

# Vorlesung „Embedded Software-Engineering im Bereich Automotive“

Technische Universität Dresden, Fakultät Informatik,  
Professur Softwaretechnologie

Sommersemester 2010

Dr. rer. nat. Bernhard Hohlfeld

[bernhard.hohlfeld@daad-alumni.de](mailto:bernhard.hohlfeld@daad-alumni.de)

1. Motivation und Überblick
2. Grundlagen Fahrzeugentwicklung, KFZ-Elektronik und Software
- 3. Übersicht Automotive Elektrik/Elektronik-Entwicklung (E/E)**
4. Kernprozess zur Entwicklung von elektronischen Systemen und Software
5. Unterstützungsprozesse für die Embedded Software Entwicklung
6. Beispiele aus der Praxis
7. Wichtige Normen/Standards/Empfehlungen für die Embedded Software Entwicklung

## 3. Automotive Elektrik/Elektronik-Entwicklung (E/E)



1. Einführung und Übersicht

2. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

### **3. Mechatronik-Entwicklungen im Automobil**

1. Was ist Mechatronik ?

2. Mechatronik: Komponenten und Anwendungen im Automobil

4. Kabelbaum und Energiebordnetze

5. Bussysteme im Automobil

6. x-by-wire-Entwicklungen

7. Zukünftige E/E-Entwicklungen im Automobil

# Mechatronik



## Grundlagen

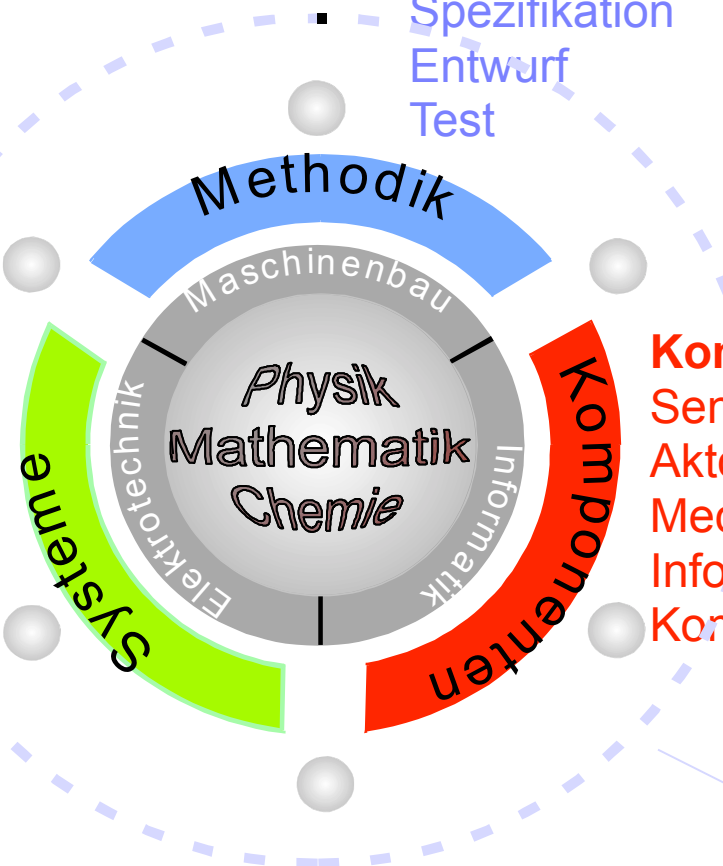
Mathematik  
Informatik  
Physik  
Mechanik  
Elektrotechnik

## Methodik

Spezifikation  
Entwurf  
Test

## Systeme

Modellierung  
Simulation  
Regelung  
Optimierung



## Komponenten

Sensoren  
Aktoren  
Mechanische Komponenten  
Informationsverarbeitende  
Komponenten

Anwendungen

## Teilgebiete der Mechatronik



- Sensorik
- Informationsverarbeitung
- Aktorik
  
- Steuerungstechnik
- Regelungstechnik
- Simulationstechnik
  
- Robotik

# Mechatronik – Beispiele der einzelnen Teilgebiete



| Sensoren   | Datenverarbeitung (Steuergeräte)  | Verbindungselemente  | Aktuatoren   |
|--|---|--|--|
| Drehzahl<br>Geschwindigkeit<br>Weg<br>Winkel<br>Temperatur<br>Druck<br>Kraft<br>Drehmoment<br>Durchfluss<br>chemische Konz.<br>Zeit<br>Spannung<br>Strom<br>Frequenz<br>Muster<br>(Fahrzeug-<br>umfelderfassung)<br>Bestimmung der geogr.<br>Positon (GPS) | Mikroprozessor<br>(CPU)<br>Speicherelemente<br>RAM<br>ROM<br>-PROM<br>-EPROM<br>-EEPROM<br>-EAPROM<br>A/D Wandler | Elektrische oder optische<br>Verbindungselemente<br>Spannungsversorgung<br>-Kabel/Kabelbaum<br>-Steckverbinder<br>-Sensor/Steller<br>-Mirkokontakte<br>-Vielpolige Kontakte<br>Daten/Bussysteme<br>-CAN<br>-LIN<br>-MOST<br>Physikalische & logische<br>Schnittstellen<br>Übertragungsprotokolle | Elektr. Stellmotoren<br>Translatorische oder<br>rotatorische<br>Magnetsteller<br>Druckschalter<br>Thermozeitschalter<br>Strom-und Schaltrelais<br>Leuchten<br>Drehspulinstrumente<br>Hupe, Lautsprecher<br>Pyrotechnische Gas-<br>Generatoren<br>Elektr. Linearantriebe<br>Elektrochrome<br>Beschichtungen |

## 3. Automotive Elektrik/Elektronik-Entwicklung (E/E)



1. Einführung und Übersicht

2. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

### **3. Mechatronik-Entwicklungen im Automobil**

1. Was ist Mechatronik ?

**2. Mechatronik: Komponenten und Anwendungen im Automobil**

4. Kabelbaum und Energiebordnetze

5. Bussysteme im Automobil

6. x-by-wire-Entwicklungen

7. Zukünftige E/E-Entwicklungen im Automobil



1



2

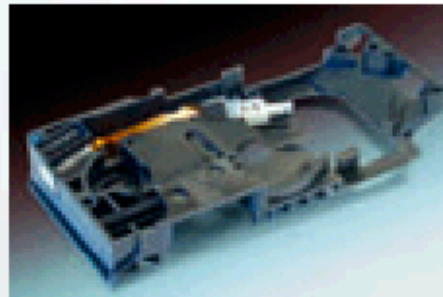
Bild 1 Schaltungsträger für Seitentürschloss (Gehäuseteil) mit umspritztem Stanzgitter und aufgespritzter Dichtung für die Aufnahme von Mikrohaltern.

Bild 2 Schaltungsträger für Seitentürschloss (Gehäusehälfte) mit hermetisch dicht umspritztem Stanzgitter (IP 68) für die Aufnahme und 3-dimensionale Anordnung von Sensoren.

Bild 3 Steckerbaugruppe mit flexiblen Folienleiterbahnen (wasserdicht) und Mikrohaltern für elektromechanische Zentralverriegelung Seitentürschloss.



3



4



5

Bild 4 Schaltungsträger mit Mikrohalter und Folienleiterbahn als Schloßgehäuseteil.

Bild 5 Schaltungsträger mit umspritztem Stanzgitter für 3-dimensionale Anordnung von Mikrohaltern am Heckschließzylinder.





6



7



8

Bild 6 Ansteuerung der Innenraumbeleuchtung und des Warnsummers für das Außenlicht sowie der Zentralverriegelung im Seitenschloss.

Bild 7 Signalgeber am Heckschließzylinder für die Zentralverriegelung. Umspritztes Stanzgitter als Stecker und Träger für Schalter und passive Bauelemente.

Bild 8 Umspritztes Stanzgitter als Schaltungsträger im Seitentürgriff mit bestückter Leiterplatte für RF-Modul von Keyless Entry System.



1



2



3



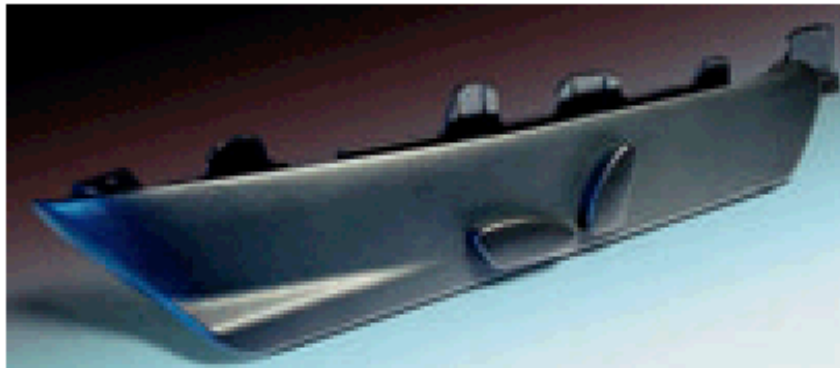
4

Bild 1 Bedieneinheit für die Sitzverstellung mit Lastschaltelementen zum direkten Schalten der Verstellmotoren, sowie für die Lordosen-einstellung.

Bild 2 Bedieneinheit in Rubber-Dome-Schalt-technologie mit ausgezeichnetem taktilen Schaltgefühl zum Schalten von Steuerströmen.

Bild 3 Endschalter für Sitzhöhenverstellung mit zwei Schaltpositionen, befestigt an der Sitzmechanik mit einfacher Anpassung an neue Winkelvorgaben.

Bild 4 Elektronische Verdecksteuerung als Eindraht-Bussystem mit ASIC zur Ansteuerung der Elektrohydraulik und der Fensterheber. Dezentrales System mit Master-Steuerung sowie Ventil- und Relais-Slaves.



5



6

Bild 5 Sitzverstelleinheit für 8 Wege mit Laststrom-Schaltmodulen und Sitzblende

Bild 6 Universelle Bedieneinheit für Multimedia-Anwendungen im Fahrzeuginnenraum auf Basis Gummimattentechnologie mit frei definierbarer Schnittstelle zum System.

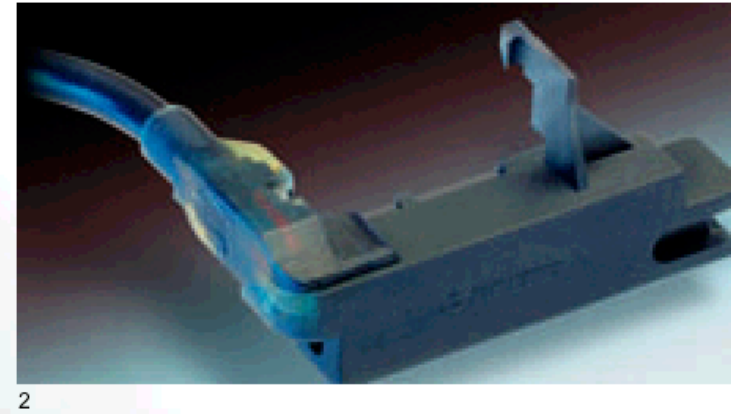
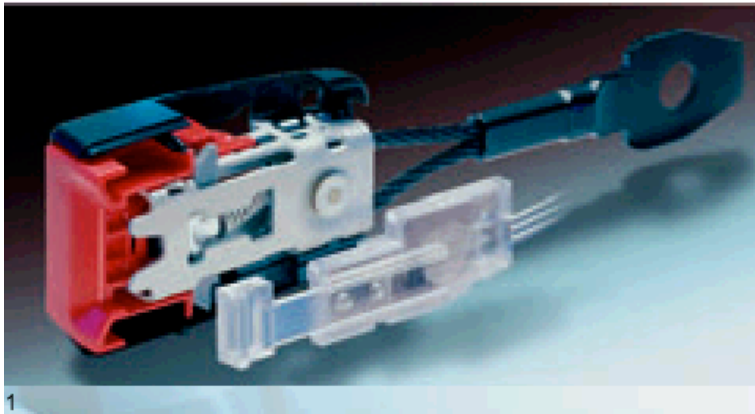


Bild 1 Hall-Sensorik im Gurtschloss für die Erkennung der Gurtverriegelung.

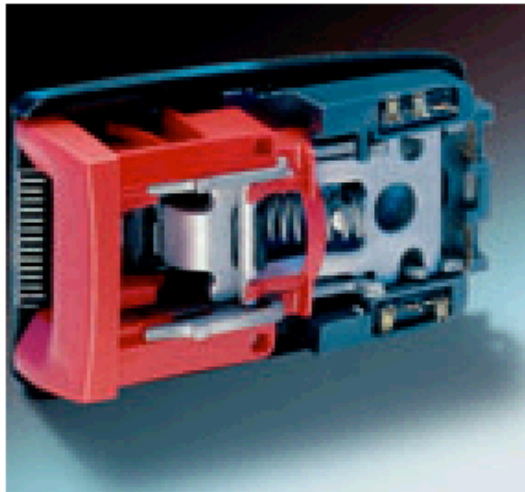
Bild 2 Vergossene Sensorbaugruppe mit Hallensensor, Magnet und schutzbeschalteter Leiterplatte zur Gurtschlossabfrage



3

Bild 3 Gurtbelegeabfrage in pyrotechnischem Gurtroller. Mechatronik Baugruppe (umspritztes Stanzgitter) mit Kleinstschalter DK (IP67) und passiven Bauelementen sowie Stecksystem für Gasgeneratoren.

Bild 4 Elektromechanische Baugruppe im Gurtschloss mit zwei wasserdichten Schnappschaltern zur Erkennung der Verriegelung.



4



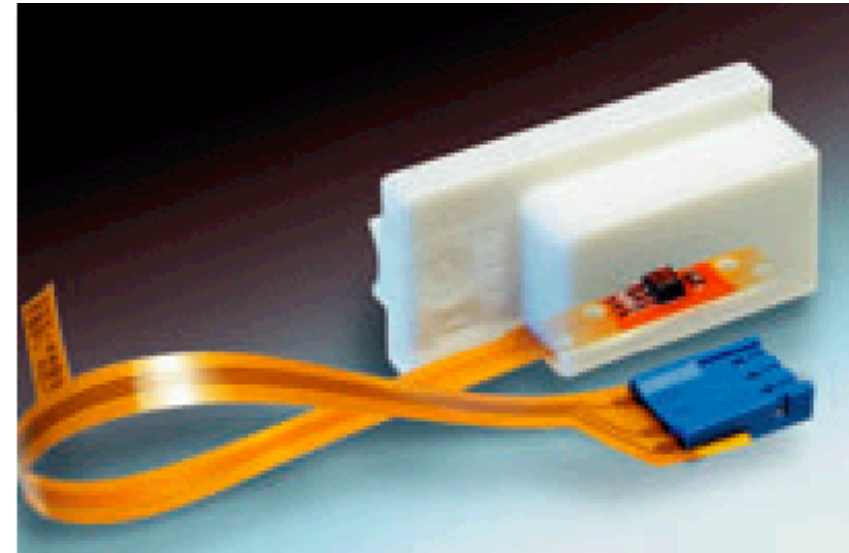
**Bild 1** Silikonfreier Schalter für Bremsassistent erfüllt applikationsspezifische Lebensdauer- und Dichtheits-Anforderungen.



**Bild 2** Ansteuerungsmodul für die Zusatzheizung. Kompakte Einheit, bestehend aus umspritztem Stanzgitter mit angeformtem Stecker und als Schaltungsträger für den wasserdichten DCJK-Schalter und elektronische Bauelemente.



3



4

**Bild 3** Sensorpackage für Bremsassistenten erfüllt höchste applikationsspezifische Dichtheitsanforderungen. Analoger Hallsensor mit linear programmierbarem Signal.

**Bild 4** Sensoreinheit für elektronische Feststellbremse mit Hallsensor auf FPC als Leitungsträger.

## ■ “X-by-Wire” Technik

### Shift by wire

Gangwechsel wird durch Aktor im Getriebe ausgelöst: Schaltgestänge entfällt

### Brake by wire

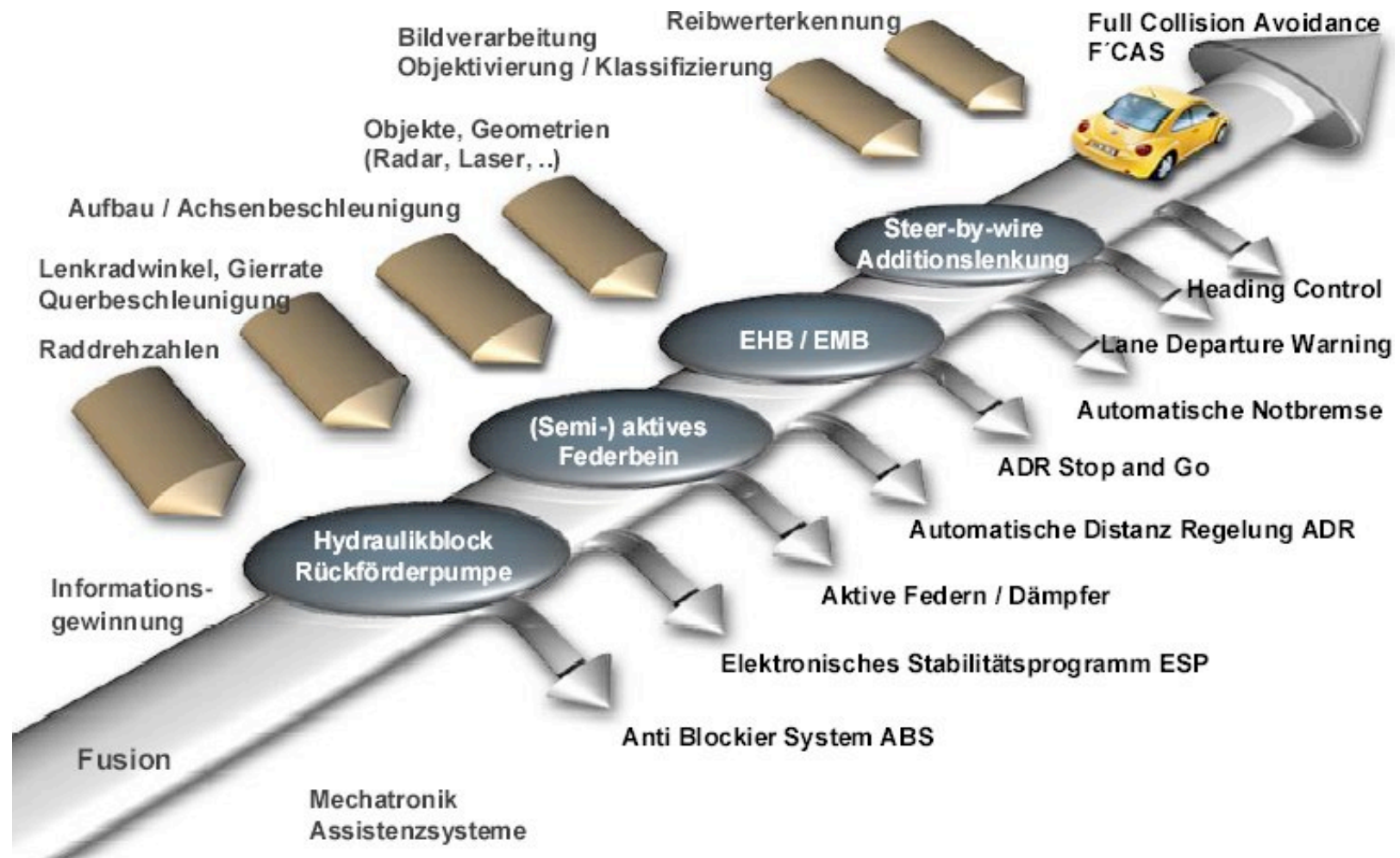
Elektromechanische Bremse wird durch Signal angesteuert: Bremsleitungen, usw. entfallen

### Steer by wire

Lenkwinkelsensor erfasst das Steuersignal des Fahrers, Räder werden durch Aktor gelenkt: Lenkmechanismus entfällt, Lenkrad kann durch Joystick ersetzt werden







### 3. Automotive Elektrik/Elektronik-Entwicklung (E/E)



1. Einführung und Übersicht
2. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
3. Mechatronik-Entwicklungen im Automobil
- 4. Kabelbaum und Energiebordnetze**
5. Bussysteme im Automobil
6. x-by-wire-Entwicklungen
7. Zukünftige E/E-Entwicklungen im Automobil

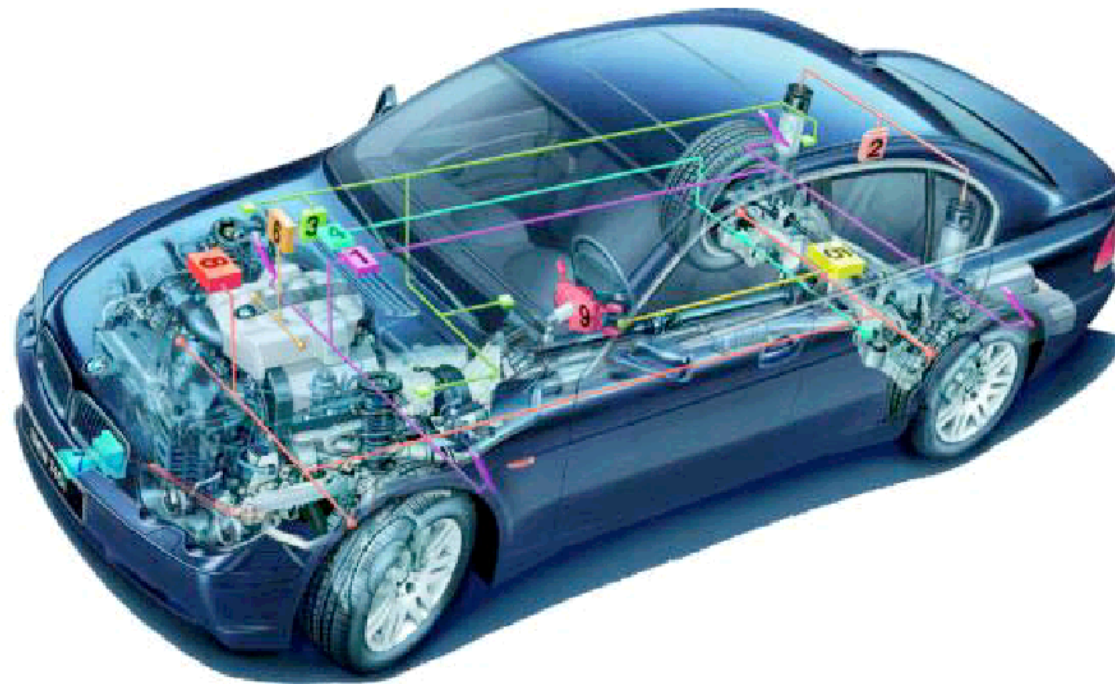
## 3. Automotive Elektrik/Elektronik-Entwicklung (E/E)



1. Einführung und Übersicht
2. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
3. Mechatronik-Entwicklungen im Automobil
- 4. Kabelbaum und Energiebordnetze**
  - 1. Bordnetz und Kabelbaum**
    2. 42V-Bordnetz und 2 SpBN
    3. Alternative Energieversorgung für E-E-Komponenten
    4. Energiebordnetze - Zukunft
5. Bussysteme im Automobil
6. x-by-wire-Entwicklungen
7. Zukünftige E/E-Entwicklungen im Automobil

Der Kabelbaum eines modernen Fahrzeugs besteht aus drei funktionalen Gruppen:

1. Elektrische Energieversorgung (Energiebordnetz)
2. Informationstechnische Verbindung zwischen den Systemen (Bussysteme)
3. HF-Verbindungen von den Antennen zu den Endgeräten



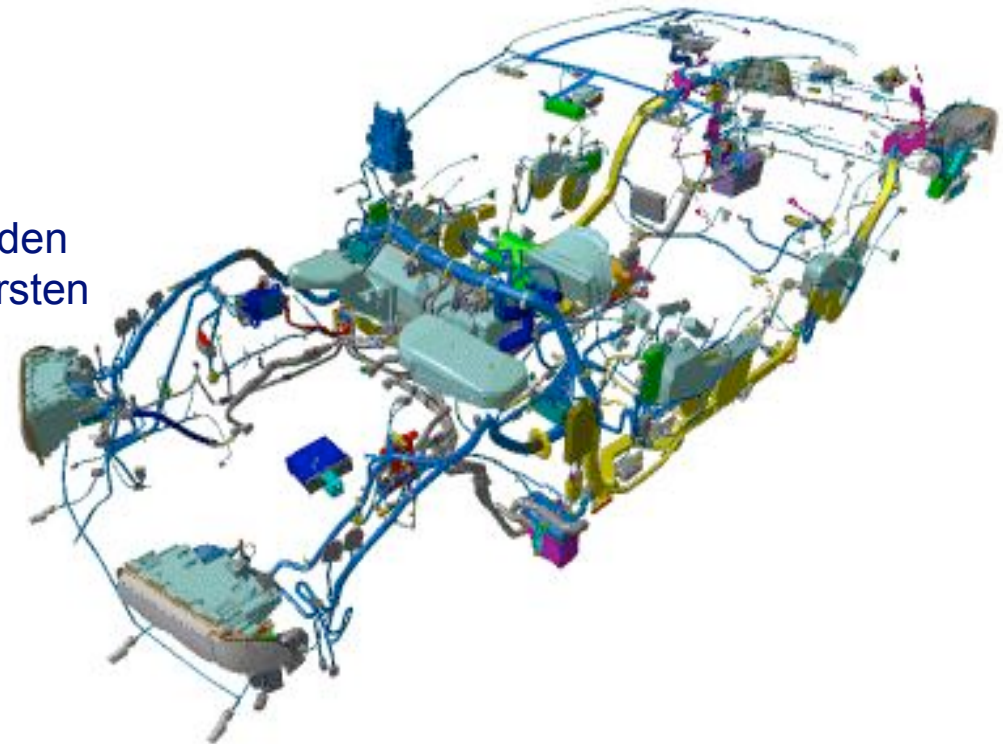
- Die Topologie ergibt sich aus Optimierungszielen:

1. Kosten
2. Gewicht
3. Montagefreundlichkeit
4. Betriebssicherheit

- Das physikalische Bordnetz zählt zu den aufwändigsten, teuersten und schwersten Komponenten in modernen KFZ.

- Beispiel BMW 5er Modelljahr 2003

- Länge 7,3 km
- Masse 55 kg



- Aus der Kosten- und Gewichtssicht rangiert der Kabelbaum bei modernen PKW auf Platz 3 nach Motor und Karosserie
- Das Kabelbaumdesign wird sehr früh im Produktentstehungsprozeß festgelegt. Änderungen sind nur mit sehr großem Aufwand möglich. Modellvarianten werden in der Regel nicht oder nur in kleinen Details (Zündkabelbaum etc.) realisiert.
- Der Kabelbaum hat starken Einfluß auf Performance von Leistungskomponenten, Betriebssicherheit von Steuergeräten, Effizienz der Buskommunikation und EMV-Immission z.B. bei Infotainment-Systemen.



### 3. Automotive Elektrik/Elektronik-Entwicklung (E/E)



1. Einführung und Übersicht

2. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

3. Mechatronik-Entwicklungen im Automobil

#### **4. Kabelbaum und Energiebordnetze**

1. Bordnetz und Kabelbaum

**2.42V-Bordnetz und 2 SpBN**

3. Alternative Energieversorgung für E-E-Komponenten

4. Energiebordnetze - Zukunft

5. Bussysteme im Automobil

6. x-by-wire-Entwicklungen

7. Zukünftige E/E-Entwicklungen im Automobil

## ■ Gestern

- Wenige und einfache Systeme
  - Zündung
  - Scheibenwischer
  - Blinker
  - Licht
- Gesamtleistung <100W

## ■ Heute

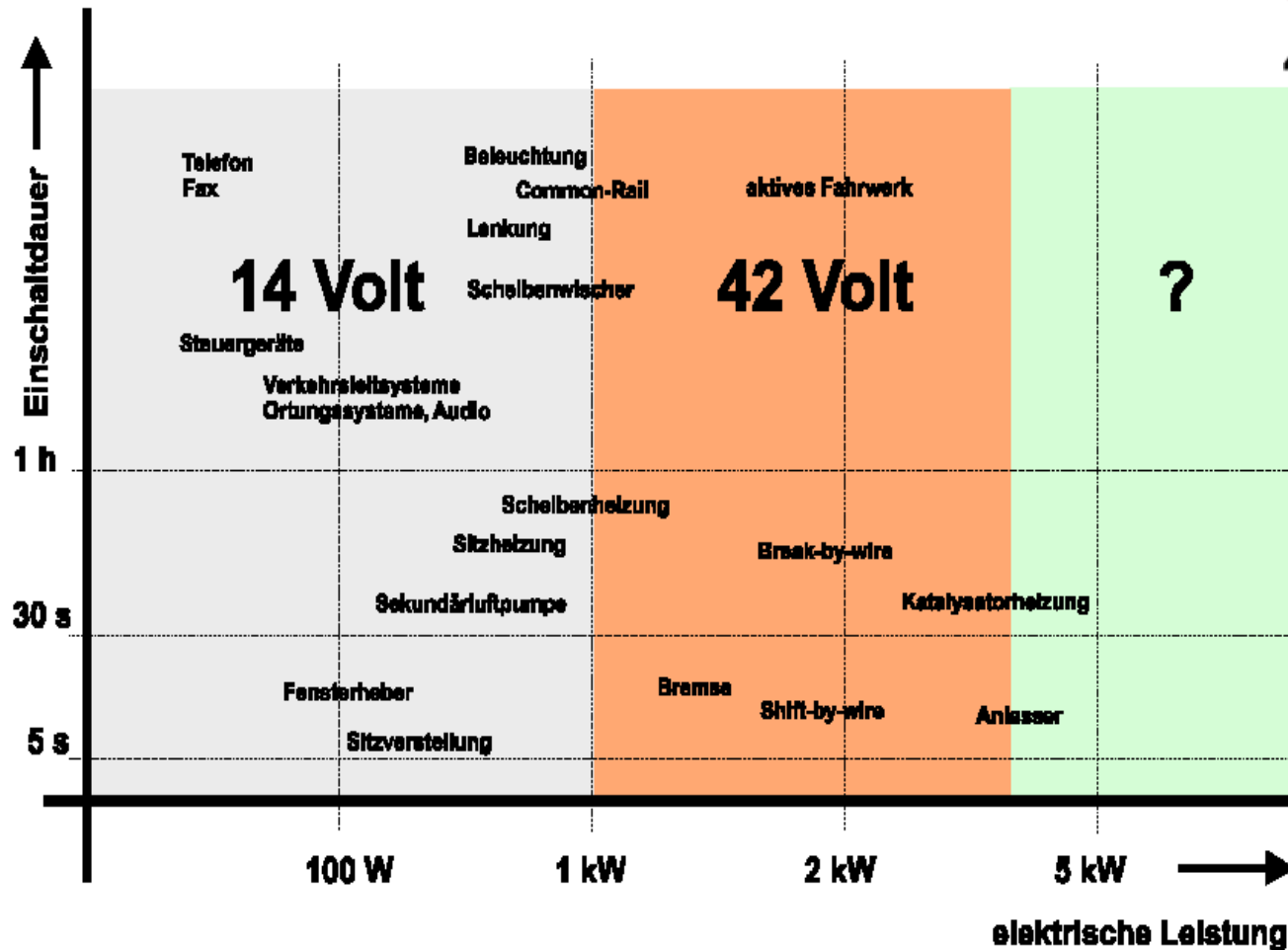
- Umfangreiche Komfort- und Sicherheitssysteme
  - Sitzheizung
  - Sitzverstellung
  - Aktivlenkung
- Verbrauchs/Immisionsreduzierung
  - Katalysatorheizung
- Gesamtleistung >6kW

## ■ Morgen

- x-by-Wire
  - Bremse
  - Lenkung
  - Motor
- Hybridantrieb
- Erweiterung der Komfortfunktionen
- Gesamtleistung: ???



## Leistungen und Einschaltzeiten elektrischer Verbraucher



# 42V-Bordnetz und 2SpBN



## Gründe für 42V-Bordnetz

- Leitungsverluste (Strom 1/3, Verluste 1/9)
  - Energieeinsparung
- Reduzierte Leitungsquerschnitte
  - Gewichtsersparnis
- Möglichkeit für neue Systeme
  - E-Kat
  - Aktivlenkung
- Realisierung bekannter Funktionen als elektrische Systeme
  - Reduktion
    - TTM
    - Entwicklungskosten
  - Erhöhung Gleichteileanteil
- Grundlage für hybridelektrische Antriebskonzepte



## 42V-Bordnetz und 2SpBN



### Übergang zum 42V-Bordnetz

#### ■ Abrupter Übergang problematisch:

- Verfügbarkeit von HL-Komponenten
  - Gängige Prozesse ergeben Spannungsfestigkeit bis ~48V:
    - Zu wenig für 42V-BN
- Viele Komponenten zu teuer aus Stückzahlgründen
  - Sicherungen
  - Steckverbinder
- Fremdstart problematisch

#### ■ Weiche Migration erforderlich

- 14V/42V-Zweispannungsbordnetz (2SpBN)

#### ■ Siehe auch:

#### ■ x-by-wire-Entwicklungen

- x-by-wire: Warum eigentlich?



# 42V-Bordnetz und 2SpBN



## 42V-Technologie: Probleme und offene Fragen



### ■ Technik

- Mangelnde Entwicklungserfahrung
  - EMV
  - Stabilität
  - Design
- Lichtbogenproblematik

### ■ Logistik und Preis

- Steckverbinder
- Sicherungen
- Leistungshalbleiter
- Logikbausteine

### ■ Organisation

- Ausstattung/Umschulung von Fertigung und Vertrieb/Service
- Parallele Fertigung von alter und neuer Technologie

## 3. Automotive Elektrik/Elektronik-Entwicklung (E/E)



1. Einführung und Übersicht

2. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

3. Mechatronik-Entwicklungen im Automobil

### **4. Kabelbaum und Energiebordnetze**

1. Bordnetz und Kabelbaum

2. 42V-Bordnetz und 2 SpBN

**3. Alternative Energieversorgung für E-E-Komponenten**

4. Energiebordnetze - Zukunft

5. Bussysteme im Automobil

6. x-by-wire-Entwicklungen

7. Zukünftige E/E-Entwicklungen im Automobil

## Anforderungen an die (ideale) Energiespeicherung

- ⇒ Hohe Speicherkapazität
- ⇒ Hohe Leistungsabgabe
- ⇒ Große Anzahl Lade/Entladezyklen
- ⇒ Schnelle Rückladefähigkeit (Rekuperation)
- ⇒ Geringe Selbstentladung
- ⇒ Geringe Temperaturabhängigkeit
- ⇒ Kompakte Abmaße

## ■ Blei-Säure-Batterie

- + Bewährte Technologie
- + Kostengünstig
- + Geringe Selbstentladung
- Hohes Gewicht / Volumen
- Starke SOC-Abhängigkeit (> 60% nötig)
- Muß optimiert werden

z.B. bei

Max. Energiedichte ca. 50 Wh/kg → geringe Leistung

Max. Leistung > 400 W/kg → geringe Energiedichte

## ■ Beispiel Hochleistungsbatterie (JCI)

- ⇒ Sehr geringer Innenwiderstand
- ⇒ Zellen in Wickeltechnik
- ⇒ Große Kontaktflächen
- ⇒ Vollständig gekapselt
- ⇒ Abmaße nur 10,4 x 11,7 x 19,5 cm<sup>3</sup>
- ⇒ Leistung bis 2,5 kW (12 V)
- ⇒ 36-V-“Bank“ in versch. Geometrien
- ⇒ Geringe Kapazität 6,5 Ah
- ⇒ Relativ hohe Kosten

## ■ SOC

= engl. Abkürzung für State of Charge

= Ladezustand Batterie



## ■ Lithium-Ionen-Batterie

- + Hohe Energiedichte 70 - 100 Wh/kg
- + Geringe SOC-Abhängigkeit (> 20 % hinreichend)
- + Sehr gute Rückladefähigkeit
- + Zellenspannung 4,2 V
- Hohe Kosten
- Noch nicht verfügbar (?)

## ■ Nickel-Metall-Hydrid-Batterie

- + Hohe Lebensdauer
- + Energie-/leistungsoptimierbar
- Energiedichte 50 - 80 Wh/kg
- Kleine Zellenspannung (1,2 V)
- Hohe Selbstentladung
- Hohe Kosten

## Lithium-Polymer-Batterie

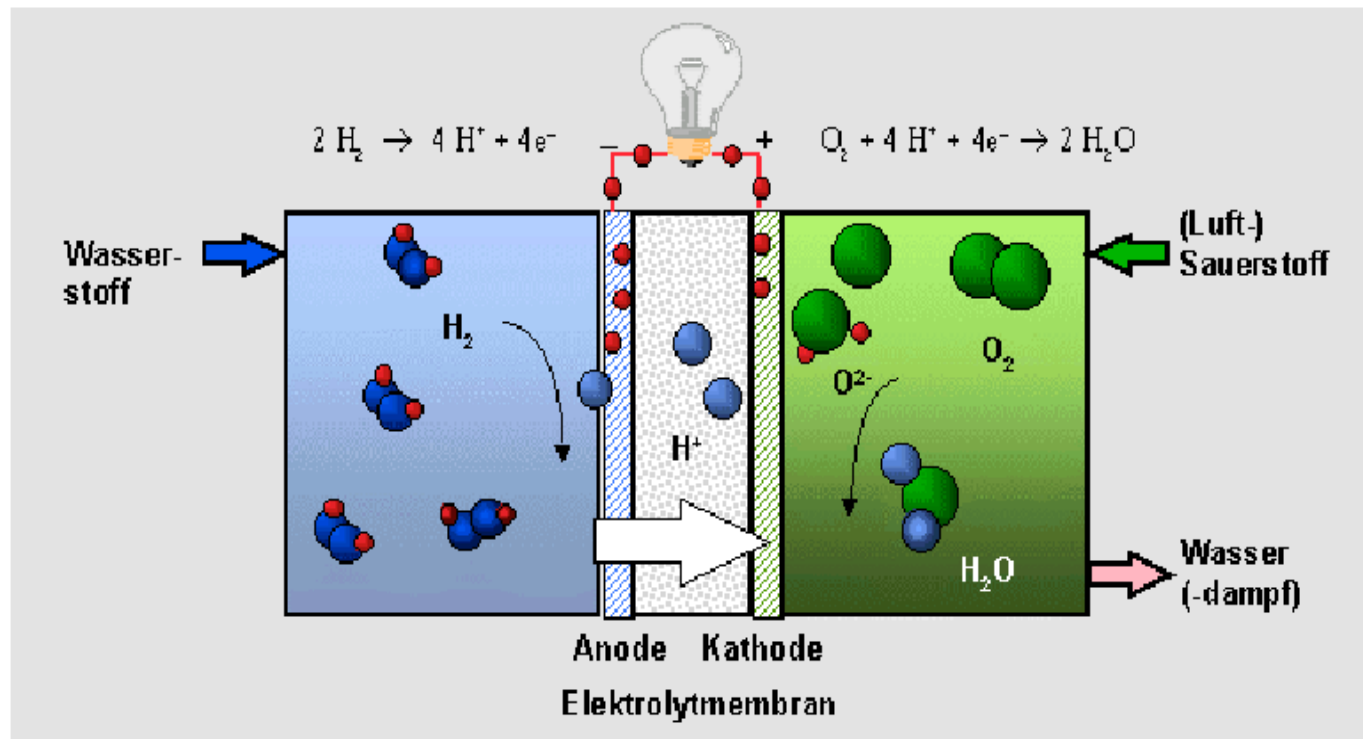
- + Hohe Energiedichte 100 - 120 Wh/kg
- + Feststoffbatterie, nichttoxisch
- + Zellengeometrie beliebig
- + Batteriemanagement direkt integrierbar
- Hohe Kosten
- Noch nicht verfügbar

## ■ „Aktive“ Batterie (iQ Battery)

- ⇒ Beheizung für opt. Temperatur
- ⇒ Säureumwälzung
- ⇒ Abschaltung bei längerer Standzeit
- ⇒ Verringerung der Kapazität (Gewicht)
- ⇒ 36-V-Batterien als Labormuster



## Brennstoffzelle



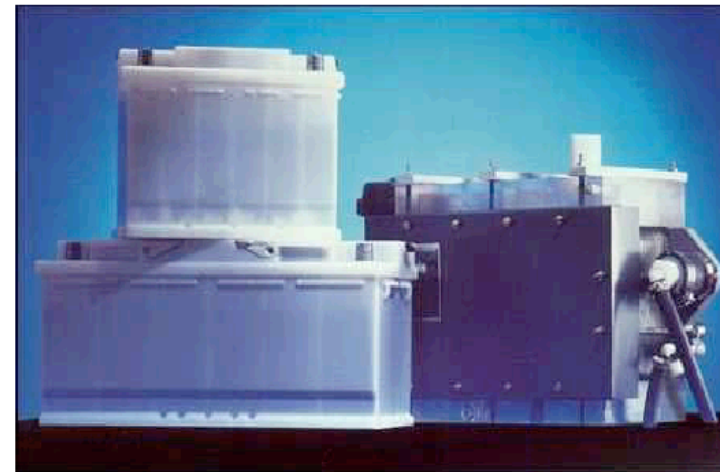
## ■ Vorteile der Brennstoffzelle

- Strom und Wärme nutzbar
- Saubere Abgase
- Möglichkeit von langfristig großer elektrischer und thermodynamischer Leistung ohne Motorlauf
  - Standklima
  - mobile office

## ■ Nachteile der Brennstoffzelle:

- Kosten
- Wasserstoff
  - Herstellung
  - Verfügbarkeit
  - Lagerung (Tankstelle)
  - Speicherung (Fahrzeug)

## ■ Gesamtenergiebilanz betrachten!



Größenvergleich Autobatterie - Brennstoffzelle

## 3. Automotive Elektrik/Elektronik-Entwicklung (E/E)

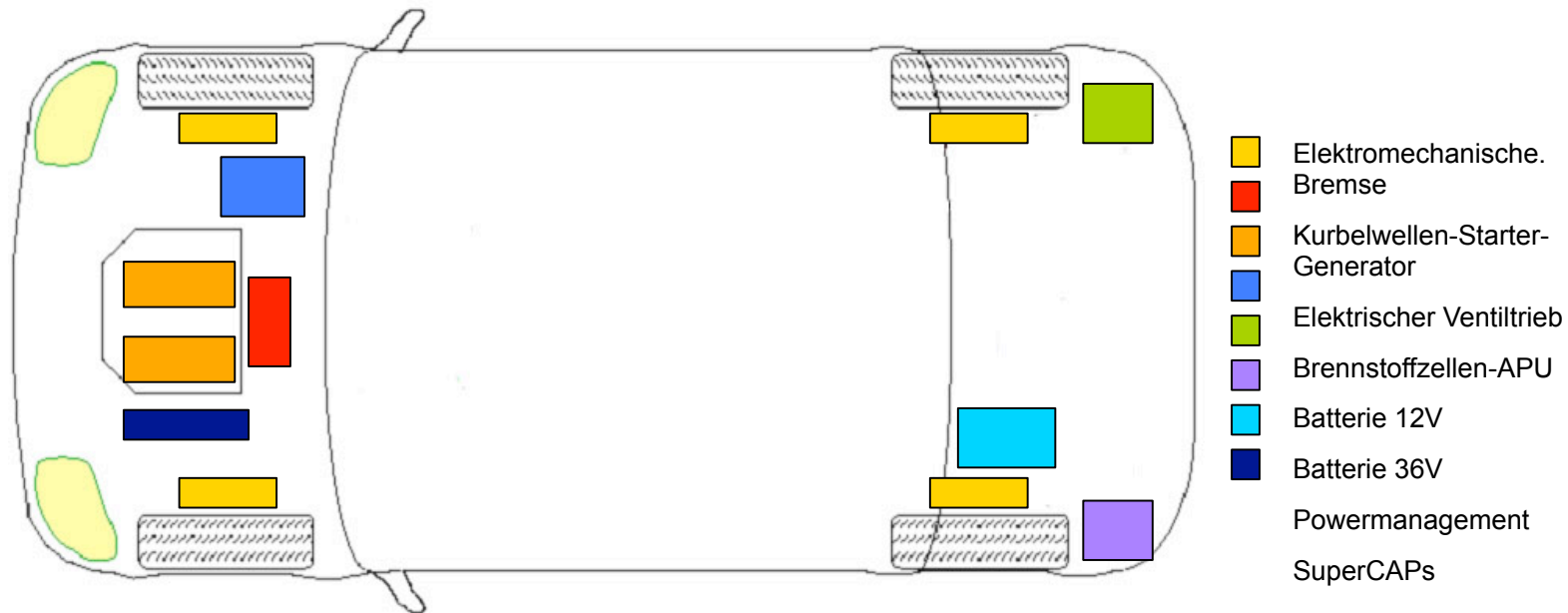


1. Einführung und Übersicht
2. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
3. Mechatronik-Entwicklungen im Automobil
- 4. Kabelbaum und Energiebordnetze**
  1. Bordnetz und Kabelbaum
  2. 42V-Bordnetz und 2 SpBN
  3. Alternative Energieversorgung für E-E-Komponenten
  - 4. Energiebordnetze - Zukunft**
5. Bussysteme im Automobil
6. x-by-wire-Entwicklungen
7. Zukünftige E/E-Entwicklungen im Automobil

■ Kernelemente:

- 2-Spannungsbordnetz
- Li-Polymerbatterien 12V und 36V
- Kurbelwellen-Starter-Generator

- APU: Brennstoffzelle
- Hilfstriebwerk (engl. auxiliary power unit, APU)
- Elektromechanische Bremse
- Elektrischer Ventiltrieb



## Supercap statt Akku: Neue Hochleistungs-Energie-puffer machen Brennstoffzellenautos wirtschaftlicher (1)



[http://www.innovations-report.de/html/berichte/energie\\_elektrotechnik/bericht-30605.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/energie_elektrotechnik/bericht-30605.html)

Für den Einbau in den Brennstoffzellen-Bora verbanden die Schweizer Entwickler je 140 Supercaps zu zwei Modulen, die sie unter der Motorhaube und unter dem Rücksitz platzierten. Foto: psi



## Supercap statt Akku: Neue Hochleistungs-Energie-puffer machen Brennstoffzellenautos wirtschaftlicher (2)



Supercaps sollen künftige Brennstoffzellenautos wirtschaftlicher machen und deren Fahrleistungen verbessern: Die Hochleistungs-Kondensatoren werden mit überschüssiger Energie oder mit der beim Abbremsen des Fahrzeugs freiwerdenden Energie aufgeladen. Beim Beschleunigen bringt der Energieschub aus den Supercaps zusätzliche Leistung. Anders als Akkus unterliegen solche Kondensatoren jedoch keinem Verschleiß.

Die Motoren gewöhnlicher Autos mit Verbrennungsmotor sind etwa um den Faktor zwei überdimensioniert: Die maximale Motorleistung wird nur während eines Bruchteils der Betriebszeit benötigt, etwa beim Beschleunigen aus dem Stand oder bei einem Überholmanöver. Den größten Teil der Zeit, beispielsweise beim "Mitschwimmen" im dichten Verkehr oder bei der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit auf einer Bundesstraße, würde ein Motor mit wesentlich geringerer Leistung völlig ausreichen. Überdimensionierte Motoren sind jedoch nicht nur teurer und schwerer, sie verbrauchen insgesamt auch mehr Kraftstoff, da der Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors im unteren Bereich seiner Leistungskurve deutlich geringer ist.