

## Zukunft Elektromobilität? Potenziale und Umweltauswirkungen

Eine Million Elektrofahrzeuge soll es bis zum Jahr 2020 auf dem deutschen Markt geben. Dieses Ziel hat die Bundesregierung im „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ im August 2009 formuliert und deshalb verschiedene Förderprogramme aufgelegt.

Noch sind zahlreiche Fragen nach Umwelt- und Klimanutzen, aber auch nach Marktpotenzialen und Nutzerakzeptanz der Elektromobilität offen. Das Öko-Institut hat in verschiedenen Projekten zu diesen und weiteren Aspekten geforscht und stellt die wichtigsten Ergebnisse zur privaten und gewerblichen Nutzung von Elektrofahrzeugen sowie hinsichtlich der Ressourceneffizienz in diesem Papier vor.

### Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin

### Öffentlichkeit & Kommunikation

Mandy Schoßig

Telefon +49 30 405085-334

E-Mail: m.schoßig@oeko.de

### *Forschungsfrage: Akzeptanz und private Nutzung*

#### **Welche Potenziale haben Elektrofahrzeuge bei privaten Nutzerinnen und Nutzern<sup>1</sup>?**

Im Jahr 2020 würden sich etwa zwei Drittel der Neuwagenkäufer für ein Elektrofahrzeug (batterieelektrisches Fahrzeug oder einen Plug-In-Hybrid-Pkw) entscheiden. Dies ergab die Simulation des Autokaufs im Rahmen einer Befragung von mehr als 1.500 Neuwagenkäufern, die das Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) durchgeführt hat. Je nach Fahrzeugklasse würden 12 bis 25 Prozent der Befragten ein rein elektrisches Fahrzeug wählen. Die Befragung zeigte: Je kleiner das gewünschte Auto, umso mehr Personen entscheiden sich für die elektrische Variante (Minis: 25 Prozent, Kleinwagen: 20 Prozent, Kompaktklasse/Vans: circa 12 Prozent). Bis zum Jahr 2030 steigt die Akzeptanz auch bei den größeren Klassen – der Grund: technischer Fortschritt und sinkende Preise.

Elektrofahrzeuge erfüllen die alltäglichen Anforderungen an die Pkw-Nutzung für die meisten Nutzer. Größter Dämpfer für den Neukauf eines batterieelektrischen Pkw ist seine auf circa 160 Kilometer begrenzte Reichweite. Das bedeutet: Für Sonderfahrten, wie Urlaube oder Wochenendausflüge, die durchschnittlich zwölfmal (jeweils sechs Hin- und Rückfahrten) im Jahr absolviert werden, reicht das Elektrofahrzeug nicht aus. Für die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen sind daher alternative Mobilitätsoptionen für die „langen Fahrten“ – etwa die Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln oder eines Mietwagens – entscheidend.

### *Forschungsfrage: Marktpotenzial und Stromnachfrage*

#### **Wie viele Elektrofahrzeuge sind bis 2020 / 2030 realistisch und welche Auswirkungen hat dies auf die Stromnachfrage?**

Auf Deutschlands Straßen könnten im Jahr 2030 bis zu sechs Millionen Elektrofahrzeuge unterwegs sein. Im Jahr 2020 sind etwa eine halbe Million elektrische Fahrzeuge auf dem deutschen Markt denkbar – das entspricht etwa 1,3 Prozent aller Pkw in Deutschland. Die Millionenmarke könnte nach den Modellierungen des Öko-Instituts 2022 überschritten werden. Der überwiegende Anteil der Elektrofahrzeuge werden Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge sein. Bis zum Jahr 2030 könnten knapp sechs Millionen Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu sehen sein. Obwohl ihr Anteil am Pkw-Bestand damit bis zum Jahr 2030 auf 14 Prozent zunimmt, beträgt der elektrisch zurückgelegte Anteil an der Gesamtfahrleistung – also die Anzahl der gefahrenen Kilometer – nur 0,8 Prozent im Jahr 2020 und acht Prozent im Jahr 2030. Der Grund ist, dass batterieelektrische Fahrzeuge mit 8.000 Kilometern im Jahr rund 40 Prozent weniger fah-

<sup>1</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit werden für Bezeichnungen, für die es sowohl eine weibliche als auch eine männliche Schreibweise gibt, in der maskulinen Form verwendet. Selbstverständlich beziehen wir uns immer auf beide Geschlechter und bitten für diese Verkürzung um Verständnis.

ren als konventionelle Pkw. Auch die Plug-In-Hybriden bewältigen nur zwei Drittel ihrer Fahrleistung im elektrischen Modus.

Durch die Elektromobilität entsteht im Jahr 2030 eine zusätzliche Stromnachfrage von etwa elf Terawattstunden (TWh). Dies entspricht etwa zwei Prozent des heutigen Gesamtstromverbrauchs in Deutschland. Ohne eine Steuerung der Batterieladung entstehen für die Stromerzeugung ungünstige zusätzliche Nachfragespitzen zu Uhrzeiten, in denen ohnehin viel Strom gebraucht wird. Um hohe Nachfragepeaks und damit den Einsatz teurer Spitzenlastkraftwerke zu vermeiden, müsste ein Lademanagement die Batterieladung auf kostengünstigere Zeiträume mit geringerer Nachfrage oder mit hoher Windeinspeisung verschieben. Dies bedeutet aber auch, dass so CO<sub>2</sub>-intensive, klimaschädliche Kohlekraftwerke verstärkt zum Einsatz kommen, die für die Grundversorgung in Deutschland – insbesondere nachts – aktiv werden. In den Modellrechnungen für 2030 käme der für die Autos zusätzlich produzierte Strom dann zu 40 Prozent aus Braunkohle-, zu 35 Prozent aus Steinkohle- und zu 5 Prozent aus Erdgaskraftwerken. Knapp 20 Prozent des Fahrstroms könnten aus erneuerbaren Energien stammen, die vorher nicht nutzbar waren.

*Forschungsfrage: Klimaschutz*

### **Welchen Beitrag kann die Elektromobilität zum Klimaschutz leisten?**

Wenn der Anteil erneuerbarer Energien in Zukunft weiter steigt, liegt nahe, dass es immer mehr Situationen geben wird, in denen mehr Wind weht, als gerade gebraucht wird. Diese zunächst nicht nutzbare erneuerbare Energie wäre überschüssig. Könnten die Elektrofahrzeuge genau in diesen Situationen laden, wäre dies eine besonders effiziente Möglichkeit, mit erneuerbarem Strom Auto zu fahren. In den Modellrechnungen des Öko-Instituts reichen jedoch bis 2030 die überschüssigen erneuerbaren Energien nicht aus, um den zusätzlichen Strombedarf von Elektrofahrzeugen zu decken. Ohne einen zusätzlichen Ausbau von erneuerbaren Energien würde die CO<sub>2</sub>-Intensität des Stroms, der für die Elektromobilität zusätzlich produziert werden muss, deshalb weit über dem Durchschnittswert des deutschen Strommixes liegen (siehe oben).

Zeitgleich mit dem Ausbau der Elektromobilität müssen deshalb zusätzlich zu den bestehenden Ausbauplänen der Bundesregierung für erneuerbare Energien weitere Stromerzeugungsanlagen aus Sonne, Wind und Wasser gebaut werden. Nur dann wäre der Strom, den Elektroautos zum Fahren benötigen, emissionsfrei. Unter diesen Bedingungen können mit der Elektromobilität im Jahr 2020 0,6 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden. Im Jahr 2030 wären es bereits 5,2 Millionen Tonnen – verglichen mit einem Szenario ohne Elektrofahrzeuge. Dies entspricht einer Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs von 0,6 Prozent bis 2020 bzw. sechs Prozent bis 2030.

Kurz- bis mittelfristig liegt das größte Klimaschutzpotenzial weiterhin bei den konventionellen Pkw: Steigt ihre Effizienz wie erwartet, können bis 2030 rund ein Viertel der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Bestands eingespart werden.

*Forschungsfrage: Ressourcenbedarf*

### **Wie verändert sich der globale Ressourcenbedarf durch die Elektromobilität?**

Der Ausbau der Elektromobilität in Deutschland wird erhebliche Konsequenzen auf den Ressourcenbedarf wichtiger und zum Teil kritischer, das heißt seltener, Metalle haben. Für einige der Metalle, die besonders wichtig für Herstellung von Elektroautos sind, kann es dabei zu Engpässen kommen. Dies betrifft Kupfer für den gesamten Herstellungsprozess, Lithium und Kobalt für die Batterieproduktion, Seltene Erden wie Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium für die Elektromotoren sowie Indium, Gallium, Germanium, Gold, Silber, Platin und Palladium für die übrigen Komponenten wie Leistungselektronik. Am markantesten zeigte sich der Anstieg bei Dysprosium: Ohne Gegenmaßnahmen benötigt allein die Elektromobilität im Jahre 2030 482 Prozent mehr des Metalls, verglichen mit dem was heute gefördert wird.

Zusätzlich konkurriert die Elektromobilität mit Anwendungen für die seltenen Metalle wie zum Beispiel mit Windkraftanlagen, für die Dysprosium für die Herstellung von Neodym-Eisen-Bor-Magneten benötigt wird. Gallium, ebenfalls besonders relevant, kommt neben der Elektromobilität auch in der Photovoltaik oder in LEDs zum Einsatz.

*Forschungsfrage: Ressourceneffizienz und Recycling*

### **Welche Strategien sind für die Lösung möglicher Ressourcenengpässe erforderlich?**

Um mittel- und langfristig Versorgungsengpässe einzudämmen, braucht es zwei wesentliche Strategien: Zum einen müssen Ressourcen effizienter eingesetzt werden und wo möglich durch andere Technologien ersetzt werden. So sollten beispielsweise Motorentypen ohne den Einsatz Seltener Erden weiterentwickelt und zur Marktreife geführt werden.

Zum anderen müssen jetzt Recyclingstrategien für Seltene Erden und andere kritische Metalle entwickelt werden, um auf lange Frist Verknappungen zu vermeiden. Während für Kupfer und Edelmetalle etablierte Recyclingkreisläufe bestehen, müssen für die Spezialmetalle wie Seltene Erden, Indium und andere Anstrengungen für die Forschung und Entwicklung entsprechender Recyclingkreisläufe erfolgen.

Darüber hinaus ist es unerlässlich, neue Lagerstätten vor allem von Seltene Erden zu erkunden und zu erschließen, um kritische Situationen wie durch eine nahezu ausschließliche Förderung in einem Land zu vermeiden. Diese Lagerstätten sollten mit umweltfreundlichen Förderstandards erschlossen und betrieben werden, um Umweltschäden insbesondere bei der Gewinnung Seltener Erden einzudämmen.

*Forschungsfrage: Einsatz von Elektrofahrzeugen in Unternehmen*

### **Welche Potenziale hat die Elektromobilität für die gewerbliche Nutzung bzw. als Dienstwagen?**

In zwei konkreten Begleitforschungsprojekten mit Befragungen und der Auswertung realer Fahrdaten untersuchte das Öko-Institut die Potenziale für die gewerbliche Nutzung von Elektrofahrzeugen. Die Ergebnisse zeigen: Die Akzeptanz in Unternehmen steigt und Umwelteigenschaften spielen bei der Beschaffung von Flottenfahrzeugen eine wachsende Rolle.

#### **Service- und Flottenfahrzeuge – wachsende Akzeptanz**

Die Umwelteigenschaften gewinnen bei der Fahrzeugbeschaffung in Unternehmen zunehmend an Bedeutung – dies zeigt die Befragung von rund 30 gewerblichen Flottenbetreibern. Etwa ein Fünftel der Befragten wäre bereit, dafür Zusatzkosten zwischen zehn und 20 Prozent einzuplanen. Dennoch bleiben die Gesamtkosten der Fahrzeuge wesentliches Beschaffungskriterium.

Liegen die Gesamtkosten – die Summe aus Investitions- und Betriebskosten – für batterieelektrische Fahrzeuge heute noch um etwa die Hälfte höher als für konventionelle Pkw, sinken diese in den kommenden zwei Jahrzehnten stetig. Im Jahr 2030 haben Elektrofahrzeuge in den meisten Fahrzeugklassen sogar einen Kostenvorteil gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Bei einer Jahresfahrleistung von rund 13.000 Kilometern im gewerblichen Bereich wirken sich die günstigeren Betriebskosten von Elektrofahrzeugen besonders vorteilhaft aus.

Im Optimalfall, das heißt bei emissionsfreier Stromerzeugung aus zusätzlichen erneuerbaren Energien, könnten knapp eine Million batterieelektrische Fahrzeuge im Jahr 2030 die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Bestands um knapp 0,75 Millionen Tonnen (oder ein Prozent) verringern. Etwa 14 Prozent der elektrischen Fahrzeuge würde in gewerblichen Flotten zum Einsatz kommen.

## Dienstwagen – Potenziale für den Klimaschutz

Ein Fünftel der Dienstwagennutzer der SAP AG würden ein Elektrofahrzeug wählen – dies ergab die Befragung der am Projekt Future Fleet teilnehmenden Mitarbeiter. Ein halbes Jahr, 500 Mitarbeiter, 27 elektrische Pkw, 90.000 zurückgelegte Kilometer. Die grundsätzliche Akzeptanz von Elektrofahrzeugen als Dienstwagen ist vorhanden, die Vorstellungen bzw. Erwartungen an die Reichweite, Ladedauer und Anschaffungspreis sind jedoch noch wenig realistisch. So wären nur ein Viertel der Befragten bereit, mehr als für einen konventionellen Pkw zu bezahlen, rund 66 Prozent erwarten eine Reichweite von über 200 Kilometer und knapp die Hälfte fordert eine Vollladung der Batterie innerhalb einer Stunde.

Im Feldversuch vermieden die Teilnehmer insgesamt rund ein Fünftel der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die mit benzinbetriebenen Fahrzeugen entstanden wären. Würde die SAP AG ihre Dienstwagenflotte bis 2030 mit Plug-In-Hybridfahrzeugen ausrüsten, könnten diese insgesamt knapp 50 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren. Auf Deutschland hochgerechnet könnten Elektrodienstwagen bis 2030 im Vergleich zu rein benzingetriebenen Pkw-Flotten etwa 40 Prozent der in diesem Bereich entstehenden Treibhausgasemissionen vermeiden.

## Informationen zu den Forschungsprojekten – Ansätze und Methodik

### OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen – Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft

Das Projekt OPTUM untersuchte in Kooperation mit dem Institut für sozialökologische Forschung (ISOE), wie Elektrofahrzeuge einen möglichst hohen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland leisten können. Das Forschungsvorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

#### *Forschungsmethoden:*

ISOE und Öko-Institut simulierten durch eine Befragung von rund 1.500 Personen den Neukauf eines Pkw und berücksichtigten dabei acht wichtige Faktoren wie Fahrzeugeigenschaften und -typen, Anschaffungskosten, Kraftstoffkosten etc. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler kombinierten diese Analysen mit den Daten der Verkehrserhebung „Mobilität in Deutschland“, die 77.000 Personen aus 26.000 Haushalten nach ihrem alltäglichen Fahrverhalten befragt.

Mit Hilfe dieser Informationen zu Akzeptanz und Verkehrsverhalten entwickelten die Expertinnen und Experten unter Mitwirkung eines Stakeholder-Kreises aus Industrie-, Politik- und Umweltverbandsvertretern ein Szenario zur Marktdurchdringung von Elektromobilität in Deutschland bis zum Jahr 2030. Das Strommarktmodell PowerFlex des Öko-Instituts bestimmte schließlich auf Grundlage stündlich aufgelöster Stromnachfrageprofile die Auswirkungen auf den Strommarkt und die CO<sub>2</sub>-Bilanz für elektrisch betriebenen Fahrzeuge.

[Link zur Studie OPTUM](#)

### OPTUM Ressourcen: Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität

Die Studie, die im Rahmen des Projektes OPTUM erstellt wurde, untersucht die ressourcenpolitischen Aspekte der Elektromobilität. Ziel des gemeinsamen Projektes von Öko-Institut, Daimler AG, Umicore und der TU Clausthal war es, Engpässe und mögliche Schwachstellen bei den für die Elektromobilität benötigten Ressourcen zu identifizieren und frühzeitig Lösungsstrategien wie Recycling zu entwickeln.

#### *Forschungsmethoden:*

Für die Berechnung in verschiedenen Szenarien – Innovationsszenario, Recyclingszenario, Substitutionsszenario – setzte das Öko-Institut auf den globalen Marktszenarien von McKinsey 2009 für die Entwicklung der Elektromobilität auf. Diese wurden verknüpft

mit differenzierten Mengendaten der prioritären Metalle zu den wesentlichen Komponenten der unterschiedlichen Antriebstypen (Hybrid-, Plug-In-, Range-Extender-, Batterieelektrisches-, Brennstoffzellen-Fahrzeug) der Elektromobilität. Das Projektteam diskutierte die ausgewerteten Daten für den spezifischen Rohstoffbedarf der jeweiligen Komponenten mit externen Experten in Fach-Workshops.

[Link zur Studie OPTUM Ressourcen](#)

### **E-Mobility: Betrachtung der Umweltentlastungspotenziale durch den verstärkten Einsatz von kleinen, batterieelektrischen Fahrzeugen**

Mit Unterstützung der Daimler AG untersucht das Öko-Institut die Nutzungsmuster und Marktpotenziale von elektrischen Kleinwagen für die private und gewerbliche Nutzung. Das Projekt wurde gefördert vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

#### *Forschungsmethoden:*

Das Öko-Institut wertete die Daten realer Fahrprofile von Pkw für den privaten („Mobilität in Deutschland 2008“ – siehe OPTUM) und gewerblichen („Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002“) Gebrauch aus, um mögliche Einsatzbereiche von batterieelektrischen Fahrzeugen zu bestimmen. Die Ergebnisse einer Befragung von über 30 gewerblichen Flottenbetreibern zu ihren Fuhrparks und Beschaffungskriterien sowie die empirischen Ergebnisse aus dem Flottenversuch „E-Mobility Berlin“ zum realen Nutzerverhalten bildeten die Grundlage für die Bewertung der zukünftigen Akzeptanz von Elektrofahrzeugen. Für die gewerbliche Anwendung entwickelten die Forscher ein Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Pkw im Verlauf der Zeit. Aus der Kombination dieser Teilaspekte leiteten sie ein Marktszenario für den Zeitraum 2010 bis 2030 ab und berechneten die Effekte auf den Strommarkt und die CO<sub>2</sub>-Bilanz der gewerblich genutzten Elektromobilität.

[Link zur Studie E-Mobility](#)

### **Future Fleet: CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale durch den Einsatz von elektrischen Fahrzeugen in Dienstwagenflotten**

Am Beispiel von 27 batterieelektrischen Pkw in der Pkw-Flotte des Softwareentwicklers SAP erforschte das Öko-Institut in Kooperation mit dem ISOE, der Hochschule Mannheim und dem Energieversorger MVV die Potenziale von Elektrofahrzeugen als Dienstwagen. Die Untersuchung wurde gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

#### *Forschungsmethoden:*

Das Öko-Institut wertete die in einem Feldversuch der SAP AG automatisch registrierte Nutzungs- und Ladedaten der eingesetzten Elektrofahrzeuge aus. Zusammen mit den Daten aus einer Befragung der Testteilnehmer zum eigenen Verkehrsverhalten und zur Nutzung der Elektrofahrzeuge nutzten sie diese Realdaten, um die Potenziale der Elektromobilität zum Einsatz als Dienstwagen und deren Einfluss auf den Treibhausgasausstoß zu bestimmen. Dabei ermittelten sie Daten für das Unternehmen der SAP AG und rechneten diese für Deutschland hoch.

[Link zur Studie Future Fleet](#)

[Weitere Informationen finden Sie in der Broschüre „Autos unter Strom“ des Öko-Instituts, erstellt im Rahmen des Projektes OPTUM.](#)

## Kontakt beim Öko-Institut e.V.

Zu Potenzialen und der Treibhausgasbilanz von Elektromobilität:

### **Florian Hacker** und **Peter Kasten**

Wissenschaftliche Mitarbeiter im Institutsbereich Infrastruktur & Unternehmen

Öko-Institut e.V., Büro Berlin

Tel.: +49 30 405085-373 und -349

E-Mail: [f.hacker@oeko.de](mailto:f.hacker@oeko.de) und [p.kasten@oeko.de](mailto:p.kasten@oeko.de)

Zur Interaktion Elektromobilität und Strommarkt:

### **Charlotte Loreck**

Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Institutsbereich Energie & Klimaschutz

Öko-Institut e.V., Büro Berlin

Tel.: +49 30 405085-337

E-Mail: [c.loreck@oeko.de](mailto:c.loreck@oeko.de)

Zu Ressourcenaspekten von Elektromobilität:

### **Dr. Matthias Buchert**

Leiter des Institutsbereichs Infrastruktur & Unternehmen

Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt

Tel.: +49 6151 8191-147

E-Mail: [m.buchert@oeko.de](mailto:m.buchert@oeko.de)

Das Öko-Institut ist eines der europaweit führenden, unabhängigen Forschungs- und Beratungsinstitute für eine nachhaltige Zukunft. Seit der Gründung im Jahr 1977 erarbeitet das Institut Grundlagen und Strategien, wie die Vision einer nachhaltigen Entwicklung global, national und lokal umgesetzt werden kann. Das Institut ist an den Standorten Freiburg, Darmstadt und Berlin vertreten.