

# Elektromobilität als CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoption

## Ergebnisse einer aktuellen EWI-Studie

**Das Interesse an Elektrofahrzeugen im Pkw-Segment ist in erster Linie energie- und umweltpolitisch motiviert: Die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs verspricht zum einen eine Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Verkehrssektor. Zum anderen soll die Abhängigkeit von Erdöl reduziert werden. Der potenzielle klimapolitische Nutzen der Elektromobilität muss bewertet und den Kosten gegenübergestellt werden.**

VON JAN RICHTER UND PD. DR. DIETMAR LINDENBERGER

Die aktuelle Studie „Potenziale der Elektromobilität bis 2050 – eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration“ des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln (EWI) hat sich unter anderem mit dem CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial und mit den Kosten der Elektromobilität beschäftigt. Der vorliegende Artikel beruht auf Ergebnissen dieser Studie. Alle genannten Zahlenwerte resultieren aus einer Vielzahl von Annahmen oder aus Ergebnissen von computergestützten Modellrechnungen. Für eine vollständige Auflistung und Diskussion dieser Annahmen wird auf die Studie verwiesen. Die Studie kann auf Anfrage bezogen werden.

### Wie viel CO<sub>2</sub> kann durch Elektrofahrzeuge eingespart werden?

Üblicherweise berechnet man die CO<sub>2</sub>-Einsparungen eines Elektrofahrzeugs, indem man es mit einem gleichwertigen Benzin- oder Dieselfahrzeug vergleicht. Auf Basis der Verbrauchswerte der Fahrzeuge und des CO<sub>2</sub>-Gehalts von Benzin und Diesel (gCO<sub>2</sub>/l) sowie des elektrischen Stroms (gCO<sub>2</sub>/kWh) kann man so für beide Fahrzeuge die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilometer bestimmen. Hinzugerechnet werden außerdem die Emissionen, die im Vorfeld bereits angefallen sind (zum Beispiel bei der Raffinierung von Erdöl, bei der Produktion von Benzin, beim Transport des Benzins zur Tankstelle, beim Transport der zu verstromenden Primärenergieträger zum Kraftwerk). Daraus resultieren die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fahrzeuge „von der Quelle bis zur Straße“ („Well-to-Wheel“-Emissionen) in der Einheit Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilometer. In Abhängigkeit einer unterstellten jährlichen Fahrleistung wird dann über die Differenz der spezifischen Emissionen die jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung pro Fahrzeug berechnet.

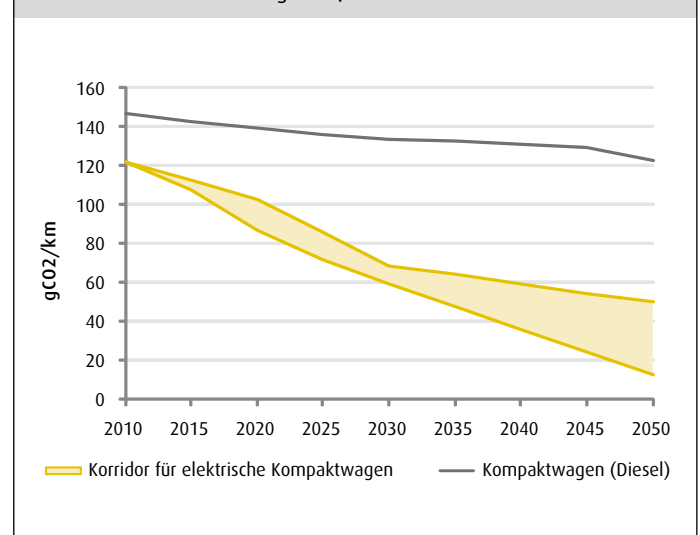
Bei dieser Vorgehensweise kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass ein elektrisches Fahrzeug der Kompaktklasse rund 75 Prozent der CO<sub>2</sub>-Menge eines vergleichbaren Benzinfahrzeugs emittieren würde. Dabei wurde der heutige deutsche Strommix zugrunde gelegt. Bis zum Jahr 2020 kann dieser Wert abhängig vom Ausbau erneuerbarer

Energien gemäß den Modellrechnungen auf etwa 60 Prozent sinken; langfristig ist nahezu emissionsfreies Fahren möglich (Abbildung 1). Die Einsparung hängt zu einem bedeutenden Anteil davon ab, welche CO<sub>2</sub>-Bilanz für den zugrunde gelegten Strommix unterstellt wird.

### Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz durch Laden der Batterien mit regenerativ erzeugtem Strom?

Es ist denkbar, vollständig CO<sub>2</sub>-frei erzeugten Strom anstelle des Durchschnittstroms zu tanken, beispielsweise Ökostromprodukte, wie sie auch für private Haushalte heute erhältlich sind. Dieses Konzept wird häufig gefordert, teilweise bereits umgesetzt und vieles deutet darauf hin, dass es in Zukunft sogar den Standardfall darstellen könnte. Ob und wie sich durch Fahrstrom aus rein erneuerbaren Energien die CO<sub>2</sub>-Bilanz verbessert, hängt davon ab, ob und in welchem Maße dieser Ökostrom für die Elektrofahrzeuge zusätzlich zu dem bereits vorhandenen regenerativen Strom im Gesamtsystem bereitgestellt wird oder nicht.

**Abb. 1** Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen eines elektrischen und eines Diesel-Kompaktwagens bis 2050. Der Korridor für das elektrische Fahrzeug ergibt sich aus verschiedenen Ausbaupfaden erneuerbarer Energien. Quelle: Autor



Im Folgenden werden beispielhaft zwei denkbare Ökostromprodukte betrachtet, welche die Diskussion verdeutlichen sollen.

### Ökostromprodukte mit verschiedenen Wirkungen

Variante A: Der Verkäufer des Ökostroms besitzt selbst keine Kapazitäten zur Erzeugung regenerativen Stroms. Er erzeugt ausschließlich auf Steinkohlebasis. Er hat aber die Möglichkeit, Grünstromzertifikate zu erwerben, die von dem Betreiber eines Wasserkraftwerks in Nordeuropa verkauft werden. Der Betreiber des Wasserkraftwerks muss dann umgekehrt den von ihm mit Wasserkraft erzeugten Strom als Strom auf Steinkohlebasis deklarieren.

Dieser „virtuelle“ Tausch der Erzeugungstechnologie hat im gesamten europäischen Stromerzeugungssystem keinen ökologischen Effekt: die regenerativ erzeugte Strommenge bleibt dieselbe.<sup>1</sup>

Variante B: Der Verkäufer des Ökostroms deckt die Nachfrage seiner Kunden mit Strom, der aus Anlagen stammt, die als Reaktion auf die Nachfrage nach Ökostrom neu errichtet wurden. Diese wären ohne die Nachfrage nach Ökostrom nicht gebaut worden. Der mit diesen Anlagen erzeugte Strom ist also zusätzlicher Strom, der den Anteil regenerativ erzeugten Stroms in Europa erhöht. Dieser Strom darf dementsprechend nicht durch das EEG gefördert werden.

### Die CO<sub>2</sub>-Ersparnis kann sich erheblich unterscheiden

Diese oben beispielhaft entworfenen Ökostromprodukte stellen zwei theoretische Extremfälle dar, zwei Pole, zwischen denen sich andere Ökostromprodukte ansiedeln. Für die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Elektrofahrzeuge bedeutet dies: Bei Bezug von Ökostromprodukt A sind die CO<sub>2</sub>-Einsparungen genauso hoch wie in dem zu Beginn diskutierten Fall, wo der deutsche Strommix als Berechnungsgrundlage herangezogen wurde. Bei Bezug von Stromprodukt B werden alle Emissionen eingespart – wenn man annimmt, dass der verwendete regenerative Strom keine vorgelagerten Emissionen verursacht hat. Der Bezug von Ökostrom kann, muss aber nicht notwendigerweise die vollständige Einsparung der Menge CO<sub>2</sub>, die ein Benzin- oder Dieselfahrzeug alternativ emittiert hätte, bewirken.

### Genauere CO<sub>2</sub>-Einsparung mittelfristig schwer kalkulierbar

Wie bereits dargestellt, hängt das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial der Elektrofahrzeuge beim Laden der Batterien mit Durchschnittsstrom von der zukünftigen CO<sub>2</sub>-Intensität der Stromerzeugung ab. Diese CO<sub>2</sub>-Intensität lässt sich heute lediglich schätzen.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Bilanz entsteht dadurch, dass sich die durchschnittliche Zusammensetzung des deutschen Stroms durch die Markteinführung von Elektrofahrzeugen verändern könnte.

[1] Dieses Produkt kann aufgrund unterschiedlicher Zahlungsbereitschaften skandinavischer und deutscher Stromkunden für regenerativ erzeugten Strom oder aufgrund wenig transparenter Information funktionieren: Die Deklaration von Strom aus Wasserkraft als Steinkohlestrom geschieht weniger offensichtlich als das Bewerben von Ökostrom.

### Ladeverhalten der Fahrzeugflotte hat potenziell Rückwirkungen auf den Strommix

Im Prinzip kann ein einfacher Mechanismus zu solch einer Änderung führen: Nachts ist die Stromnachfrage geringer als am Tag. Werden die Fahrzeuge nachts geladen, so gleichen sich die Lastniveaus von Tages- und Nachtstunden durch die zusätzliche Stromnachfrage an. Dies kann Kraftwerke der Grundlast (zum Beispiel Kernkraftwerke) begünstigen und Kraftwerke der Spitzenlast (zum Beispiel Gaskraftwerke) entbehrllich machen – eine Verschiebung der Erzeugungsstruktur zugunsten CO<sub>2</sub>-armer Technologien wäre in diesem Beispiel die Folge. Trotz erhöhter Stromnachfrage wäre es dann möglich, dass die Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stromerzeugungssektors sinken, so dass man den Elektrofahrzeugen mindestens CO<sub>2</sub>-Neutralität bescheinigen müsste. Weiter wäre die tatsächliche CO<sub>2</sub>-Intensität der Stromerzeugung für die Berechnung der Einsparung nicht relevant – lediglich die durch die elektrischen Fahrzeuge induzierte Änderung der CO<sub>2</sub>-Intensität ginge in die Rechnung ein.

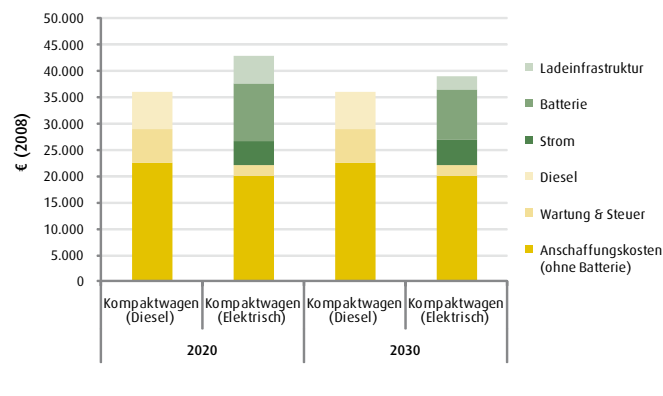
Die umfangreichen modellbasierten Simulationen des Stromerzeugungssektors im Rahmen der EWI-Studie zur Elektromobilität haben allerdings gezeigt, dass die durch die Elektrofahrzeuge induzierte Veränderung des Stromerzeugungsmixes gering ist – so gering, dass sie vernachlässigt werden kann. Die zu Beginn skizzierte Methode zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen, die auf dem deutschen Durchschnittsstrom beruhte, kann also gemäß der Modellergebnisse näherungsweise verwendet werden.

### Wechselwirkung mit dem Emissionshandel

Einen deutlich bedeutsameren Einfluss auf die gesamte CO<sub>2</sub>-Bilanz hat allerdings die weitere Ausgestaltung des CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandels. Im Rahmen des Emissionshandelssystems wird den Wirtschaftssektoren der Stromerzeugung und der energieintensiven Industrie derzeit europaweit eine Obermenge (der „CO<sub>2</sub>-Cap“) an CO<sub>2</sub>-Emissionen vorgegeben, die nicht überschritten werden darf. Die bisher hier getroffenen Aussagen basieren auf dem Gedanken, dass dieser CO<sub>2</sub>-Cap proportional zur erhöhten Stromnachfrage steigt. Doch es ist denkbar, dass der Emissionshandel in Zukunft anders ausgestaltet wird. So wäre es theoretisch möglich, die Menge an CO<sub>2</sub>-Zertifikaten zukünftig unabhängig von der Anzahl der Elektrofahrzeuge in Europa festzulegen. Dies würde dazu führen, dass bei Substitution eines konventionellen Fahrzeugs durch ein Elektrofahrzeug Emissionen im Verkehrssektor eingespart würden, während die Emissionen im CO<sub>2</sub>-Handelssystem konstant blieben – alle Emissionen würden also eingespart.

Dieses Argument ist sehr theoretisch. Eine praktische Umsetzung ist kaum denkbar. Es verdeutlicht aber eine weitere Schwierigkeit bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparung: Es ist nicht abzusehen, ob und wenn ja welchen Einfluss ein wachsender Marktanteil der Elektrofahrzeuge auf das CO<sub>2</sub>-Handelssystem hat. Die Verschiebung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Handelssektor könnte beispielsweise mittel- bis langfristig eine Argumentation seitens der dem Emissionshandel

**Abb. 2** Kostenkomponenten eines elektrischen und eines Diesel-Kompaktwagens für die Jahre 2020 und 2030 (vereinfachte Darstellung). Alle Kostenblöcke sind als diskontierte Summe über zehn Jahre dargestellt. Quelle: Autor



unterworfenen Industriezweige unterstützen, die eine Anhebung des CO<sub>2</sub>-Mengencaps und eine stärkere CO<sub>2</sub>-Vermeidung im Verkehrssektor fordern könnten.

Als Zwischenergebnis lässt sich festhalten, dass Elektrofahrzeuge in keinem Fall zu Mehrmissionen gegenüber konventionellen PkW führen. Die sich abzeichnende Tendenz, dass vorzugsweise Ökostrom als Fahrstrom eingesetzt werden wird, deutet darauf hin, dass sich zukünftig erhebliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen realisieren lassen. Elektrofahrzeuge stellen also grundsätzlich eine CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoption dar. Ob es sinnvoll ist, diese Option zu ziehen, hängt von den entsprechenden Kosten ab. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass im Regelfall konventionelle Fahrzeuge bis auf Weiteres die kostengünstigere Alternative bleiben – CO<sub>2</sub>-Vermeidung mit Elektrofahrzeugen ist also nicht gratis.

### Elektrofahrzeuge bleiben mittelfristig teuer

Das in der Studie untersuchte Referenzfahrzeug aus der Kompaktklasse ist beispielsweise im Jahr 2020 immer noch rund 2.400 Euro teurer als ein vergleichbares Benzinfahrzeug (vgl. Abb. 2). Jegliche Form von Ladeinfrastruktur ist dabei noch nicht mitgerechnet: für eine private Ladesäule in der eigenen Garage, die die Fahrzeugbatterie in etwa drei Stunden vollständig laden kann, fallen weitere 2.000 Euro an. Möchte man sein Fahrzeug auch im öffentlichen Bereich laden, beispielsweise in Parkhäusern, so kostet das im Durchschnitt weitere 340 Euro pro Jahr. Bei einer unterstellten Fahrzeuglebensdauer von zehn Jahren entstehen so insgesamt Mehrkosten von 5.400 Euro.<sup>2</sup>

### Eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020?

Um trotz der auf absehbare Zeit höheren Kosten der Elektromobilität das politische Ziel von einer Million Fahrzeugen im Jahr 2020 zu

[2] Hier wurde zur Vereinfachung rückwärts vorgegangen: die diskontierte Summe der jährlichen Zahlungen für öffentliche Ladeinfrastruktur beträgt 3.400 Euro. Zur besseren Lesbarkeit wurde mit „340 Euro pro Jahr“ gerechnet, so dass die Diskontierung in den Ausführungen hier nicht auftaucht.

erreichen, wären entsprechende Subventionen erforderlich. Für den in der Studie definierten Referenz-Autofahrer wären im Falle eines Kompaktwagens etwa 7400 Euro erforderlich, damit im Jahr 2020 Kostengleichheit hergestellt ist. Derselbe Effekt wird erzielt, wenn der Autofahrer an jedem Arbeitstag eine Gebühr in Höhe von 4 Euro einspart. Denkbar wären Parkgebühren oder eine Citymaut. Für spezielle Fahrprofile ist die Wirtschaftlichkeit weniger weit entfernt: Für einen Berufspendler mit einer einfachen Entfernung zum Arbeitsplatz von 50 Kilometern würde sich der elektrische Kompaktwagen lohnen, wenn er an jedem Arbeitstag gegenüber dem konventionellen Fahrzeug etwa einen Euro an Gebühren spart.

### Fazit

Die obigen Ausführungen haben zweierlei gezeigt. Auch wenn es mittelfristig nicht möglich ist, das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial genau festzulegen, so zeigt sich, dass Elektrofahrzeuge tatsächlich eine wichtige technische Voraussetzung dafür bieten, die CO<sub>2</sub>-Emissionen langfristig zu reduzieren. Sie stellen eine bedeutende Möglichkeit dar, den Individualverkehr zu entkarbonisieren. Besonders groß ist dieses Potenzial dann, wenn es gelungen ist, Strom CO<sub>2</sub> frei zu erzeugen – im Optimalfall also 2050. Dann lassen sich sämtliche Emissionen eines konventionellen Fahrzeugs einsparen, indem man es gegen ein Elektrisches eintauscht.

Es wurde keine Aussage darüber getroffen, ob Elektrofahrzeuge im Vergleich zu anderen CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoptionen eine besonders günstige oder eine besonders teure CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoption darstellen. Dies ist der isolierten Betrachtung geschuldet. Festzuhalten bleibt aber, dass diese CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoption mittelfristig einen Preis hat, der nicht unerheblich und für einen Massenmarkt möglicherweise zu hoch ist. ■

## zur Person

### Jan Richter

- Jahrgang 1982
- Studium der Mathematik und der Volkswirtschaftslehre in Münster
- seit 2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität zu Köln (EWI)



### PD. Dr. Dietmar Lindenberger

- Studium der Physik in Würzburg und Albany, U.S.A., Promotion in Wirtschaftswissenschaften, TU Karlsruhe
- 2005 Habilitation an der WiSo-Fakultät der Universität zu Köln
- seit 2009 Direktor für Anwendungsforschung am Energiewirtschaftlichen Institut (EWI)

