

<b>FuE-Programm "Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)</b>	
<b>Abschlussbericht</b>	
<b>UMBReLA - Umweltbewertung Elektromobilität Zusammenführung und Analyse der Erkenntnisse aktueller Flottenversuche der Bundesregierung</b>	
<p>Laufzeit des Vorhabens:</p> <p>vom: 01.10.2009 <span style="float: right;">bis: 30.09.2011</span></p>	
<p>Zuwendungsempfänger:</p> <p>IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH</p>	<p>Förderkennzeichen:</p> <p>16EM0040</p>



## Inhaltsverzeichnis

<b>Executive Summary .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Zielstellung des Projektes .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse.....</b>	<b>6</b>
<b>3 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan .....</b>	<b>10</b>
<b>4 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik.....</b>	<b>10</b>
<b>5 Zukunftsaussichten und weiterer F&amp;E-Bedarf .....</b>	<b>11</b>
<b>6 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).....</b>	<b>13</b>



## Executive Summary

Im Rahmen des Forschungsprojekts UMBReLA wurde eine umfassende Umweltbewertung der Elektromobilität vorgenommen. Diese stützt sich neben Literaturdaten auch auf umweltrelevante Ergebnisse aus aktuellen Forschungsprojekten, dabei insbesondere auf die in den letzten zwei Jahren mit Förderung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführten zahlreichen Feldversuche und Forschungsprojekte zur Elektromobilität.

Diese Projekte bilden durch ihren jeweils unterschiedlichen Forschungs- und Erprobungsansatz eine gute Grundlage für eine umfassende und praxisnahe Umweltbewertung der Elektromobilität. Zudem wurde eine vergleichende ökologische Betrachtung verschiedener Produktionsverfahren von Wasserstoff und dessen Nutzung in Brennstoffzellenfahrzeugen durchgeführt, um einen Systemvergleich von Elektromobilität mit Wasserstoff durchzuführen.

Die Umweltbewertung beruht auf umfangreichen Umweltbilanzen, die im Sinne eines ökobilanziellen Ansatzes den gesamten Lebensweg von Fahrzeugen abbilden. Hierfür wurde das umfassende Ökobilanzmodell eLCAr (Electric Car LCA) aufgebaut, das sowohl flexible Module für die Fahrzeug-, Batterie- und Brennstoffzellenherstellung umfasst, als auch die Nutzungsphase und Energiebereitstellungsketten differenziert abbildet.

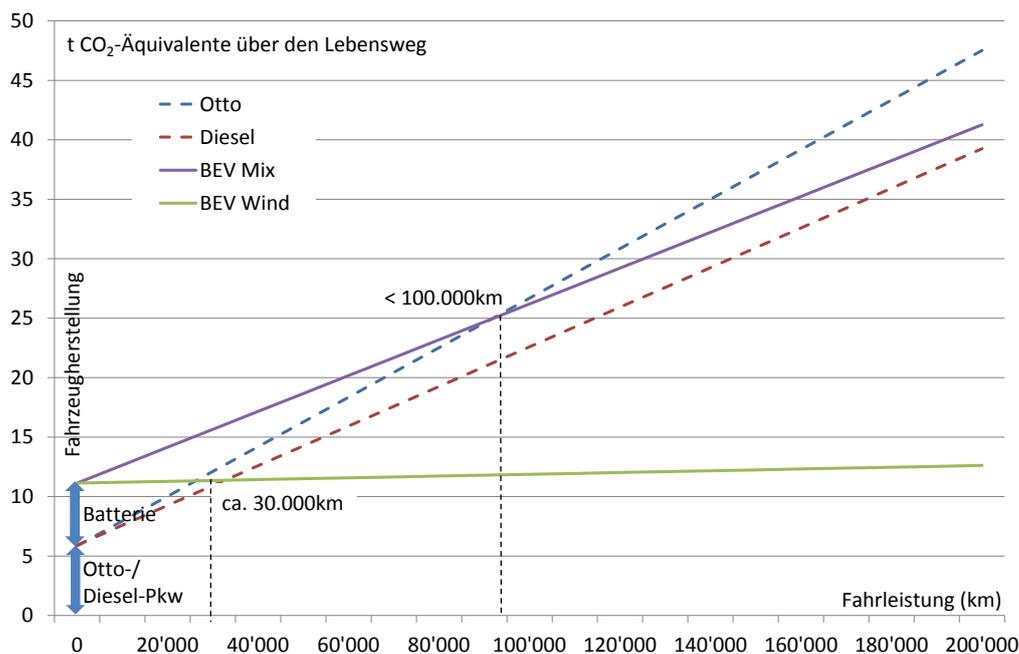
Die Datengrundlage der Modellierung sowie detaillierte Ergebnisse des Ökobilanzmodells sind im nachfolgenden „Grundlagenbericht“ dokumentiert. Wichtige Analyseergebnisse sowie eine strategische Bewertung der Antriebskonzepte wurden in einem Ergebnisbericht anschaulich dargestellt. Zusätzlich sind Informationen zur Umweltbewertung von Elektromobilität und zentrale Ergebnisse des Projektes auf der UMBReLA-Webseite dargestellt ([www.emobil-umwelt.de](http://www.emobil-umwelt.de)). Hier ist auch ein Tool implementiert, das die Umweltbilanz für verschiedene konkrete und für den Nutzer variable Anwendungen darstellt.

Die Analysen zeigen, dass batterie-elektrische Fahrzeuge heute bei der Bilanzierung des gesamten Lebensweges (inkl. Fahrzeugherstellung und Energiebereitstellung) und bei Nutzung des durchschnittlichen deutschen Strommixes eine ähnliche Klimabilanz haben wie Verbrennungsfahrzeuge. Die Klimawirkung der Batterieherstellung kann gegenüber Otto-Pkw etwa ab einer Lebensfahrleistung von 100.000 km ausgeglichen werden.

Die Bilanz hängt allerdings sehr von den CO<sub>2</sub>-Emissionen des genutzten Stroms ab: Die Nutzung zusätzlicher erneuerbarer Energien (z.B. Windstrom) führt zu deutlichen Klimavorteilen gegenüber konventionellen Pkw. Die Batterieaufwendungen werden dann ab einer Fahrleistung von 30.000 km ausgeglichen.

Besonders vorteilhaft stellen sich batterieelektrische Nutzungen im Innenstadtbereich dar: Hier ist der Elektroantrieb deutlich effizienter als der Verbrennungsmotor. Die Reichweite des Elektrofahrzeugs ist in der Regel für die täglichen Fahrten ausreichend. Andererseits ist bei rein städtischer Nutzung die Fahrleistung im Privatverkehr häufig gering, Daher wird der Umweltaufwand der Batterieherstellung schlechter ausgeglichen. Besonders vorteilhaft ist daher die Nutzung im städtischen Wirtschaftsverkehr, wo durch die intensive Nutzung der Fahrzeuge auch im Stadtbereich hohe Fahrleistungen erreicht werden.

Elektro-Pkw mit einem Verbrennungsmotor als Reichweitenverlängerer (Range Extender) können ebenfalls hohe Fahrleistungen bewältigen. Die Umweltbilanz dieser Fahrzeuge hängt stark vom Anteil des elektrischen Betriebs ab. Bei einer überwiegend elektrischen Nutzung werden hier die Vorteile des batterieelektrischen Antriebs mit den Vorteilen der durch die Reichweite uneingeschränkten Nutzung verbunden.



Zukünftig werden sich die Umweltwirkungen durch Elektrofahrzeuge mit dem Ausbau erneuerbarer Energien und durch Verbesserungen bei den Batterien verbessern. Die zusätzliche Stromnachfrage durch Elektrofahrzeuge birgt jedoch die Gefahr, dass verstärkt fossile Kraftwerke eingesetzt werden – die Kopplung des Ausbaus von Elektromobilität mit einem Ausbau erneuerbarer Energien ist daher notwendig.

Auch Wasserstoff-Brennstoffzellen-Pkw haben bei Nutzung erneuerbarer Energiequellen deutliche Klimavorteile gegenüber konventionellen Pkw. Gegenüber Elektro-Pkw mit zusätzlichen erneuerbaren Energien ist die Klimabilanz geringfügig schlechter; die Primärenergiebilanz ist wesentlich schlechter.

Die Analysen und Auswertungen des UMBReLA-Projektes bieten eine umfassende Umweltbewertung von Elektromobilität über den gesamten Lebensweg sowie über eine große Breite an Fahrzeugen, Nutzungen und Szenarien. Die Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs verschiedener Antriebsstränge können zukünftig - mit entsprechenden Anpassungen - auf alle Arten von batterie-elektrisch betriebenen Fahrzeugen übertragen werden.

Die Umweltbewertung lässt dabei wichtige Umweltfragen und heutige Erkenntnislücken erkennen, denen in Zukunft nachgegangen werden sollte, z.B.:

- Wie werden sich Lebensdauer und Energiedichte von Batterien entwickeln?
- Welche Materialien werden in Batterien und Fahrzeugen eingesetzt, wie ist ihre Verfügbarkeit und welche Möglichkeiten des Recycling gibt es?
- Welche Fahrzeugkonzepte werden zukünftig wo und wie eingesetzt und wie ist die Wechselwirkung mit dem Energiesektor?
- Wie stellen sich die Umweltbilanzen der Elektromobilität unter anderen Rahmenbedingungen (z.B. in Schwellenländern) dar?
- Welchen Beitrag kann Elektromobilität zu neuen, zukünftigen Mobilitätsstrukturen leisten?

## 1 Zielstellung des Projektes

Für das Erreichen der klima- und energiepolitischen Ziele der Bundesregierung spielt der Verkehrsbereich eine wichtige Rolle. Hierbei kann der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energien in batterieelektrischen Fahrzeugen einen wichtigen Beitrag leisten. Solche Fahrzeuge sind darüber hinaus lokal emissionsfrei sowie lärmarm und können damit einen Beitrag zur Verbesserung der Luft- und Lebensqualität in Ballungsräumen leisten. Die Bundesregierung unterstützt daher die Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland.

Das BMU fördert Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität u. a. im Rahmen der Bekanntmachung vom 22. April 2009 (KoPa II). Dementsprechend wurden in den letzten zwei Jahren zahlreiche Feldversuche und Forschungsprojekte mit Unterstützung des BMU durchgeführt. Dabei wurden z.B. die Nutzung von Elektrofahrzeugen im Privat- und Wirtschaftsverkehr praxisnah getestet, Batterien weiterentwickelt, die stärkere Einbindung von regenerativen Energien durch Elektromobilität untersucht oder die Recyclingmöglichkeiten von Batterien genauer analysiert.

Diese Feldversuche und Projekte begleitend wurde vom IFEU das Projekt UMBReLA durchgeführt: eine Analyse der Umweltwirkungen von batterieelektrischen Fahrzeugen, insbesondere auch im Vergleich mit konventionellen Fahrzeugen (Diesel- und Otto-Motoren) einschließlich einer Systembetrachtung von Wasserstoffmobilität.

Das **Gesamtziel von UMBReLA** war, die umweltrelevanten Ergebnisse aus der Literatur und den vom BMU initiierten Feldversuchen und Forschungsprojekten zu sammeln, zu analysieren und darauf aufbauend eine umfassende Umweltbewertung von Elektromobilität vorzunehmen. Dabei sollten auch Sensitivitätsanalysen, Fallstudien und Szenarien angewandt werden. So können z.B. Bedingungen für vorteilhafte und nachteilige Einsatzzwecke von Elektromobilität beschrieben werden. Der Bundesregierung werden damit Handlungsoptionen aufgezeigt und sie wird unterstützt, zukünftige Elektromobilität aus Umweltsicht zu bewerten.

Ergebnisse der Umweltbewertung von Elektromobilität sollten in Form eines wissenschaftlichen Berichtes sowie einem für ein breiteres Fachpublikum ausgerichteten Ergebnisbericht dargestellt werden. Zudem sollten wichtige Ergebnisse für eine breitere Öffentlichkeit aufbereitet dargestellt werden.



Konkret wurden dazu im Projekt

- ein detailliertes Umweltbewertungstool – eLCAr aufgebaut,
- modellrelevante Daten aus Literatur und Flottenprojekten zur Umweltbewertung aufbereitet,
- Sensitivitätsanalysen, Fallstudien und Szenarienberechnungen zur Umweltwirkungen von verschiedenen Antriebskonzepten durchgeführt und
- die Ergebnisse in einem Ergebnisbericht sowie einem wissenschaftlichen Grundlagenbericht dargestellt sowie
- basierend auf den Ergebnissen des Forschungsberichtes eine Webseite (<http://www.emobil-umwelt.de>) und
- ein online Tool zur einfachen Berechnung von Umweltbilanzen erstellt.

### **Aufbau eines detaillierten Umweltbewertungstools - eLCAr**

Die Umweltbewertung berücksichtigt den gesamten Lebensweg eines Fahrzeugs einschließlich seiner Herstellung und Entsorgung und der Bereitstellung der notwendigen Energien (ökobilanzieller Ansatz). Wesentlicher Arbeitspunkt im Projekt war dabei die Weiterentwicklung des IFEU-eigenen Ökobilanzmodells eLCAr (Electric Car LCA) für elektrisch betriebene Fahrzeuge. Das Modell setzt dabei auf der Ökobilanzsoftware UMBERTO auf. Dazu wurden insbesondere folgende Module erstellt bzw. weiterentwickelt:

- Strombereitstellung (z.B. Kraftwerkspark nach Kraftwerkstypen)
- Kraftstoffbereitstellung (inkl. verschiedener Biokraftstoffe)
- Fahrzeugherstellung (Fahrzeugrumpf; antriebsartspezifischer Zusatzkomponenten)
- Entsorgung und Recycling des Fahrzeuges und seiner Materialien
- Fahrzeugnutzung (z.B. verschiedene Fahrzyklen, Nebenverbraucher etc.)

Die Module stellen detaillierte Modelle zur Ermittlung der Material- und Energieströme sowie der zugehörigen Emissionen dar und wurden auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche, Expertengesprächen (z.B. mit den an den Flottenversuchen Beteiligten) sowie IFEU-Erfahrungen in der Modellierung von Fahrzeugen und Fahrzeugnutzung erstellt. Bezugsjahre der Umweltbewertung sind die heutige (2010) sowie die zukünftige (2030) Situation, für die Szenarienannahmen getroffen werden.

### **Aufbereitung von modellrelevanten Daten zur Umweltbewertung**

Da die Qualität einer Umweltbilanz im Wesentlichen auch von der Qualität der Eingangsdaten bestimmt ist, wurde im Projekt großer Wert auf eine möglichst praxisnahe Datengrundlage gelegt. Zusätzlich wurden wichtige Einflussparameter für die Umweltbilanz als Sensitivitäten untersucht. Zur Informationsgewinnung wurden die vom BMU in KoPa II geförderten Projekte kontaktiert. Auf Basis dieser Informationen wurden Projekte ausgewählt, von denen wichtige Informationen zur Umweltbewertung erwartet wurden. Bei einigen Projekten wurden Vor-Ort-Besuche durchgeführt, bei anderen Projekten per E-Mail oder telefonisch Auskunft zu wichtigen Fragestellungen eingeholt.

Es zeigte sich bald, dass wir einen generellen Ansatz für Durchschnittsfahrzeuge als Grundlage der Vergleichbarkeit und der Bewertung wählen und somit das Ökobilanzmodell eLCAr ausbauen mussten. Denn in den Projekten waren überwiegend Einzelinformationen vorhanden, die dann für einzelne Inputparameter (z.B. Wirkungsgrad Motor oder

induktives Laden) herangezogen werden konnten als auch zum Abgleich der eLCAR-Modellergebnisse genutzt wurden. Aber viele Grundlagendaten mussten aus anderen Quellen gewonnen werden. Zudem zeigte sich schon früh, dass einige Projekte erst spät und teilweise auch nur eingeschränkt detaillierte Ergebnisse liefern konnten, die dann in der eLCAR-Modellierung genutzt wurden.

Bei der Bilanzierung der Fahrzeugherstellung wurde zwischen dem für alle Fahrzeuge gleichen „Fahrzeugrumpf“ und antriebsartspezifischen Fahrzeugteilen (z.B. Batterie, Elektromotor, Diesel-Motor) differenziert. Daten für die Herstellung des Fahrzeugrumpfes wurden aus Literaturquellen, unter Abgleich mit Informationen aus den Flottenprojekten, gewonnen. Batterieelektrische Fahrzeuge sind teilweise noch im Forschungs- bzw. Entwicklungsstadium. Erst dieses Jahr kamen mit dem iMiev u.a. Serienfahrzeuge auf den Markt. Insbesondere zu den Batterien liegen wenige Informationen zur Herstellung sowie Lebensdauer vor. Das IFEU hat von einigen Batterieherstellern Informationen und Daten für aktuelle eingesetzte Batteriematerialien sowie Fertigungsprozesse erhalten, welche in das Umweltbewertungstool eingehen. Eine umfangreiche Modellierung der Entsorgung und des Recyclings der Batterien konnte jedoch im Projektrahmen nicht vorgenommen werden, da entsprechende Daten und Informationen aus den geförderten Projekten (Libri und Lithorec) nicht zur Verfügung standen.

Mit dem von IFEU entwickelten Modul zur Fahrzeugnutzung kann jegliches Geschwindigkeits-Zeit-Profil abgebildet werden. Damit kann z.B. zwischen einer stärkeren innerstädtischen oder Autobahnnutzung unterschieden werden. Die verschiedenen Nebenverbraucher (z.B. Klimaanlage, Heizung, ..) wurden auf der Basis von Literaturdaten modelliert und mit anderen Datenquellen (z.B. TREMOD, Flottenversuche) abgeglichen. Modellierungsergebnisse zum Energieverbrauch wurden dann mit Daten aus den Flottenversuchen und Herstellerangaben abgeglichen.

### **Sensitivitätsanalysen, Fallstudien und Szenarienberechnungen zur Umweltwirkungen von verschiedenen Antriebskonzepten**

Welches sind die wichtigen Parameter, bei denen sich die heutigen und zukünftigen Umwelteffekte zwischen der Elektromobilität und den konventionellen Fahrzeugen unterscheiden? Für die Beantwortung dieser Leitfrage wurden die Ergebnisse der Umweltbilanzen dahingehend analysiert, welche Komponenten oder Lebenswegabschnitte stark zu einer Umweltbelastung beitragen und welche Potenziale zur Umweltentlastung gegeben sind. Als Bezugsjahr für diese perspektivische Analyse wurde 2030 gewählt.

### **Darstellung der Ergebnisse**

Die Ergebnisse der Recherche und die Datengrundlage zur Modellierung sowie detaillierte Ergebnisse wurden in einem wissenschaftlichen „Grundlagenbericht“ (siehe Anlage) dokumentiert. Zusätzlich wurden die wichtigsten Analyseergebnisse sowie eine strategische Bewertung verschiedener Antriebskonzepte in einem für ein breiteres Fachpublikum ausgerichteten „Ergebnisbericht“ (siehe Anlage) anschaulich dargestellt. Weiterhin werden wichtige Ergebnisse auf der UMBReLA-Webseite (<http://www.emobil-umwelt.de/>) für eine breitere Öffentlichkeit aufbereitet dargestellt. Hier ist auch ein Tool integriert, welches die Umweltbilanz für verschiedene konkrete und für den Nutzer variable Anwendungen darstellt. Weiterhin sind hier Informationen zur Umweltbewertung von Elektromobilität, wichtigen Forschungsprojekten und zentrale Ergebnisse des Projektes zu finden.



- ..... STARTSEITE
- ..... UMWELTRECHNER
- ..... PROJEKTERGEBNISSE
- ..... DER FAHRZEUG-
- ..... LEBENSWEG
- ..... FAHRZEUGKONZEPTE
- ..... E-MOBIL-PROJEKTE
- ..... MARKTÜBERSICHT
- ..... HÄUFIG GESTELLTE
- ..... FRAGEN

Willkommen!

**"UMBReLA - Umweltbilanzen Elektromobilität" ist ein Forschungsprojekt des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU), gefördert durch das Bundesumweltministerium (BMU).**

Auf dieser Website finden Sie:

- die **Projektergebnisse**
- ein **interaktives Online-Tool**, mit dem Sie die Umweltbilanz Ihrer persönlichen Fahrzeugnutzung ermitteln können
- Erläuterungen zu den **verschiedenen elektrischen Fahrzeugtypen**
- einen Überblick über den **Lebensweg der Fahrzeuge**
- eine Übersicht der **Förderprojekte des BMU**, aus denen Daten in UMBReLA eingeflossen sind



Links

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
- VDI | VDE | IT (Projekträger)
- ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

- ..... Über UMBReLA
- ..... Kontakt / Impressum
- ..... Disclaimer



Die Elektrifizierung der Fahrzeuge schreitet voran: Hybridfahrzeuge, welche neben dem Verbrennungsmotor auch einen Elektromotor besitzen, werden demnächst von allen großen Pkw-Herstellern angeboten. Das rein elektrisch betriebene Fahrzeug könnte in den kommenden Jahren für einen breiteren Markt verfügbar sein. Wichtige Treiber dieser Entwicklung sind die prinzipiell günstigeren Umwelteigenschaften von Elektromobilen und die verstärkte Möglichkeit der Nutzung von erneuerbaren Energien.

Abbildung 2: Screenshot UMBReLA-Webseite <http://www.emobil-umwelt.de/>

### **3 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan**

Es gab keine wesentlichen Abweichungen. Das Projektziel einer umfassenden Umweltbewertung von Elektromobilität auf einer konsistenten und praxisnahen Datengrundlage konnte vollumfänglich erreicht werden. Um dies zu erreichen, waren in einigen Punkten jedoch Abweichungen vom ursprünglichen Arbeitsplan notwendig.

Da die Qualität einer Umweltbilanz im Wesentlichen auch von der Qualität der Eingangsdaten bestimmt ist, wurde im Projekt großer Wert auf eine möglichst praxisnahe Datengrundlage gelegt. Zur Informationsgewinnung wurden die vom BMU in KoPa II geförderten Projekte kontaktiert. Es zeigte sich bald, dass ein generellerer Ansatz für Durchschnittsfahrzeuge als Grundlage der Vergleichbarkeit und der Bewertung gewählt werden und damit zunächst das Ökobilanzmodell eLCAr ausgebaut werden musste. Denn in den Projekten waren überwiegend Einzelinformationen vorhanden, die dann sowohl zur Ableitung einzelner Inputparameter (z.B. Wirkungsgrade, Materialangaben, Einsatzmuster etc.) herangezogen werden konnten als auch zum Abgleich der eLCAr-Modellergebnisse (z.B. Verbrauchsdaten, Konzerneigene Umweltbilanzen etc.) genutzt wurden. Viele ergänzende Grundlagendaten mussten jedoch aus anderen Quellen gewonnen werden. Zudem zeigte sich schon früh, dass einige Projekte erst spät und teilweise auch nur eingeschränkt detaillierte Ergebnisse liefern konnten, die dann soweit verfügbar in der eLCAr-Modellierung genutzt wurden. Der schon im Projektantrag genannte Ansatz – wichtige Einflussparameter für die Umweltbilanz als Sensitivitäten abzubilden – erwies sich für die Untersuchung entsprechend als sehr hilfreich.

### **4 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik**

Die Ergebnisse dieses Projektes erlauben eine Bewertung der Umweltwirkungen verschiedener Nutzungen einer Vielzahl von verschiedenen Elektrofahrzeugen. Während viele andere bisher durchgeführten Ökobilanzen auf Abschätzungen und Näherungen für den Einsatz von Materialien (z.B. Batterie), Nutzungen und Wirkungsgraden angewiesen sind, konnte in diesem Projekt auf umfangreiche Daten und neue Modellierungsansätze zurückgegriffen werden.

Im Rahmen des UMBReLA-Projektes konnten Informationen aus aktuellen Forschungsprojekten zu zahlreichen Teilaspekten wie Fahrzeugnutzung, Batterieherstellung, Stromerzeugung oder Rückspeisung genutzt werden. Dabei wurden sowohl unterschiedliche Fahrzeugkonzepte (Pkw, Lkw, Busse etc.) als auch Anwendungsbereiche (Privatverkehr, Wirtschaftsverkehr) betrachtet.

Die vielen Einzelerkenntnisse konnten mit einem umfassenden Ökobilanztool (eLCAr) konsistent zusammengeführt werden und erlauben damit eine praxisbasierte Bewertung von Elektromobilität. Auf Basis der durchgeführten Sensitivitäten und Fallstudie werden zudem der Einfluss wichtiger Parameter auf die Umweltbilanz der Elektromobilität deutlich dargestellt.

## 5 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

### Zukunftsaussichten

Das Projekt verfolgt rein wissenschaftliche Ziele, eine konkrete Produktentwicklung sowie Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen sind daher nicht zu erwarten. Das Projekt kann aber ökologische Vorteile bestimmter Entwicklungslinien rechtzeitig sichtbar machen und somit die volkswirtschaftlich vorteilhafteren Lösungen unterstützen. Eine zukunftsfähige Elektromobilität in Deutschland unterstützt dabei den wirtschaftlichen Erfolg der Industrie und trägt dazu bei Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu machen. Zudem soll eine öffentlichkeitswirksame Darstellung der Forschungsaktivitäten und -ergebnisse zur allgemeinen Akzeptanz der Elektromobilität beitragen und damit den effizienten Einsatz der Technik begünstigen.

Überdies sind die wissenschaftlichen Zukunftsaussichten des Projektes hoch: Durch die Bündelung des aktuellen Forschungsstandes in einem umfassenden Umweltbewertungsmodell können umweltrelevante Parameter und besonders effiziente Einsatzgebiete für Elektromobilität identifiziert werden. Eine solche übergeordnete Zusammenführung, Analyse und Bewertung ist bisher nicht durchgeführt worden.

Die Umweltbewertung der Elektromobilität muss in den kommenden Jahren jedoch methodisch weiterentwickelt und an neue Erkenntnisse angepasst werden. Die flexiblen und hoch differenzierten Möglichkeiten des umfassenden Umweltbewertungsmodells sind hierzu bestens geeignet. Das Modell steht nun für weitere Fragestellungen als praxisnahes Analyseinstrument zur Verfügung und soll im Rahmen weiter IFEU-Forschungsprojekte ausgebaut werden, u.a. durch „Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen; gem. DIN EN ISO 14040“ (FKZ 3711 96 113) im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Die öffentlichkeitswirksame Darstellung der verschiedenen Aktivitäten zur Elektromobilität und der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projektes waren ausdrückliches Ziel des Vorhabens. So erfolgten im Umfeld der IFEU Forschungsarbeiten zur Elektromobilität verschiedene Publikationen zur Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen<sup>1</sup>. Diese tragen zur weiteren Verbreitung der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse bei und zeigen damit einem Fachpublikum Rahmenbedingungen auf, in denen Elektrofahrzeuge besonders vorteilhaft eingesetzt werden können. Darüber hinaus ist vorgesehen, das Vorhaben mit wissenschaftlichen Publikationen und Presseaktivitäten zu begleiten.

---

<sup>1</sup> Jüngere IFEU Publikationen zur Elektromobilität:

M. Pehnt et. al. (2011): **Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft.** In: Zeitschrift für Energiewirtschaft, Online First: <http://www.springerlink.com/content/a156165p51827682/>

H. Helms, U. Lambrecht und N. Rettenmaier (2011): **The 'renewables' challenge - Biofuels vs. electric mobility.** In: Tagungsband des ‚8th International Colloquium Fuels‘, 19.–20. Januar 2011, S. 329 – 334.

H. Helms, M. Pehnt, U. Lambrecht und A. Liebich (2010): **Electric vehicle and plug-in hybrid energy efficiency and life cycle emissions.** In: Tagungsband des 18. internationalen Symposiums "Transport and Air Pollution", Zürich 2010.

M. Pehnt, H. Helms, U. Lambrecht, C. Lauwigi und A. Liebich (2009): **Umweltbewertung von Elektrofahrzeugen.** In: VDI-Berichte 2075, p. 21-39.

## **Weiterer F&E-Bedarf**

Die UMBReLA-Analysen und Auswertungen bieten eine umfassende Umweltbewertung von Elektromobilität über den gesamten Lebensweg sowie über eine große Breite an Fahrzeugen, Nutzungen und Szenarien. Die Analysen lassen aber auch wichtige Umweltfragen und heutige Erkenntnislücken erkennen, denen in Zukunft nachgegangen werden sollte:

- **Eigenschaften der Batterie**

Die Lebensdauer sowie die Energiedichte der Batterien haben einen direkten Einfluss auf die km-bezogene Umweltwirkung der Elektrofahrzeuge. In Sensitivitätsanalysen wurde gezeigt, welchen großen Einfluss die Verdoppelung der Energiedichte und Erhöhung der Lebensdauer von 8-10 auf 10-15 Jahre auf die Umweltbilanz hat. Zur weiteren Bewertung der E-Fahrzeuge aus Umweltsicht ist es dementsprechend sehr wichtig, genaue Informationen über die Lebensdauer sowie die Energiedichte zukünftiger Batterien zu erhalten.

- **Materialzusammensetzung, Herstellung, Weiternutzung und Recycling der Batterien**

Die vorliegenden Daten zur Materialzusammensetzung sowie der Herstellung von Batterien beschreiben aktuelle Batterietypen. Die Batterien weisen allerdings hohe Verbesserungspotenziale in der Produktion (Skaleneffekte) auf sowie die Möglichkeit, dass auch andere Materialien mit entsprechend differierenden „ökologischen Rucksäcken“ eingesetzt werden. Eine kontinuierliche Analyse aktueller Batterietechnologien in Hinblick auf deren Umweltwirkungen unter Einbezug entsprechender Hersteller und Batterieforschungsinstitutionen scheint angebracht.

Insbesondere die Möglichkeiten der Weiternutzung (z.B. stationäre Zweitnutzung) der Batterien (bei unzureichender Kapazität für den mobilen Bereich) sowie des Recyclings sollten genauer analysiert werden. Dazu wäre z.B. eine Integration von Ergebnissen aus Lithorec und Libri in die vorliegenden Ökobilanzen hilfreich.

- **Range-Extender vs. PHEV vs. reines Batteriefahrzeug**

Die im Projekt entwickelten Module erlauben eine detaillierte Bilanzierung verschiedener Nutzungsmuster von Fahrzeugen. Erfahrungen aus Flottenversuchen zur Nutzung von PHEV und RE-Fahrzeugen sollten genutzt werden, um zu analysieren, bei welchen Rahmenbedingungen welches Fahrzeug optimal eingesetzt werden kann. Zentrale Fragestellung dabei ist dabei: Welche Fahrzeuge werden wo und wie eingesetzt?

- **Gewichtsreduktion und Batteriebilanz**

Die Reduktion des Fahrzeuggewichtes führt dazu, dass man eine kleinere Batterie zur Erreichung der gleichen Reichweite benötigt. Hier ist eine detaillierte Analyse der Methoden zur Reduktion des Fahrzeuggewichts (CFK, Aluminium, Leichtbau-Design etc.) und der Datengrundlagen zur Herstellung der Materialien notwendig.

## **6 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)**

Elektromobilität ist insbesondere wegen der Möglichkeit, CO<sub>2</sub>-freie oder –arme Energieträger zu nutzen, ein wichtiger Baustein, um die klima- und energiepolitischen Ziele auch im Sektor „Verkehr“ zu erreichen. Dabei muss frühzeitig sichergestellt werden, dass alle Bereiche, die zum elektrischen Fahren beitragen, möglichst umweltverträglich gestaltet werden. Dies gilt insbesondere für das Fahrzeug und alle seine Komponenten sowie die verwendeten Antriebsenergien.

Im Projekt UMBReLA werden Erfahrungen und Daten aus den parallel durchgeführten Erprobungsvorhaben des BMU gesammelt und ausgewertet. Durch die Erstellung von vergleichenden Ökobilanzen werden heutige und zukünftige positive Aspekte der Elektromobilität, aber auch ihre zu verbessernden Schwachstellen aufgezeigt. Dieses ermöglicht der Umweltpolitik, rechtzeitig Problem zu erkennen und Problemlösungen zu veranlassen.

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH,  
Wilckensstr. 3, D-69120 Heidelberg; Tel. 06221-4767-0; Fax -4767-19;  
E-Mail: [verkehr@ifeu.de](mailto:verkehr@ifeu.de); Internet: [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de)

UMBR<sub>e</sub>LA-Abschlussbericht

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel UMBR <sub>e</sub> LA - Umweltbilanzen Elektromobilität Wissenschaftlicher Grundlagenbericht	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Helms, Hinrich; Jöhrens, Julius, Hanusch, Jan; Höpfner, Ulrich; Lambrecht, Udo; Pehnt, Martin; unter Mitarbeit von Gugel, Benjamin, Henes, Lilith, Schacht, Alexander,	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.2011
	6. Veröffentlichungsdatum 20.12.2011
	7. Form der Publikation Versand an Technische Informationsbibliothek (TIB)
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16EM0040
	11. Seitenzahl 132
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Alexanderstraße 3 10178 Berlin	13. Literaturangaben 114
	14. Tabellen 45
	15. Abbildungen 68
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das BMU fördert Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität u.a. mit zahlreichen Feldversuchen und Forschungsprojekten. Dabei werden z.B. die Nutzung von Elektrofahrzeugen im Privat- und Wirtschaftsverkehr praxisnah getestet, Batterien weiterentwickelt, die stärkere Einbindung von regenerativen Energien durch Elektromobilität untersucht oder die Recyclingmöglichkeiten von Batterien genauer analysiert. Das Vorhaben UMBReLA begleitet diese Vorhaben und führt eine Analyse der Umweltwirkungen von batterieelektrischen Fahrzeugen, insbesondere auch im Vergleich mit konventionellen Fahrzeugen (Diesel- und Otto-Motoren) einschließlich einer Systembetrachtung von Wasserstoffmobilität durch, erstellt vergleichende Ökobilanzen und ermöglicht eine vertiefte Bewertung der Elektromobilität aus Umweltsicht. Bei heutigen batterie-elektrischen und konventionellen Pkw ist die Klimabilanz über den gesamten Lebensweg in etwa gleich; dies gilt auch für Fahrzeuge mit einem Benzinmotor als Range-Extender. Vorteile im Fahrbetrieb des Elektro-Pkw werden durch Nachteile bei der Herstellung und Entsorgung der Batterie in etwa ausgeglichen. Mit zunehmendem städtischen Fahranteil und bei hoher Lebensfahrleistung verbessert sich die Bilanz zugunsten von Elektrofahrzeugen, wie am Beispiel von leichten Nutzfahrzeugen im Wirtschaftsverkehr gezeigt wird. Wenn statt des durchschnittlichen Stroms Strom aus regenerativen Quellen verwendet wird, verbessert sich die Bilanz von Elektroautos drastisch. Diese Unterschiede gelten grundsätzlich auch für zukünftige Fahrzeuge mit weiteren technischen Verbesserungen und höherem Einsatz erneuerbarer Energien in Elektro- und Verbrennungs-Pkw. Ökologisch bedenklich sind die derzeit noch hohen Luftschadstoffemissionen bei der Batterieherstellung.	
19. Schlagwörter Elektromobilität; Otto- und Diesel-Pkw; Umweltbewertung; Ökobilanzen; Klimawirkung; Luftschadstoffe; Website	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title UMBR <sub>e</sub> LA - Environmental assessment of electric mobility Scientific Report – Life Cycle Analysis	
4. author(s) (family name, first name(s)) Helms, Hinrich; Jöhrens, Julius, Hanusch, Jan; Höpfner, Ulrich; Lambrecht, Udo; Pehnt, Martin; With assistance of: Gugel, Benjamin, Henes, Lilith, Schacht, Alexander	5. end of project 31.10.2011
	6. publication date 20.12.2011
	7. form of publication Technische Informationsbibliothek (TIB)
8. performing organization(s) (name, address) ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH Wilckensstr. 3 D 69120 Heidelberg, Germany	9. originator's report no.
	10. reference no. 16EM0040
	11. no. of pages 132
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Alexanderstraße 3 10178 Berlin	13. no. of references 112
	14. no. of tables 45
	15. no. of figures 68
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract <p>BMU supports research and development in the field of electric vehicles featuring numerous fleet tests and research projects. This included testing of electric vehicles under private and commercial use, development of charging infrastructure, investigation of possibilities to foster the integration of renewable energy sources in the electric mobility sector and analyses of recycling options for batteries. The project UMBR<sub>e</sub>LA collected technical data from these projects and carried out an analysis of the environmental effects of battery-electric vehicles, especially in comparison with conventional vehicles (diesel and gasoline engines). Furthermore, a system analysis of hydrogen mobility was conducted. The results were used to compile comparative LCAs, comprising in-depth evaluation of electrical mobility from an environmental perspective.</p> <p>For today's battery-electric (charged with the average German electricity mix) and conventional cars the life-cycle climate impact is comparable. Advantages due to the high efficiency of electric cars are about compensated by disadvantages due to the production and disposal of the battery. This comparison shifts towards a clear advantage for electric cars if electricity from additional renewable sources is used.</p> <p>In the future, electric vehicles may have an advantage over conventional vehicles even if charged with the average German electricity mix, due to an installation of further renewable energy capacities. Today, high air pollutant emissions from battery production give reason for environmental concern.</p>	
19. keywords Electric mobility; petrol and diesel cars; environmental evaluation; life cycle analysis; climate impact; air pollutants	
20. publisher	21. price