

## Energy for future Mobility: Alternative Antriebstechnologien im Spannungsfeld von Marktanforderungen und technischer Machbarkeit

Karlheinz Bozem, bozem | consulting associates | munich; Anna Nagl, Alexander Haubrock, Verena Rath, Judith Schnaiter, Hochschule Aalen; Carsten Rennhak, Holger Benad, Hochschule Reutlingen

*Im vorliegenden Beitrag wird über die Zwischenergebnisse des vom Land Baden-Württemberg geförderten Innovativen Projekts/Kooperationsprojekts „Energy for future Mobility“ informiert. Das Ziel dieses FuE-Projekts besteht darin, herauszufinden, welche alternativen Antriebstechnologien aus Sicht der Kunden attraktiv sind und damit von politischen Entscheidungsträgern, Automobilindustrie und Energiewirtschaft weiterverfolgt werden sollten. Die Ergebnisse des Projekts sollen dazu beitragen, öffentliche und private Förder- sowie Entwicklungsgelder entsprechend den Bedürfnissen und Anforderungen des Marktes bestmöglich einzusetzen.*

### Erkenntnisse Arbeitspaket: Politische Zielsetzung und staatliche Förderung

In Bezug auf die Rahmenbedingungen, die den Pfad für die künftigen Formen der Individualmobilität vorgeben, sind zuerst die durch die umwelt- und industriepolitischen Zielsetzungen sowie die durch die staatliche Förderung/Unterstützung gesetzten politischen Rahmenbedingungen zu analysieren. Betrachtet man die Unterstützung in anderen Ländern, wird deutlich, dass hier enorme Anstrengungen unternommen werden, Kunden zum Kauf von Elektrofahrzeugen zu motivieren. Dabei kommen direkt monetäre (wie z. B. direkte Kaufzuschüsse oder Steuervergünstigungen) wie auch nicht-direkt monetäre Anreize (wie z. B. Einfahrtsgewährung für verkehrsberuhigte Bereiche oder Sonderparkrechte in Städten) als Fördermechanismen an der Kundenschnittstelle zum Einsatz. Dänemark (durchschnittlich 17.210 € pro Elektroauto), Japan (durchschnittlich 10.000 €) oder Frankreich (durchschnittlich 5.000 €) sind bei den direkten Kaufzuschüssen führend. Die direkt-monetären Anreize sind teuer und durch die öffentlichen Haushalte bzw. den Steuerzahler zu finanzieren. Ob dies angesichts der aktuellen Währungs- und Schuldenkrise in vielen Ländern in großem Maßstab durchgehalten werden kann, erscheint fraglich.

Die Bundesregierung setzt weniger auf direkt monetäre Kaufanreize, sondern auf Forschungs- und Entwicklungsförderung, um die Elektromobilität zeitnah marktfähig zu machen und Deutschland so als „Leitmarkt“ der Elektromobilität zu etablieren. Ziel ist es, die Herstellungskosten der Hersteller und Zulieferer zu senken, anstatt den Endpreis durch Subventionen auf das Preisniveau konventioneller Fahrzeuge zu drücken.

### Erkenntnisse Arbeitspaket: Technologie Automotive und Implikationen auf die Energiewirtschaft

Für die Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle ist die umfassende Kenntnis der technologischen Entwicklungstrends essenziell. In diesem Arbeitspaket wurden die folgenden alternativen Antriebstechnologien betrachtet: Elektromobilität (BEV/PHEV/REEV), Hybrid, Brennstoffzelle, Erdgasmobilität, Autogas und Biokraftstoffe.

Zur Analyse der technologischen Trends wurde zunächst Desk Research betrieben, bei dem die am Markt verfügbaren Studien hinsichtlich wesentlicher Erkenntnisse in Bezug auf Reifegrad, Zukunftsfähigkeit und Marktfähigkeit der einzelnen Technologien ausgewertet wurden. Zudem wurden je Technologie relevante ökonomische Kennzahlen zu Fahrzeugen/Fahrzeugunterhalt sowie zur Infrastruktur (Preise, Kosten, Investitionsvolumina etc.) erhoben. Schließlich wurden die alternativen Antriebstechnologien qualitativ bewertet (siehe Abbildung 1). Die Ergebnisse der Bewertung wurden sodann in Gesprächen mit Experten aus Automobilindustrie und Energiewirtschaft überprüft.

Wir erwarten in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren weitere technologische Entwicklungen zur Verbrauchsreduktion und CO<sub>2</sub>-Optimierung konventioneller Verbrennungsmotoren. Einen Beitrag zur Verbrauchsreduktion leistet hierbei die Hybridtechnologie, worunter Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und zusätzlichem elektrischen Antrieb zu verstehen sind (z. B. Toyota Prius). Bei diesen Fahrzeugen erfolgt kein Beladen der Batterie über das Stromnetz. Die Micro-Hybridtechnologie bewirkt mit einer E-Maschine von 2-3 kW eine Verbrauchseinsparung von 5-10%. Mit einer größeren E-Maschine kommt der



Prof. Dr. A. Nagl



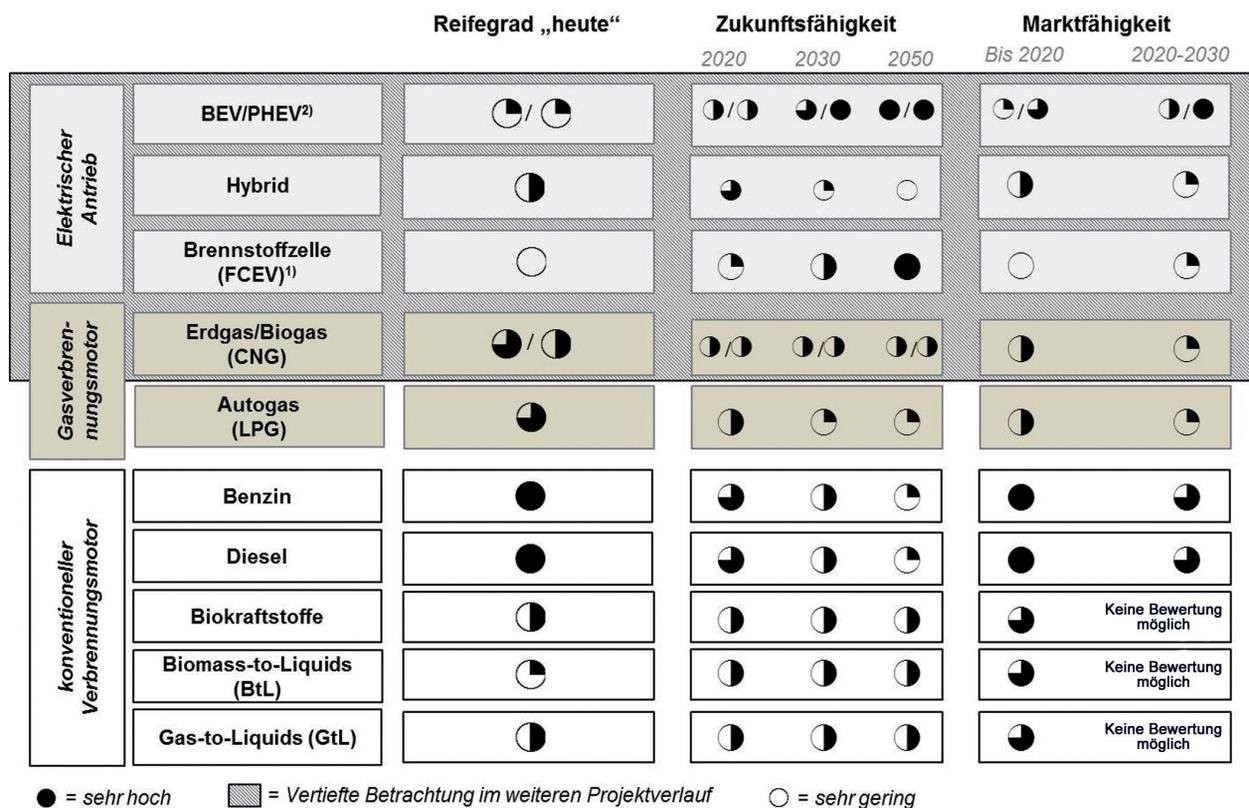
Prof. Dr. V. Rath



Prof. Dr. C. Rennhak

Mild-Hybrid auf 15-20%. Im Unterschied zur Elektromobilität im Sinne der Nationalen Plattform Elektromobilität liegt bei Hybridfahrzeugen die elektrische Reichweite unter 5 km und der elektrische Antrieb dient primär der Verbrauchsreduktion des Verbrennungsmotors.

Wir gehen davon aus, dass die Hybridtechnologie lediglich eine Übergangstechnologie hin zu Fahrzeugen



● = sehr hoch    = Vertiefte Betrachtung im weiteren Projektverlauf    ○ = sehr gering

1) Weitere Betrachtung nur als Folgetechnologie anderer elektrischer Antriebe, keine Berechnung von Geschäftsmodellen

2) Inkl. REEV

Quelle: Analysen Projektteam Energy for future Mobility.

Abb. 1: Ergebnisse der Technologiebewertung

mit größerer elektrischer Reichweite darstellt und daher sukzessive von Plug-in Hybridfahrzeugen und Range Extendern abgelöst werden wird. Da Plug-in Hybride (PHEV) und Range Extender (REEV) im Unterschied zu reinen Batteriefahrzeugen aufgrund ihrer höheren Reichweiten dem Verbraucher keine Veränderung des gewohnten Mobilitätsverhaltens abverlangen, sehen wir für diese Technologie eine hohe Marktfähigkeit in den kommenden 20 Jahren. Reine Batteriefahrzeuge (BEV) werden zunächst auf den urbanen Bereich beschränkt bleiben. Als primäre Zielgruppen für BEV kommen Firmenflotten mit limitiertem Reichweitenbedarf sowie Privatkunden mit mehreren Fahrzeugen im Haushalt in Frage. Unsere empirischen Ergebnisse – auf die wir an späterer Stelle noch eingehen werden – haben gezeigt, dass sich Fahrzeugnutzer mit mehreren Fahrzeugen ein Elektrofahrzeug als Zweitwagen oder Stadtauto vorstellen können. Wenn nur ein Auto im Haushalt verfügbar ist, wird – unabhängig vom tatsächlichen Reichweitenbedarf pro Tag – ein Allroundfahrzeug mit den gewohnten Reichweiten und der Alltagstauglichkeit des konventionellen Verbrennungsmotors bevorzugt. Für diese Kunden kommt beispielsweise der PHEV oder REEV in Frage.

Die zunehmende Verzahnung der Geschäftsmodelle von OEMs (Original-Equipment-Manufacturer) und Energieunternehmen wird dazu führen, dass beide Industrien ihre Positionierung entlang der Wertschöpfungskette überdenken und gegebenenfalls neu definieren werden. In Bezug auf die Elektromobilität werden sich die Energieunternehmen insbesondere in den Bereichen Ladeinfrastruktur, Netzintegration von Elektrofahrzeugen und intelligente Abrechnung positionieren. Von Seiten der OEMs lassen sich erste Ansätze zum Vorstoß in traditionelle Geschäftsfelder der Energieunternehmen wie Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien oder Stromtrieb erkennen.

**Erkenntnisse Arbeitspaket: Economics/ potenzielle Geschäftsmodelle für Automobilhersteller und Energiewirtschaft**

Eine substantielle Etablierung alternativer Antriebstechnologien – allen voran der Elektromobilität – wird nur erfolgen, wenn es den beteiligten Industrien gelingt, profitable Geschäftsmodelle zu entwickeln und umzusetzen. Anderenfalls bleibt lediglich die auf Dauer nicht zu gewährleistende Subventionierung durch die öffentli-

che Hand. Marktfähig sind letztlich nur solche Mobilitätsangebote, die technologisch machbar, kundenseitig erwünscht und ökonomisch sinnvoll sind. Die ökonomische Betrachtung darf sich dabei nicht nur auf eine reine Vergleichsanalyse der Kosten für Beschaffung und Fahrzeugunterhalt für die verschiedenen Antriebsoptionen beschränken. Eine ganzheitliche wirtschaftliche Betrachtung muss die Ertragspotenziale der beteiligten Industrien über den Lebenszyklus der Technologie hinweg darstellen und die unterschiedlichen Möglichkeiten für diese Branchen aufzeigen, sich an der Wertschöpfung im Markt der künftigen Individualmobilität zu beteiligen.

Die Elektrifizierung des Automobils hat signifikante Auswirkungen auf die beteiligten Industriepartner, namentlich die Automobil- und die Energiewirtschaft. Auf Seiten der Autohersteller hat sich im Bereich der vollelektrischen Fahrzeuge bzw. Plug-in Hybride noch kein eindeutiges Geschäftsmodell durchgesetzt. Am Markt werden aktuell unterschiedliche Kooperationsmodelle getestet: Autohersteller wie Daimler kaufen Batterien (bei Evonik) und Elektromotoren (bei Bosch) zu; andere wie Volkswagen oder BMW kaufen zwar die Batterien (VW bei Sanyo,

BMW bei Samsung-Bosch Limotive), bauen aber den Elektromotor selbst. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Autohersteller im Zuge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs weiter Wertschöpfung an die Zulieferer abgeben. Heute führende Automobilzulieferer wie Bosch, Continental/Schaeffler oder ZF erweitern ihr Geschäftsmodell und können in einem nächsten Schritt eventuell Wettbewerber ihrer heutigen Kunden sein. Daneben wird spekuliert, ob sich eventuell starke Markenartikler wie Apple oder Sony, die heute bereits komplexe Zuliefernetzwerke steuern und die IT-, Telekommunikations- und Unterhaltungselektronikbranche mit ihren stilbildenden Designs revolutioniert haben, als Anbieter zukünftiger Mobilität betätigen und sich dabei z. B. erfahrener Entwicklungsdienstleister und – wie bei der Fertigung ihres bestehenden Produktportfolios – Vertragsherstellern bedienen.

Aktuell wird an der Kundenschnittstelle mit verschiedenen Modellen experimentiert. Beispiele sind die Modelle „Mobilfunk“, „Batterieleasing“ und „Carsharing“. Beim Modell „Mobilfunk“ besteht das Angebot aus einer Kombination von Leasingvertrag über eine festgelegte Laufzeit einschließlich der Versicherung sowie einer monatlichen Nutzungserlaubnis in Form von Kilometern. Der Kunde leistet eine einmalige Anzahlung für die Installation eines Ladeanschlusses

zu Hause und für das Fahrzeug sowie eine gleichbleibende Rate pro Monat. Das Modell „Batterieleasing“ sieht den Abschluss eines separaten Leasingvertrags für die im Anschaffungspreis teure Batterie vor. Beim „Carsharing“ erwirbt der Kunde kein Eigentum am Fahrzeug, sondern kann je nach Bedarf in Fahrzeug von bestimmter Größe, Leistung und Ausstattung aus dem Fahrzeugpool des Anbieters nutzen.

### Erkenntnisse Arbeitspaket: Markt/Kundenanforderungen

Für die empirische Erhebung „FUTURE MOBILITY 2011“ wurden 5.039 Adressen einer proportional geschichteten Stichprobe der Grundgesamtheit der deutschen Bevölkerung ab 18 Jahre im Sommer 2011 angeschrieben. Zur Sicherung der Repräsentativität wurden relevante soziodemografische Stichprobenmerkmale wie z. B. Bundesland, Stadt-/Landverteilung, Geschlecht, Altersgruppen beim Adresskauf berücksichtigt. Die empirische Erhebung erzielte mit über 1.016 gültigen Fragebögen eine sehr hohe Rücklaufquote in Höhe von 20,2%, was die Relevanz des Themas in der Bevölkerung widerspiegelt.

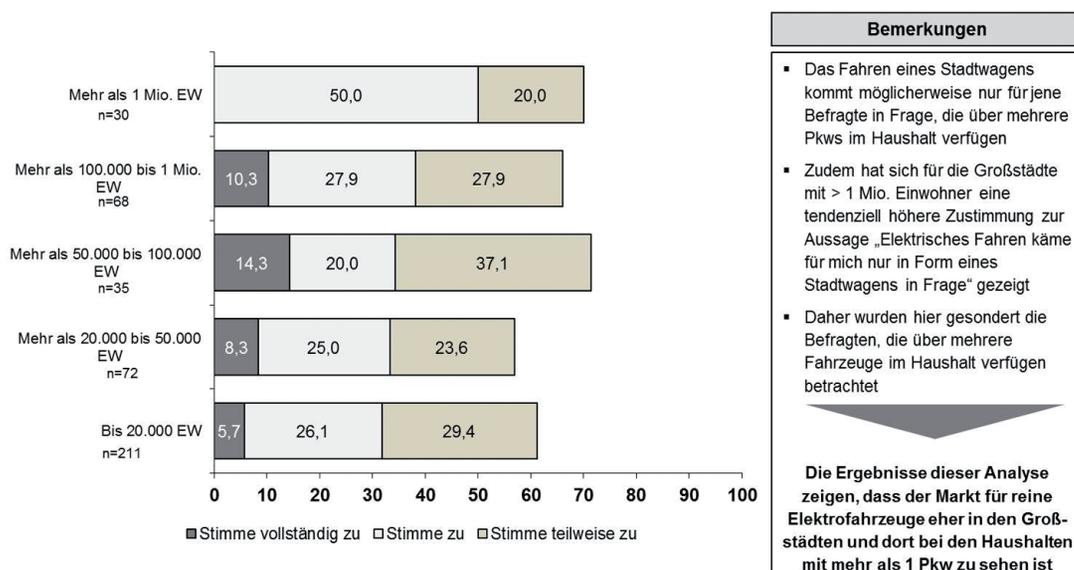
Die Umstiegsbereitschaft auf einen alternativen Antrieb ist vor allem an die Faktoren vergleichbarer Anschaffungspreis und vergleichbare Betriebskosten

(das heißt vergleichbare „Total Cost of Ownership“) sowie Alltagstauglichkeit gekoppelt. Beim Umstieg auf ein Fahrzeug mit einem alternativen Antrieb höchstens jeder zweite Pkw-Nutzer einen höheren Kaufpreis akzeptieren.

Elektrisches Fahren wird heute noch stark als Mobilität für den Kurzstreckenverkehr gesehen. Im Privatkundenbereich sind Potenziale für die Elektromobilität vor allem bei Haushalten mit Mehrfahrzeugbesitz zu sehen: Die Hälfte der Befragten, die in einer Großstadt leben und über mehrere Fahrzeuge im Haushalt verfügen, können sich elektrisches Fahren in Form eines Stadtwagens vorstellen (siehe Abbildung 2). Viele Verbraucher setzen das Thema Elektromobilität mit rein batteriebetriebenen Fahrzeugen gleich. Eine stärkere Platzierung von Plug-in Hybriden und Range Extendern in der öffentlichen Wahrnehmung könnte dafür sorgen, mit den Vorbehalten in puncto Reichweite aufzuräumen.

Auch in Bezug auf die Erwartungen an Anreizmodelle zeigt sich, dass die Total Cost of Ownership sehr stark kaufverhaltensrelevant sind (siehe Abbildung 3). Die im Vergleich zu den Kraftstoffkosten für Benzin und Diesel deutlich niedrigeren Kosten für Lade-strom machen die Nutzung eines Elektrofahrzeugs für den Befragten attraktiv. Eine Sperrung von Ballungsgebieten für Pkws mit Verbrennungsmotor zieht

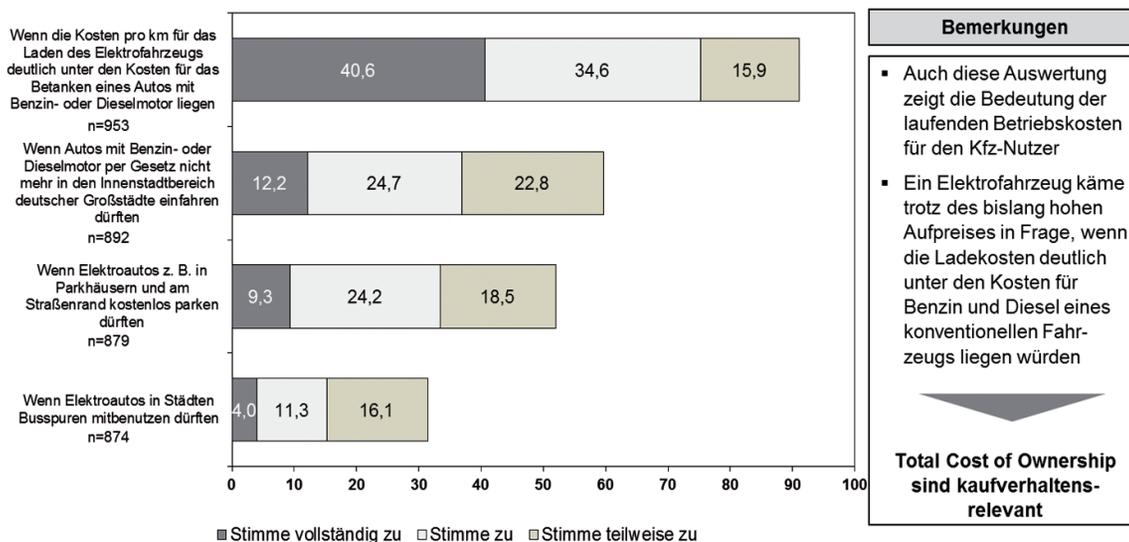
**Zustimmung zur Aussage „Elektrisches Fahren käme für mich nur in Form eines Stadtwagens in Frage“ in Abhängigkeit von der Größe des Wohnortes der Befragten und > 1 Pkw im Haushalt [in %]**



Quelle: Repräsentative empirische Erhebung Projektteam Energy for future Mobility 2011. Befragte = 5.039; Rücklauf = 1.016 gültige Fragebögen

Abb. 2: Zielgruppe „Haushalte in Großstädten mit mehreren Fahrzeugen“

**Frage: „Elektrofahrzeuge kosten derzeit in der Anschaffung ca. 9.000 EUR mehr als Autos mit Benzin- oder Dieselmotor. Unter welchen Bedingungen käme ein Elektroauto trotz dieses Aufpreises ernsthaft für Sie in Frage?“ [in %]**



Quelle: Repräsentative empirische Erhebung Projektteam Energy for future Mobility 2011. Befragte = 5.039; Rücklauf = 1.016 gültige Fragebögen

Abb. 3: Erwartungen an Anreizmodelle

nicht notwendigerweise den Umstieg auf ein Fahrzeug mit alternativem Antrieb nach sich. Die Befragten würden dann eher auf Park & Ride oder den öffentlichen Personennahverkehr umsteigen oder aber die Umweltzonen gänzlich meiden.

Unsere Befragung zeigt schließlich vor allem in Verbindung mit Elektromobilität ein steigendes Interesse der Verbraucher an Carsharing. Für konventionelle Fahrzeuge steht dagegen nach wie vor der Fahrzeugkauf im Vordergrund.

### Informationen zum FuE-Projekt

Das Innovative Projekt/Kooperationsprojekt: „Energy for future Mobility“ ist ein hochschulübergreifendes Projekt der Hochschulen Aalen und Reutlingen und wird vom Land Baden-Württemberg unter der Kap. 1403 Tit. Gr. 98 für den Zeitraum vom 01.04.2011 bis zum 31.03.2013 gefördert. Als Partner aus der Wirtschaft sind die Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, die Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie e-mobil BW GmbH sowie die Top-Management Beratung bozem | consulting associates | munich und der Verband der Automobilindustrie (VDA) in das Projekt eingebunden.

### Literatur

- BMWi (2011): Schlaglicht der Wirtschaftspolitik, Ausgabe August 2011.
- Bozem, K./Rath, V. (2010): Mobilitätskonzepte der Zukunft – Positionierung von Energieunternehmen im Zukunftsmarkt „Mobilität“, München 2010.
- Bozem, K./Rath, V./Pinel, J./Bouchet, A.: Elektromobilität – Wo stehen die Energieunternehmen? Ein länderübergreifender Vergleich, Positionspapier von bozem | consulting associates | munich, München und E-Cube Strategy Consultants, Paris 2011.
- Bozem, K./Rath, V./Schnaiter, J./Nagl, A./Benad, H./Rennhak, C.: „Wie wird Elektromobilität straßentauglich? – Regulatorische Rahmenbedingungen in Europa“ In: „ew - das magazin für die energie wirtschaft“. Jg. 110 (2011), Heft 19, S. 26-30.
- Nagl, A.: Was der Kunde will - Reine E-Mobile für Ballungsgebiete. Interview mit Prof. Dr. Anna Nagl, Leiterin des Forschungsprojektes „Energy for future Mobility“. In: Wirtschaft - Das IHK-Magazin für München und Oberbayern. München. 07/2011. S. 20
- NPE (Nationale Plattform Elektromobilität): „Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität“. Berlin. 2011.
- Rennhak, C.: Wo bleibt ein stimmiges Gesamtkonzept für den Zukunfts-

markt Mobilität? In: Eckelt Consultants GmbH (Hrsg.): Top Career Guide Automotive 2011, S. 46-48.

### Kontakt

Prof. Dr. Anna Nagl, Gesamtleitung Forschungsprojekt „Energy for future Mobility“, Dr. Verena Rath, operative Projektleitung, Hochschule Aalen, Beethovenstrasse 1, 73430 Aalen, Tel. 07361-576-4601, Fax. 07361-576-44-4601, E-Mail: anna.nagl@htw-aalen.de

Prof. Dr. Carsten Rennhak, Projektleitung Hochschule Reutlingen, ESB Business School, Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen, Tel. 07121-271-6010, Fax. 07121-271-90-6010, E-Mail: carsten.rennhak@reutlingen-university.de

Website des Forschungsprojekts: [www.htw-aalen.de/mobility](http://www.htw-aalen.de/mobility)