Kasten
Joß Bracker
Christof Timpe
Florian Hacker

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Bewertung des Klimavorteils der Elektromobilität	5
3.	Bewertung der Wechselwirkungen zwischen Elektromobilität und Stromsystem	8
4.	Empfehlungen zur Sicherstellung bzw. Erhöhung des Klimavorteils der Elektromobilität	12

Zentrale Ergebnisse

- Bereits unter den heutigen Rahmenbedingungen weist die Elektromobilität einen Klimavorteil gegenüber konventionellen Vergleichsfahrzeugen auf.
- Die im EEG festgeschriebenen und im Klimaschutzplan 2050 bestätigten Ziele für den Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien (EE) am Bruttostromverbrauch erhöhen in Deutschland mittelfristig den Klimavorteil von Elektrofahrzeugen. Eine gegebenenfalls gewünschte Klimaneutralität kann nur bei einer veränderten Zieldefinition des EE-Ausbauziels erzielt werden.
- Die Bundesregierung muss den EE-Ausbau im Rahmen des EEG insgesamt forcieren und die Ausschreibungsmengen im EEG frühzeitig an den Strombedarf der Elektromobilität anpassen, um somit die Zielerreichung eines ambitionierten relativen EE-Ausbauziels zu ermöglichen.
- Akteure mit Bezug zu Elektromobilität sollten außerhalb des EEG-Finanzierungsrahmens aktiv zum Ausbau der EE-Kapazitäten beitragen und somit die politische Durchsetzbarkeit des relativen EE-Ausbauziels erhöhen.
- Die Belastung von Fahrstrom mit der EEG-Umlage trägt zur gerechten Verteilung der Kosten des hierzu benötigten Ausbaus an EE-Kapazitäten bei und sollte beibehalten werden.
- Fossile Kraftstoffe sollten nach dem Verursacherprinzip als Hauptquelle von THG-Emissionen stärker finanziell belastet werden, um so verschiedene Elemente der Elektromobilität fördern zu können.
- Bei höheren Anteilen an Elektrofahrzeugen gewinnt die Systemdienlichkeit, d.h. vor allem die Lastverschiebung beim Laden, an Bedeutung. In Förderprogrammen und beim Infrastrukturaufbau sollte die Systemintegration daher bereits heute Berücksichtigung finden.

1. Einleitung

Der Ausbau der batterieelektrischen Mobilität (Elektromobilität) stellt eine wesentliche Säule der Strategie der Bundesregierung zur Minderung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Verkehrssektor dar. Als Ziel hat sich die Bundesregierung 1 Mio. bzw. 6 Mio. registrierte Elektrofahrzeuge in den Jahren 2020 und 2030 gesetzt, um dadurch die Marktführerschaft im Bereich der Elektromobilität zu übernehmen. Durch den Ersatz von mit fossilen Kraftstoffen betriebenen verbrennungsmotorischen Fahrzeugen durch Elektrofahrzeuge, die perspektivisch zu immer größeren Anteilen mit Strom aus erneuerbaren Energien (EE) betrieben werden, können die klimarelevanten Emissionen der Mobilität aller Voraussicht nach signifikant gesenkt werden.

Die Elektromobilität wird häufig unmittelbar mit Emissionsfreiheit und Klimaneutralität assoziiert. So betont beispielsweise die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), dass es zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität notwendig ist, zusätzlichen EE-Strom, welcher nicht anderen Bereichen entzogen wurde, für den Fahrstrombedarf bereitzustellen (Nationale Plattform Elektromobilität 2014, S. 32–33). Das angestrebte Niveau des Klimavorteils wird dabei nicht genannt. In einem früheren Bericht der NPE (Nationale Plattform Elektromobilität 2011, S. 34) wird sogar von einer vollständig zusätzlichen regenerativen Strombereitstellung bis zum Jahr 2020 gesprochen. Inwieweit die Elektromobilität diesen genannten Ansprüchen gerecht werden kann und mit welchem Klimavorteil die Elektromobilität verbunden ist, hängt wesentlich von den Wechselwirkungen mit dem Stromsystem und den energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab.

Im Rahmen des „Wissenschaftlichen Analyse- und Dialogvorhabens zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität“ analysierte das Öko-Institut daher die Wechselwirkungen zwischen Strom- und Verkehrssektor bei einer Markteinführung elektrischer Fahrzeuge, um die Wirkung auf THG-Emissionen und ökonomische Verteilungseffekte zu bewerten. Daraus wurden Handlungsbedarfe und –empfehlungen zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität abgeleitet und mit Stakeholdern aus der Energie- und Automobilwirtschaft und zivilgesellschaftlichen Akteuren diskutiert (Timpe et al. 2017).¹

2. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen für die Bewertung des Klimavorteils der Elektromobilität

Die Interaktion der Elektromobilität mit dem Stromsystem und damit auch der mit der Elektromobilität verbundene Klimavorteil sind von einer Vielzahl von energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig.

Politische EE-Ausbauziele

Sowohl auf nationaler Ebene in Deutschland wie auch auf EU-Ebene wurden politische Ziele für den Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien festgelegt. Die Art der Zieldefinition spielt dabei eine entscheidende Rolle für die Klimawirkung der Elektromobilität. In Deutschland ist das Ziel im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) als steigender Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch festgelegt. Der Zielkorridor beträgt 40 - 45 % für das Jahr 2025 und 55 - 60 % für das Jahr 2035. Die Bundesregierung bestätigte diese Zielkorridore zudem im

¹ Der Endbericht des Vorhabens ist unter folgender URL zu finden:
<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Klimavorteil-E-Mob-Endbericht.pdf>

kürzlich beschlossenen Klimaschutzplan 2050. Aus diesen, relativ zum Strombedarf festgelegten Zielen ergeben sich zwei Bezugspunkte zur Elektromobilität.

Zum einen führt der zusätzliche Strombedarf der Elektromobilität dazu, dass sich die Bezugsgröße des prozentualen Ausbauziels vergrößert. Dementsprechend muss zur Erreichung desselben EE-Anteils eine größere absolute Menge an Strom aus EE erzeugt werden. Dies kann so interpretiert werden, dass ein dem EE-Ziel entsprechender Anteil des zusätzlichen Strombedarfs aus EE bereitgestellt werden muss.

Der zweite Berührungspunkt ergibt sich aus der Zieldefinition, wonach die gesamte EE-Stromerzeugung in Deutschland als Beitrag zur Erfüllung des Ausbauziels angerechnet wird. Dies gilt unabhängig davon, welcher Akteur neue EE-Anlagen in Betrieb nimmt und ob diese Erzeugungsanlagen durch das EEG gefördert werden oder nicht.

Finanzierungsmechanismus des EEG

Der Finanzierungsmechanismus des EEG über die EEG-Umlage unterscheidet zwischen privilegierten und nicht privilegierten Letztverbrauchern von Strom. Die privilegierten Letztverbraucher zahlen eine deutlich reduzierte EEG-Umlage. Dies wird mit internationalen Wettbewerbsnachteilen bestimmter Industriebranchen begründet. Dementsprechend müssen die nicht privilegierten Letztverbraucher (z.B. Haushaltsstromkunden) eine überdurchschnittlich hohe Umlage bezahlen. Aufgrund der unterschiedlichen Anteile an der Finanzierung der Kosten des EEG kann den nicht privilegierten Letztverbrauchern ein höherer Anteil an der EEG-Strommenge zugerechnet werden als es dem Durchschnitt im deutschen Strommarkt entspricht.²

Sofern für Fahrstrom auch weiterhin die volle EEG-Umlage abgeführt wird, trägt die Elektromobilität die Kosten für den wegen des erhöhten Strombedarfs und der politischen Ausbauziele erforderlichen, zusätzlichen EE-Ausbau. Zudem kommt sie wie alle anderen nicht privilegierten Letztverbraucher für die Kosten der Privilegierung im Rahmen des EEG auf. Im Jahr 2015 lag die den nicht privilegierten Letztverbrauchern im Rahmen der Stromkennzeichnung zuzurechnende EE-Strommenge bereits bei 46 % ihres Strombedarfs, während der Anteil des EE-Stroms am Bruttostromverbrauch im bundesweiten Durchschnitt bei knapp 32 % lag (BMWi 2016). Bei dem aktuell absehbaren weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und bei Fortschreibung der aktuellen Regelungen zur Privilegierung im Rahmen des EEG könnte sich im Jahr 2030 ein Anteil des EEG-Stroms in der Stromkennzeichnung der nicht privilegierten Verbraucher in Höhe von ca. 75 % ergeben.

EU-Emissionshandel

Der EU-Emissionshandel (EU-ETS) definiert eine im Zeitverlauf degressive Obergrenze für die CO₂-Emissionen der Wirtschaftssektoren und Anlagen, die von diesem System erfasst sind. Hierzu gehört die Stromerzeugung (mit Ausnahme von Kleinanlagen), nicht jedoch der Kraftstoffverbrauch des Straßenverkehrs. Unter idealen Rahmenbedingungen würde der EU-ETS deshalb dazu führen, dass ein Umstieg von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor hin zu elektrischen Fahrzeugen zu deutlichen Emissionsminderungen führt. Auch wenn im Stromsektor zusätzliche Treibhausgase aufgrund der Stromnachfrage der Elektromobilität entstehen würden, würde der ökonomische Mechanismus des Emissionshandels dazu führen, dass diese Emissionen an anderer Stelle ausgeglichen werden müssen. Im Ergebnis wären die Emissionen im Bereich des EU-ETS nach der Einführung der Elektromobilität genauso hoch wie vorher, die direkten Emissionen im Bereich des

² Eine solche Zurechnung wird z.B. im Rahmen der Stromkennzeichnung vorgenommen, vgl. § 78 EEG 2017.

motorisierten Individualverkehrs, die nicht dem EU-ETS unterliegen, wären aufgrund des vermiedenen Einsatzes fossiler Kraftstoffe dagegen niedriger.

Die Praxis des EU-ETS verdeutlicht jedoch, dass die beschriebene Wirkung des idealen Mechanismus aufgrund der komplexen Funktionsweise dieses Systems und der Abhängigkeit von politischen Feinsteuern in Frage gestellt werden muss (Öko-Institut e.V. & Prognos 2017). Hierbei ist insbesondere der aktuell bestehende erhebliche Überschuss an verfügbaren Emissionsrechten zu nennen. Der Überschuss für die aktuelle Handelsperiode wird bis 2020 auf mindestens 2 Mrd t CO₂ geschätzt und hat zur Folge, dass das Preisniveau für Emissionsrechte derzeit bei deutlich unter 10 EUR/t CO₂ liegt und auch mittelfristig nur moderat ansteigen wird. Eingeführte Mechanismen, mit denen die im Markt überschüssigen Emissionszertifikate kurzfristig reduziert werden sollen (z. B. die Marktstabilitätsreserve), verlagern letztlich einen Großteil der Problematik der Zertifikatsüberschüsse in die folgende Handelsperiode ab dem Jahr 2020. Die Funktionsweise des EU-ETS wird dadurch nicht wieder hergestellt.

Markt für Ökostrom und Fahrstrom für Elektromobilität

Über die Zuordnung der EEG-geförderten Strommengen in der Stromkennzeichnung hinaus können alle Stromverbraucher durch die Wahl eines Ökostrom-Produkts einen noch höheren Anteil von EE-Strom wählen. Allerdings führt der Bezug von Strom im Rahmen eines Ökostrom-Produkts nicht automatisch zu einer Erhöhung der EE-Stromerzeugung: In Europa besteht ein Angebot an EE-Strom, das deutlich oberhalb der von Ökostromkunden nachgefragten EE-Strommenge liegt. Aus diesem Grund führt eine Ausweitung der Nachfrage nach Ökostrom ohne weitere Qualitätsanforderungen im Regelfall nur zu einer Umverteilung bestehender EE-Erzeugungsmengen zwischen verschiedenen Kundengruppen und es findet kein Ausbau der EE-Erzeugung statt (siehe Seebach & Timpe 2016). Im Ökostrommarkt existieren aus diesem Grund verschiedene Qualitäts- und Zertifizierungsstandards, die mit unterschiedlich hohem Ambitionsniveau sicherstellen, dass durch den Bezug von entsprechend zertifiziertem Ökostrom ein Beitrag zum EE-Ausbau geleistet wird. Die Qualitätsanforderungen dieser Standards umfassen unter anderem Förderbeiträge zur Investition in neue EE-Anlagen, ein Höchstalter der Bezugsanlagen und den Ausschluss von öffentlich geförderter Erzeugung (z.B. über das EEG).

Neben der Wahl von Ökostromprodukten können Nutzer von Elektrofahrzeugen alternativ auch durch eine EE-Eigenstromversorgung (z.B. Photovoltaikanlage auf einem Carport) eine anteilige oder vollständige EE-basierte Ladung der Fahrzeuge erreichen. Darüber hinaus können auch andere Akteure (z.B. Automobilhersteller) direkt und ohne Inanspruchnahme der EEG-Vergütung in den Ausbau der EE-Erzeugung investieren und die entsprechenden Strommengen bilanziell den Elektrofahrzeugen zuordnen, unabhängig von den Lieferbeziehungen bei der Ladung der Fahrzeuge.

Fazit: Systemperspektive entscheidend für ökologische Bewertung der Elektromobilität

Die dargestellten Rahmenbedingungen verdeutlichen die komplexen Interaktionen der Elektromobilität mit dem Stromsektor und deren Wirkung auf die Erreichung von Klimaschutzziele. Für eine Bewertung ist daher eine Unterscheidung in zwei verschiedene Perspektiven sinnvoll.

Die *individuelle Perspektive* der Fahrzeugnutzer bewertet die Effekte der Elektromobilität vom Standpunkt des einzelnen Nutzers aus. Hierbei spielt die individuelle Zuordnung von EE-Strom (z.B. durch das EEG geförderter EE-Strom oder im Rahmen von Ökostromprodukten) auf einzelne Verbrauchergruppen eine Rolle. Ausgeblendet wird hierbei jedoch, ob diese Zuordnung nur auf einer Umverteilung bereits bestehender EE-Erzeugungsmengen zwischen verschiedenen Kun-

dengruppen basiert. Die *Systemperspektive* betrachtet die Effekte der Elektromobilität von einem übergeordneten Standpunkt aus. Relevant sind hierbei der Effekt auf die Stromerzeugung insgesamt und die dabei entstehenden Emissionen. Für die politische Bewertung des Klimavorteils der Elektromobilität sollte ausschließlich die Systemperspektive herangezogen werden, da nur diese Auskunft über die letztlich bewirkten Veränderungen und Emissionsminderungen gibt.

3. Bewertung der Wechselwirkungen zwischen Elektromobilität und Stromsystem

Der Ausbau der Elektromobilität führt zu einer stärkeren Wechselwirkung zwischen dem Verkehrs- und dem Stromsektor. Elektrofahrzeuge stellen dabei einen neuen Verbraucher im Stromsystem dar. In Abhängigkeit von den energiewirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen wird der Strombedarf der Elektromobilität in Deutschland zu einer Erhöhung der Stromerzeugung aus fossilen, nuklearen oder erneuerbaren Energien im Inland oder im europäischen Ausland führen. Darüber hinaus können die Ladevorgänge den Netzbetrieb, insbesondere auf Verteilnetzebene, auf verschiedene Weise beeinflussen.

Vertreter der Automobilindustrie, der Energiewirtschaft und auch alle anderen am Stakeholder-Dialog im Rahmen des Vorhabens beteiligten Akteure teilen das Ziel der Sicherstellung des Klimavorteils von Elektrofahrzeugen und bewerten die Erreichung dieses Ziels als zentral für die Glaubwürdigkeit der Elektromobilität. Als Gründe hierfür wird angeführt, dass zum einen die CO₂-Reduktion eines der Hauptmotive für die angestrebte wachsende Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ist. Zum anderen ist der individuelle Beitrag zum Klimaschutz auch eine zentrale Motivation der Nutzer von Elektrofahrzeugen.

Der zusätzliche Strombedarf der Elektromobilität führt zu steigenden CO₂-Emissionen im Stromsektor. In einer sektorübergreifenden Bilanz reduzieren sich die CO₂-Emissionen jedoch deutlich.

Für die Bewertung des Klimavorteils der Elektromobilität sind ihre Wirkung auf die Stromerzeugung und die damit verbundenen CO₂-Emissionen von entscheidender Bedeutung. Durch eine modellbasierte Analyse (siehe Box) wurden die Effekte der Elektromobilität auf das Stromsystem beispielhaft für ein Szenario für das Jahr 2030 mit einem Bestand von 4,8 Mio. Elektrofahrzeugen in Deutschland bewertet. Obwohl das relativ zum Stromverbrauch festgelegte Ausbauziel für EE-Strom einen erhöhten Zubau an EE-Kapazitäten bewirkt, wird hierbei ein Teil der Stromnachfrage der Elektromobilität durch eine höhere Auslastung der fossilen Kraftwerke gedeckt und es entstehen zusätzliche Emissionen in Höhe von 3,3 Mio. t CO₂ pro Jahr. Im Falle einer optimal systemdienlichen Steuerung der Ladevorgänge können die Zusatzemissionen durch eine stärkere Integration überschüssiger EE-Stromerzeugung auf 2,7 Mio. t CO₂ pro Jahr reduziert werden. Diese Emissionen müssen der Elektromobilität zugerechnet werden.

Für eine Bewertung der gesamten CO₂-Bilanz der Elektromobilität müssen die zusätzlichen Emissionen im Stromsektor mit den vermiedenen Emissionen im Verkehrssektor verrechnet werden. Durch den Ausbau der Elektromobilität im Rahmen des dargestellten Szenarios können im Jahr 2030 im Verkehrssektor CO₂-Emissionen in Höhe von rund 6 Mio. t vermieden werden. Es ergibt sich damit in einer sektorübergreifenden Betrachtung für das Jahr 2030 eine Emissionsreduktion in Höhe von ca. 3 bis 4 Mio. t CO₂, je nachdem in welchem Umfang die erneuerbare Stromerzeugung für die Fahrzeugladung genutzt werden kann.

In der Gesamtbetrachtung kann also davon ausgegangen werden, dass die Elektromobilität unter den getroffenen Annahmen einen deutlichen Klimavorteil aufweist. Der entscheidende Faktor hierfür ist das relativ zum Stromverbrauch definierte Ausbauziel für EE-Strom, das aufgrund der zu-

sätzlichen Stromnachfrage der Elektromobilität zu einem verstärkten EE-Zubau führt. Ein systemdienliches Laden der Elektrofahrzeuge kann einen zusätzlichen Beitrag zur CO₂-Reduktion leisten, dieser Effekt ist jedoch insgesamt begrenzt. Trotz des aufgezeigten deutlichen Klimavorteils ist die Elektromobilität noch deutlich von einer Neutralität in Bezug auf die THG-Emissionen entfernt, da weiterhin in relevantem Umfang Emissionen im Stromsektor entstehen. Falls die Elektromobilität klimaneutral ausgestaltet werden soll, so müssten umfangreiche Maßnahmen für einen noch weitergehenden Ausbau der EE-Stromerzeugung ergriffen werden.

Die Auswahl der Stromprodukte zur Fahrstromversorgung durch die Fahrzeugnutzer trägt heute nur zu geringen Teilen zum Zuwachs der EE-Stromerzeugung bei.

Mit der steigenden Anzahl von Elektrofahrzeugen in Deutschland hat sich auch ein spezieller Endkundenmarkt für Fahrstromangebote zum Laden von Elektrofahrzeugen am Wohnort und an öffentlicher Ladeinfrastruktur entwickelt. In der individuellen Perspektive können Nutzer der Elektromobilität durch entsprechende Öko-Fahrstromangebote zwar eine vollständige bilanzielle Versorgung auf Basis von EE-Strom kostengünstig erreichen. In der für die politische Bewertung der Elektromobilität entscheidenden Systemperspektive wirkt sich dagegen aus, dass wenig anspruchsvolle Ökostrom-Angebote zu keinem Zuwachs an EE-Erzeugung führen. Um in dieser Perspektive einen Beitrag zur Steigerung des Klimavorteils der Elektromobilität zu leisten, ist entscheidend, ob mit dem Fahrstrombezug eine zusätzliche EE-Erzeugung bewirkt wird, wie es bei hochwertigen und nach Qualitätsstandards zertifizierten Ökostromprodukten zumindest anteilig sichergestellt ist.

Eine umfangreiche Marktanalyse der derzeitigen Fahrstromversorgungsangebote für Elektrofahrzeuge hat gezeigt, dass nur in wenigen Fällen ein relevanter zusätzlicher Ausbau von EE-Kapazitäten angereizt wird. Die Möglichkeit einer direkten Investition in EE-Erzeugungsanlagen durch Akteure der Elektromobilität wurde in der Vergangenheit einmalig genutzt und dieses Beispiel findet derzeit keine Fortsetzung. Auch spielen derzeit intelligente Ladestrategien in der Praxis kaum eine Rolle, daher erfolgt bisher keine systemdienliche Einbindung der Fahrzeuge. Gegenwärtig tragen die Akteure der Elektromobilität demnach nur zu geringen Teilen zu einem über die Wirkung des EEG hinausgehenden Zuwachs an EE-Stromerzeugung bei.

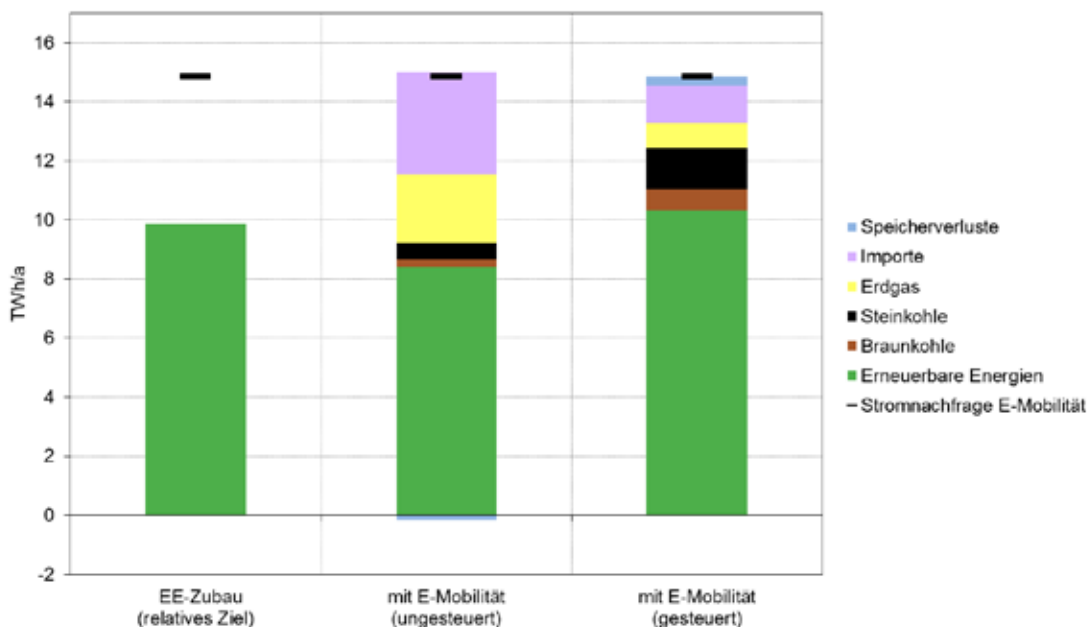
Insbesondere Ökostromversorger und Verbraucherorganisationen weisen der individuellen Handlungsmöglichkeit und somit der Auswahl der Stromprodukte einen hohen Stellenwert für die ökologische Bewertung von Elektrofahrzeugen zu. Demgegenüber messen Fahrzeughersteller und traditionelle Energieversorger diesem Aspekt vor allem eine Bedeutung auf kommunikativer Ebene bei und halten für die ökologische Bewertung der Elektromobilität Instrumente für entscheidend, welche positive Effekte auf Systemebene bewirken (z.B. EEG, EU-ETS). Die Stakeholder gaben aber auch zu bedenken, dass es aufgrund der derzeit gesetzten Rahmenbedingungen für solche Produkte keine konkrete Möglichkeit für Akteure der Elektromobilität gibt, in der Systemperspektive ein emissionsfreies, klimaneutrales Fahren zu erreichen. Dies ergibt sich aus der Definition des politisch gesetzten EE-Ausbauziels, wonach der gesamte in Deutschland produzierte EE-Strom unabhängig von der Finanzierung der EE-Anlagen dem relativen Ausbauziel zugerechnet wird. Aus diesem Grund können auch ambitionierte Öko-Fahrstromprodukte nicht erreichen, dass der politisch gesetzte Zielkorridor übertroffen wird.

Energiewirtschaftliche Modellierung der Wechselwirkung zwischen Elektromobilität und dem Stromsektor

Die energiewirtschaftliche Analyse des beispielhaften Szenarios für das Jahr 2030 wurde als Grenz betrachtung der Effekte der Elektromobilität auf den Stromsektor mit Hilfe des Strommarktmodells „PowerFlex“ durchgeführt. Dabei wurde angenommen, dass im Jahr 2030 insgesamt 4,8 Mio. batterieelektrische Fahrzeuge genutzt werden. Die Mehrzahl dieser Fahrzeuge besitzt neben dem elektrischen Antrieb einen Verbrennungsmotor als Hybridoption (Plug-In-Hybride). Für die Verkehrsleistung und die regionale Verteilung der Fahrzeuge wurden Annahmen aus der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 abgeleitet.

Die Analyse berücksichtigt die Wechselwirkung des aufgrund der Elektromobilität ansteigenden Strombedarfs mit dem nationalen Ausbauziel für EE-Strom. Hierbei wurde angenommen, dass dieses Ziel verschärft wird und als Anteil von 65 % des Bruttostromverbrauchs im Jahr 2030 festgelegt ist (derzeit liegt das Ziel bei 55 bis 60 % für das Jahr 2035). Dementsprechend führt der um 15 TWh erhöhte Strombedarf zu einem zusätzlichen EE-Dargebot in Höhe von 10 TWh (linke Säule in **Abbildung 1**).

Abbildung 1: Veränderung der Stromerzeugung durch die Einführung der Elektromobilität (2030)



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Das Modellergebnis zeigt, dass das zusätzliche EE-Dargebot im Fall des ungesteuerten Ladens der Elektrofahrzeuge nicht vollständig genutzt werden kann. Hier wurde unterstellt, dass die Fahrzeuge sofort nach Ende der jeweiligen Fahrt geladen werden. In diesem Fall müssen etwa 40 % des Fahrstrombedarfs aus fossilen Energieträgern bzw. Stromimporten gedeckt werden (mittlere Säule der Abbildung). Im Falle eines optimal systemdienlichen Ladens der Fahrzeuge können die EE-Strommengen besser genutzt werden und der Anteil fossil erzeugten bzw. importierten Stroms sinkt auf etwa 30 % (rechte Säule). Dies zeigt, dass der wesentliche Treiber für eine überwiegend erneuerbare Stromversorgung der Elektromobilität das in Deutschland relativ zum Strombedarf definierte EE-Ziel ist und das systemdienliche Laden einen im Vergleich hierzu deutlich geringeren Beitrag leistet.

In Abhängigkeit vom Ladeverhalten entstehen im Stromsektor unter den getroffenen Annahmen durch eine höhere Auslastung konventioneller Kraftwerke zusätzliche CO₂-Emissionen in Höhe von 3,3 Mio. t im Fall des ungesteuerten Ladens bzw. 2,7 Mio. t im Fall des systemdienlichen Ladens. Diese Emissionen müssen in der Systemperspektive der Elektromobilität zugerechnet werden.

Der EU-Emissionshandel stellt den Klimavorteil der Elektromobilität auf absehbare Zeit nicht sicher.

Ein Anstieg der CO₂-Emissionen in den vom EU-ETS erfassten Wirtschaftssektoren aufgrund des Strombedarfs der Elektromobilität würde unter idealen Rahmenbedingungen durch die im EU-ETS definierte Obergrenze für CO₂-Emissionen wirksam verhindert. Vor dem Hintergrund dieses Regulierungsrahmens betrachten vor allem einige Fahrzeughersteller und traditionelle Energieversorger den Klimavorteil der Elektromobilität als ausreichend sichergestellt an und sehen dementsprechend auch keinen weiteren Handlungsbedarf. Aus Sicht der meisten Ökostromanbieter und der an dem Diskurs in diesem Projekt beteiligten Verbraucher- und Umweltverbände ist der EU-ETS hingegen nicht geeignet, den Klimavorteil der Elektromobilität sicherzustellen, da sie wegen der Überschüsse an Emissionsrechten und der indirekten Wirkmechanismen des Instruments die ausreichende Lenkungswirkung für den Klimaschutz in Frage stellen.

Der Umgang mit den Überschüssen im EU-ETS ist zurzeit noch unklar und die Überschüsse werden voraussichtlich mindestens bis zum Jahr 2030 im Handelssystem verbleiben. Angesichts der zusätzlichen Stromnachfrage durch die Elektromobilität stehen dem Stromsektor somit große Mengen kostengünstiger Emissionsrechte zur Verfügung, so dass der EU-Emissionshandel aus Sicht der Autoren einen Klimavorteil der Elektromobilität auf absehbare Zeit nicht sicherstellen kann. Für die Emissionsbewertung der Elektromobilität in Deutschland bleibt daher die Wirkung des nationalen Ausbauziels für EE-Strom entscheidend.

Elektrofahrzeuge können mittelfristig eine zusätzliche Belastung für Verteilnetze darstellen, dies reduziert das Potential der Fahrzeuge zur Integration überschüssiger EE-Erzeugung.

Der zusätzliche Strombedarf der Elektromobilität wirkt sich nicht nur auf die CO₂-Emissionen im Stromsektor aus, die Integration von Elektrofahrzeuge stellt auch eine technische Herausforderung für das Stromnetz dar. Die zusätzliche Last durch die Ladevorgänge der Elektrofahrzeuge kann den Betrieb von Verteilnetzen erschweren. Die typischen Nutzungsmuster von Fahrzeugen können bei nicht systemdienlich gesteuerten Ladevorgängen dazu führen, dass ohnehin bereits bestehende Lastspitzen der Stromnachfrage am frühen Abend noch weiter verstärkt werden. Elektrofahrzeuge bieten jedoch durch die zeitliche Flexibilität bei den Ladevorgängen auch Potential für eine Netzentlastung und zur besseren Integration von lokaler EE-Erzeugung in das Stromsystem.

Eine Meta-Analyse von Forschungsergebnissen zur Wirkung von Elektromobilität auf Verteilnetze zeigt, dass abhängig von der jeweiligen Situation der Verteilnetze ab einer lokal unterschiedlichen Schwelle an Elektrofahrzeugen der Bedarf für eine zeitversetzt gesteuerte Ladung entsteht, um eine große Zahl von Fahrzeugen ohne Verstärkung des Netzes überhaupt anschließen zu können.³ Für die erfolgreiche Integration einer hohen Anzahl von Elektrofahrzeugen in das Stromsystem ist somit zentral, dass das Ladeverhalten der Nutzer systemdienlich ausgerichtet wird. Somit besteht der Bedarf, flexibles Laden der Fahrzeuge technisch zu ermöglichen und die Nutzung entsprechender Geschäftsmodelle durch die Netzbetreiber auch regulatorisch zu unterstützen.

Das über die netzdienliche Ausrichtung hinausgehendes Potenzial zur flexiblen Ladung der Fahrzeuge kann für die gezielte Integration von Überschüssen an EE-Strom genutzt werden. Das Potenzial des intelligenten Lademanagements zur besseren Integration von erneuerbarer Energien ist jedoch durch die benötigte Flexibilität für die Verteilnetze begrenzt. Der geplante Ausbau der Verteil- und Übertragungsnetze wird dem Auftreten von überschüssigen EE-Mengen zudem künftig

³ Für eine ausführliche Darstellung Wechselwirkung zwischen Elektromobilität und Verteilnetzen siehe (Schierhorn & Martensen 2015).

entgegenwirken. Darüber hinaus existieren weitere Ansätze für die Nutzung von EE-Überschüssen (z.B. stationäre Energiespeicher, Power-to-Heat, Power-to-Gas), welche in Abhängigkeit der zukünftigen Ausgestaltung des Energiesystems ebenfalls sinnvolle Nutzungskonzepte darstellen können und in Konkurrenz zur Elektromobilität stehen.

Fazit: Unter heutigen Rahmenbedingungen weist die Elektromobilität einen deutlichen Klimavorteil auf, ist aber noch weit von einer Klimaneutralität entfernt. Zur weiteren Erhöhung des Klimavorteils müssten Korrekturen an den politischen Zielen für den EE-Ausbau vorgenommen werden.

In der Gesamtbetrachtung kann davon ausgegangen werden, dass die Einführung der Elektromobilität zu einer deutlichen Reduktion der THG-Emissionen führt. Voraussetzung hierfür ist, dass die nationalen EE-Ausbauziele ambitioniert formuliert und auch bei einer steigenden Stromnachfrage verbindlich eingehalten werden. Zur Einhaltung der prozentualen EE-Ziele müssen die Ausschreibungsmengen im Rahmen des EEG bei Bedarf nach oben angepasst werden. Zudem müssen bei einem verstärkten EE-Ausbau auch die damit verbundenen Herausforderungen, wie die Akzeptanz des Anlagenausbaus und ein ggf. verstärkter Netzausbau, bewältigt werden.

Um den Klimavorteil der Elektromobilität weiter zu erhöhen und ggf. sogar eine Klimaneutralität zu erreichen, müssten die politischen Ziele für den EE-Ausbau verändert werden. Denkbar wäre, die Ziele so nach oben zu korrigieren, dass der zusätzliche Strombedarf der Elektromobilität rechnerisch nicht nur teilweise, sondern vollständig durch zusätzliche EE-Stromerzeugung abgedeckt wird. Alternativ könnte das Engagement der Akteure der Elektromobilität in den Mittelpunkt gestellt werden und die EE-Stromerzeugung, die außerhalb des EEG auf Basis von Öko-Fahrstromangeboten investiert und betrieben werden, aus der Anrechnung auf die nationalen Ausbauziele herausgenommen werden.

Auf diese Weise wäre auch das von der Nationalen Plattform Elektromobilität formulierte ökologische Ziel, den durch die Elektromobilität benötigten Strom durch zusätzliche EE-Erzeugung bereitzustellen, welche nicht anderen Bereichen entzogen wird (Nationale Plattform Elektromobilität 2011, S. 34, 2014, S. 32–33), in der Systemperspektive erreicht. Die von der NPE im Jahr 2011 angesprochene vollständig zusätzliche regenerative Strombereitstellung, die einem klimaneutralen Betrieb der Elektrofahrzeuge entsprechen würde, ist mit den heutigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen jedoch nicht sichergestellt.

4. Empfehlungen zur Sicherstellung bzw. Erhöhung des Klimavorteils der Elektromobilität

Die Bundesregierung muss für die Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität die Ausschreibungsmengen im Rahmen des EEG an die Stromnachfrage der Elektromobilität anpassen.

Die derzeitigen Rahmenbedingungen stellen über den im EEG festgeschriebenen und im Klimaschutzplan 2050 bestätigten Anteil der EE am Bruttostromverbrauch in Deutschland (55-60 % in 2035; mindestens 80% in 2050) einen deutlichen Klimavorteil der Elektromobilität sicher. Wenn sich der EE-Anteil der Stromerzeugung durch die zusätzliche Stromnachfrage der Elektromobilität nicht verändert, d.h. dass entsprechende Mengen an EE-Erzeugungskapazitäten für die Elektromobilität zugebaut werden, kann ein deutlicher Klimavorteil erreicht werden. Der im EEG festgelegte Zielkorridor für die EE-Erzeugung wird allerdings nicht automatisch erreicht.

- Die Bundesregierung muss hierzu sicherstellen, dass die Ausschreibungsmengen für den Zubau von EE-Stromerzeugungskapazitäten entsprechend der Entwicklung der Stromnachfrage (einschließlich derjenigen von Elektrofahrzeugen) rechtzeitig angepasst werden. Für den Klimavorteil ist sicherzustellen, dass sich durch die Einführung der Elektromobilität die CO₂-Intensität der Stromerzeugung nicht erhöht bzw. der EE-Anteil an der Stromerzeugung nicht reduziert.
- Das Ziel für den EE-Anteil am Bruttostromverbrauch für das Jahr 2035 ist derzeit als Zielkorridor definiert (55 bis 60 %). Im Extremfall wäre es möglich, dass der Zielkorridor trotz Einführung der Elektromobilität eingehalten wird, ohne dass hierzu die EE-Stromerzeugung erhöht werden müsste. Um zu verhindern, dass sich der Klimavorteil deutlich verringert, sollte das als Bandbreite definierte Ziel auf einen Zielwert konkretisiert und dabei so ambitioniert festgelegt werden, dass es im Referenzfall ohne Entwicklung der Elektromobilität nicht bereits übertroffen wird. Um die übergeordneten Klimaschutzziele zu erreichen, wären gegenüber der bisherigen Festlegung erhöhte EE-Anteile aller Voraussicht nach notwendig.⁴ Dies würde indirekt auch den Klimavorteil von Elektrofahrzeugen erhöhen.

Akteure der Elektromobilität sollten aktiv zum Ausbau der EE-Kapazitäten außerhalb des EEG-Finanzierungsrahmens beitragen und somit die politische Durchsetzbarkeit ambitionierter EE-Ausbauziele erhöhen.

Die Akteure der Elektromobilität (Fahrzeugnutzer, Fahrzeughersteller, Ladeinfrastrukturbetreiber etc.) können außerhalb des EEG Maßnahmen durchführen, die unter den derzeitigen Rahmenbedingungen zwar nicht zu einem höheren Klimaschutzeffekt führen, die politische Durchsetzbarkeit ambitionierter EE-Ausbauziele allerdings erhöhen. Die im Folgenden genannten Handlungsoptionen führen zu Initiierungs- und Finanzierungsleistungen außerhalb des EEG und dessen Finanzierungsrahmen. Demnach würden die genannten Akteure unmittelbar zum Ausbau der EE-Kapazitäten beitragen und die übrigen Stromverbraucher über eine entsprechend geringere EEG-Umlage finanziell entlasten. Dies könnte dazu beitragen, dass die Festlegung von erhöhten Zielwerten für den EE-Ausbau politisch besser durchsetzbar wird.

- Die Nutzer von Elektrofahrzeugen sollten *hochwertige Ökostromprodukte* für den Fahrstrom verwenden, da sie über diese Produkte einen Beitrag für die Initiierung und den Betrieb neuer EE-Stromerzeugungsanlagen leisten. Derzeit gibt es allerdings am Markt kein Ökostromprodukt, das eine Bereitstellung zusätzlichen EE-Stroms entsprechend des gesamten Fahrstromverbrauchs sicherstellt.

Ein solches Produkt wäre mit spürbaren Mehrkosten verbunden und würde daher – auch aus Sicht der am Projekt beteiligten Stakeholder – nicht auf die notwendige Akzeptanz stoßen, obwohl ein Großteil der heutigen Nutzer der Elektrofahrzeuge erklärt, ein großes Interesse an einem möglichst nachhaltigen Strombezug zu haben. Mit einem Ansteigen des EE-Anteils im Stromsystem kann die über Ökostromprodukte zu füllende Lücke in Zukunft aber mit geringeren Mehrkosten geschlossen werden.

Bisher können die Elektromobilitätsnutzer größtenteils nur zu Hause den eigenen Stromtarif wählen. Für die Nutzung eines individuellen hochwertigen Ökostromtarifs auch an (semi-) öffentlichen Ladepunkten müsste Energieversorgern ein diskriminierungsfreier Zugang zur Ladeinfrastruktur gewährleistet werden.

⁴ Ein Vergleich des EE-Anteils am Bruttostromverbrauch in verschiedenen Klimaschutzzszenarien ist in Greiner & Hermann 2016 dargestellt.

- Die Nutzer von Elektrofahrzeugen können alternativ zum Strombezug mit hochwertigen Ökostromprodukten mit *Eigenstromkonzepten* auch selbst EE-Strom erzeugen (z.B. aus Photovoltaik) und als Fahrstrom nutzen. Allerdings wird diese Option dadurch eingeschränkt, dass viele Fahrzeuge zum Zeitpunkt der mittäglichen PV-Erzeugungsspitzen nicht zu Hause geparkt sind und daher nicht direkt geladen werden können. Aus diesem Grund sind kostenintensivere Heimpladelösungen mit stationären Batterien als zusätzlichem Zwischenspeicher zu erwarten. Einige der am Vorhaben beteiligten Stakeholder sehen in diesen Konzepten in Verbindung mit Elektromobilität dennoch ein relevantes Potential, um den Anteil der EE am Bruttostromverbrauch auch außerhalb des EEG-Förderregimes zu erhöhen.
- Der Ausbau von EE-Kapazitäten kann von Akteuren der Elektromobilität auch unabhängig vom Fahrstrombedarf bewirkt werden, z.B. durch *direkte Investitionen* in entsprechende Anlagen, die dann ohne Förderung durch das EEG betrieben werden sollten. Eine Vermarktung solcher EE-Ausbauaktivitäten im Rahmen besonders nachhaltiger Premium-Produkte im Bereich Elektromobilität wäre so möglich. In der Diskussion mit den Stakeholdern wurde im Rahmen des Vorhabens allerdings deutlich, dass eine bereits durchgeführte derartige Maßnahme eines Fahrzeugherstellers von der Öffentlichkeit nicht ausreichend wahrgenommen wurde und daher aktuell keine weiteren direkten Investitionen in EE-Erzeugungskapazitäten zu erwarten sind.

Die genannten Maßnahmen durch verschiedene Akteure der Elektromobilität können durch die Politik und Verwaltung auch aktiv gefördert werden. Daher sollte bei Infrastrukturausschreibungen, Förderkonzepten und Anreizsetzungen für die Elektromobilität auch immer überlegt werden, inwieweit solche Maßnahmen als Bedingung für die Gewährung einer Förderung oder als Vergabekriterium (z.B. Bewertungskriterium bei Vergabe des Ladeinfrastrukturausbaus, etc.) gefordert werden können, um eine erhöhte Nachhaltigkeitswirkung zu erzielen.

Der Klimavorteil für Elektrofahrzeuge kann dadurch erhöht werden, dass die zusätzliche EE-Stromerzeugung für Elektrofahrzeuge nicht auf das nationale Ausbauziel für EE-Strom angerechnet wird.

Dadurch, dass alle EE-Stromerzeugungsmengen unabhängig davon, ob sie im Rahmen des EEG oder außerhalb des EEG errichtet und betrieben werden, auf das nationale EE-Ausbauziel angerechnet werden, besitzen Akteure der Elektromobilität nicht die Möglichkeit den Klimavorteil von Elektrofahrzeugen in der Systemperspektive durch individuelle Handlungen zu erhöhen. Aktivitäten, die den Ausbau von EE-Kapazitäten außerhalb des EEG forcieren (z.B. Nutzung hochwertiger Ökostromprodukte oder eigene Investitionen in EE-Anlagen), führen in der bestehenden Regulierungslogik „nur“ zu Verringerungen der Ausschreibungsmengen im Rahmen des EEG und erhöhen den EE-Anteil im System nicht.⁵ Damit private Akteure den Klimavorteil der Elektromobilität weiter erhöhen können, müsste die Bundesregierung demnach die Berechnungslogik des EE-Ziels anpassen oder den Zielwert selbst ggf. nach oben verändern. Voraussetzung dafür wären eine statistische Erfassung bzw. eine Abschätzung der Stromnachfrage der Elektromobilität oder eine generelle Nicht-Anrechnung der Stromerzeugung, die außerhalb der EEG-Förderung initiiert und finanziert wird, auf das nationale EE-Ziel.

⁵ Diese Problematik bezieht sich nicht alleine auf Elektromobilität, sondern ist für den gesamten Ökostrommarkt relevant.

Die Belastung von Fahrstrom mit der EEG-Umlage trägt zur gerechten Verteilung der Kosten des benötigten EE-Kapazitätsausbaus bei und sollte beibehalten werden.

Die Kosten des EE-Ausbaus für alle über das EEG finanzierte Erzeugungskapazitäten werden über die EEG-Umlage auf die Stromverbraucher verteilt. Nicht privilegierte Verbraucher sind dabei bereits heute überproportional belastet. Eine Belastung des von Elektrofahrzeugen genutzten Stroms mit der EEG-Umlage ist auch aus Sicht der am Vorhaben beteiligten Stakeholder notwendig, um die Nutzer der Fahrzeuge am Ausbau der EE-Kapazitäten angemessen finanziell zu beteiligen und die nicht privilegierten Stromverbraucher nicht noch stärker zu belasten. Kurzzeitige Ausnahmen von der EEG-Umlage in der Markteinführungsphase der Elektrofahrzeuge sind ebenfalls nicht ratsam, da sie der Glaubwürdigkeit und der Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen als Klimaschutzmaßnahme widersprechen würden.

Fossile Kraftstoffe sollten nach dem Verursacherprinzip als Hauptquelle von THG-Emissionen stärker finanziell belastet werden, um so verschiedene Elemente der Elektromobilität fördern zu können.

Die Nutzer elektrischer Fahrzeuge müssen zumindest in der Einführungsphase der Technologie beim Fahrzeugkauf im Vergleich zu konventionellen verbrennungsmotorischen Fahrzeugen höhere Kosten aufbringen. Im Hinblick auf den Klimavorteil der Elektromobilität und die finanzielle Verteilungsgerechtigkeit ist eine Entlastung des Fahrstroms von der EEG-Umlage nicht sinnvoll. Eine finanzielle Beteiligung der Nutzer fossiler Kraftstoffe an den Kosten der Elektromobilität und der hiermit verbundenen Emissionsreduktion ist nach dem Verursacherprinzip jedoch durchaus plausibel und für die Transformation und Dekarbonisierung des Verkehrssektors zielführend (z.B. Wiebke Zimmer et al. 2016). Die beteiligten Stakeholder teilen mit Ausnahme der Automobilindustrie diese Sichtweise, sehen eine weitere Erhöhung des Klimavorteils der Elektromobilität durch die zusätzlich generierten Einnahmen aber nicht als zentral an. Vielmehr könnten mit diesen Einnahmen u.a. die Markteinführung der Elektromobilität und der Aufbau der Ladeinfrastruktur gefördert werden. Eine zweckgebundene Umlage wird dafür als besser geeignet erachtet als eine Erhöhung der Energiesteuer auf Kraftstoffe.

Bei höheren Anteilen an Elektrofahrzeugen gewinnt die Systemdienlichkeit, d.h. vor allem die Lastverschiebung beim Laden, an Bedeutung. In Förderprogrammen und beim Infrastrukturaufbau sollte die Systemintegration bereits heute Berücksichtigung finden.

Systemdienliche Ladestrategien können zu verschiedenen Zwecken eingesetzt werden, z.B. zur Vermeidung von Lastspitzen im lokalen Stromnetz oder zur gezielten Nutzung von überschüssigem EE-Strom für die Ladung der Batterien. Die dadurch gewonnene Flexibilität beim Laden wird auf absehbare Zeit wohl vorrangig dafür eingesetzt werden, Lastspitzen durch zeitgleiches Laden vieler Fahrzeuge zu vermeiden und das Verteilnetz zu entlasten. Zudem stehen zur Integration von EE-Strom weitere Flexibilitätsoptionen im Stromsystem zur Verfügung. Einige Stakeholder sehen zwar den Bedarf, möglichst frühzeitig Geschäftsmodelle mit Bezug zu intelligenten und flexiblen Ladestrategien zu entwickeln, der konkrete Bedarf dafür fällt aber erst bei relevanten Anteilen an Elektrofahrzeugen in einzelnen Verteilnetzen an.

Es besteht daher der Bedarf, die Technologien und Geschäftsmodelle für systemdienliches Laden hin zur Anwendungsreife zu entwickeln, bis sie für die Nutzung der Elektromobilität benötigt werden. Aus diesem Grund sollten die Politik und die Verwaltung bereits heute bei Infrastrukturausschreibungen, Förderkonzepten und Anreizsetzungen für die Elektromobilität auch immer hinterfragen, inwieweit Anforderungen (z.B. bei der Ladeinfrastruktur) für die Systemdienlichkeit gestellt werden müssen und inwieweit Konzepte zur Systemintegration gefördert werden können.

Literatur

- BMWI (2016): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (BMWI, Hrsg.).
- Greiner & Hermann (2016): Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 – Stromerzeugung. Arbeitspaket 1.2 im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Wissenschaftliche Unterstützung „Erstellung und Begleitung des Klimaschutzplans 2050“ (FKZ UM 15 41 1860). Berlin: Öko-Institut e.V.
- Nationale Plattform Elektromobilität (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung, Hrsg.). Berlin.
- Nationale Plattform Elektromobilität (2014): Fortschrittsbericht 2014 – Bilanz der Marktvorbereitung (Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung, Hrsg.). Berlin.
- Öko-Institut e.V. & Prognos (2017): Zukunft Stromsystem - Kohleausstieg 2035. Vom Ziel her denken (WWF Deutschland, Hrsg.). Berlin. Online verfügbar: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Stromsystem-Kohleausstieg-2035.pdf>; letzter Abruf am 19.01.2017.
- Schierhorn & Martensen (2015): Überblick zur Bedeutung der Elektromobilität zur Integration von EE-Strom auf Verteilnetzebene (Version 2.1, 21. Juli 2015). Darmstadt: energynautics GmbH.
- Seebach, D. & Timpe, C. (2016): Herausforderungen bei der Anrechnung von erneuerbarem Strombezug in Klimabilanzen. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 08 (2016), S. 44–48.
- Timpe et al. (2017): Handlungsbedarf und -optionen zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität. Endbericht zum „Wissenschaftlichen Analyse- und Dialogvorhaben zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität“ (Vergabenummer 16EM2111) im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Öko-Institut e.V., Hrsg.). Freiburg, Berlin.
- Wiebke Zimmer et al. (2016): Endbericht Renewability III. Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors.