

# Elektromobilität mit Brennstoffzellen und Batterien



## Jülich

Dr. Bert de Haart  
l.g.j.de.haart@fz-juelich.de

Prof. Dr. Rüdiger-A. Eichel  
r.eichel@fz-juelich.de

## DLR

Prof. Dr. Andreas Friedrich  
andreas.friedrich@dlr.de

## HZB

Dr. Roland Steitz  
steitz@helmholtz-berlin.de

Prof. Dr. Matthias Ballauff  
matthias.ballauff@helmholtz-berlin.de

## ZSW

Prof. Dr. Werner Tillmetz  
werner.tillmetz@zsw-bw.de

Michael Danzer  
michael.danzer@zsw-bw.de

Dr. Alexander Kabza  
alexander.kabza@zsw-bw.de

## Fraunhofer ISE

Dr. Günther Ebert  
guenther.ebert@ise.fraunhofer.de

## Fraunhofer IWES

Peter Caselitz  
peter.caselitz@iwes.fraunhofer.de

Markus Landau  
markus.landau@iwes.fraunhofer.de

## IZES

Dr. Bodo Groß  
gross@izes.de

Sebastian Arns  
arns@izes.de

Elektromobilität wird immer wieder kontrovers diskutiert. Und auch innerhalb der Elektromobilität gibt es Diskussionen, welche Technologie sich durchsetzen wird: Brennstoffzellenfahrzeuge oder Fahrzeuge mit Batterien. Tesla Motors bezeichnet batteriebetriebene Fahrzeuge als angeblich einzig zukunftsfähige Technologie für die Elektromobilität. Andere Hersteller, wie Hyundai oder auch Toyota hingegen, stellten Kleinserien von mit Wasserstoff betriebenen Fahrzeugen vor. Die Frage, welche Technologie der Elektromobilität sich letztendlich durchsetzen wird, ist also noch nicht beantwortet.

Vergleicht man Effizienz und Umweltverträglichkeit verschiedener Antriebstechnologien, liegen die Vorteile der Elektromobilität klar auf der Hand.

## Effizienzvorteile (Abbildung 1)

- Ein herkömmlicher Verbrennungsmotor wandelt die Energie aus dem Kraftstoff durch Verbrennung in Wärme und Bewegung um und erreicht dabei eine Effizienz von etwa 25 %.
- Eine Brennstoffzelle wandelt chemische Energie direkt in elektrische Energie und ist dadurch wesentlich effizienter. Mit Wasserstoff als Energieträger sind Wirkungsgrade zwischen 40 und 50 % möglich.
- Bei der Batterie wird die Energie chemisch gespeichert und beim Entladen wieder freigesetzt, wobei sich eine Effizienz von 70 bis 80 % erreichen lässt.

## Gute Umweltverträglichkeit (Abbildung 2)

- Verbrennungsmotoren weisen aufgrund des hohen Kohlenstoffgehalts der Treibstoffe sehr hohe Treibhausgasemissionen auf.
- Bei der Brennstoffzelle ist die Höhe der Emissionen abhängig davon, woher der Wasserstoff für den Betrieb der Brennstoffzelle stammt. Bei der Gewinnung des Wasserstoffs aus Erdgas entstehen immer noch hohe Emissionen. Wird jedoch Wasserstoff genutzt, der durch Elektrolyse aus erneuerbaren Energien gewonnen wird, sinken die Treibhausgasemissionen deutlich ab.
- Bei Batteriefahrzeugen wird die Emissionshöhe von der Herkunft des gespeicherten Stroms und der Effizienz des jeweiligen Antriebs bestimmt.

## Marktdurchdringung von Elektromobilen

- 2013 wurden in Deutschland insgesamt etwa 2,95 Mio. Neuwagen zugelassen.
- Der Anteil der batteriebetriebenen Elektroautos war dabei mit ca. 6000 noch gering.
- Die lediglich ca. 600 Brennstoffzellenfahrzeuge finden bisher vor allem in Demonstrationsprojekten Anwendung.

## Stand der Technik und Forschungsbedarf

*Batteriefahrzeuge* haben bereits Rahmenbedingungen, die diese Technologie alltagstauglich machen. So gibt es mittlerweile eine Standardisierung der öffentlichen Ladeinfrastruktur und es ist eine gesellschaftliche Akzeptanz der Technologie vorhanden. Inzwischen gibt es auch Leasingangebote für Elektroautos, was Raum für neue Geschäftsmodelle bietet. Ein noch ungelöstes Problem ist die Angst, wegen einer leeren Batterie mit dem Auto liegenzubleiben. Daraus ergeben sich zwei Aufgaben für die Zukunft: Gewichtsreduktion und Vergrößerung der Reichweite. Um das zu erreichen, müssen die Speicher optimiert werden, was auch mit einer Verlängerung der Lebensdauer der Batterien verbunden sein muss, da die Degradation bei Lithium-Ionen-Akkus immer eine Rolle spielt.

*Brennstoffzellenfahrzeuge* haben den Vorteil kurzer Nachtankzeiten im Vergleich zu den längeren Ladezeiten von Batteriefahrzeugen. Testfahrten in Demonstrationsprojekten haben gezeigt, dass Brennstoffzellen und der für ihren Betrieb notwendige Wasserstofftank sehr sicher in Fahrzeugen eingesetzt werden können. Brennstoffzellenfahrzeuge haben eine ausreichend große Reichweite, die zurzeit bei etwa 600 km liegt. Forschungsbedarf besteht noch in Bezug auf die Fahrleistung, um das dynamische Fahrverhalten zu optimieren und das Verhalten der Brennstoffzelle bei Kaltstart. Die Brennstoffzelle soll auch unter widrigen Klimaverhältnissen einwandfrei und verlässlich arbeiten. Auch die Effizienz der Brennstoffzelle kann noch verbessert werden, um den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren.

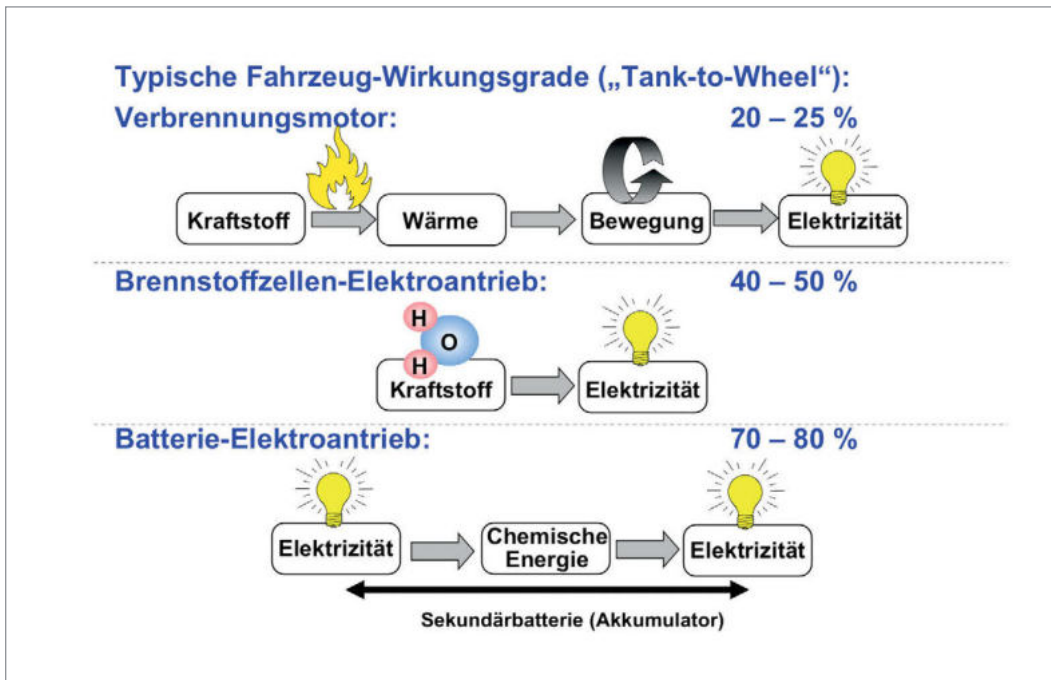


Abbildung 1  
Wirkungsgrade verschiedener Antriebs-technologien

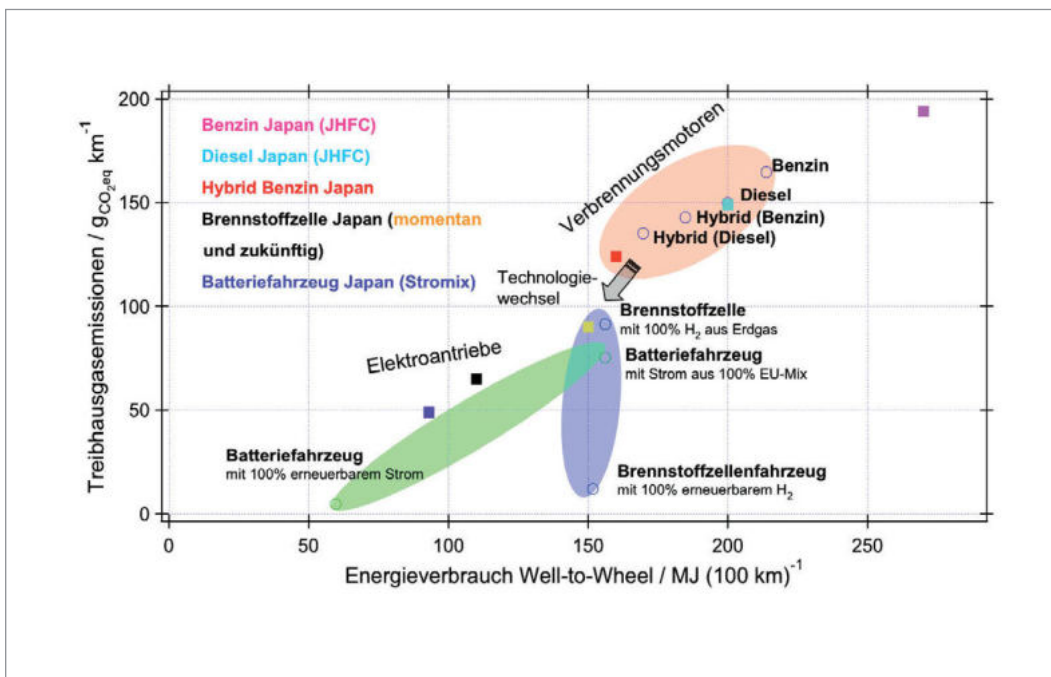


Abbildung 2  
Treibhausgasemissionen verschiedener Antriebe  
(Datenquelle: Daimler und Well-to-Wheel Studien: Concawe, EUCAR, JRC und JHFC)

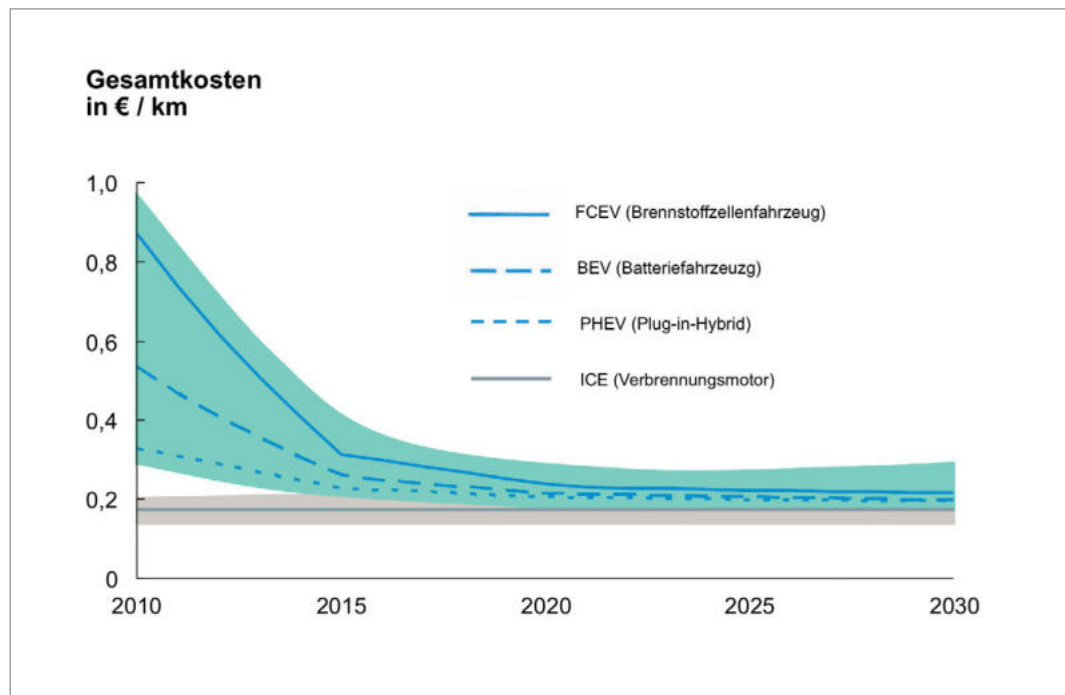
Für die Verbreitung von Brennstoffzellenfahrzeugen ist der Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur essentiell. Dazu gibt es verschiedene Projekte:

- *H<sub>2</sub> Mobility* ist eine Initiative von sechs Unternehmen und der Bundesregierung, in dem bis 2023 über ganz Deutschland verteilt 400 Wasserstoff-Tankstellen errichtet werden sollen. Ziel ist es, nie weiter als 200 km von einer Tankstelle entfernt zu sein.
- Auch *GermanHy* plant den Ausbau der Wasserstoff-Infrastruktur.

In der Einführungsphase wird die Wasserstoffanlieferung per LKW-Flüssiggas-Transport stattfinden. Bei steigender Nachfrage erfolgen Transport und Verteilung über Pipelines zu den Tankstellen.

Am Ende entscheiden aber die Kosten darüber, ob sich eine Technologie durchsetzt oder nicht. Aktuell sind die Kosten pro Kilometer von Elektrofahrzeugen noch deutlich höher als die von Autos mit Verbrennungsmotoren, was zum großen Teil dadurch bedingt ist, dass Elektrofahrzeuge bisher nur in kleinen

Abbildung 3  
**Kostenvergleich für verschiedene Fahrzeugtypen auf EU-Ebene:**  
 Gesamtkosten enthalten Kaufpreis und Betriebskosten  
 (Quelle: „A portfolio of powertrains for Europe: a fact-based analysis“, McKinsey & Company, 2012)



somit teuren Serien produziert werden. Auf lange Sicht werden sich aber mit steigender Produktionsmenge auch die Kosten angleichen (Abbildung 3).

### Forschungsprojekte

Zum Thema Elektromobilität besteht also noch großer Forschungsbedarf. In den Mitgliedsinstituten des FVEE wird daran gearbeitet, die Zukunft der Mobilität nachhaltig und effizient zu gestalten. Dazu im Folgenden einige Beispiele:

#### Jülich

Das Forschungszentrum Jülich arbeitet an Batterien und Brennstoffzellen und forscht zur Elektrolyse. Ziel ist, herkömmliche Technik wie die Lithium-Ionen-Batterie um neue Technologien zu erweitern. Unter anderem forschen wir zu neuartigen Batteriesystemen der zweiten und dritten Generation, beispielsweise Metall-Luft-Batterien, die eine deutlich höhere spezifische Energiedichte aufweisen. Auch bei den Brennstoffzellen geht es darum, die Leistungsdichte und die Lebensdauer zu erhöhen. In der Batterieforschung nehmen wir Lade-Entlade-Profilen auf, schauen auf die Degradation und versuchen, die Methoden so zu entwickeln, dass wir die Batterie „in operando“ beobachten können, damit wir den Mechanismus der Degradation erkennen können.

#### HZB

Am Helmholtz-Zentrum Berlin werden neue Elektrodenmaterialien für Lithium-Schwefel-Batterien untersucht. Diese Batterien versprechen eine höhere Energiedichte.

#### IZES

Im Fokus der Forschungsarbeiten am IZES zu Elektromobilität steht deren Rolle im Gesamtenergiesystem. Es werden gegenseitige Wechselwirkungen der einzelnen Systemkomponenten untersucht, wie z. B. die Rolle der Elektroautos als flexible Verbraucher.

#### Fraunhofer ISE

Das Fraunhofer ISE untersucht Ladetechniken für Batteriefahrzeuge:

- Beim induktiven Laden wird kein Kabel mehr benötigt, da der Akku über eine Spule im Boden mit Hilfe von Induktion aufgeladen wird. Der Wirkungsgrad liegt bei max. 95 %.
- Beim konduktiven Laden über Kabel kann ein noch höherer Wirkungsgrad von max. 98 % erzielt werden. Die Infrastruktur ist schon relativ weit verbreitet.

Für eine optimale Ladeinfrastruktur wurden nun die Vorteile beider Systeme kombiniert (Abbildung 4).



Abbildung 4  
**Kombiniertes  
Ladegerät**  
für induktives Laden  
über Spule und  
konduktives Laden über  
Kabel  
(Fraunhofer ISE)

## Fazit

- Batteriefahrzeuge haben hohe Wirkungsgrade und niedrige Betriebskosten. Forschungsaufgaben sind hier: Reichweiten erhöhen, Ladezeiten verringern, öffentliche Ladeinfrastrukturaufbauen.
- Brennstoffzellenfahrzeuge besitzen eine hohe Reichweite und brauchen nur kurze Nachtankzeiten. Herausforderungen sind hier der Ausbau der H<sub>2</sub>-Infrastruktur und die Senkung der Betriebskosten.
- Die Umweltbilanz ist auf Basis erneuerbarer Energien für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge gleichermaßen gut.

Daher haben Brennstoffzellenfahrzeuge und Batteriefahrzeuge etwa gleich viel Zukunftspotenzial. Wahrscheinlich werden nach anfänglicher Konkurrenz beide Technologien parallel im Markt bestehen, ähnlich wie das bisher bei Otto- und Diesel-Verbrennungsmotoren der Fall ist. Und im Energiesystem der Zukunft werden auch beide Technologien benötigt, um die Mobilität nachhaltig und effizient zu gestalten.