

Simulationsrechnungen

Kosteneinsparpotenzial durch Leichtbau bei Elektrofahrzeugen

Der Leichtbau stellt bei Elektrofahrzeugen einen essentiellen Baustein zur Erschließung der Marktpotenziale dieser Fahrzeuge dar, da ein direkter Zusammenhang mit den marktrelevanten Größen Reichweite und Fahrzeugkosten besteht. Um den Leichtbau in der frühen Phase des Fahrzeugentwicklungsprozesses betrachten zu können, ist es entscheidend, die Kosteneinsparpotenziale durch Leichtbau quantifizieren zu können.

Kosten und Reichweite sind zwei zentrale Hürden für einen breiten Markteintritt von Elektrofahrzeugen. Hauptkostentreiber ist der elektrochemische Speicher des Fahrzeugs, so dass dessen Kosten zu reduzieren sind. Stellhebel neben der Optimierung der Produktionskosten ist die Senkung des Energieverbrauchs des Fahrzeugs. Einfluss darauf haben die Fahrzeugmasse, die Karosserieform, der Wirkungsgrad des Antriebsstrangs, der Rollwiderstand der Reifen, die Nebenverbraucher und die Komfortfunktionen. Hierzu zeigt **Bild 1** die Anteile des Energieverbrauchs im NEDC-Zyklus (New European Driving Cycle) am Beispiel eines Elektrofahrzeugs mit einer Fahrzeuggesamtmasse von 1100 kg. Die masseabhängigen Anteile am Energieverbrauch betragen hierbei 47 % und werden durch den Rollwiderstand sowie den Beschleunigungswiderstand verursacht.

Auf Basis der im Rahmen einer Elektrofahrzeug-Konzeptentwicklung am Institut für Kraftfahrzeuge (ika) durchgeführten Simulationen zur Auslegung des Antriebsstrangs sind Analysen entstanden, die eine Quantifizierung des Kostenpotenzials von Leichtbaumaßnahmen bereits in der frühen Konzeptphase des Entwicklungsprozesses von Elektrofahrzeugen erlauben.

BESCHREIBUNG DES SIMULATIONSMODELLS UND DER PARAMETER

Um das Kostenpotenzial von Leichtbaumaßnahmen beschreiben zu können, wurde zunächst ein längsdynamisches Simulationsmodell des batterieelektrischen Antriebsstrangs (Battery Electric Vehicle; kurz BEV) auf Grundlage der Modul-Bibliothek des ika aufgebaut, die auf der Software Matlab/Simulink beruht. Mit Hilfe dieser Simula-



»Die Analysen erlauben eine Quantifizierung des Kostenpotenzials von Leichtbaumaßnahmen bereits in der frühen Konzeptphase des Entwicklungsprozesses von Elektrofahrzeugen.«

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein ist Leiter des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) an der RWTH Aachen University.

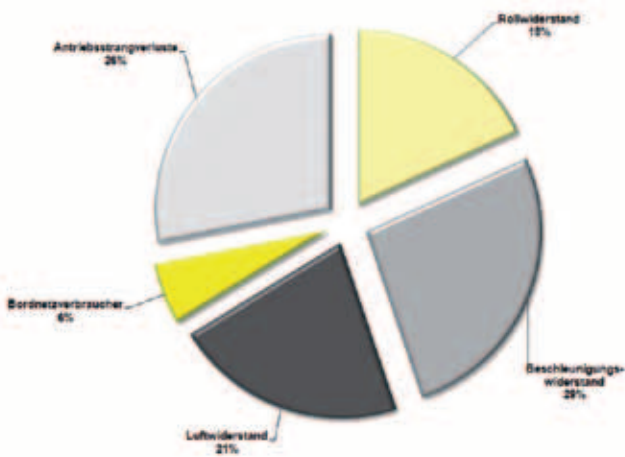


BILD 1 Verteilung des Energieverbrauchs im Europäischen Fahrzyklus am Beispiel eines Kleinwagens mit 1100 kg Masse

tionsmodelle werden die Leistungs- und Momentbilanzen für verschiedene Fahrsituationen berechnet und somit der Energieverbrauch ermittelt. Die Antriebsstrangstruktur, die relevanten Komponenten und die oberste Ebene des Simulink-Längsdynamikmodells des BEV sind in **Bild 2** dargestellt.

Das Fahrzeug wird von einer Elektromaschine angetrieben, die über eine feste Gangstufe und ein Achsgetriebe mit den Rädern der Vorderachse verbunden ist. Gespeist wird dieses Antriebsmodul von einer Li-Ionen Batterie.

Bild 2 zeigt die Antriebsstruktur, die sich aus den einzelnen Modulen des Antriebsstrangs und des Fahrzeugs zusammensetzt, und einen übergeordneten Block, der die Steuerung und die Betriebsstrategie sowie das Fahrermodell enthält. Außerdem werden die Bordnetzverbraucher und deren Anbindung über einen DC/DC-Wandler im Modell abgebildet. Das Fahrermodell vergleicht die über den Fahrzyklus vorgegebene Geschwindigkeit mit der aktuellen Geschwindigkeit des Fahrzeugs und erzeugt so einen Sollwert für das Antriebsmoment. Die Betriebsstrategie entscheidet dann anhand der aktuellen Fahrsituation, wie der elektrische Antrieb angesteuert werden soll. Das Fahrzeug und sämtliche Antriebskomponenten werden über Parameter, Kennlinien und Kennfelder abgebildet. Typische Daten in diesem Zusammenhang sind zum Beispiel Fahrzeugmasse, Übersetzungsverhältnisse und Verlustkennfelder. So wird beispielsweise über das Kennfeld einer permanenten Synchronmaschine verwendet) der elektrische Leistungsbedarf für die aktuelle Drehzahl und das aktuelle Drehmoment ausgegeben und bilanziert.

Als Basis für die Untersuchung wurde ein Fahrzeug aus dem Kleinwagensegment ausgewählt. Die relevanten Fahrzeugparameter des Basisfahrzeugs können der **Tabelle 1** entnommen werden.

Ausgehend von der Basisvariante mit einer Fahrzeugmasse von 1100 kg wird die Masse in den Simulationsrechnungen bis zu einer Minimalfahrzeugmasse von 500 kg und einer Maximalmasse von 1700 kg

TABELLE 1 Fahrzeugparameter und Anforderungen der Basisvariante

Basisfahrzeug	
Fahrzeugmasse	1.100 kg
c_w -Wert	0,29
Querspanntfläche	2 m ²
Mittlere Bordnetzleistung	250 W
f_r	0,01
r_{dyn}	0,31 m
Höchstgeschwindigkeit	140 km/h
Anfahrsteigfähigkeit	40 %
Steigfähigkeit bei 105 km/h	5 %
Beschleunigung 0–100 km/h	12 s

variiert. Unter Berücksichtigung der geforderten Fahrleistungen (Beschleunigungen und Höchstgeschwindigkeit) wird die Leistung der E-Maschine der Fahrzeugmasse angepasst.

Das Simulationsmodell bietet die Möglichkeit, verschiedene, zeitlich variable Geschwindigkeitsvorgaben beziehungsweise Fahrzyklen vorzugeben. Außerdem kann neben der Geschwindigkeit auch ein Steigungsprofil oder Höhenprofil der Strecke hinterlegt werden, so dass auch reale Zyklen simuliert und analysiert werden können.

Für die weiteren Untersuchungen wurden folgende Zyklen ausgewählt:

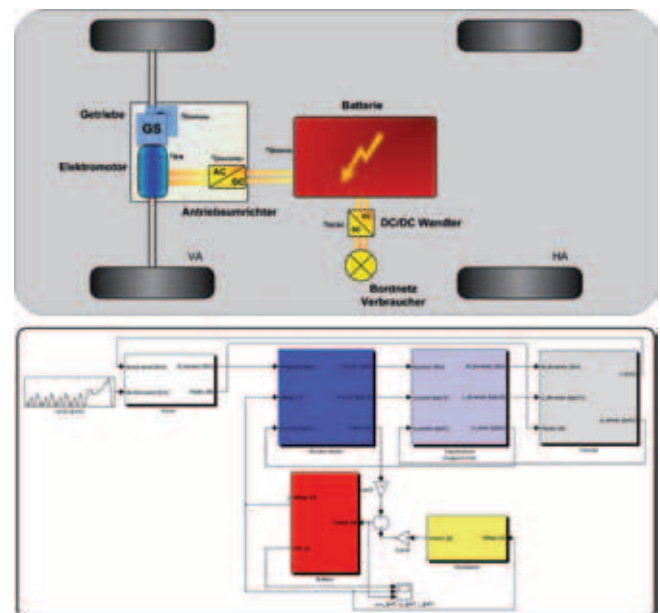


BILD 2 Antriebsstrangstruktur und Simulink-Längsdynamikmodell des batterieelektrischen Fahrzeugs

- EU-Normzyklus (NEDC)
- Typischer Stadtzyklus (Hyzem Urban)
- Mischzyklus (AC2-Runde).

Der europäische Zyklus ist ein synthetischer Normzyklus. Er besteht aus einem städtischen Anteil mit einer Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und einem außerstädtischen Teil mit einer Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h.

Als validiert werden für die Bewertung des Energieverbrauchs Realzyklen angesehen. Als Beispiel für diese Kategorie sind die Hyzem-Zyklen zu nennen, die im Rahmen des EUCAR-Projektes HYZEM aus umfangreichen Messdaten generiert worden sind und die das reale Kundenverhalten in Europa widerspiegeln sollen [2]. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde der Zyklus Hyzem-Urban berücksichtigt, der eine typische Stadtfahrt repräsentiert. Neben dem Hyzem-Zyklus wird mit dem AC2-Zyklus ein weiterer Realzyklus berücksichtigt. Dieser Zyklus beschreibt eine Fahrt in Aachen und wurde durch das ika aufgezeichnet. Neben dem Geschwindigkeitsprofil ist außerdem der Höhen- beziehungsweise Steigungsverlauf der Strecke aufgezeichnet worden und dient als Eingangsgröße für die Simulationsrechnungen.

ERGEBNISSE DER SIMULATIONSRECHNUNGEN

Der Energieverbrauch eines Elektrofahrzeugs ist bei der Auslegung des Batteriesystems eine der entscheidenden Größen, da er die Kapazität (und somit die Kosten) der zu installierenden Batterie bestimmt. Ziel der Auswertung der Simulationsergebnisse ist deswegen die Analyse des Zusammenhangs zwischen der Fahrzeugmasse und dem Energieverbrauch eines Elektrofahrzeugs.

Der Energiebedarf des Elektrofahrzeugs resultiert aus den Fahrwiderständen in Form von Roll-, Luft- und Beschleunigungswiderstand und der Bereitstellung von elektrischer Energie für die Nebenverbraucher, die nicht am Antrieb des Fahrzeugs beteiligt sind. In Abhängigkeit der Güte der Energiewandlung durch das Antriebsmodul und die Batterie folgt aus diesem Energiebedarf der Energieverbrauch des Fahrzeugs. Sämtliche Energieströme des BEV sind in Bild 3 am Beispiel der Ergebnisse für den NEDC dargestellt. Die Ergebnisse ermöglichen an dieser Stelle auch eine genaue Analyse der Rekuperationsvorgänge und deren Potenzial. Aufgrund der

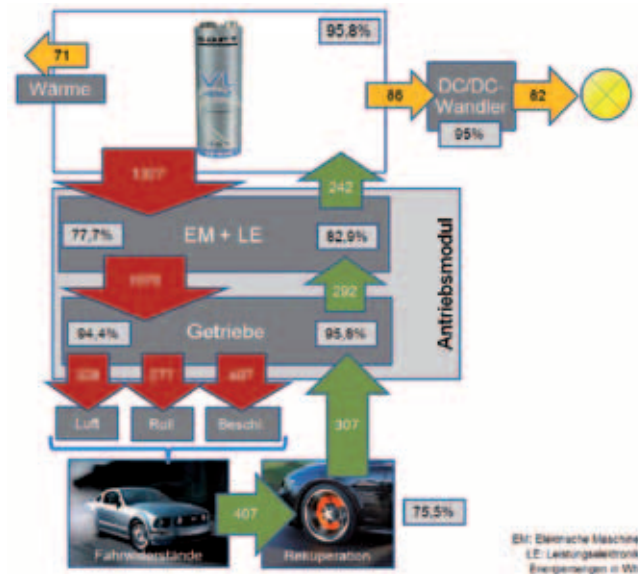


BILD 3 Energieflussdiagramm NEDC

Fahrwiderstände können während der Phasen der Nutzbremmung lediglich zirka 75 % der in der Fahrzeugmasse zwischengespeicherten Energie am Rad genutzt werden. Bedingt durch die folgende Energiewandlungskette über das Antriebsmodul zur Batterie und zurück über das Antriebsmodul entstehen Verluste und die nutzbare Energiemenge wird weiter reduziert, so dass weniger als die Hälfte der zuvor investierten Beschleunigungsenergie erneut zum Antrieb des Fahrzeugs genutzt werden kann. Geht man weiterhin davon aus, dass die rekuperierbare Energie durch fahrdynamische Grenzen und in Abhängigkeit des technischen Reifegrades der umgesetzten Bremsregelung limitiert ist, verringert sich das Potenzial weiter. Das Rekuperationspotenzial ist darüber hinaus stark abhängig vom betrachteten Zyklus. Weiterhin bestimmt der Zyklus den Energiebedarf am Rad und wird charakterisiert durch eine spezifische Verteilung



»Die Fahrzeugmasse beeinflusst neben der Auslegungreichweite und den Batterieparametern die Dimensionierung der Batterie maßgeblich.«

Dipl.-Ing. Bastian Hartmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Antrieb des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) an der RWTH Aachen University.

powered by

ATZ

 Springer Automotive Media

Jetzt unter

www.careers4engineers.de

über die Veranstaltung informieren
und kostenlos anmelden!

Topjobs für Ingenieure!

sponsored by

brose
Technik für Automobile

IAV GmbH
Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr

Einstieg · Umstieg · Aufstieg



Recruiting Highlights 2010

20. November: Chemnitz

04. Dezember: Darmstadt

careers **4**engineers
automotive

Die Karriere-Events für Automobil-Ingenieure – www.careers4engineers.de

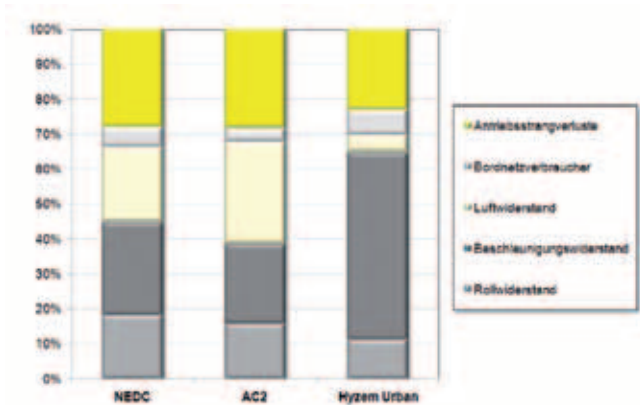


BILD 4 Anteile des Energieverbrauchs des Basisfahrzeugs für verschiedene Zyklen

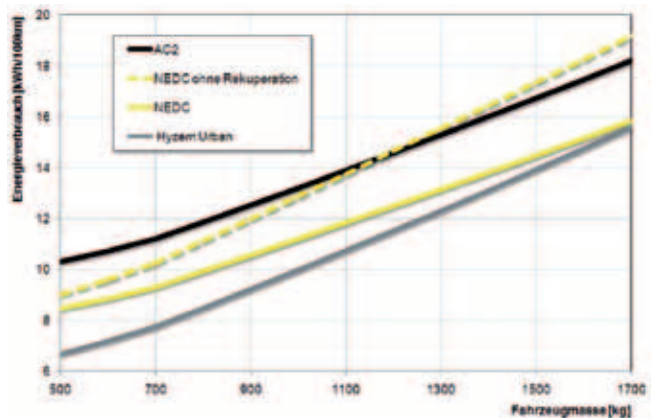


BILD 5 Energieverbrauch über Fahrzeugmasse in verschiedenen Zyklen

lung der Bedarfsenergie der Fahrwiderstände. Der Anteil der masseabhängigen Fahrwiderstände nimmt beim NEDC zirka 45 % der Gesamtenergie ein. Dieser Anteil liegt bei dem Stadtzyklus bei über 60 %, Bild 4.

Die Ergebnisse der Simulationen (Energieverbrauch an der Batterie) mit verschiedenen Fahrzeugmassen im Bereich von 500 kg bis 1700 kg für die drei Zyklen NEDC, Hyzem Urban und AC2 sind in Bild 5 dargestellt.

Der Energieverbrauch ist im Bereich von 700 kg bis 1700 kg nahezu linear abhängig von der Fahrzeugmasse. Die Steigung und der Achsenabschnitt dieser Funktionen sind dabei abhängig vom Zyklus und der Auslegung der Antriebskomponenten. Der Achsenabschnitt dieser Funktion bei einer virtuellen Fahrzeugmasse von 0 kg beschreibt den Grundverbrauch und ist abhängig vom Luftwiderstand des Fahrzeugs, von den Verlusten des Antriebsstrangs und der elektrischen Verbraucher.

In den betrachteten Zyklen wurde eine maximale Rekuperation der Bremsenergie berücksichtigt, das heißt sämtliche Energie am Rad wird zurückgespeist. Um den Effekt der Rekuperation darstellen zu

können, wurde außerdem der Zyklus NEDC als Variante ohne Rekuperationsfunktion simuliert. Sowohl der absolute Energieverbrauch dieser Variante als auch die Steigung des Energieverbrauchs in Abhängigkeit der Fahrzeugmasse ist erkennbar höher im Vergleich zur Basisvariante des Zyklus.

Mit Hilfe der Steigung „a“ und dem Achsenabschnitt „b“ dieser Funktionen kann die Batteriekapazität und -masse für das Fahrzeug entsprechend der Auslegungsreichweite und unter Annahme verschiedener Parameter für das Batteriesystem berechnet werden:

$$m_{\text{Batt}} (\rho_{\text{ele,Batt}} \cdot X_{\text{Batt}}) = [a \cdot (m_{\text{Fzg}} + m_{\text{Batt}}) + b] \cdot s_{\text{ele}} \Leftrightarrow m_{\text{Batt}} = \frac{(a \cdot m_{\text{Fzg}} + b)}{\left(\frac{\rho_{\text{ele,Batt}} \cdot X_{\text{Batt}}}{s_{\text{ele}}} - a\right)}$$

mit:

- m_{Fzg} Fahrzeugmasse ohne Batterie
- a Zykluspezifischer Massegradient
- b Zykluspezifischer Grundverbrauch
- $\rho_{\text{ele,Batt}}$ Spezifische Energiedichte der Batterie
- X_{Batt} Nutzbarer SOC-Bereich der Batterie
- s_{ele} Auslegungsreichweite.



»Schöpft man das volle Einsparpotenzial durch Leichtbau aus, erscheint der Einsatz von bisher bei konventionellen Fahrzeugen als zu teuer eingestuftes Materialien und Technologien realistischer.«

Dipl.-Ing. Fabian Schmitt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Karosserie des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) an der RWTH Aachen University.

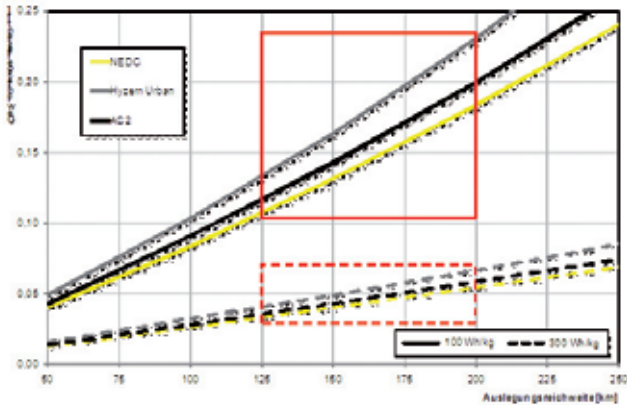


BILD 6 Massekoeffizient „kBatt“ über Auslegungsreichweite für verschiedene Zyklen

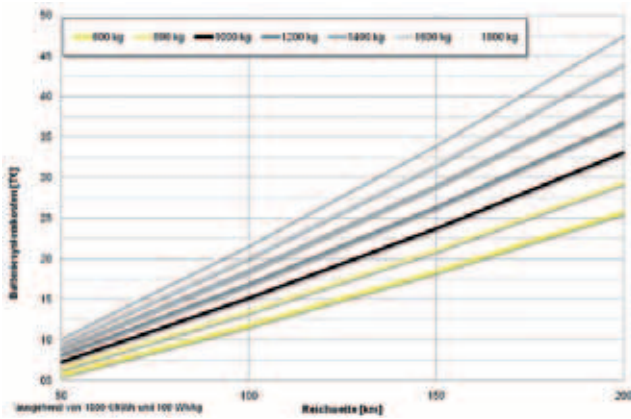


BILD 7 Batteriesystemkosten für verschiedene Fahrzeugmassen abhängig von der elektrischen Reichweite für 1000 €/kWh im NEDC

Die dargestellte Gleichung verdeutlicht, dass die Batteriemasse linear abhängig von der Fahrzeugmasse ist. Somit beeinflusst die Fahrzeugmasse neben der Auslegungsreichweite und den Batterieparametern die Dimensionierung der Batterie maßgeblich. Bildet man die Ableitung dieser Funktion, also die Steigerungsrate der Batteriemasse über dem Fahrzeuggrundmasse, ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$k_{\text{Batt}} = \frac{\Delta m_{\text{Batt}}}{\Delta m_{\text{Fzg}}} = \frac{a}{\left(\frac{p_{\text{ele, Batt}} \cdot X_{\text{Batt}}}{s_{\text{ele}}} - a \right)} = \frac{s_{\text{ele}}}{\left(\frac{p_{\text{ele, Batt}} \cdot X_{\text{Batt}}}{a} - s_{\text{ele}} \right)}$$

Daraus folgt, dass die Steigung der Funktion Batteriemasse über Fahrzeugmasse „kBatt“ abhängig von der Auslegungsreichweite ist. Aufgrund der rekursiven Abhängigkeit des Energieverbrauchs beziehungsweise der Fahrzeuggesamtmasse von der Batteriemasse, kann der funktionale Zusammenhang dabei nicht über einen linearen Ansatz beschrieben werden. Vielmehr ergibt sich eine gebrochene rationale Funktion, die im

Bayern  Innovativ

Cluster  Neue Werkstoffe

Cluster Neue Werkstoffe

Technologien für Innovationen der Zukunft



Der Cluster Neue Werkstoffe ist die Informations- und Kommunikationsdrehscheibe in Bayern rund um das Thema Neue Materialien.

Aktivitäten

- Technologie-Marketing
- Cluster-Foren, -Treffs, -Kreise
- Kooperationsprojekte

Ihre Chancen

- Informations- und Erfahrungsaustausch
- Gewinnung neuer Kooperationspartner
- Erweiterung Ihres Netzwerkes
- Vernetzung von Kompetenz- und Entscheidungsträgern
- Zusammenarbeit mit regionalen Partnern und Clustern

www.cluster-neuewerkstoffe.de

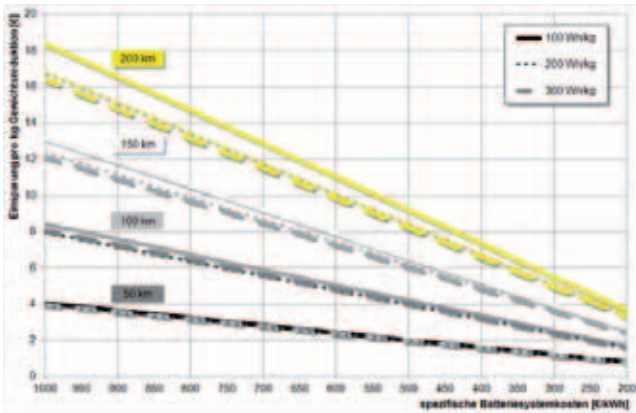


BILD 8 Eingesparte Batteriesystemkosten je eingespartem Kilogramm Fahrzeugmasse für verschiedene spezifische Batteriesystemkosten

relevanten Bereich als quadratische Gleichung angenähert werden kann. Neben dem zyklusspezifischen Massegradienten bestimmt die Energiedichte des Batteriesystems die Steigung und die Polstelle dieser Funktion. Der Massekoeffizient „k_{Batt}“ ist für alle drei Zyklen in Bild 6 in Abhängigkeit der Auslegungsreichweite für den relevanten Bereich von 50 km bis 250 km dargestellt.

Die durchgezogenen Linien repräsentieren den heutigen Stand der Entwicklung eines Li-Ionen Batteriesystems mit einer spezifischen Energiedichte von 100 Wh/kg. Die gestrichelten Linien stellen eine Variante dar, die mit einer Zielgröße für die spezifische Energiedichte des Batteriesystems von 300 Wh/kg berechnet wurde.

Es stellt sich somit ein weiterer Bereich für den Massekoeffizient dar. Betrachtet man die Technologie aus heutiger Sicht, ergibt sich für die Auslegungsreichweite eine sinnvolle Größe im Bereich von 125 km bis 200 km. Daraus folgt, dass der Massekoeffizient „k_{Batt}“, abhängig vom betrachteten Zyklus, im Wertebereich zwischen 0,1 und 0,23 liegt, so dass zwischen 10 % und 23 % der eingesparten Fahrzeugmasse an der Batteriemasse beziehungsweise an der Batteriekapazität eingespart werden kann.

TRANSFER AUF LEICHTBAUKOSTEN

Die gezeigten Ergebnisse mit den ermittelten Massekoeffizienten in dem betrachteten Bereich von 0,1 bis 0,18 für den NEDC zeigen deutlich das Potenzial von Leichtbaumaßnahmen im Elektrofahrzeug auf. Interessant ist besonders die ansteigende Relevanz dieser Maßnahmen mit steigender elektrischer Reichweite. Um diese Ergebnisse richtig deuten zu können, bedarf es jedoch der Quantifizierung der eingesparten Batteriesystemkosten durch Leichtbaumaßnahmen je reduziertem Kilogramm Fahrzeugmasse (ohne Batterie). Dieser zu ermittelnde Kennwert lässt dann Vergleiche zu Leichtbaumaßnahmen und eingesetzten Materialien sowie Technologien in konventionellen Fahrzeugen zu.

Der erste Schritt zur Ermittlung der gewünschten Kennwerte ist die Darstellung der Batteriesystemkosten über der elektrischen Reichwei-

TABELLE 2 Batteriesystemkosteneinsparung durch 100 kg Massenreduktion bei zwei unterschiedlichen Energiedichten

	Fahrzeugmasse ohne Batterie	Batteriemasse	Batteriekapazität	Batteriesystemkosten
100 Wh/kg	1.200 kg	263 kg	26,3 kWh	26.334
	-100 kg	-13 kg	-1,3 kWh	-1.318 €
	1.100 kg	250 kg	25,0 kWh	25.016 €
300 Wh/kg	1.200 kg	81 kg	24,2 kWh	24.207 €
	-100 kg	-4kg	-1,2 kWh	-1.211 €
	1.100 kg	77 kg	23,0 kWh	22.996

spez. Batteriekosten: 1.000 Wh/kg; Auslegungsreichweite: 150 km

te für verschiedene Fahrzeugmassen. Bild 7 zeigt hierzu den Verlauf der Batteriesystemkosten für einen Kostenwert von 1000 €/kWh und einer angenommenen spezifischen Energiedichte von 100 Wh/kg.

Deutlich sichtbar ist der nichtlineare Verlauf der Batteriesystemkosten mit steigender Reichweite. Ebenso ist eine Abhängigkeit des Gradienten von der Fahrzeugmasse zu erkennen. Anhand dieser Werte können die Einsparungen in Euro je reduziertem Kilogramm Fahrzeugmasse in Abhängigkeit von den Batteriesystemkosten und der Auslegungsreichweite berechnet werden, Bild 8.

Zur Verdeutlichung der gezeigten Ergebnisse ist in Tabelle 2 ein Beispiel für die Reduktion der Fahrzeugmasse um 100 kg von 1200 kg auf 1100 kg für zwei unterschiedliche Energiedichten durchgeführt. Die durch Leichtbaumaßnahmen eingesparten Batteriesystemkosten betragen hierbei unabhängig von der spezifischen Energiedichte zirka 5 % beziehungsweise 1318 € und 1211 €. Dies entspricht somit einem Wert von 13,18 € und 12,11 € je reduziertem kg Fahrzeugmasse.

Verglichen zu derzeit akzeptierten Leichtbaukosten von 3 bis 5 € je eingespartem kg Fahrzeugmasse zeigen die ermittelten Werte, welche Kosteneinsparpotenziale durch Leichtbau bei Elektrofahrzeugen mit konventionellen Maßnahmen zu erschließen sind. Schöpft man das volle zur Verfügung stehende Einsparpotenzial durch Leichtbau aus, Bild 8, erscheint der Einsatz von bisher bei konventionellen Fahrzeugen als zu teuer eingestuftes Materialien und Technologien nun realistischer.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse, die in der Konzeptentwicklungsphase für ein Elektrofahrzeug am Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen entstanden, belegen die herausragende Bedeutung von Leichtbaumaßnahmen für Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen. Dort werden derzeit Mehrkosten durch Leichtbau je reduziertem Kilogramm von 3 bis 5 Euro akzeptiert – für Elektrofahrzeuge zeigen die Ergebnisse je eingespartem Kilogramm Fahrzeugmasse ein Potenzial von 4 bis 18 Euro bei derzeitigen spezi-

English abstract

Simulation Calculations

Cost-Saving Potential of Lightweight Design in Electric Vehicles

Lightweight design in electric vehicles is a key component in opening up market potentials for these vehicles, as there is a direct relationship between the market-relevant quantities of driving range and vehicle costs. In order to consider the use of lightweight design in the early phase of vehicle development, it is essential to quantify the cost-saving potential of lightweight design.

fischen Batteriesystemkosten (zirka 1000 €/kWh) und bei konstanten Herstellungskosten für das Gesamtfahrzeug je nach Auslegungsreichweite im NEDC. Selbst bei zukünftig erwarteten spezifischen Batteriesystemkosten von 200 bis 300 €/kWh bleiben die für kostenneutrale Leichtbaumaßnahmen investierbaren eingesparten Kosten signifikant. Für die weiteren untersuchten Zyklen Hyzem-Urban und AC2 zeigten die Ergebnisse sogar leicht höhere Werte als für den NEDC. Dieser Wandel in der Bedeutung von Leichtbaumaßnahmen für Elektrofahrzeuge macht eine neue Bewertung der anzuwendenden Materialien und Technologien vor dem Hintergrund der Fahrzeugesamtkosten und der Reichweite notwendig. Darüber hinaus erlauben die in diesem Artikel gezeigten Ergebnisse und Formeln eine sichere Quantifizierung der Leichtbaumaßnahmen in der Konzeptphase. Hierzu bedarf es lediglich der Festlegung der Zielgewichte und –kosten des Fahrzeugs, der Auslegungsreichweite sowie der für die Auswahl und Simulation anzuwendenden Fahrzyklen. Weiterhin ist mit den Ergebnissen eine genaue Bestimmung des vorzusehenden Raumbedarfs der Batterie sehr einfach möglich, die für das Purpose-Design von Elektrofahrzeugen besonders packagebestimmend ist. ●

Die Autoren:

UNIV.-PROF. DR.-ING. LUTZ ECKSTEIN ist Leiter des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) an der RWTH Aachen University.

DIPL.-ING. BASTIAN HARTMANN ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Antrieb des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) an der RWTH Aachen University.

DIPL.-ING. FABIAN SCHMITT ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Karosserie des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) an der RWTH Aachen University.

LITERATURHINWEISE

[1] STIGSON, B.; ET AL.: Mobility 2030 – Meeting the Challenges to Sustainability. World Business Council for Sustainable Development, 2004

[2] FRIEDMANN, S.; JONES, C.; MESITI, D.; ANDRE, M.; CARMINOT, P.: Entwicklung von Bewertungswerkzeugen für Hybridfahrzeuge Fachtagung „Batterie-, Brennstoffzellen- und Hybridfahrzeuge“ VDI-Bericht 1378, 1998



Gewicht runter „schrauben“!

Mit EJOT® Verbindungselementen für den Leichtbau.

Nutzen Sie Potenziale für die Gewichtsreduzierung und Kosteneinsparung durch den konsequenten Einsatz von Leichtbauwerkstoffen in Kombination mit adäquaten Füge-techniken.

Wir unterstützen Sie bei der Analyse Ihrer Anwendungsbereiche im Hinblick auf mögliche Gewichtsreduzierungen durch den Einsatz innovativer Materialien und Verbindungstechniken.

Wir beraten Sie gerne bei Ihrem nächsten Projekt.

www.ejot.de

EJOT GmbH & Co. KG Geschäftsbereich Verbindungstechnik