

Elektromobilität und erneuerbare Energien

Beitrag zum Band „20 Jahre Recht der Erneuerbaren Energien“, Hrsg. Thorsten Müller, Würzburg 2010

Dr. Martin Pehnt

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

A.) Individuell elektrisch fahren: „Ladestrom“ als neues Stromprodukt

Immer dort, wo Strom zur Verfügung steht, wird vorzugsweise elektrisch gefahren: Vom schienengebundenen Fernverkehr über Stadt- und U-Bahnen bis zu den Rolltreppen oder den Aufzügen in Gebäuden. Der elektrische Antrieb ist lange bewährt, effizient, leise und verursacht vor Ort keine Emissionen. Im Schienen-Nah-, Fern- und Güterverkehr werden derzeit beispielsweise rund 12 TWh/a Elektrizität benötigt.

Mit der Verbesserung der Batterien ermöglicht der elektrische Antrieb auch in einem Straßenfahrzeug die einfache Nutzung aller Energieträger, aus denen Strom hergestellt werden kann – bis hin zur Nutzung von Wasser- und Windkraft oder dem Strom aus Sonnenkraftwerken. Die Elektrizität kann somit die energetischen Grundlagen des Straßenverkehrs auf eine breitere und auch ökologisch zukunftsfähigere Rohstoffbasis stellen, überdies mit Vorteilen der geringen Geräusentwicklung und der Schadstofffreiheit vor Ort. So heißt es in dem Ende 2010 veröffentlichten Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität: „In Deutschland gilt als Common Sense, dass Elektromobilität mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen verwirklicht werden soll.“ (NPE 2010)

Angesichts der Verknappung der Ölvorräte ist die Diversifizierung der Energieträger außerordentlich wichtig. Zusätzlich können die mit Biokraftstoffen verbundene Flächen- und Nutzungskonkurrenzen vermieden werden. Die große Innovationsdynamik, die den Sektor Elektromobilität auszeichnet, ist daher eine auch aus ökologischer Perspektive begrüßenswerte Entwicklung.



Abbildung 1: Autostrom als neues Produktfeld: Solarer Carport (Solar World), Werbekampagne Autostrom (RWE Mobility), REWE-Autostrom in Kooperation mit Vattenfall

Innovationen im Bereich der Antriebstechnik können dabei gleichermaßen genutzt werden, um durch Elektromobilität **innovative Formen der Mobilitätsbereitstellung** zu erreichen und beispielsweise eine Vernetzung mit dem öffentlichen Verkehr und einen Einsatz kleinerer, flexiblerer und bedarfsorientierter Fahrzeuge voranzubringen.

Für die ökologische Bewertung des Elektroautos ist auch die Energie- und Klimabilanz entscheidend. Denn der Verkehr ist für 28 % des Endenergieverbrauchs und 20 % der energiebedingten CO₂-Emissionen in Deutschland verantwortlich. Der überwiegende Teil dieser Emissionen ist dem Straßenverkehr zuzuordnen, der wiederum vom Personenverkehr dominiert wird.

Da Elektrofahrzeuge keine direkten Emissionen verursachen, wird in ihnen – in Anbetracht der langfristigen Erfordernisse eines weitestgehend kohlenstofffreien Verkehrssystems – zunehmend eine zusätzliche Möglichkeit zur Reduktion von verkehrsbedingten CO₂-Emissionen gesehen. Überdies haben Elektrofahrzeuge zumindest potenziell verschiedene Effizienzvorteile, wie z. B. einen in allen Betriebssituationen hocheffizienten Motor und die Möglichkeit zur Rückspeisung von Bremsenergie. Diesen Vorteilen stehen gleichzeitig verschiedene Nachteile entgegen, beispielsweise die kürzere Reichweite, hohe Batteriekosten und das höhere Antriebsgewicht.

Mit einer wachsenden Zahl an großserienreifen Elektrofahrzeugen, vom elektrisch angetriebenen Fahrrad bis zu batterieelektrischen Autos und Nutzfahrzeugen, wächst folgerichtig auch die Zahl der „**Tankstrom-**“ oder genauer: „**Ladestrom-Produkte**“, die im weitesten Sinn mit der Stromerzeugung für Elektrofahrzeuge zu tun haben und die z. T. gemeinsam mit der Bereitstellung eines Fahrzeugs, einer Ladestelle oder einer Batterie vermarktet werden (Bündelprodukte). Vielfach wird in Verbindung damit auch eine gewisse Strommenge bereitgestellt, beispielsweise 1 Jahr freies Laden an der eigenen Ladestelle sowie eine Karte, die eine freie Betankung an öffentlichen Ladestellen vorsieht. Die eingesetzten Stromprodukte sind teilweise klassische Produkte des freiwilligen Ökostrommarktes.

Über die etablierten Anbieter hinaus bildet sich aber auch ein differenzierter Markt, auf dem eigens dafür spezialisierte Stromhändler neu entwickelte „Autostromprodukte“ vermarkten. Diese bieten beispielsweise durch Messung des Stromverbrauchs im Fahrzeug („On board metering“) an, auch unterwegs auf Ökostrom-Produkte zurückgreifen zu können (Ubitricity 2010). **Neue Akteurskonstellationen** ergeben sich: Beispielsweise versorgt DB Energie einen Teil der über DB Car Sharing angeschafften Fahrzeuge und kooperiert mit Peugeot bei der Versorgung von Elektro-Tankstellen; oder die Handelskette REWE bietet gemeinsam mit Vattenfall Auto-Ökostrom auf den Parkplätzen der Handelsmärkte an.

Erste Ökostrom-Versorger beantragen das Labelling von „Auto-Strom“. Etablierte Energieversorger bauen im Rahmen der Feldversuche, aber auch in der Initiative „Elan 2020“ eine Infrastruktur für Beladung aus, hinter der zugleich bestimmte Stromprodukte stehen. Es bildet sich also parallel zu der Markteinführung elektrischer Fahrzeuge bereits ein Produktsortiment sowohl bei etablierten Energieversorgern wie auch bei neuen Marktakteuren aus.

Elektrofahrzeuge und erneuerbare Energien (**EE**) wachsen näher aneinander. Dies hat auch mit dem wachsenden **Anteil der fluktuierenden Stromerzeugung** aus erneuerbaren Energien zu tun. Wind- und Sonnenstrom erreichten 2009 einen Anteil von 7,7 % am deutschen Stromverbrauch. In Norddeutschland liegt der Anteil von Windstrom noch

deutlich höher. Es ist abzusehen, dass dieser Anteil dynamisch wachsen wird. Beispielsweise geht die Leitstudie 2010 des Bundesumweltministeriums davon aus, dass im Jahr 2030 65 % der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien stammen wird. Davon weisen über 40 % fluktuierenden Charakter auf (Abbildung 2). Abbildung 2 zeigt zugleich auch: der zusätzliche Energiebedarf aus Elektrofahrzeugen ist zunächst gering. In den Batteriespeichern von Elektroautos wird in diesem Zusammenhang die Möglichkeit gesehen, fluktuierenden Strom zu speichern und ggf. zukünftig auch wieder zurückzuspeisen.

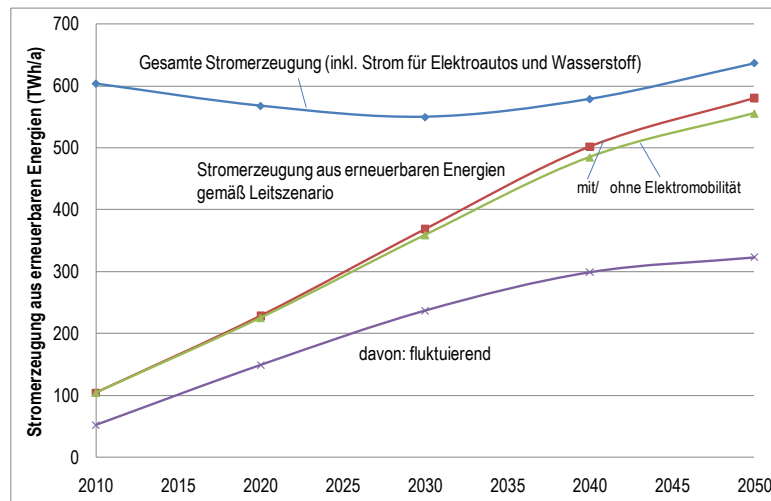


Abbildung 2: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit und ohne Elektromobilität (Annahmen gemäß Leitszenario des Bundesumweltministeriums)

B.) Warum ist die Kopplung von erneuerbaren Energien und Elektroautos wichtig?

I. Energiewirtschaftliche Folgen von Elektroautos

Dass eine Kopplung von erneuerbaren Energien und Elektrofahrzeugen erfolgen sollte, ist auf die Wechselwirkungen zwischen den Fahrzeugen und dem Energiesystem zurückzuführen. Denn der für den Fahrbetrieb erforderliche Strom muss vom Kraftwerkspark bereitgestellt werden. Diese Strombereitstellung ist für das Ergebnis der Gesamtbilanz entscheidend. Elektrofahrzeuge als zusätzliche Stromverbraucher sorgen dafür, dass Kraftwerke, die sonst nicht für die Stromerzeugung herangezogen worden wären, zum Einsatz gelangen, weil die Nachfrage höher ist. Diese sogenannten „**marginalen Kraftwerke**“ (oder Grenzkraftwerke) sind – je nach Zeitpunkt der Nachfrage – beispielsweise Steinkohlekraftwerke oder Gaskraftwerke. Welches der Kraftwerke gerade das marginale Kraftwerk ist, ergibt sich aus der sogenannten *Merit Order*, in der die Kraftwerks-Erzeugungskapazitäten nach Betriebskosten sortiert dargestellt werden.

Exkurs

Wirkungsweise des Strommarktes und die Merit Order: die Rangfolge des Kraftwerkseinsatzes (basierend auf Peht et al. 2008a)

Um den Wirkungsmechanismus des Strommarktes zu beschreiben, wird im folgenden Exkurs der sogenannte Spot-Markt betrachtet, an dem Strom für die Stunden des nächsten Tages gehandelt wird („Day-ahead“-Handel). Es wird vereinfachend angenommen, dass der gesamte Strom auf einem

einigen Marktplatz gehandelt wird. Jeder Kraftwerksbetreiber muss für jede Stunde des folgenden Tages ein Gebot abgeben, das sich zusammensetzt aus einem Preis und der Leistung, die zu diesem Preis geliefert werden kann. Der angebotene Preis bildet sich auf Basis der Brennstoff- und der CO₂-Kosten. Der Betreiber wird in der Regel die maximale Leistung seines Kraftwerks zu dessen Grenzkosten anbieten. Die Börse sammelt alle Gebote und sortiert diese nach den Kosten in aufsteigender Reihenfolge. Daraus resultiert die sogenannte Einsatzreihenfolge der Kraftwerke oder „Merit order“.

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel einer solchen „Merit order“ für einen synthetischen, aber typischen Kraftwerkspark. Auf der linken Seite finden sich die Kraftwerke, die keine oder sehr geringe Grenzkosten aufweisen wie Wasserkraft, PV und Wind – denn diese Kraftwerke haben im Betrieb keine Brennstoffkosten. Daran schließen sich die Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen an, die einen Teil ihrer Erträge aus dem Wärmeverkauf beziehen. Als nächstes kommen die Kernkraftwerke und dann die neuen und die älteren Kohlekraftwerke. Ganz rechts finden sich die Gaskraftwerke, die zwar geringe Investitionskosten, aber hohe Grenzkosten aufweisen.

Die Börse erteilt nun den Kraftwerken der Reihe nach, beginnend mit dem niedrigsten Gebot, einen Zuschlag, bis der prognostizierte Bedarf gedeckt ist. Das Gebot des letzten Kraftwerkes, das noch einen Zuschlag erhält, bestimmt den Strompreis, der dann für alle zustande gekommenen Lieferverträge bezahlt wird. Das heißt, die Kraftwerke werden nicht nach ihrem eigenen Gebot, sondern nach dem Gebot des Grenzkraftwerks bezahlt. Dabei handelt es sich nicht um eine Besonderheit des Strommarktes, sondern vielmehr um eine grundsätzliche Vorgehensweise auf Märkten mit vollständigem Wettbewerb.

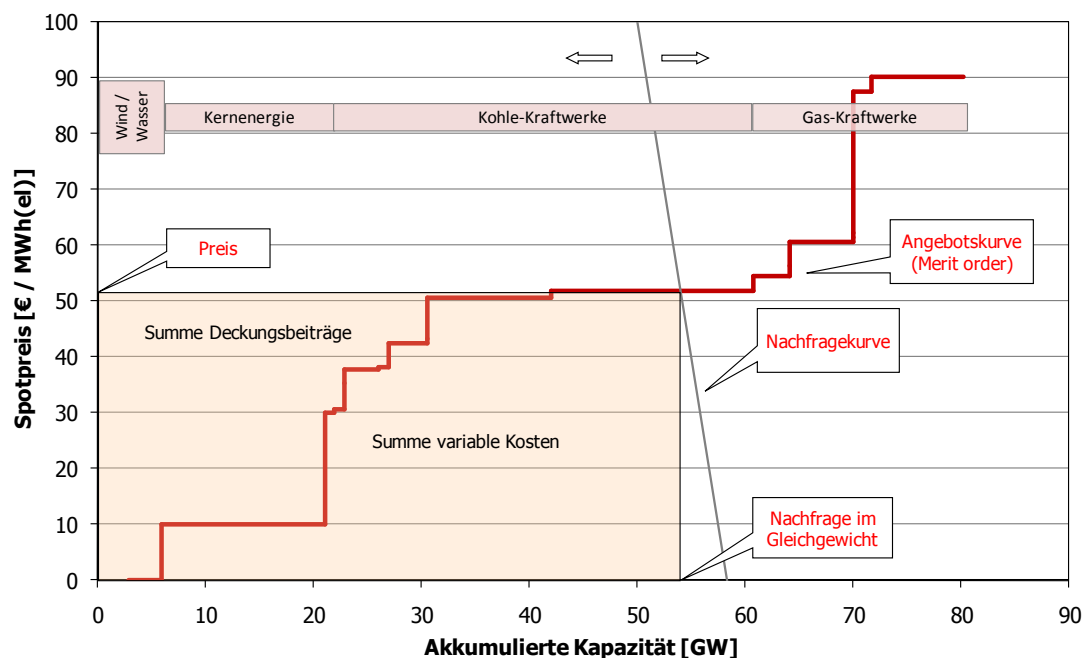


Abbildung 3: Preisbildungsmechanismus an der Strombörse (schematisch nach

Die Nachfrage ist in Abbildung 3 eher unelastisch, d.h. sie sinkt nur leicht mit steigendem Strompreis (dies erkennt man an der steilen Nachfragegeraden). Diese Annahme ist für die kurzfristige Nachfrage sinnvoll, da auf kurze Sicht nur auf wenig Strom verzichtet werden kann.

Ein zusätzliches Nachfragesegment zu einer bestimmten Zeit – beispielsweise durch Elektrofahrzeuge – führt dazu, dass sich die Nachfragekurve nach rechts verschiebt. Es kommen die nächsten Kraftwerke der Merit Order zum Einsatz.

Für die Grenzkosten sind unterschiedliche energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen ausschlaggebend, insbesondere die Brennstoff- und Zertifikatspreise. Wichtig ist allerdings auch der Zeitverlauf der Nachfrage. Nachts ist die Stromnachfrage geringer; dadurch sind die Grenzkraftwerke solche, die niedrigere variable Kosten haben als die Grenzkraftwerke tagsüber (die Nachfragekurve in Abbildung 3 ist nachts nach links verschoben). Elektroautos führen daher bei geschickter Beladungsstrategie zu einer Erhöhung der Auslastung dieser Mittellastkraftwerke, weil durch die Verschiebung der Nachfragekurve nach rechts diese Kraftwerke (häufig Steinkohle) häufiger „zum Zug kommen“.

Um den energiewirtschaftlichen Effekt des zusätzlichen Nachfragesegments zu bewerten, wurden im Rahmen eines vom Bundesumweltministeriums finanzierten Projektes energiewirtschaftliche Modelle mit einem Ökobilanzmodell gekoppelt (Details hierzu siehe Pehnt u.a. 2010). Dabei wurde ein Fahrzeugbestand von rund 10 bis 12 Mio. Plug-in-Hybrid- und Elektro-Fahrzeuge bzw. ein Viertel des Fahrzeugbestandes bis zum Jahr 2030 zu Grunde gelegt (Wietschel u.a. 2008). Die daraus resultierende Stromnachfrage durch Elektrofahrzeuge für das Jahr 2030 beträgt 18 TWh pro Jahr oder ungefähr 3,5 % der gesamten heutigen Nachfrage in Deutschland. Bei hoher Gleichzeitigkeit, mit der Fahrzeuge nach ihrem letzten Weg beladen werden, steigt die Spitzenlast trotz der nur geringfügigen Nachfrageerhöhung um bis zu 12% (Biere u.a. 2009).

Welchen Einfluss haben diese Fahrzeuge auf den Kraftwerkspark? Analysiert wurden drei verschiedene Beladungsstrategien:

- Ein Szenario, in dem die Fahrzeuge unmittelbar nach ihrem letzten Weg, also beispielsweise abends nach der Heimkehr, beladen werden („**Letzter Weg**“).
- Ein Szenario, in dem ein Lastmanagementanreiz gegeben wird, der sich an den Börsenpreisen orientiert. Die Börsenpreise werden auch maßgeblich durch die prognostizierte Windstromeinspeisung und die vorhergesagte Last festgelegt. Dadurch werden Beladungsvorgänge vergleichmäßigt und verlagert in Zeiten, in denen das Windenergieangebot besonders hoch und die Stromnachfrage gering ist („**DSM**“ für Demand Side Management).
- Ein Szenario, in dem zusätzlich zu diesem Lastmanagement soviel erneuerbare Energiekapazität zugebaut wird, wie für die jährliche Erzeugung an Fahrstrom erforderlich ist („**DSM+RES**“).

Während bei einer unkontrollierten Ladung („Letzter Weg“) der rund 12 Millionen Fahrzeuge die Spitzenlast um 6,2 GW (12%) ansteigt, kann dieser Anstieg durch intelligentes Laden (Szenario DSM) begrenzt werden (siehe auch Dallinger u.a. 2010; Link u.a. 2010). Obwohl die Last von Elektrofahrzeugen nur über wenige Stunden verlagert werden kann, wird damit ein Beitrag für die bessere Integration von erneuerbaren Energien erreicht.

Für die Integration von fluktuierenden erneuerbaren Energien ist die Wirkung der Elektromobilität auf die **Residuallast** entscheidend. Die Residuallast beschreibt die gesamte Systemlast abzüglich der Einspeisung fluktuierender Energieträger. Bei negativer Residuallast („Wind-Solarstromüberschuss“), also wenn Energie aus erneuerbaren Energien aberegelt werden muss, wird durch die Lastverlagerung die Energie in diesen Zeiten von den Fahrzeugen aufgenommen. Dadurch wird die Menge an Überschussstrom geringer. Im Vergleich zu einem Szenario ohne Elektromobilität lassen sich in dem berechneten Szenario im Jahr 2030 ungefähr 30 Prozent der sonst aberegelteten Windstrommengen nutzen. In diesem Szenario entspricht dies rund 620 GWh der gesamten Wind- und Solar-Strommenge

von 1700 GWh, die sonst abgeregelt werden müsste – also rund 3,5 % des gesamten Fahrstrombedarfs. Die negative Spitze der Residuallast kann um rund 5 GW reduziert werden. Die intelligente Beladung reduziert also die Spitzenlast und trägt dazu bei, zusätzlichen fluktuierenden Strom aus Windenergie- und Solaranlagen zu integrieren.

Diesem positiven Effekt steht auf Seiten der Energieträgerstruktur ein anderer Effekt entgegen. Gemäß der Berechnungen wird die Nachfrage der Elektromobilität im Fall einer ungesteuerten Beladung nach dem letzten Weg im Jahr 2030 überwiegend durch moderne Gaskraftwerke (rund 55 %) und, in geringerem Maß, Steinkohle-Kraftwerke (28 %) gedeckt. Wenn jedoch diese Lastmanagementmaßnahmen ergriffen werden, wird nicht nur die Spitzenlast gesenkt und die Menge des abgeregelteten Wind- und Solarstroms reduziert, sondern es werden zugleich auch die fossilen Kraftwerke, die in der Nacht als Grenzkraftwerke fungieren, besser ausgelastet. Diese Kraftwerksklasse setzt sich in Deutschland aus Kraftwerken mit höheren Emissionen zusammen. So steigt der Anteil des eingesetzten Steinkohlestroms im Szenario DSM deutlich auf 48 % an. Dieses Bild ändert sich dann deutlich, wenn ein vermehrter Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung und ein geringerer Ausbau von Kohlekraftwerken angenommen würden. Würde man einen weiteren Ausbau zentraler hocheffizienter Gas- und Dampf-Kraftwerke unterstellen, dann würde der Beladungsstrommix deutlich zu Gunsten niedrigerer CO₂-Emissionen verschoben. Mit zunehmender Durchdringung erneuerbarer Energien wird sich zudem die Bedeutung dieses Effekts relativieren.

Erst wenn auch **zusätzliche erneuerbare Energieanlagen** zugebaut werden, wie dies für die Abdeckung des Strombedarfs der Elektroautos erforderlich ist (Szenario **DSM + RES**), ergibt sich im Marginalmix ein nahezu ausschließlich aus erneuerbaren Energien bestehender Kraftwerkspark.

Übersetzt man diese Strommarkt-Analysen in eine **ökobilanzielle** Treibhausgas-Bilanz,¹ die alle Prozessschritte des Lebensweges eines Elektroautos (inklusive der Herstellung von Fahrzeug, Batterien etc.) umfasst, so ergibt sich für ein typisches Kompaktklasse-Fahrzeug die in Abbildung 4 gezeigte Charakteristik.

¹ Die aktuelle Ökobilanz des IFEU zur Fahrzeugherstellung differenziert dabei zwischen dem Rumpffahrzeug, dem Antriebsstrang (Motor und Zusatzbauteile) und der Batterie. Der Materialeinsatz beim Rumpffahrzeug orientiert sich dabei am Golf VI und basiert auf Daten von Volkswagen. Zusätzlich wurde auf eigene Abschätzungen im Rahmen von Literaturrecherchen, Primärdaten aus Industrieunternehmen und Datenbanken zurückgegriffen. Die Umweltwirkungen der Materialien wurden i. w. auf Basis von Ecoinvent-Danten ermittelt (Ecoinvent 2008). Daten zur Batterieherstellung (Materialien und deren Vorketten, Verarbeitung, Energieaufwand etc.) wurden bei vier Lithium-Ionen-Batterieherstellern erhoben. Dabei wurden in Absprache mit den Herstellern Annahmen bezüglich der Entwicklung der ökologischen Aufwendungen einer zukünftigen Serienproduktion getroffen. Die angenommene Batteriekapazität für ein rein batterieelektrisches Fahrzeug beträgt 25 kWh. Unter Berücksichtigung von Fortschritten bei der Dauerhaltbarkeit von Batterien wird angenommen, dass eine Batterie ausreichend für das Fahrzeugleben ist. Der Energieverbrauch des Elektro-Pkw beruht auf IFEU-Modellierungen und liegt im Praxiszyklus innerorts bei rund 17, außerorts bei 19 und auf der Autobahn bei 24 kWh/km inkl. Nebenverbraucher. Für den konventionellen Pkw wird basierend auf TREMOD (Knoerr 2010) im Innerortsbereich ein Verbrauch von 7,5 l/100 für Otto und 5,6 l/100km für Diesel-Pkw angesetzt sowie im Außerortsbereich jeweils 5,2 und 4,0 l/100km und auf Autobahnen 6,7 und 5,3 l/100km.

Der geographische Bezugsrahmen für die dargestellten Ökobilanz-Ergebnisse ist Deutschland; zeitlich soll der mittelfristig (Zeitraum 2020 bis 2030) realisierbare Stand abgebildet werden. Funktionelle Einheit der Bilanzen ist ein Kompaktklasse-Fahrzeug mit einer Lebenslaufleistung von 150.000 km. Als Nutzungsmuster wird das Fahrprofil des Handbuch Emissionsfaktoren (30% Innerorts-, 40% auf Außerortsstraßen und 30% auf Autobahnen) zu Grunde gelegt.

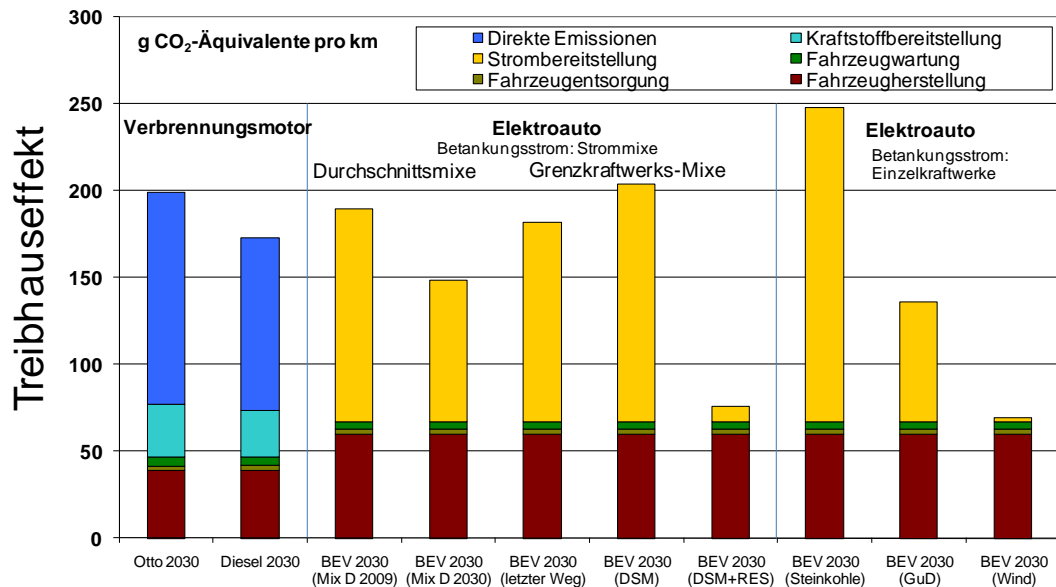


Abbildung 4: Klimawirkung pro km für einen Kompaktklasse-Pkw in 2030 (Fahrmuster des „Handbuch Emissionsfaktoren“). Links sind die Lebenszyklus-Treibhausgase eines Verbrennungsmotor-Fahrzeugs dargestellt, in der Mitte ein Elektroauto, das mit dem durchschnittlichen deutschen Strommix 2009 und 2030 (gemäß Kraftwerksparkmodellierung) sowie mit den verschiedenen Grenzkraftwerks-Strommischen beladen wird, und zum Vergleich das mit verschiedenen modernen Einzelkraftwerken betankte Elektroauto. Details siehe (Pehnt u.a. 2010).

Es zeigt sich, dass die Treibhausgas-Emissionen von Elektrofahrzeugen unter Verwendung des heutigen deutschen Strommix etwa mit denen des konventionellen Fahrzeugs vergleichbar sind. Der hohen Effizienz des Fahrzeugs stehen die höheren Belastungen des „Kraftstoffs“ Strom entgegen. Zudem sind die Herstellungsaufwendungen zur Produktion des Fahrzeuges wegen der Batterie höher.

Die Beladung mit den drei Grenzkraftwerks-Szenarien, die oben beschrieben wurden, zeigt: solange keine Maßnahmen ergriffen werden, auch zusätzliche EE-Kapazitäten zuzubauen (Szenario DSM + RES), gibt es in dieser Grenzbetrachtung keine Klimavorteile für Elektroautos. Deutliche Klimaschutzvorteile gegenüber konventionellen Fahrzeugen ergeben sich offensichtlich erst durch Nutzung zusätzlicher erneuerbarer Energien. Unter „zusätzlich“ wird hierbei verstanden, dass es sich nicht um bereits errichtete Anlagen handelt, die lediglich umetikettiert werden, sondern um zusätzliche, kausal auf Elektroautos zurückzuführende Anlagen.

II. Konsequenzen für die Instrumentengestaltung

Resümiert man diese Überlegungen in Hinblick auf eine energiepolitische Instrumentengestaltung, so ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Elektroautos führen zu einer zusätzlichen Last. Durch einen geeigneten Beladungsmechanismus lässt sich diese Einwirkung auf die Spitzenlast senken, z. B. durch zeitvariable Tarife in Abhängigkeit der Windeinspeisung („Tanken, wenn der Wind weht“). Durch einen solchen Tarif kann zusätzlicher fluktuierender Wind- und Solarstrom integriert werden.

- Ein variabler Tarif führt aber zugleich bei dem derzeitigen hohen Anteil von Kohlekraftwerken auch dazu, dass die derzeitigen „Mittellast-Kraftwerke“ (und damit in Deutschland beispielsweise der Anteil der Steinkohle) stärker ausgelastet werden. Dieser Effekt ist vor allem mittelfristig von Bedeutung.
- Damit Elektroautos einen wesentlichen eigenständigen Beitrag zum Klimaschutz leisten, ist neben einer intelligenten Beladungsstrategie aber auch der Bau neuer Regenerativ-Kraftwerke erforderlich, will man die Fahrzeuge tatsächlich als CO₂-arm bezeichnen. Im Bericht zur Umsetzung der Kabinettsbeschlüsse von Meseberg vom 05.12.2007 wird folgerichtig festgestellt: „Um die ambitionierten Zielsetzungen der Bundesregierung im Bereich der Energie- und Klimapolitik zu erreichen, ist es erforderlich, den zusätzlichen Bedarf an elektrischer Energie in diesem Sektor durch Strom aus erneuerbaren Energien zu decken“(Meseberg 2007).

Wie kann dies mit politischen Instrumenten erreicht werden? Dieser Frage geht das folgende Kapitel nach.

C.) Wie kann man mit energiepolitischen Instrumenten Straßen-Elektrofahrzeuge und erneuerbare Energien verkoppeln?

Nur wenige Veröffentlichungen thematisieren bislang die Frage, wie denn eine tatsächliche Kopplung nicht nur technisch, sondern im Rahmen des energiepolitischen Instrumentariums stattfinden kann. Zu nennen sind hier insbesondere ein Bericht im Auftrag von Transport & Environment, Friends of the Earth und Greenpeace (Kampman u.a. 2010) und zwei Analysen im Auftrag der International Energy Agency (Smokers u.a. 2010) und des European Topic Centre on Air and Climate Change (Hacker et al. 2009). Diese Studien fokussieren vor allem auf die energiepolitischen Ziele, den Emissionshandel und die nationalen und europäischen Gesetze.

I. Allgemeine Wechselwirkungen zwischen Elektroautos und energiepolitischen Instrumenten

Bevor Optionen diskutiert werden, wie Elektroautos mittels *neuer* energiepolitischer Instrumente mit erneuerbaren Energien konkret verzahnt werden können, müssen die Wechselwirkungen durch bereits *existierende* Instrumente thematisiert werden.

Eine Verbindung zwischen Elektrofahrzeugen und erneuerbaren Energien ergibt sich aus der europäischen **Erneuerbare-Energie-Richtlinie** 2009/28/EG, der Renewable Energy Directive „RED“ (EU 2009). Sie definiert ein Ziel für den Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen bei allen Verkehrsträgern (ohne Luftverkehr) von 10 % des Endenergieverbrauchs im Jahr 2020 (Transportziel). Dieses Ziel muss nun nicht – wie ursprünglich vorgesehen – allein durch Biokraftstoffe erreicht werden, sondern auch regenerativ erzeugter und im Verkehr genutzter Strom wird auf das Ziel angerechnet. Elektrofahrzeugen wird dabei eine Sonderrolle gewährt, indem „bei der Berechnung der Elektrizitätsmenge, die aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt und in Straßenfahrzeugen mit Elektroantrieb verbraucht wird, dieser Verbrauch als der 2,5-fache Energiegehalt der zugeführten Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen angesetzt [wird].“ (EU 2009) Damit führt die Einführung von Elektrofahrzeugen dazu, dass das Endenergieausbauziel der RED leichter erreicht wird.

Eine weitere relevante „Verquickung“ von Energiesystem und Elektromobilität besteht in der **CO₂-Pkw-Verordnung**. Für 2015 gibt die EU einen Durchschnittsfaktor für die Pkw-Flotte von 130 g CO₂/km vor, den die Neuwagenflotte erreichen muss. 2020 muss dieser Wert nach den gegenwärtigen Planungen auf 95 g/km absinken. Schaffen Hersteller diesen Wert nicht, sind sie zu einer Strafzahlung verpflichtet. Da Elektroautos unabhängig von der Stromherkunft mit 0 CO₂ g/km angerechnet werden, können Anstrengungen bei den anderen Fahrzeugen geringer ausfallen. Dieser Effekt ist dann relevant, wenn die Fahrzeughersteller nicht ohnehin ihre Ziele erreichen. In einer Übergangszeit werden Elektrofahrzeuge sogar mehrfach angerechnet (sog. Super Credit). Durch diese Regelungen tragen Elektroautos dazu bei, dass die Anforderungen für Verbrennungsmotoren abgeschwächt werden – sie haben gewissermaßen einen „CO₂-Rucksack“. Zukünftig ist es aber durchaus denkbar, dass auch die Kraftstoff-Vorketten, beispielsweise die Art und Weise der Strombereitstellung, im Rahmen der Pkw-Verordnung berücksichtigt werden.

Die **Pkw-Verordnung** und die EU-Richtlinie für erneuerbare Energien („**RED**“) wurden eingangs bereits diskutiert. Hinzu kommt die Wechselwirkungen der Elektromobilität mit dem **Emissionshandel**: Elektroautos verlagern einen Teil der CO₂-Emissionen, die sonst im nicht vom Emissionshandel erfassten Verkehrssektor angefallen wären, in den Stromsektor. Da dessen CO₂-Emissionen nach oben begrenzt sind und der Verlauf der Grenzmenge langfristig festgelegt ist, führt eine zusätzliche Nachfrage zu steigenden Zertifikatspreisen und damit zu steigendem Druck, in vom Emissionshandel abgedeckten Sektoren eine zusätzliche Emissionsminderung zu erzielen.

Ob dieser Aspekt eine CO₂-mindernde Wirkung entfaltet, hängt entscheidend davon ab, in wieweit zukünftig (v. a. nach 2020) eine Anpassung des CO₂-Deckels um die Mengen stattfindet, die aus dem Verkehrs- in den Stromsektor gewandert sind, bzw. inwieweit die Durchsetzung strenger CO₂-Ziele politisch durch die zusätzlichen Stromverbrauchssegmente erschwert wird. Mit den Schlupflöchern beispielsweise in Form von mangelhaft designten „Clean Development Mechanism“-Projekten wird die Klimaschutzwirkung des „Emissionshandels-Effekts“ weiter in Frage gestellt.

II. Kopplungsmodelle

Damit es zu einer robusten CO₂-Minderung kommt, erscheint daher ein zusätzlicher Kopplungsmechanismus erforderlich. In der Automobilbranche wird diese Auffassung grundsätzlich auch wiedergespiegelt. Beispielsweise resümierte eine Arbeitsgruppe im Rahmen des Daimler Sustainability Dialogue: „Es muss offensichtlich sein, dass Elektromobilität mit zusätzlichem grünem Strom betrieben wird, ein entsprechendes glaubwürdiges Geschäfts- und Kommunikationskonzept muss entwickelt werden.“ (Daimler 2010) Mit der Kopplung können sich zudem auch neue Chancen für die Automobilbranche auftun, beispielsweise hinsichtlich Vermarktung und Image.

Voraussetzung ist allerdings, dass ein solcher Kopplungsmechanismus zugleich **glaubwürdig, wirkungsvoll und unbürokratisch** ist. Zu unterscheiden ist bei der Analyse der Mechanismen der **Adressat des Mechanismus**, beispielsweise:

- der Besitzer oder Nutzer des Fahrzeugs;
- der Fahrzeug-Hersteller;
- der Energielieferant oder

- die Bundesregierung, die auf nationaler Ebene dafür verantwortlich ist, Zusätzlichkeit sicherzustellen (Makroebene).

Außerdem können die Mechanismen aus verschiedenen **Gründen** angefordert werden. Den Kauf eines Elektrofahrzeugs generell an Bedingungen zu knüpfen, ist zwar möglich, aber unwahrscheinlich; ebensowenig würde man den Kauf eines Fernsehers an „Ökostrom-Bedingungen“ knüpfen. Denkbar ist aber beispielsweise, dass die Mechanismen eingeführt werden, um gewisse Privilegien zu erreichen (z. B. eine finanzielle Förderung, freies Parken, die Benutzung von Busspuren etc.), oder in Zusammenhang mit der Bestimmung des CO₂-Faktors für eine zukünftige „Straßenstromsteuer“² oder des CO₂-Faktors der Pkw-Richtlinie (siehe oben).

Verschiedene Prinzipien sind grundsätzlich denkbar, die entweder auf die Installation zusätzlicher Anlagen abzielen (Ökostrom, Investitionen, ...) oder ein verbessertes Management/ eine verbesserte Integrationsfähigkeit des Systems erwirken (intelligente Beladung, ...) (Abbildung 5).



Abbildung 5: Verschiedene Kopplungsmechanismen zwischen erneuerbaren Energien und Elektromobilität

Modell 1: Der Besitzer eines Elektroautos baut eine zusätzliche EE-Anlage.

Die einfachste Verknüpfung ist die Kopplung des Kauf eines Elektroautos mit dem Bau einer unmittelbar damit in Verbindung stehenden Anlage auf Basis erneuerbarer Energien. Mit diesem Modell werben bereits eine Reihe von Herstellern. Solare Carports für Einzelstellplätze werden angeboten; Firmen rüsten Parkplatzüberdachungen mit einer Solaranlage aus usw.

² Eine in Analogie zur Mineralölsteuer zu erhebende **Fahrstromsteuer** könnte zu einem späteren Entwicklungszeitpunkt **auf den fossil-nuklearen Anteil** im Stromprodukt erhoben werden. Tankt ein Fahrzeugnutzer ein definiertes Ökostromprodukt (siehe oben), so ist dieses steuerbefreit. Dadurch wird eine verstärkte Nachfrage nach dem Ökostromprodukt geschaffen. Die Zusätzlichkeit ergibt sich aus den Eigenschaften des Ökostromproduktes.

Die Zusätzlichkeit eines solchen Modells hängt davon ab, ob diese Anlage auch sonst gebaut worden wäre. Solange eine EEG-Vergütung dafür in Anspruch genommen wird, ist es wahrscheinlich, dass die Anlage ohnehin gebaut worden wäre. Allerdings ist es auch denkbar, dass das Elektroauto erst den Ansporn für den Bau der Anlage gegeben hat, insbesondere wenn diese einen engen Verkehrsbezug hat (Garagendach o.ä.) („Initiierungseffekt“). Dann wäre es hingegen konsequent, für diese Strommengen keine EEG-Vergütung in Anspruch zu nehmen und damit dazu beizutragen, dass die Differenzkosten des EEG gemildert werden. Die Zusätzlichkeit würde sich aus der Steigerung der Akzeptanz für das EEG auf Grund der niedrigeren Differenzkosten für alle Stromkunden ergeben.

Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass es mit zunehmender Degression der Einspeisevergütung für Fotovoltaik und der Annäherung an das Tarifniveau von Haushaltstrom mittels Elektroautos möglich, den Anteil eigengenutzten Stroms zu erhöhen. Durch diese Steigerung des Eigennutzungsanteils könnte das Elektroauto dazu beitragen, PV auch ohne Einspeisevergütung wirtschaftlich zu betreiben. Allerdings ergibt sich eine Diskrepanz zwischen typischen Ladezeitpunkten und dem zeitlichen Leistungsangebot der PV – geladen werden müsste dann vor allem mittags.

Der Bau einer solchen EE-Anlage ist zunächst eine sinnvolle – individuell initiierte – Maßnahme. Nicht zwingend ist es, staatliche Förderung oder andere Privilegien an den Bau und Betrieb einer solchen Anlage zu knüpfen. Es wäre ja beispielsweise denkbar, dass der Besitz einer Plakette, die die Benutzung von Busspuren, privilegiertes innerstädtisches Parken, die Befahrung von Umweltzonen oder Steuerbefreiungen erlaubt, an den Betrieb einer EE-Anlage geknüpft ist. Wesentlich bei einer solchen staatlichen Bevorzugung von EE-Strom ist allerdings, dass keine Doppelvermarktung erfolgt: also entweder eine Vergütung gemäß EEG oder die Lieferung an einen Elektrofahrzeug-Halter über eine lückenlose Lieferkette.

Modell 2: Die Fahrzeughersteller bauen zusätzliche Regenerativ-Energie-Kraftwerke bzw. lassen diese durch Dritte erbauen.

Der logische Ausgangspunkt dieses Kopplungsmodells ist die CO₂-Pkw-Richtlinie und die (zumindest mittelfristigen) finanziellen Vorteile, die Hersteller sich durch die Produktion von Elektroautos durch die 0 g/km-Anrechnung erschließen. Denn die Hersteller können, wenn sie ihre Flottengrenzwerte überschreiten, u. U. Strafzahlungen vermeiden, da Elektroautos als CO₂-frei anerkannt werden. Die Idee ist, dass die Autohersteller zum Zeitpunkt des Kaufs eines Elektroautos als Bedingung für die CO₂-Freiheit eine Investition in eine erneuerbare Energieanlage tätigen bzw. eine Zahlung in einen Fonds leisten, aus dem solche Anlagen finanziert werden. Die installierte Leistung der gebauten Anlage sollte sich dabei am geschätzten Energieverbrauch des Fahrzeugs über die Lebensdauer orientieren und dabei den spezifischen Energieverbrauch des jeweiligen Fahrzeugs berücksichtigen. Die Anlagen könnten in Deutschland errichtet werden, theoretisch aber auch im Ausland (beispielsweise das „solarthermische Autokraftwerk“). Dieses Modell wurde 2008 diskutiert (Pehnt/Scheffer 2008) und wieder im Rahmen eines Projektes der International Energy Agency vorgeschlagen (Smokers et al. 2010).

Der Mechanismus würde folgendermaßen funktionieren: Jährlich wird festgestellt, wie viele Elektrofahrzeuge aktuell zugelassen werden. Der betroffene Fahrzeughersteller hat die Wahl, entweder selber Kraftwerke zu erbauen/erbauen zu lassen, einen festgelegten Betrag

in einen europaweiten Fonds einzuzahlen oder die Strafzahlung zu leisten. Dieser Fond schreibt europaweit die Installation erneuerbarer Energieanlagen in der Höhe der eingezahlten Zahlungen aus, die bestimmten Kriterien entsprechen, insbesondere dem Kriterium der Zusätzlichkeit (s. u.). Damit erhalten die Anlagen den Zuschlag, die den überzeugendsten Nachweis einer Zusätzlichkeit erbracht haben; die Beweislast für dieses Kriterium wird auf die Investoren/Projektentwickler übertragen.

Die EE-Investoren betreiben die Anlagen für einen garantierten Mindestzeitraum und vermarkten den Strom auf dem normalen Strommarkt. Die Haushalte/Elektroautofahrer beziehen ihren „Beladungsstrom“ weiterhin von ihrem regulären Energieversorger.

Bei dieser Konstruktion stellt sich wie auch beim freiwilligen Ökostrom-Markt die Frage, ob diese auch durch das EEG oder analoge Instrumente in anderen Ländern finanziert werden können. In einer „puristischen“ Interpretation müsste die Meinung vertreten werden, dass EEG-Anlagen auch ohne Elektroautos ohnehin gebaut worden wären und deswegen „Hersteller-Kraftwerke“ nicht EEG-Vergütung oder analoge Unterstützung in anderen Ländern erhalten dürfen.

Man kann aber auch argumentieren, dass man alle Anlagen anerkennen müsste, solange sie vom Hersteller „initiiert“ wurden – den Begriff „Initiiert“ könnte man über eine finanzielle Beteiligung, Standorterschließung, Planungsleistungen, Risikoübernahme oder andere Kriterien operationalisieren. Gegen diese Variante lässt sich einwenden, dass die initiierten Anlagen in Konkurrenz treten mit Anlagen, die ohnehin, beispielsweise im Rahmen der EEG-Vergütung, gebaut worden wären. Dieses Argument ist dann stichhaltig, wenn bestimmte Faktoren, die für den Bau der Anlage notwendig sind, begrenzt sind: beispielsweise geeignete Standorte für Windenergieanlagen an Land oder Kraftwerke auf Basis fester – und in Deutschland begrenzt vorhandener – Biomasse. Konsequenterweise könnte man argumentieren, dass für solche „Hersteller-Kraftwerke“ spezifizierte Anlagentypen zugelassen wären, beispielsweise solarthermische Kraftwerke im (leitungstechnisch verbundenen) Mittelmeerraum oder Windenergie Offshore, deren Projektanzahl eher durch die Zahl der investitionsfähigen Akteure als durch Brennstoffe oder geeignete Standorte begrenzt ist.

Durch eine solche Konstellation ergeben sich neue Allianzen zwischen Automobilherstellern und Kraftwerksprojektieren und – für die Fahrzeughersteller – attraktive Marketing-Möglichkeiten („dies ist unser Auto-Solar-Kraftwerk“).

Problematisch an diesem Mechanismus ist, dass es sich um einen neuen Fördermechanismus handelt, der mit dem etablierten EEG und dem freiwilligen Ökostrommarkt konkurriert. Eine solche Koexistenz der Fördermodelle gibt es allerdings auch in anderen Ländern wie Portugal, wo eine Ausschreibung (für die Installation von Windenergieanlagen) und ein EEG-ähnliches Vergütungssystem parallel existieren.

Eine verpflichtende Abgabe in einen Fonds könnte zudem als rechtlich unzulässige Sonderabgabe klassifiziert werden. Solange die Hersteller jedoch die Wahl haben, ob sie in den Fonds einzahlen, ein eigenes Kraftwerk errichten oder die CO₂-Strafe zahlen, ist keine Verpflichtung zur Abgabe gegeben.

Zudem ist zu beachten, dass im Ausland initiierte Anlagen nicht auf das 10-Prozent-Transportziel der RED angerechnet werden dürfen – derzeit dürfen Elektrofahrzeuge die eingesetzten Energiemengen aus erneuerbaren Energien entweder nach dem deutschen

Strommix oder dem EU-Durchschnitt ansetzen. Allerdings kann die Kommission bis Ende 2011 einen anderweitigen Vorschlag vorlegen.

Zum anderen wird die pauschale „Vergrünung“ der Fahrzeuge ohne direkten Bezug zum tatsächlichen Energieverbrauch als problematisch angesehen, da sie die reale Nutzung nicht berücksichtigt und damit keinen Anreiz bietet, sparsamer oder weniger zu fahren. Hier stellt sich die Frage, ob es nicht zusätzliche Effizienzanforderungen an die Fahrzeuge geben sollte – gerade wenn diese im Rahmen der CO₂-Pkw-Richtlinie als CO₂-frei anerkannt werden sollen. Eine Analogie für ein solches Vorgehen findet sich in der deutschen Energieeinsparverordnung EnEV: diese verlangt beim Neubau von Gebäuden sowohl die Einhaltung eines gewissen Primärenergiekennwertes (Analogie: g CO₂/km) und eine gewisse Qualität der Gebäudehülle (Analogie beispielsweise maximaler mechanischer Energiebedarf am Rad).

Unabhängig von der Kopplung mit einer staatlichen Privilegierung kann diese Maßnahme aber auch freiwillig von Pkw-Herstellern eingesetzt werden.

Modell 3: Der Elektroauto-Besitzer bezieht Ökostrom.

Viele Modellprojekte und Initiativen der Stromversorger verknüpfen die Vermarktung von Elektroautos mit dem Bezug von Ökostrom nach dem sogenannten Händlermodell. Hier erzeugt ein Ökostromanbieter selbst Strom aus erneuerbaren Energien oder kauft diesen vom Erzeuger auf und beliefert seine Kunden vertraglich mit diesem Strom.

Im Rahmen eines Händlermodells resultiert die Zusätzlichkeit des Produktes aus dem Portfolio der Lieferkraftwerke für ein Produkt. In der Praxis unterliegen die meisten Händlermodelle mit Zusätzlichkeit einer Neuanlagenregelung. Nach dieser muss ein bestimmter Mindestanteil des Produktes aus EE-Kraftwerken stammen, die hinsichtlich eines bestimmten Stichtags oder einer dynamischen Altersregelung als neu eingestuft werden (Bürger 2008)

Ähnlich wie in der Diskussion um Ökostrom als solchem ergibt sich bei diesem Modell die Frage nach dem Umweltnutzen (siehe hierzu Pehnt u.a. 2008b). Wenn eine hohe CO₂-Armut des Stromprodukts gewährleistet werden soll, wäre es denkbar, dass die Anforderung bezüglich Neuanlagenanteil oder Initiierung der Anlagen durch die Ökostromversorger verschärft werden. Abrechnungstechnisch könnte durch eine mobile intelligente Abrechnungseinheit sichergestellt werden, dass Ökostrom in Höhe des tatsächlichen Fahrstrombedarfs bezogen wird.

Da im Ökostrommarkt nach dem Händlermodell überwiegend ausländische Anlagen vermarktet werden, ergibt sich die Frage nach der Anrechnung dieser Anlagen auf das deutsche 10 %-Transportziel. Außerdem besteht die Gefahr, dass hier eine Verbindung von Herkunftsnachweisen mit einem staatlichen Instrumentarium, beispielsweise der Förderung von Fahrzeugen, erfolgt. Damit könnte sich das rechtspolitische Problem ergeben, dass ein Tor für ein auf Herkunftsnachweisen basierendes Fördersystem geöffnet wird, das in Konkurrenz zum Erneuerbare-Energien-Gesetz tritt.

Ein freiwilliger, vom Kunden initiiertes Ökostrombezug ist rechtspolitisch in jedem Fall unbedenklich wie der heutige freiwillige Ökostrommarkt auch.

Modell 4: Die Bundesregierung passt die Ausbauziele für erneuerbare Stromerzeugung an.

Dieses Kopplungsmodell setzt nicht bei den Endkunden oder Herstellern als Adressaten an, sondern bei der Regierung. Die Grundidee ist, die Strommengen, die für die Elektromobilität nachgefragt werden, nicht für die Berechnung der Ausbauziele erneuerbarer Energien heranzuziehen.

Das EEG beispielsweise definiert das Ziel, mindestens 30 % EE-Stromanteil bis 2020 zu realisieren. Automatisch führt der steigende Strombedarf durch Elektroautos dazu, dass in absoluter Menge mehr Strom aus EE-Anlagen bereitgestellt werden muss, um das EEG-Ziel zu erfüllen, da der Nenner der Zielbestimmung entsprechend steigt. Damit sind mind. 30 % des zusätzlichen Stromverbrauchs von Elektroautos „automatisch“ zusätzlich, solange das Ziel nicht sowieso übererfüllt wird. Zusätzlich könnte der in Elektroautos verbrauchte Strom gänzlich von den Mengen abgezogen werden, die auf das EEG-Ziel (und das europäische Endenergie-Ziel) angerechnet werden. Dazu müsste der Stromverbrauch entweder in den im Fahrzeug angeordneten Zählern gemessen oder modelltechnisch errechnet und anteilig von der gesamten EEG-Strommenge abgezogen werden.

Kommt es zu einer Unterschreitung des EEG-Ziels, so muss durch Abbau von Hemmnissen bzw. Erhöhung von Vergütungen nachjustiert werden, um das Ziel einzuhalten. Im Fall einer Überschreitung des EEG-Ziels ergibt sich allerdings keine Zusätzlichkeit: verschiedene Szenariostudien, insbesondere die Leitstudie (Nitsch/Wenzel 2009) und die Prognosen der Regierung im Rahmen des Nationalen Aktionsplans Erneuerbare Energien gehen davon aus, dass dieses Ziel deutlich übererfüllt wird.

Außerdem müsste gewährleistet sein, dass eine Übererfüllung des EEG-Ziels nicht in den anderen Sektoren eine Anpassung hervorruft. Es wäre beispielsweise kontraproduktiv, wenn – zur Erreichung des europäischen Endenergieziels für Deutschland – ein höheres Stromziel zu einem niedrigeren Wärmeziel führen würde. Dies gilt auch für die anderen Mitgliedsstaaten, die im Rahmen des Nationalen Aktionsplans indikative sektorspezifische Ziele angeben müssen. In Deutschland wird dies Problem dadurch aufgefangen, dass für den Wärmesektor ein separates Ausbauziel (14 %) vorhanden ist.

Ebenso muss sichergestellt sein, dass die Übererfüllung des nationalen Ziels nicht im Rahmen eines „statistischen Transfers“, der nach europäischen Richtlinie möglich ist, an ein anderes Land verkauft wird. Dies kann am einfachsten erreicht werden, in dem die EE-Strommengen, die in die Elektromobilität gehen, weder für das EEG noch für das Endenergieziel der EE-Richtlinie angerechnet werden dürfen (also subtrahiert werden), wohl aber für das Transportziel.

Wenn beispielsweise das Ziel ist, 50 % Stromerzeugung im Jahr 2030 zu erzielen (rund 300 TWh in Deutschland), Elektroautos 20 TWh verbrauchen und EE-Anlagen 300 TWh Strom erzeugen, so würde das Ziel verfehlt, da nur 280 TWh angerechnet werden. Damit müssten die Unterstützungssysteme für EE-Anlagen verbessert werden. Formal ist ein solches „Herausrechnen“ auch im Rahmen von Statistischen Transfers vorgesehen. In der Wirkung käme dies einer Selbstverpflichtung Deutschlands gleich, das Stromziel um die Menge zu überschreiten, die Elektroautos verbrauchen.

Modell 5: Intelligente Beladung („Tanken, wenn der Wind weht oder die Sonne scheint“)

Dieses Modell setzt nicht an der Schaffung neuer EE-Kraftwerke an, sondern an der Verbesserung der Integrationsfähigkeit des Stromsystems für erneuerbare Energien. Im Nationalen Entwicklungsplan heißt es: „Vorrangig sollte dafür [Beladung von Elektroautos] der anderweitig nicht nutzbare Strom aus fluktuierenden Erneuerbaren Energien im Rahmen des Lastmanagements durch Elektromobilität genutzt werden.“ Strom kann aus zwei Gründen „nicht nutzbar“ sein:

- Die aus fluktuierenden erneuerbaren Energieanlagen bereitgestellten **Energiemengen überschreiten** in bestimmten Zeitintervallen die nationale/europäische nachgefragte Energiemenge. Es ist sowohl für Deutschland wie für Europa vorhersehbar, dass die installierte Windleistung in Starkwindzeiten die Minimallast überschreiten wird (Trade_Wind 2009).
- Oder die Einspeisung aus fluktuierenden erneuerbaren Energieanlagen überschreitet in windreichen Zeiten die **regionale** oder mittelfristig auch **die Übertragungs-Netzkapazität**.

Die Batteriespeicher der Elektroautos können im Rahmen eines **Lastmanagements** und einer **gesteuerten Ladung** in die Systemintegration erneuerbarer Energien einbezogen werden („Tanken bei Starkwindzeiten und niedrigen Börsenpreisen“). Die Speicher können so zu einer möglichen Integration höherer fluktuierender Strommengen und damit zu einer zusätzlichen EE-Strommenge führen. Auf diesen Punkt hebt auch der Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität von Dezember 2010 ab (NPE 2010a).

Am naheliegendsten ist hierzu die Ausgestaltung eines **flexiblen Preissignals** (wie oben im Rahmen der Modellrechnungen beschrieben), das ein Führungssignal als preissetzende Größe verwendet. Beispielsweise kann der Preis an der EEX-Börse als solches Signal verwendet werden. Die EEX-Preise werden von vielen Faktoren bestimmt, beispielsweise Lastschwankungen, Verfügbarkeit von Erzeugungskapazitäten (z. B. Kraftwerksstörfälle oder -revisionen, volatile Erzeugungs-, CO₂-Zertifikats- und Brennstoffkosten, siehe Wawer 2007). In jedem Fall besteht eine enge und in der Bedeutung zunehmende Korrelation zwischen Einspeisung fluktuierender Strommengen und Börsenpreisen: In Zeiten hoher Windstromeinspeisung steigt die Liquidität der Börse, die Strompreise sinken. Wenn ein Elektroauto-Betanker das EEX-Signal als Preissignal erhält, werden verstärkt Fahrzeuge in Zeiten hoher Windeinspeisung betankt.

Alternativ hierzu könnten andere Führungsgrößen wie die sogenannte Residuallast (Differenz aus Systemlast und fluktuierender Einspeisung aus erneuerbaren Energien) herangezogen werden. Zusätzlich zu deutschlandweiten Tarifen könnte man auch eine weitere Preiskomponente vorsehen, die mögliche regionale Netzengpässe abbildet. Beispielsweise wäre es denkbar, wenn der regionale Netzbetreiber einen EEX-abhängigen Tarif um eine Netzkomponente ergänzt. Droht Einspeisemanagement auf Grund einer Schwachlast/Starkwind-Situation, könnte der Beladungsstrom deutlich günstiger zur Verfügung gestellt werden. Dies wird beispielsweise im VW-EON-Feldtest erprobt (Pehnt u.a. 2010).

Ein solcher Tarif hat, wie oben quantifiziert, drei Effekte zugleich (Tabelle 1). Er senkt die Spitzenlast („Leistungseffekt“), er vermeidet die Abschaltung „nicht nutzbaren“ Stroms aus

fluktuierenden EE-Anlagen („Integrationseffekt“) und er erhöht die Auslastung und Wirtschaftlichkeit von Mittellast-Kraftwerken (Auslastungseffekt).

Tabelle 1: Effekte des intelligenten Beladungstarifs

	Beschreibung	Bemerkung
Leistungseffekt	Variabler Tarif senkt Spitzenlast durch Verringerung der Gleichzeitigkeit der Nachfrage und bessere Synchronisierung mit Angebot	
Integrationseffekt	Variabler Tarif vermeidet die Abschaltung fluktuierender erneuerbarer Energieträger (Wind/Solar) und erhöht dadurch die Integrationsfähigkeit für Erneuerbare	
Auslastungseffekt	Variable Tarife erhöhen u. U. die Auslastung von „Mittellast“-Kraftwerken, in Deutschland derzeit insbesondere Steinkohle	Vor allem mittelfristig relevant. Bei sehr hohen Anteilen von Erneuerbaren sinkt die Bedeutung dieses Effektes.

Modell 6: Rückspeisung, „Vehicle to grid“

Das Angebot von Regelleistung durch Rückspeisung von Strom aus Elektroautos auf Basis eines Pools an Elektrofahrzeugen könnte mittelfristig an Bedeutung gewinnen. Da kurzfristig, die Batteriezyklenfestigkeit und die Lade/Entladekosten sowie die zur Verfügung stehende geringe Fahrzeugzahl prohibitiv sind, wird die Rückspeisungsvariante hier noch nicht näher untersucht. Als problematisch dürfte sich auch die Akzeptanz der Endkunden für eine Entladung ihrer Batterie erweisen. Mittelfristig, mit steigender statistischer Anzahl von Elektroautos, könnte diese Variante an Bedeutung gewinnen.

III. Schlussfolgerungen

Die verschiedenen oben diskutierten Kopplungsmodelle können bzw. müssen von unterschiedlichen Akteuren durchgeführt werden. Auch schließen sie sich nicht unbedingt gegenseitig aus, sondern können sich ergänzen.

Hinzu kommt, dass die Frage, welche der Mechanismen wie hoch zu gewichten ist, von der erreichten Durchdringung mit EE-Strom abhängt. In einem Szenario, das von hohen zukünftigen Anteilen erneuerbarer Energien ausgeht, ist der Aspekt der Systemintegration wichtiger als in einem Szenario mit zögerlichem EE-Ausbau, wo die zusätzliche *Energie*-Bereitstellung aus EE wesentlich ist.

Vor diesem Hintergrund erscheint es ratsam, zwischen Maßnahmen auf der **Makroebene** zu unterscheiden, die von der Bundesregierung ergriffen werden bzw. die durch die Wechselwirkungen der energiepolitischen Instrumente ohnehin wirksam werden; zwischen den Maßnahmen, die die Bundesregierung unter bestimmten Bedingungen ergreifen kann, und denen, die **individuelle Nutzer zur Verbesserung ihrer Ökobilanz** durchführen können (Abbildung 6).

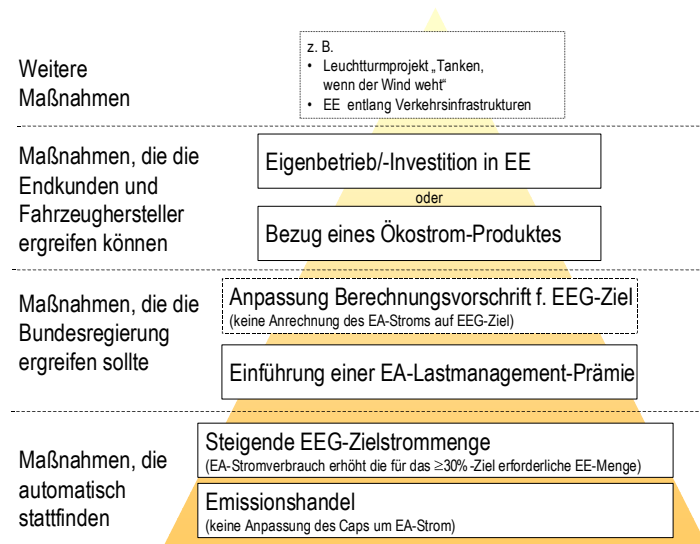


Abbildung 6: Vorschlag für ein Maßnahmenpaket „Erneuerbare Elektromobilität“

Kombinationen aus Maßnahmen sind einer detaillierten, insbesondere juristischen Analyse zu unterziehen. Als Diskussionsbeitrag könnte die folgende Kombination aus Maßnahmen gewählt werden:

1. Der Emissionshandelsdeckel wird auch in der Periode nach 2020 nicht um die Strommengen korrigiert, die Elektroautos in den vom Emissionshandel erfassten Sektor einbringen.
2. Bei der Berechnung der Ausbauziele für erneuerbare Stromerzeugung werden die Strommengen, die für die Beladung von Elektroautos aufgewendet werden, von der Stromerzeugung aus EE-Anlagen abgezogen.
Diese Anrechnungsmethodik könnte zur Bedingung dafür gemacht werden, dass Elektroautos 2,5fach auf das Transportziel der RED angerechnet werden. Die Wirkung dieser Methode hängt davon ab, wie dynamisch der Ausbau der EE-Erzeugung erfolgt. Wenn das Ziel übererfüllt wird, dann bringt diese Methode keine zusätzliche Wirkung – andererseits ist dann eine Zusätzlichkeitswirkung auch weniger dringlich, da der EE-Ausbau sowieso erfreulich verläuft.
3. Die Energieversorger führen zeitvariable Beladungstarife ein, die die Leistungsspitzen durch Elektromobilität abmildern und am Angebot fluktuierender Energieträger orientiert sind. Auch wenn dadurch in einer Übergangszeit fossile „Mittellast“kraftwerke bevorzugt ausgelastet werden, ist dies nach Meinung des Autors ein erforderlicher Schritt, um die Spitzenlast zu senken und die Integration fluktuierender erneuerbarer Energieträger zu erleichtern.
4. Die CO₂-Pkw-Verordnung könnte zukünftig dahingehend überarbeitet werden, dass Elektroautos nur dann als CO₂-frei gelten, wenn die Fahrzeughersteller nachweisen können, dass sie in zusätzliche EE-Kraftwerke investiert haben, und zwar in Anlagen, die nicht in Brennstoff- oder Standort-Konkurrenz zu ohnehin geplanten Kraftwerken treten. Tun sie dies nicht, so werden Elektroautos (ähnlich wie im kalifornischen Low Carbon Fuel Standard) mit dem europäischen CO₂-Faktor des Strommixes multipliziert mit dem Endenergiebedarf bewertet.

Solange die Verordnung nicht dahingehend modifiziert ist, können Fahrzeughersteller dazu animiert werden, in „Autostrom-Kraftwerke“ zu investieren.

5. Endkunden können freiwillig geeignete (Ökostrom-)Produkte beziehen, die ihnen einen noch höheren Umweltnutzen versprechen.

Diese fünf Mechanismen könnten gemeinsam dafür sorgen, Elektroautos robust mit erneuerbaren Energien zu verzahnen und einen Beitrag in Richtung einer regenerativen, effizienten Energiegesellschaft zu leisten.

D. Literatur

- Biere, D. / Dallinger, D. / Wietschel, M., Ökonomische Analyse der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen, Zeitschrift für Energiewirtschaft 2009, S. 173-181.
- Bundesregierung, Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, 2009.
- Bürger, V., Optionen zur Generierung von Zusätzlichkeit bei der Ökostromversorgung von Elektrofahrzeugen. Kurzexpertise im Rahmen dieses Beratungsprojektes, Öko-Institut, 2008.
- Dallinger, D. / J. Link / F. Kley / M. Wietschel, Variable tariffs for demand response with grid-connected electric vehicles and their contribution to integrate intermittent renewable generation. 2nd European Conference SmartGrids & E-Mobility, Otti, 2010.
- Daimler, Sustainability Dialogue 2010. Plenary: Reports from the Working Groups, 11.11.2010
- Ecoinvent, Ecoinvent 2.01, Ökoinventare von Energiesystemen, Zürich, Swiss Centre for Life Cycle Inventories www.ecoinvent.ch, 2008.
- EU, Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, 2009.
- Hacker, F. / Harthan, R. / Matthes, F. / Zimmer, W. (2009): Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe. Critical Review of Literature. Report for the European Topic Centre on Air and Climate Change. Berlin, Öko-Institut.
- Kampman, B. / Leguijt, C. / Bennik, D. / Wieters, L. / Rijke, X. / d. Buck, A. / Braat, W., Green Power for Electric Cars, Development of policy recommendations to harvest the potential of electric vehicles, Friends of the Earth Europe, T&E, Greenpeace, 2010.
- Link, J. / Büttner, M. / Dallinger, D. / Richter, J., Optimisation algorithms for the charge dispatch of plug-in vehicles based on variable tariffs, Working Paper Sustainability and Innovation No. S3/2010, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Retrieved from <http://econstor.eu/bitstream/10419/36697/1/623961075.pdf>, 2010.
- Meseberg, Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, Bundesregierung, 2007.
- Nitsch, J. / B. Wenzel, Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland, Leitszenario 2009, Studie im Auftrag des Bundesumweltministeriums, 2009.
- NPE, Zwischenbericht der Arbeitsgruppe 3, Lade-Infrastruktur und Netzintegration der Nationalen Plattform Elektromobilität, Download www.bmvbs.de. Zugriff 2.12.2010, 2010.
- NPE, Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Download www.bmvbs.de. Zugriff 2.12.2010, 2010a.
- Pehnt, M. / Franke, B. / Hertle, H. / Kauertz, B. / Otter, P., Das Steinkohle-Kraftwerk Hamburg Moorburg und seine Alternativen, Institut für Energie- und Umweltforschung, arrhenius Institut, 2008a.

- Pehnt, M. / Scheffer, M., CO₂-Minderung durch Elektroautos. Präsentationen im Rahmen des Fachworkshops CO₂-Einsparung durch Elektromobilität und Plug-in- Hybride mit erneuerbaren Energien, 2008.
- Pehnt, Martin / Helms, H. / Lambrecht, U. / Dallinger, D. / Wietschel, M. / Heinrichs, H. / Kohrs, R. / Link, J. / Trommer, S. / Pollok, T. / Behrens, P, Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft, als Arbeitspapier Download unter www.ifeu.de, 2010.
- Pehnt, Martin / Seebach D. / Irrek, W. / Seifried, D., Umweltnutzen von Ökostrom, Vorschlag zur Berücksichtigung in Klimaschutzkonzepten, Diskussionspapier, Download www.ifeu.de. Heidelberg, Freiburg, Wuppertal, IFEU, Öko-Institut, Wuppertal Institut, Ö-Quadrat, 2008b.
- Smokers, R. / Hunter, M. / v. Baalen, J. / Snoeren, M. / Passier, G. / Rabé, E. / Hensema, A. / Bleuanus, S. / Schnettler, A. / Brelie, B. S.-v. d. / Dederichs, T. / Pollok, T. / Szczechowicz, E. / Wilde H.D. / Uyterlinde, M. / Bunzeck, I., RETRANS, Opportunities for the Use of Renewable Energy in Road Transport, Policy Makers Report, im Auftrag der International Energy Agency, TNO - Science and Industry, RWTH - Institute for High Voltage Technology, ECN - Policy Studies, 2010.
- Trade_Wind, Trade Wind, Integrating Wind, Developing Europe's power market for the large-scale integration of wind power, Studie im Rahmen von Intelligent Energy, Kopenhagen, Sintef Energiforskning ASRisø– DTU, 3E, Kema Nederland BV, Technical Research Centre of Finland (VTT), Garrad Hassan and Partners Ltd, Tractebel Engineering, Deutsche Energie-Agentur (dena), 2009.
- Ubitricity, Einfach überall Strom tanken, www.ubitricity.de, Zugriff 2.11.2010.
- Wawer, T., Förderung erneuerbarer Energien im liberalisierten deutschen Strommarkt, Münster, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 2007.
- Wietschel, M. / Dallinger, D. / Peyrat, B. / Noack, J. / Tübke, J. / Schnettler, A, Marktwirtschaftliche Analysen für Plug-In-Hybrid Fahrzeugkonzepte, Studie im Auftrag der RWE Energy AG, 2008.