

PHEV

Plug-in Hybrid Electric Vehicle  
Wissenschaftlicher Workshop, Köln 18. Juli 2008

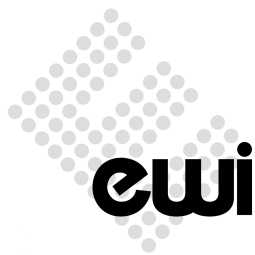


**Wissenschaftlicher Workshop**

# **Plug-in Hybrid Electric Vehicles**

**Datum: 18. Juli 2008**

**Veranstaltungsort: Schloss Wahn, Köln**



**Energiewirtschaftliches Institut, Köln (EWI)**

**Fraunhofer Institut für  
System- und Innovationsforschung, Karlsruhe (ISI)**

# PHEV

Plug-in Hybrid Electric Vehicle  
Wissenschaftlicher Workshop, Köln 18. Juli 2008



Organisatoren:

**Energiewirtschaftliches Institut, Köln:**

Prof. Marc Oliver Bettzüge  
Frieder Borggrefe  
Jochen Schwill

**Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe**

Martin Wietschel

Kontakt:

Frieder Borggrefe,  
Energiewirtschaftliches Institut (EWI)  
an der Universität Köln

E-Mail: [frieder.borggrefe@uni-koeln.de](mailto:frieder.borggrefe@uni-koeln.de)

Albertus-Magnus-Platz  
D-50923 Köln, Germany

Telefon: +49 221 170918-17  
Fax: +49 221 446537

## Vorwort

Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) werden von einer steigenden Anzahl beteiligter Disziplinen zunehmend als Lösung für drängende Fragen der zukünftigen Mobilität gehandelt. Wesentliche Treiber dieser Entwicklung sind neben steigenden Erdölpreisen auch ambitionierte CO<sub>2</sub>-Vorgaben von durchschnittlich 120g/km bis 2012 für die Flotten der Automobilhersteller. Zudem erwarten Energieversorgungsunternehmen neue Absatzmöglichkeiten verbunden mit einer Verstetigung der Laststruktur sowie zukünftigen Quellen für die Bereitstellung von Regelernergie. Jedoch liegt die wesentliche Herausforderung auf dem Weg in eine mobile Welt auf Strombasis in der Entwicklung leistungsfähiger Batterien.

Am 18. Juli trafen sich Experten und Entscheidungsträgern aus Wissenschaft, Industrie und Politik, um neben einer Bestandsaufnahme auch einen Blick auf die zukünftige Entwicklung der Plug-in Hybrid Technologie zu beleuchten. In rund zehn Fachvorträgen wurde das Potential von PHEV aus Sicht der Energiewirtschaft, Automobilbranche, Forschungseinrichtungen sowie Politik vorgestellt und diskutiert.

Die Vorträge des Workshops untergliederten sich thematisch in drei Fachbereiche:

1. Politisch-rechtlicher Rahmen und Erwartungen der Automobil- und Energiewirtschaft
2. Stand der Technik und Forschungsaktivitäten in der Industrie
3. Energie- und volkswirtschaftliche Studien und Langfrist-Prognosen zum Potential von Plug-in Hybrids.

Veranstaltet wurde der Workshop durch das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe. Das folgende Dokument enthält zusammenfassend die Vorträge der Veranstaltung.

Die Organisatoren möchten sich an dieser Stelle nochmals herzlich bei allen Teilnehmern für die guten Beiträge und spannenden Diskussionen bedanken.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Begrüßung und Einführung</b>	<b>S. 5</b>
- Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge (Energiewirtschaftliches Institut, Köln)	
<b>2. Die Herausforderung für Plug-in Hybrid Fahrzeuge</b>	<b>S. 9</b>
- Heiko Maas (Ford Forschungszentrum, Aachen)	
<b>3. Zur Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen</b>	<b>S. 12</b>
- Prof. Dr. Martin Wietschel (Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung)	
<b>4. Elektromobilität: Aspekte für die Erarbeitung eines nationalen Entwicklungsplan in Deutschland</b>	<b>S. 23</b>
- Matthias Samson (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)	
<b>5. Elektro-Mobilität und Stromversorgung im System</b>	<b>S. 32</b>
- Ralph Bitterer (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft)	
<b>6. Chancen und Herausforderungen aus Sicht der Energiewirtschaft</b>	<b>S. 38</b>
- Dr. Wolfgang Woyke (e.on Energie)	
<b>7. Stand der Batterieforschung</b>	<b>S. 47</b>
- Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer (Institut für Stromrichtertechnik und elektrische Antriebe an der RWTH, Aachen)	
<b>8. Anforderungen an die Fahrzeugtechnik</b>	<b>S. 65</b>
- Dr. Michael Schier (Institut für Fahrzeugkonzepte, DLR, Stuttgart)	
<b>9. Technische Folgen einer massiven Integration von Elektrofahrzeugen in das deutsche Elektrizitätssystem</b>	<b>S. 78</b>
- Thomas Smolka (Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen)	
<b>10. Scenarios for Plug-In Hybrids Until 2030</b>	<b>S. 88</b>
- Jochen Schwill/Frieder Borggreffe (Energiewirtschaftliches Institut, Köln)	
<b>11. Liste der Teilnehmer</b>	<b>S. 106</b>

## 8. Anforderungen an die Fahrzeugtechnik

**Dr. Michael Schier**  
**(Institut für Fahrzeugkonzepte, DLR, Stuttgart)**

michael.schier@dlr.de

### **Dr. Michael Schier**

arbeitet seit einem Jahr beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und ist dort stellvertretender Leiter der Abteilung Alternative Antriebe. Seinen Forschungsschwerpunkt bilden Fahrzeugkonzepte und in diesem Zusammenhang Gesamtfahrzeugsimulationen, Verlustenergie-Rückgewinnung sowie Energiewandler und -speicher. Zuvor war Herr Dr. Schier bei EBM Pabst und Siemens tätig.



## Institut für Fahrzeugkonzepte Anforderungen an die Fahrzeugtechnik Dr. Michael Schier PHEV-Workshop, Köln, 18.07.08



PHEV, 18.07.08, Dr. Michael Schier, Folie 1  
Institut für Fahrzeugkonzepte



## Megatrends der Zukunft

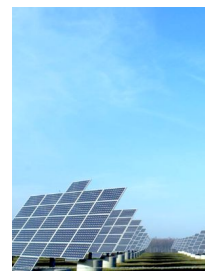
Umsteuern bei Energie und Ressourcen

Antworten auf Klimawandel

Berücksichtigen von Mobilisierung  
und Urbanisierung

Antriebskonzepte von morgen:

- Verringerung des absoluten Energiebedarfs
- Vermeidung schädlicher Emissionen
- Erreichen einer geopolitischen Unabhängigkeit durch Einsatz alternativer Kraftstoffe
- Verzichtsfrei und finanzierbar



1\*



1\* nach: Die 20 wichtigsten Megatrends, Z\_punkt GmbH, 2007

PHEV, 18.07.08, Dr. Michael Schier, Folie 2  
Institut für Fahrzeugkonzepte

## DLR, Institute Verkehr

5.600 Mitarbeiter in  
28 Forschungseinrichtungen

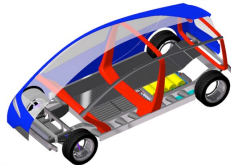
### Forschungs- Programme:

- Luftfahrt
- Raumfahrt
- **Verkehr**
- Energie

Institut für Verkehrssystemtechnik



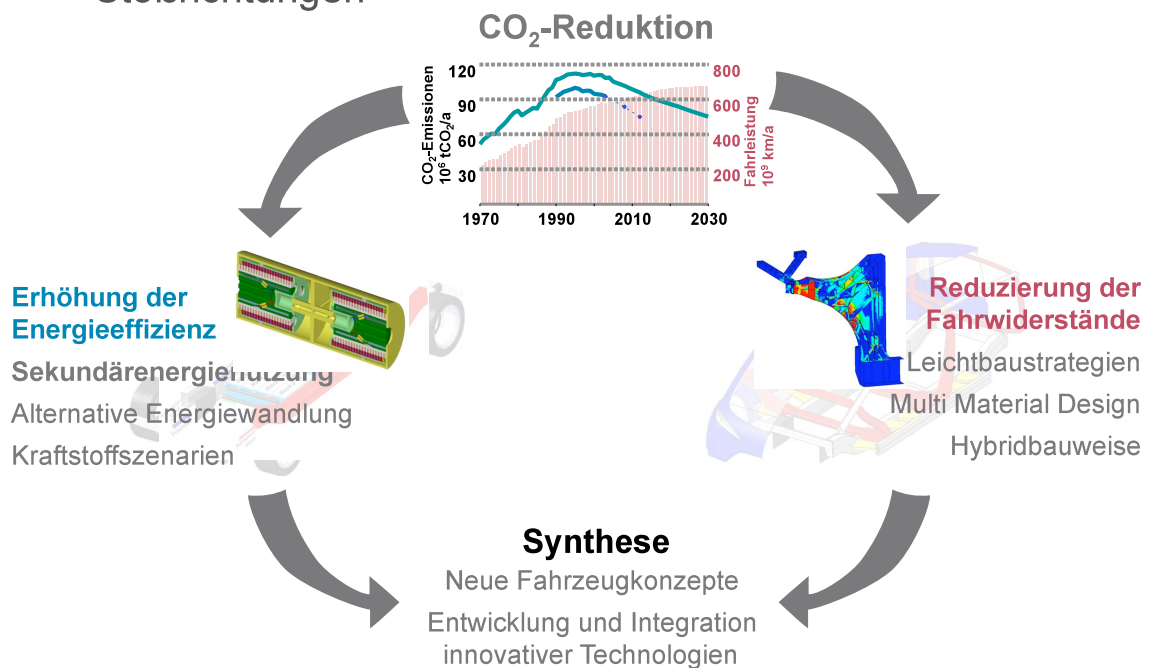
Institut für Fahrzeugkonzepte



Institut für V



## DLR Institut für Fahrzeugkonzepte Stoßrichtungen





## Anforderungen-Technische Optionen

### Anforderungen an das Fahrzeug

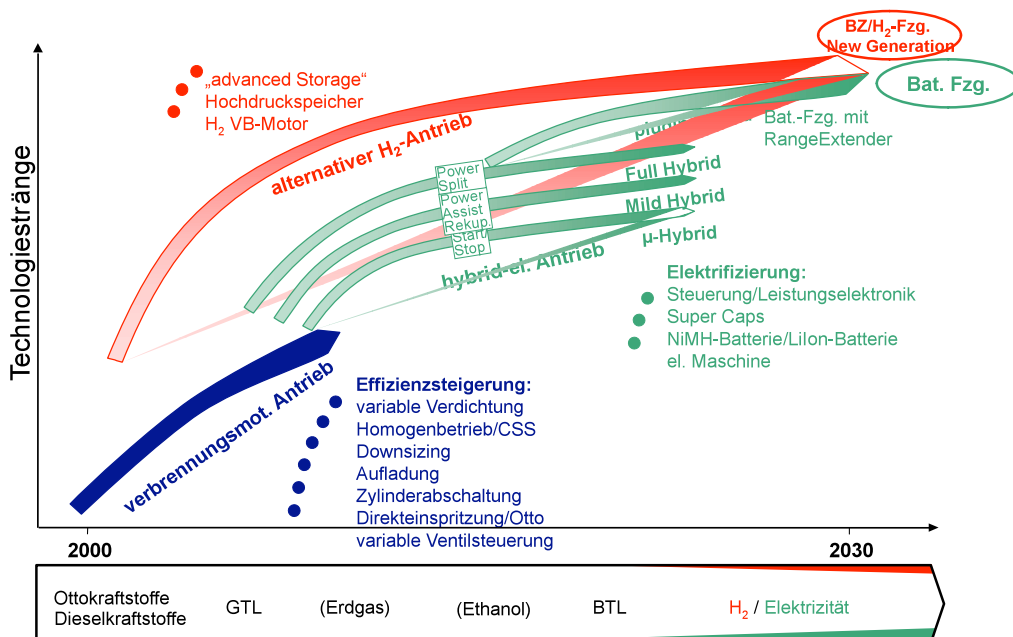
- Geostrategische Verfügbarkeit des Energieträgers
- niedriger Verbrauch
- geringe Emissionen/keine schädlichen Umweltwirkungen
- Erhalt der Nutzungsflexibilität/neue Verkehrskonzepte
- sicher und komfortabel
- verzichtsfrei und finanzierbar
- ...

### Technische Optionen

- Verbesserung des Verbrennungsmotors
- Nutzung der Sekundärenergie
- Hybridisierung/Plug-In-Hybrid
- neue Konzepte zur Energiewandlung
- integrale Fahrzeugarchitektur/Gesamtkonzept
- Reduzierung der Fahrwiderstände
- Energieträger Wasserstoff
- ...

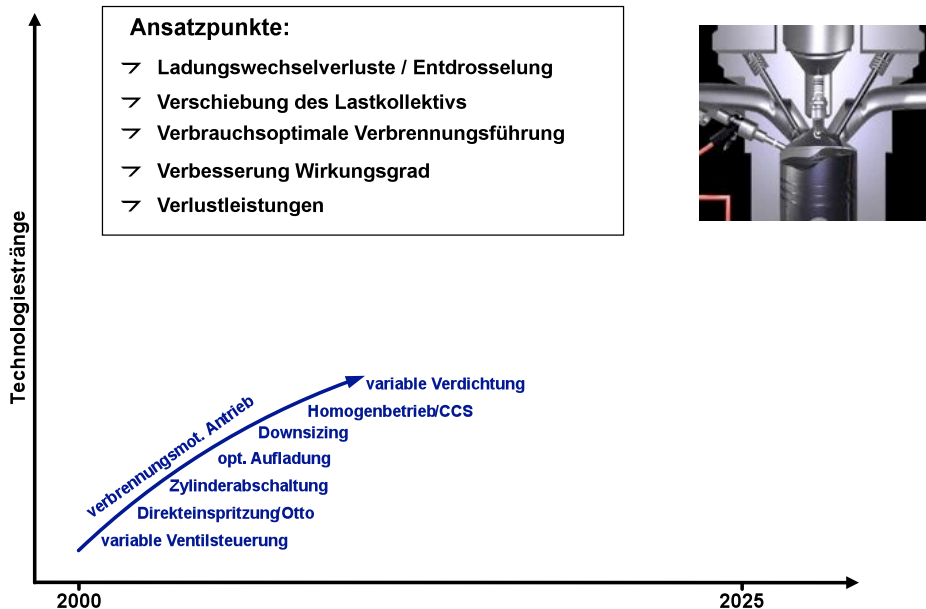


## Roadmap der Antriebstechnologien

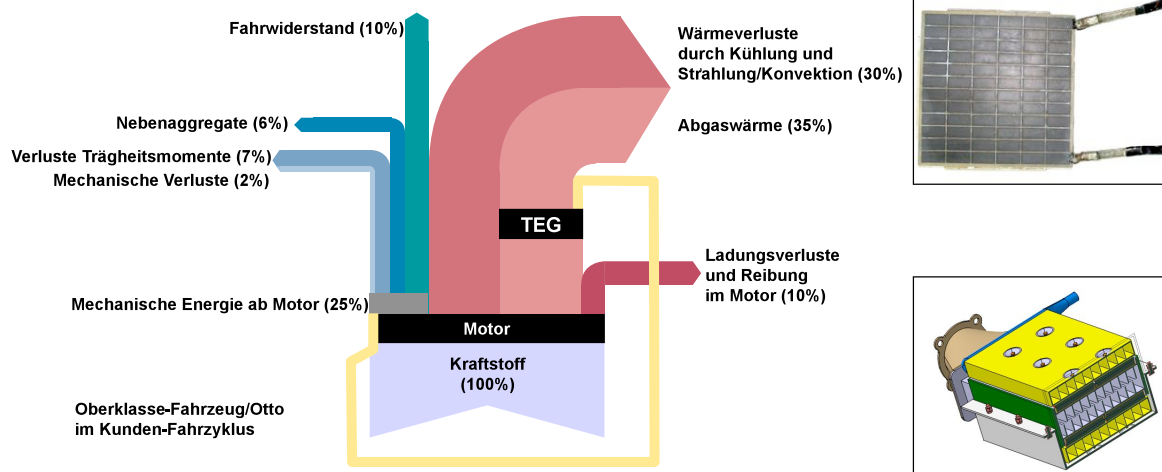




## Antriebskonzepte der Zukunft - Verbrennungsmotoren



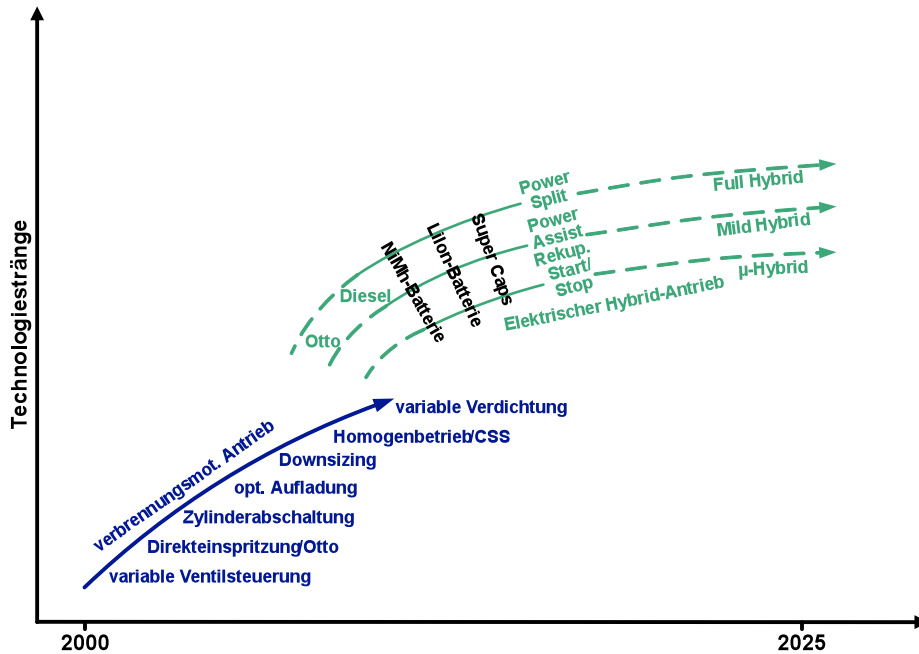
## Nutzung der Sekundärenergie Beispiel: Thermoelektrischer Generator (TEG)



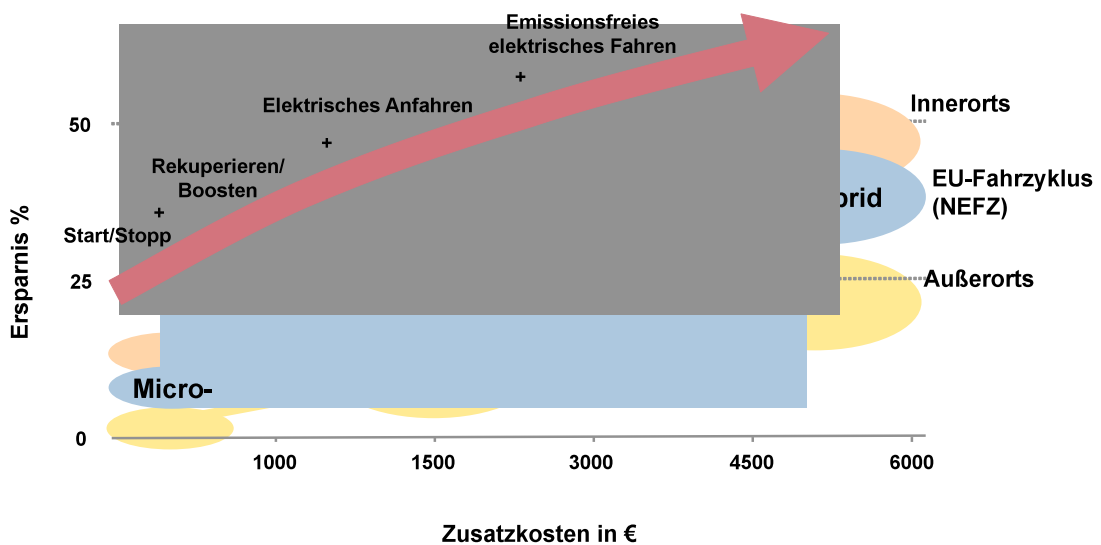
Einsparungspotenzial je nach Systemauslegung: etwa 4 g CO<sub>2</sub>/km



## Antriebskonzepte der Zukunft – Hybridisierung

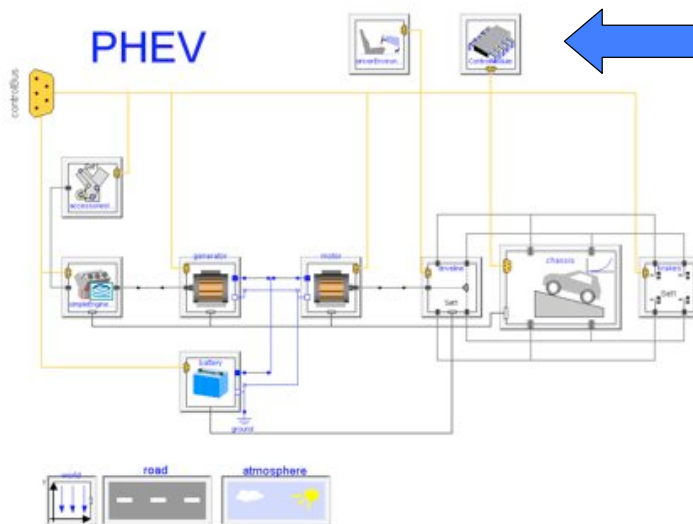


## Elektro-Hybridantriebe Kraftstoffeinsparung versus Kosten





## Beispiel Entwicklung der Betriebsstrategie



Betriebsstrategie:  
Steuerung der Verbrennungsmotor - Generator Einheit

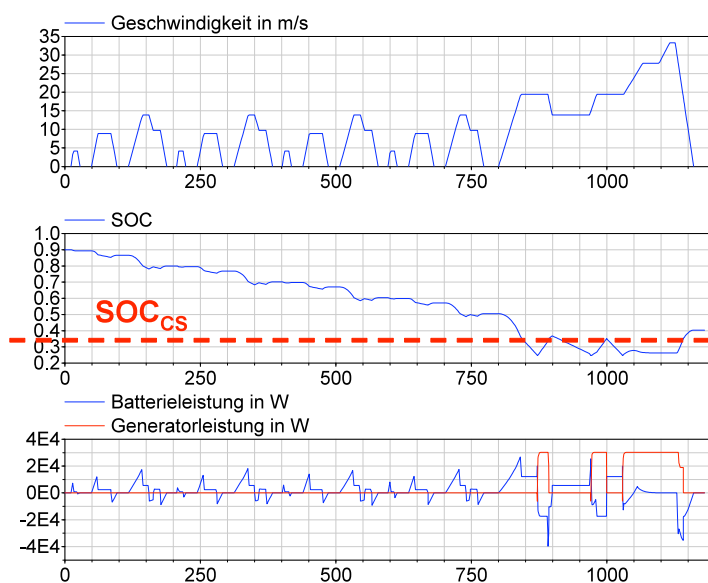
- Ein- bzw. Mehrpunktbetrieb
- Dynamischer Betrieb



Ziel:  
Wirkungsgrad-optimierte  
Energieversorgung



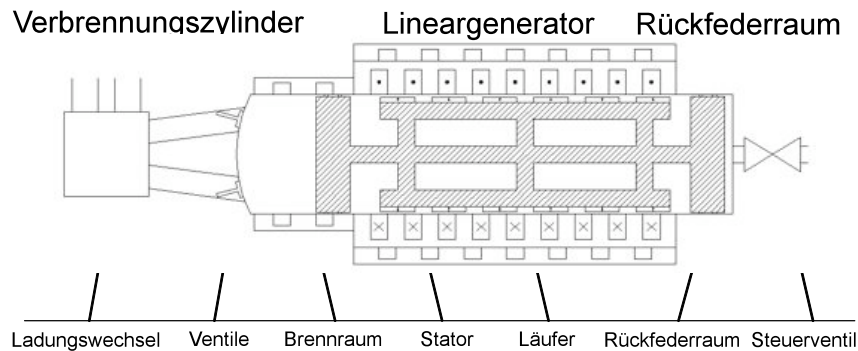
## Beispiel Entwicklung der Betriebsstrategie: Plug-In im NEFZ



- Entladung der Batterie bis  $SOC_{cs}$
- Ladungserhaltung bei  $SOC_{cs}$



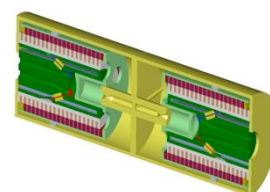
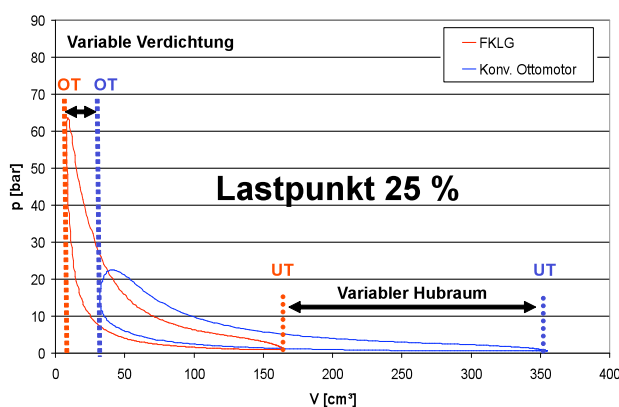
## Beispiel Freikolbenlineargenerator FKLG-Funktionsprinzip



- Variabler Hub
- Variable Verdichtung
- Anpassung des Verbrennungsprozesses
- ⇒ Hoher Wirkungsgrad in Teillast
- ⇒ Vielstoff-Tauglichkeit



## Beispiel Freikolbenlineargenerator FKLG- Hohe Teillastwirkungsgrade durch variable Verdichtung und variablen Hubraum



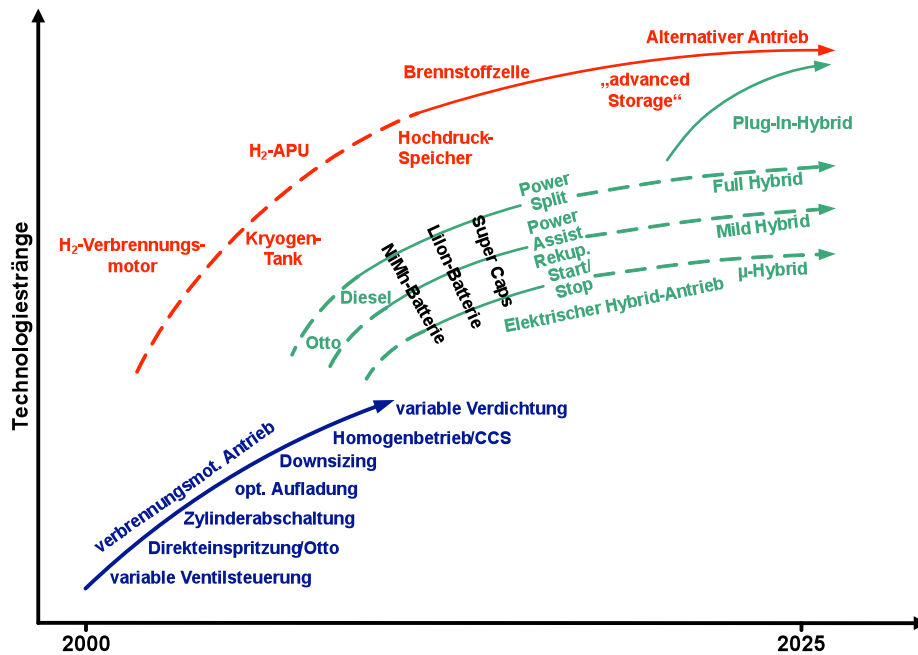
**Erste Abschätzung der Wirkungsgradpotentiale für**

- Variabler Hubraum
- Variable Verdichtung im Vergleich zu einem konv. Ottomotor mit Kurbelwelle

Lastpunkt	25 %	50 %	75 %	100 %
<b>FKLG:</b>	$\eta_{th} = 42.5 \%$	$\eta_{th} = 45.5 \%$	$\eta_{th} = 42.2 \%$	$\eta_{th} = 38.4 \%$
<b>Konv. Ottomotor:</b>	$\eta_{th} = 37.6 \%$	$\eta_{th} = 38.6 \%$	$\eta_{th} = 39.3 \%$	$\eta_{th} = 38.2 \%$



## Antriebskonzepte der Zukunft - Brennstoffzelle

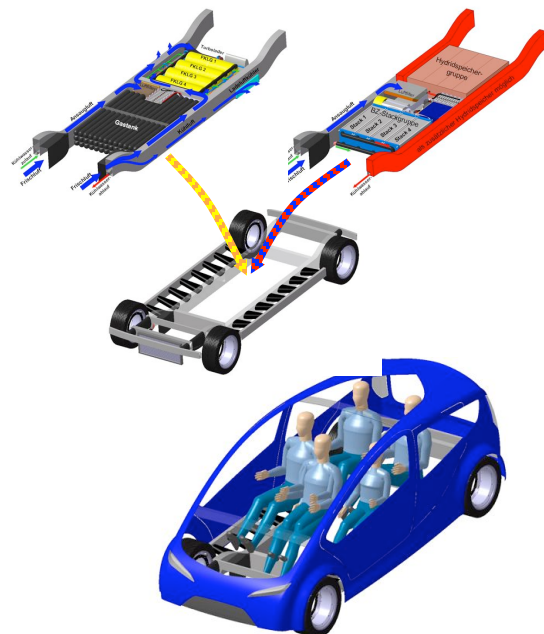


## Brennstoffzellen in Kraftfahrzeugen

### Modulares Antriebskonzept (DLR)

#### Ziele

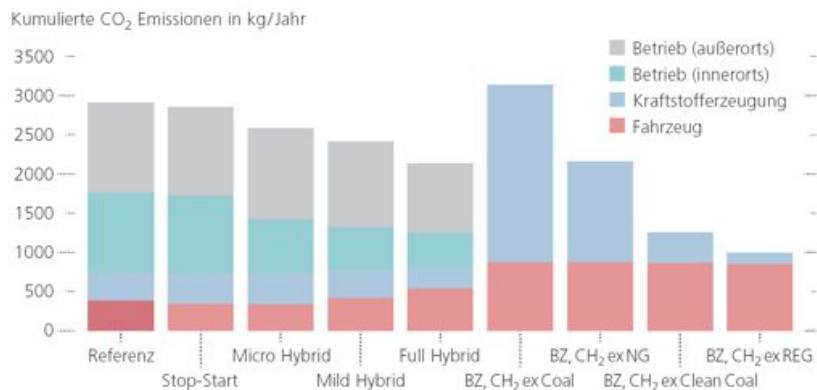
- Anpassungsflexibilität für unterschiedliche Antriebstechnologien
  - Hybrid (Verbrennungs-/E-Motor)
  - FKLG
  - Brennstoffzelle
- Integration der Speicher und der Medienführung in die Last tragenden Strukturelemente
  - Synfuel
  - CNG
  - H<sub>2</sub>
- Skalierbarkeit (Leistung)





## Brennstoffzellen in Kraftfahrzeugen

Well-to-wheel CO<sub>2</sub>-Jahresemissionen verschiedener Antriebskonzepte



Fahrleistungen für Deutschland 2003 (TREMOM-Modell, IFEU 2004)

Innerorts Otto Segment CD: 3877 km / Jahr

Außerorts Otto Segment CD: 8409 km / Jahr

Nutzungszeit des Fahrzeugs zur Umlage der Herstellemissionen: 10Jahre



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Quellen: eigene Abschätzungen; R. Edwards „JRCEUCAR-Studie, 2003;  
M. Pehnt DLR Institut TT, 2002; G.W. Schweimer, Sachbilanz des Golf A4

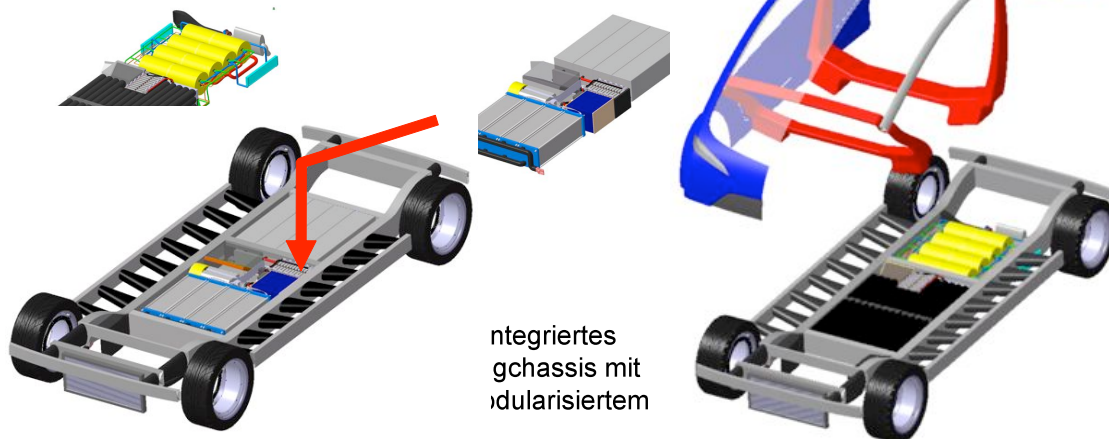
PHEV 18.07.08, Dr. Michael Schier, Folie 17

Institut für Fahrzeugkonzepte



## Modularisierung des Antriebs

- Neuartige Antriebskonzepte ermöglichen oder erfordern neuartige Bauweisen
- Gewährleistung der Sicherheit, auch im C
- Kostengünstige Herstellbarkeit für Großs



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

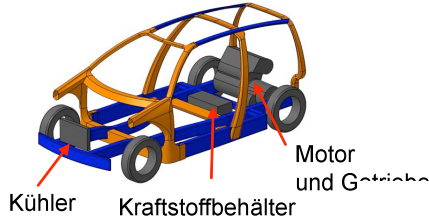
PHEV 18.07.08, Dr. Michael Schier, Folie 18

Institut für Fahrzeugkonzepte

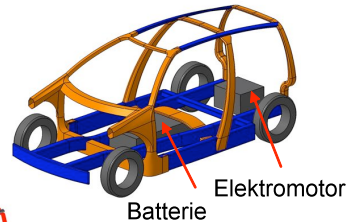


## Beispiel Niedrigstverbrauch-Konzept, Fahrzeug (5/500)

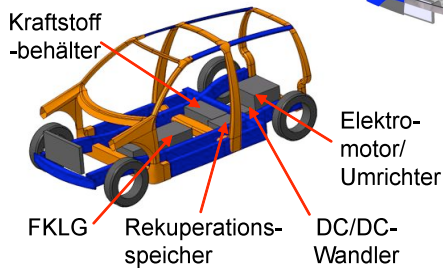
### Dieselmotor



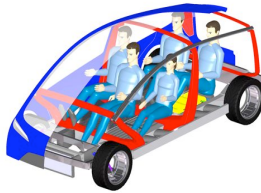
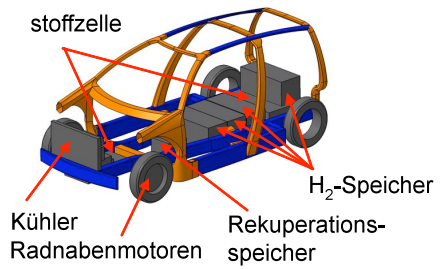
### Elektromotor



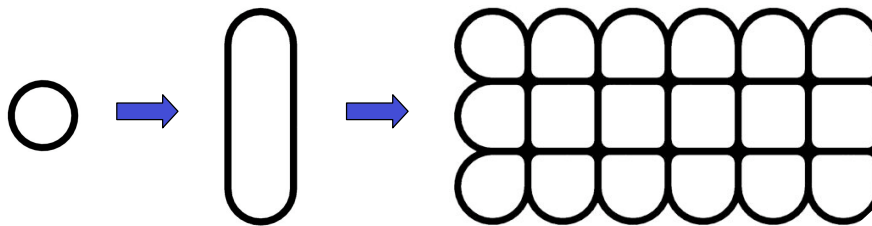
### Freikolbenlineargenerator



### Brennstoffzellen

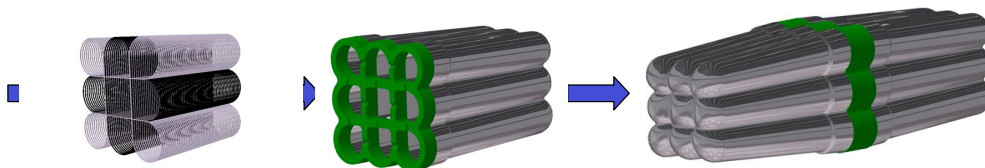


## Beispiel Gasspeichertechnologie/Wabentank



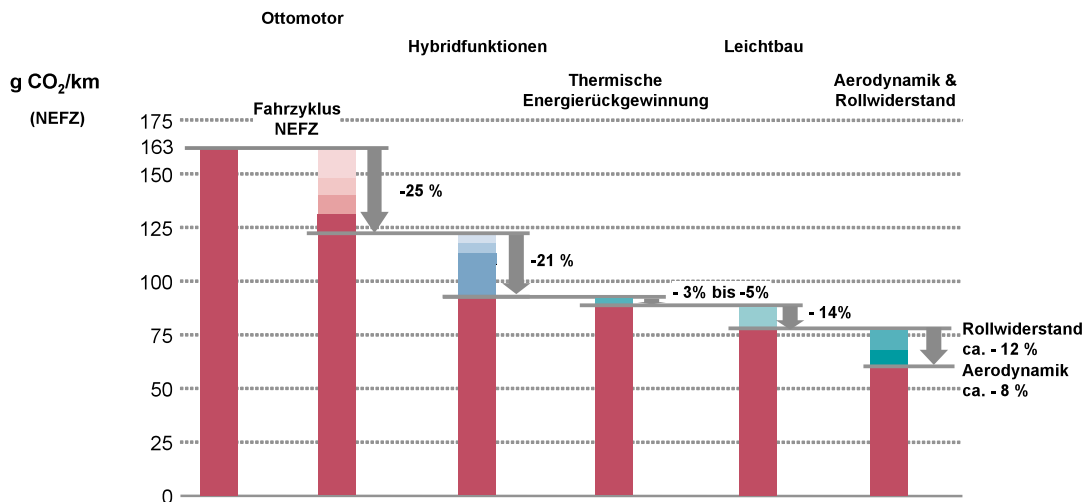
Endlosfaser-Verbundkonstruktion

→ Modulares Package



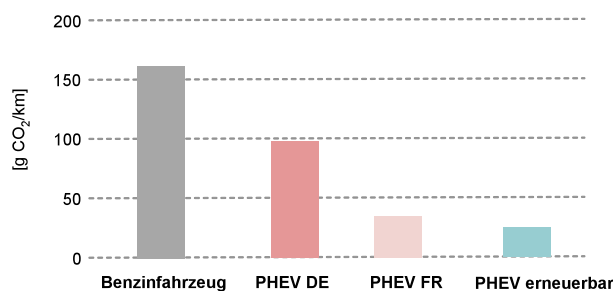


## Potentiale zur CO<sub>2</sub>-Reduktion



## Potentiale zur CO<sub>2</sub>-Reduktion durch Nutzung des Stromnetzes

- Verlagerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von der Fahrzeugnutzung hin zur Stromerzeugung
- Abhängigkeit vom Energiemix → regionale Unterschiede
- Große Minderungspotenziale durch den Einsatz regenerativer Energien





## Fazit

- **Verbrennungsmotor hat noch Potential und bleibt noch lange erhalten**
- **E-Motor zur Assistenz des Verbrennungsmotors (Hybrid)**
  - **Komfortverbesserung**
  - **Verbrauchseinsparung**
  - **Verringerung der Emissionen**
- **Das reine elektrifizierte Fahrzeug wird bei leistungsstarker Batterie für städtische Anwendungen attraktiv**
- **Das Brennstoffzellen-Wasserstoff-Fahrzeug wird bei hoher Speicherdichte eine attraktive Option auf der Langstrecke**
- **Kraftstoffe**
  - **Biokraftstoffe 2. Generation**
  - **In Nischenmärkten gasförmige Kraftstoffe**
  - **Langfristig Wasserstoff und Elektrizität**
- **Trialog: Politik – Wissenschaft – Industrie gefordert!**



## Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Fahrzeugkonzepte



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## 11. Liste der Teilnehmer

Klaus-Henning Ahlert,  
Institut für Informationswirtschaft und -management (IISM) Universität Karlsruhe

Michael Benien,  
RWE AG

Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge,  
Energiewirtschaftliches Institut (EWI) an der Universität zu Köln

Ulf Birnbaum,  
Forschungszentrum Jülich

Ralph Bitterer,  
Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft

Frieder Borggrefe,  
Energiewirtschaftliches Institut (EWI) an der Universität zu Köln

Gerd Büttgenbach,  
SevenCs GmbH, Hamburg

Orhan Celik,  
Energiewirtschaftliches Institut (EWI) an der Universität zu Köln

Simone Ehrenberger,  
Institut für Fahrzeugkonzepte, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Stuttgart

Carl-Friedrich Elmer,  
Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik, Technische Universität Berlin

Clemens Fischer,  
Vattenfall Europe AG

Katharina Grave,  
Energiewirtschaftliches Institut (EWI) an der Universität zu Köln

André Hackbarth,  
E.ON Energy Research Center, Aachen

Jörg Hermsmeier,  
EWE

Prof. Dr. Ulrich E. Hochberg,  
Department of Mechanical Engineering and Process Engineering, Fachhochschule Offenburg

Dogan Keles,  
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), Karlsruhe

Dr. Alois Kessler  
EnBW AG

Ingo Kucz  
Konzern Zukunftsforschung und Trendtransfer, VOLKSWAGEN AG

Jochen Linssen  
Institut für Energieforschung, Systemforschung und technologische Entwicklung,  
Forschungszentrum Jülich GmbH

Heiko Maas,  
Ford Forschungszentrum Aachen

Andreas Pastowski,  
Wuppertaler Institut

Mathias Samson,  
Leiter Referat Umwelt und Verkehr, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit (BMU)

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer,  
Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) RWTH Aachen

Dr. Michael Schier  
Institut für Fahrzeugkonzepte, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Stuttgart

PD. Dr. Hartmut Schlenz  
Geschäftsbereich Energietechnologien (ERG), Forschungszentrum Jülich GmbH

Dr. Stephan Schmid  
Institut für Fahrzeugkonzepte, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Stuttgart

Wolfgang Schweissthal  
Evonik New Energies GmbH

Dipl. Ing. Jochen Schwill  
Energiewirtschaftliches Institut (EWI) an der Universität zu Köln

Thomas Smolka  
Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen

Markus Speckmann,  
Insitut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) Universität Kassel

Prof. Dr. Ingo Stadler,  
Institut für Elektrische Energietechnik, Fachhochschule Köln

Dr. Rodoula Tryfonidou,  
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Prof. Dr. Martin Wietschel  
Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe

Dr. Wolfgang Woyke  
E.ON Energy AG

Oliver Zude  
Institut für Transportation Design (ITD) der Hochschule für  
Bildende Künste, Braunschweig (HBK)