

# Elektromobilität – Chancen und Technische Herausforderungen

**Alois Knoll**

Robotics and Embedded Systems  
Department of Informatics  
Technische Universität München

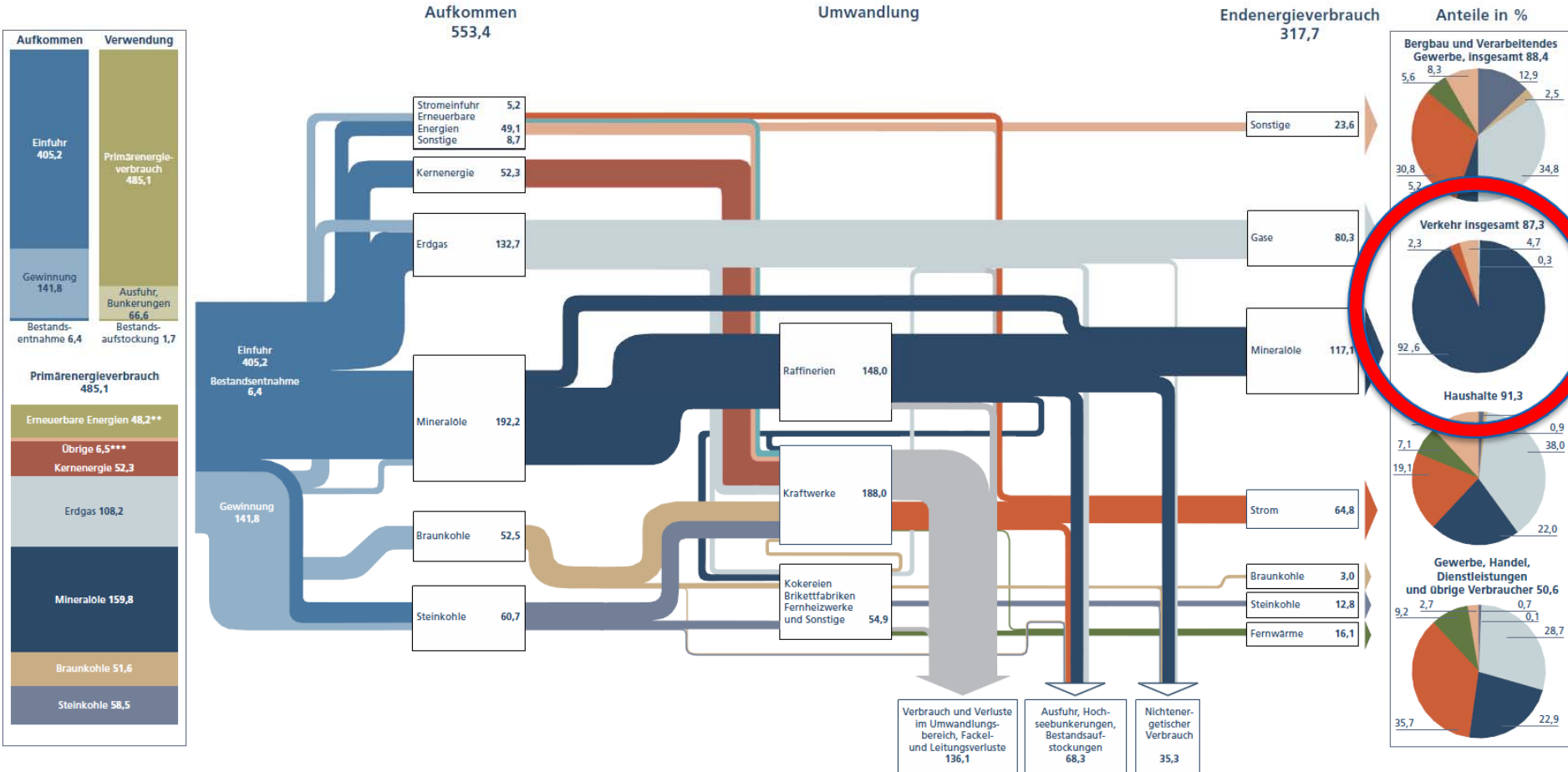
fortiss GmbH  
Am-Institut der Technischen Universität München



# Überblick

- Motivation für die Einführung elektrischer Fahrzeuge aus globaler Sicht
- Mögliche Konsequenzen für Infrastruktur
- System-Architektur von E-Fahrzeugen
- Beispiele für Projekte:
  - e-performance
  - fortiss e-car
  - RACE
- Ausblick

# Energieflussbild D 2010



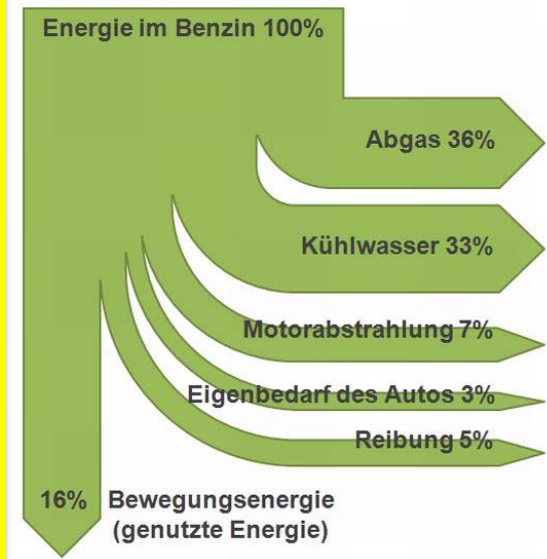
\*) alle Angaben in Mio. t SKE; 1 Mio. t SKE = 29,308 Petajoule (PJ)

\*\*\*) Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik und sonstige erneuerbare Energieträger (u.a. Brennholz).

\*\*\*\*) Austauschsaldo Strom und sonstige Gase.

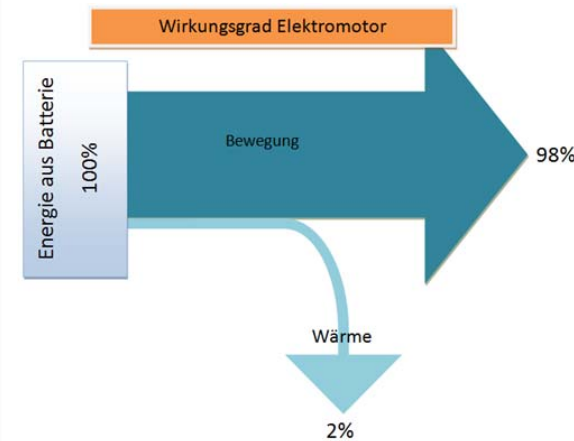
# Wirkungsgrade

- Wirkungsgrad Tank → Verbrennungsmotor → Rad:  $\approx 16\%$  (Benziner),  $\approx 21\%$  (Diesel)
- Wirkungsgrad Batterie → E-Motor → Rad:  $\approx 90\%$
- Aber: „Well-to-Wheel“-Effizienz entscheidend:
  - bei Verbrenner von Erdöl (im Boden) bis Rad  $\approx 8\%$
  - Bei E-Fahrzeugen sehr variabel:



Quelle: greengear.de

Quelle: gs-fahrzeugtechnik.de



Fuel Consumption | Gasoline equivalent per 100 km  
 Greenhouse Gas Emissions | g CO<sub>2</sub> equivalent per km

Quelle: [www2.daimler.com/sustainability/optiresource/](http://www2.daimler.com/sustainability/optiresource/)

# Verbräuche und Speicher im E-Fahrzeug

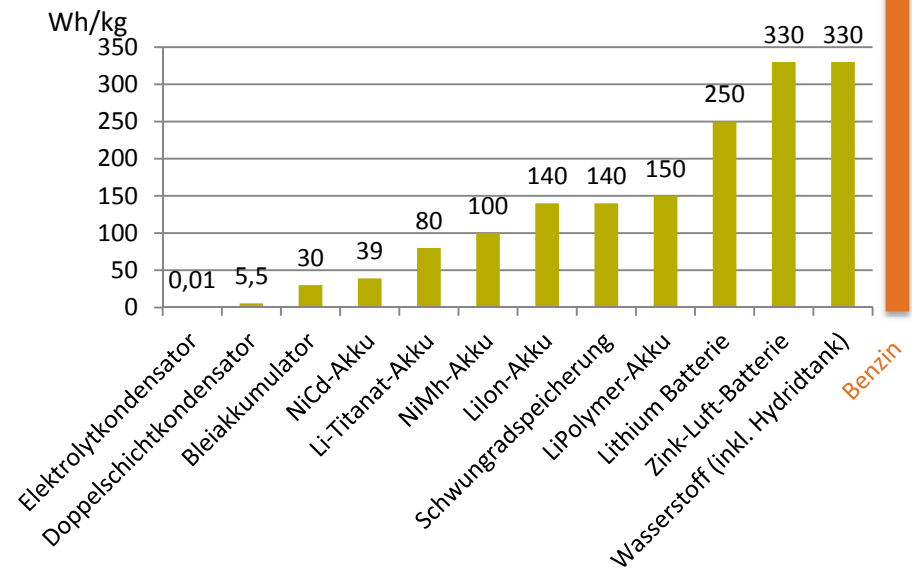
- **4 ... 8 kW** für Antrieb bei 50km/h
- **1 ... 3 kW** Heizung/Klima
- **150 ... 350 W** für Licht und elektrische Hilfsantriebe
- **100 ... 200 W** Unterhaltungselektronik
- **20 ... 200 W** Steuergeräte (teilweise auch im Stillstand erforderlich)

- **Speicherkapazitäten**

- Tank ermöglicht heute Reichweiten von 1000 km **mit** Klimatisierung/Heizung
- Batteriekapazität ermöglicht heute bestenfalls Reichweiten zwischen 100 und 200 km **ohne** Heizung und Klimatisierung
- Typische Li-Ion-Batterie: 150 ... 200 Wh/kg → 20kWh/100kg (entspricht etwa 2l Benzin)

→ Extremer Leichtbau (erforderlich, aber heute auch möglich)

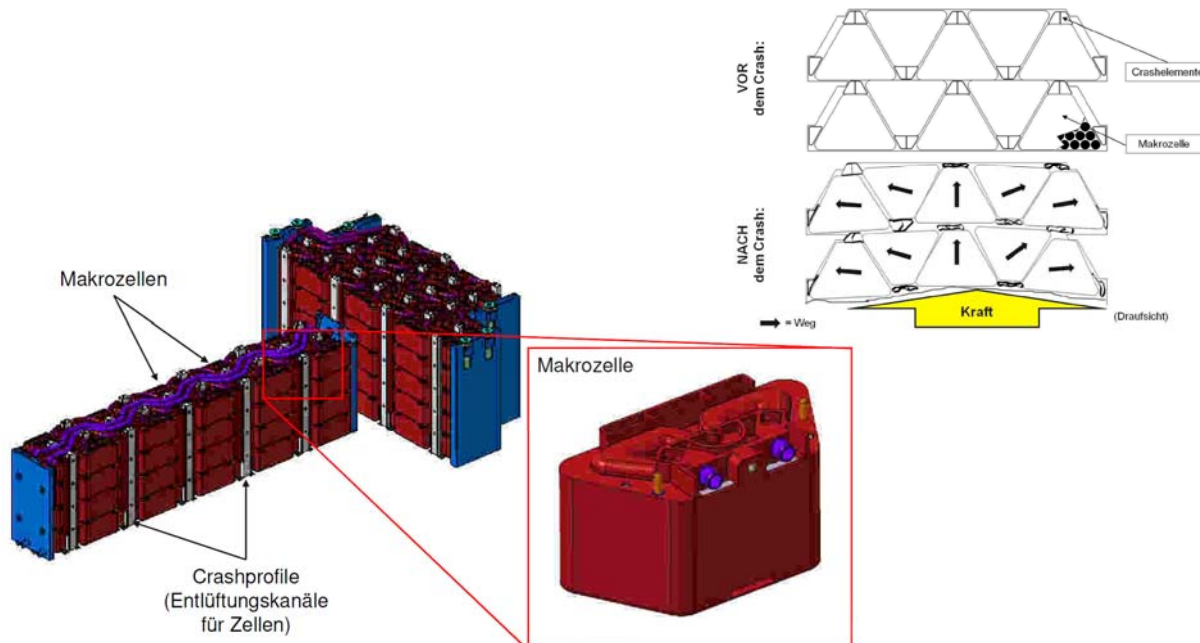
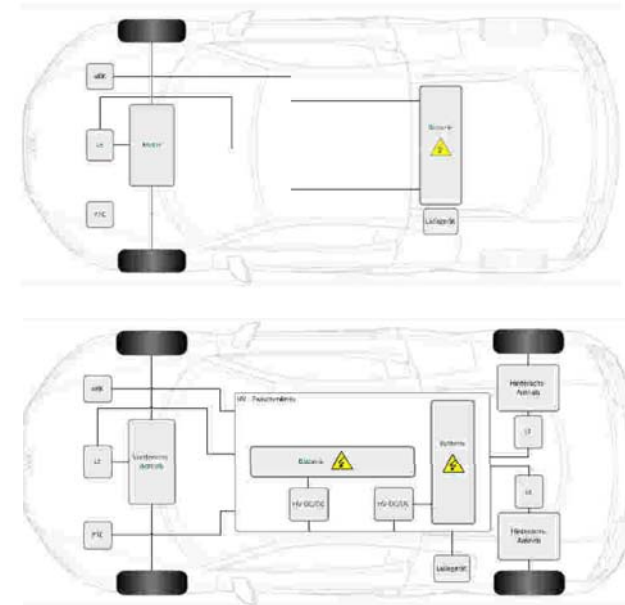
→ **Höchste Effizienz aller Aggregate notwendig**



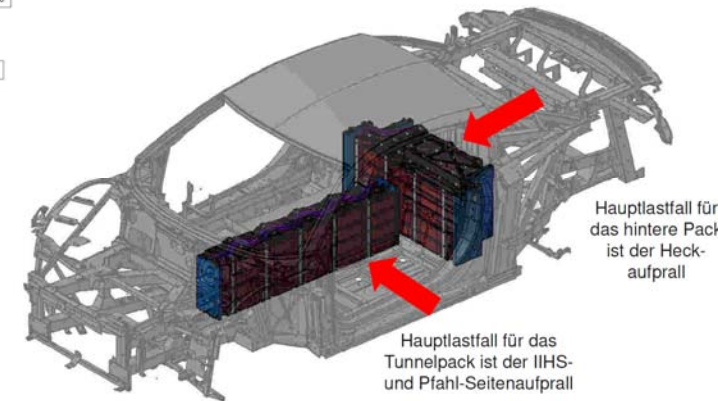
Quelle: Wiss.-Zentrum Elektromobilität, TUM

# Vorteile des E-Antriebskonzepts

- E-Maschine(n) **verteilt** zu montieren
  - Zentralmotor, Radnahe Motoren
  - Radnaben-Motoren
- Fahrdynamik einstellbar, incl. ABS, ESP, ...
- Speicher ebenfalls **verteilt**
  - Wichtigstes Kriterium: Crash-Sicherheit
- Ganz neue Freiheit in der **Raumaufteilung** für PKW



Fahrzeugintegration und Lastfälle

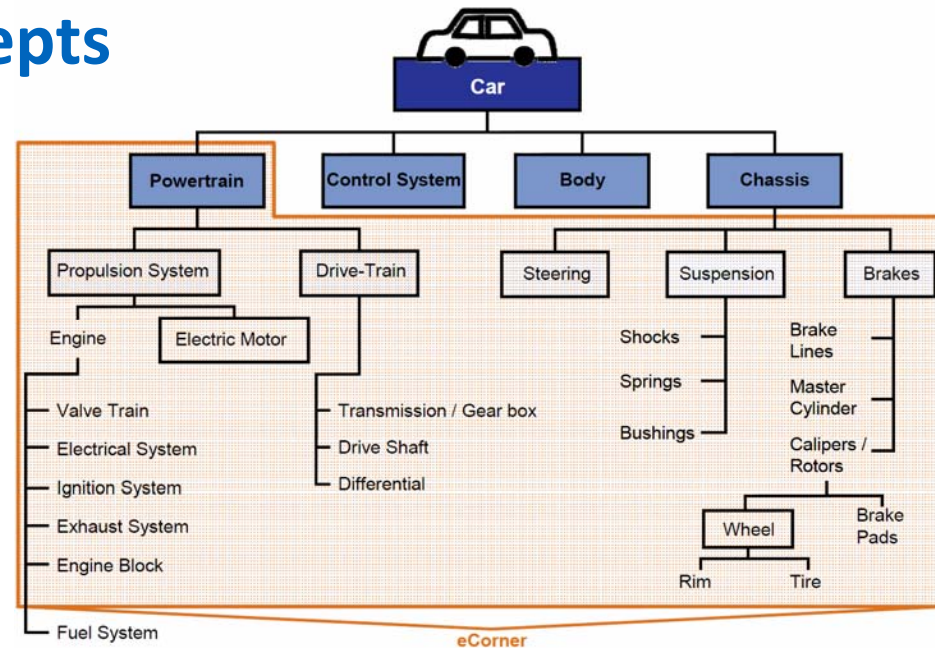
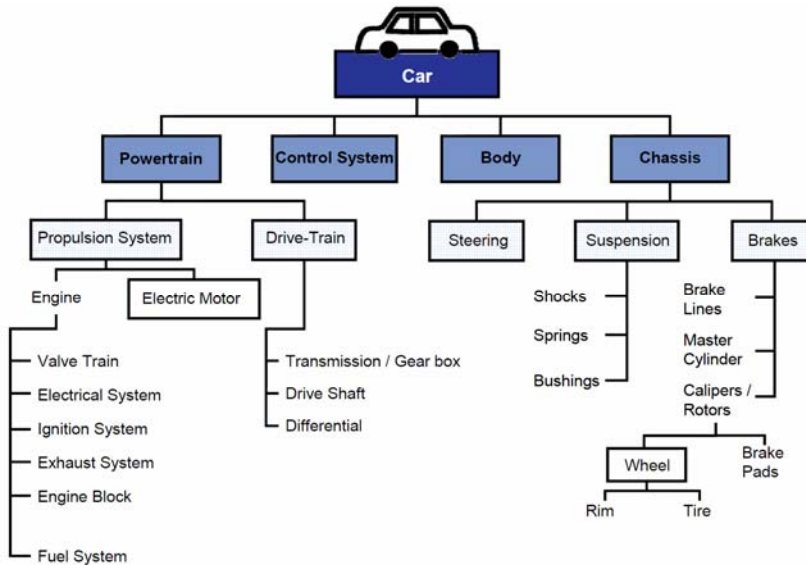


Quelle: alle Bilder Audi AG





# Vorteile des E-Antriebskonzepts



- Radnabenmotoren: Integration der E-Maschine in Rad (erstmal vor >100 a)
- Im Extremfall: Konzentration der **gesamten** Antriebsaktorik und -sensorik in einem kompakten Modul: „e-corner“
- Problem: große ungefederte Massen



Quelle: Alle Bilder © Siemens VDO Automotive AG

# Mögliche Konsequenzen für Infrastruktur

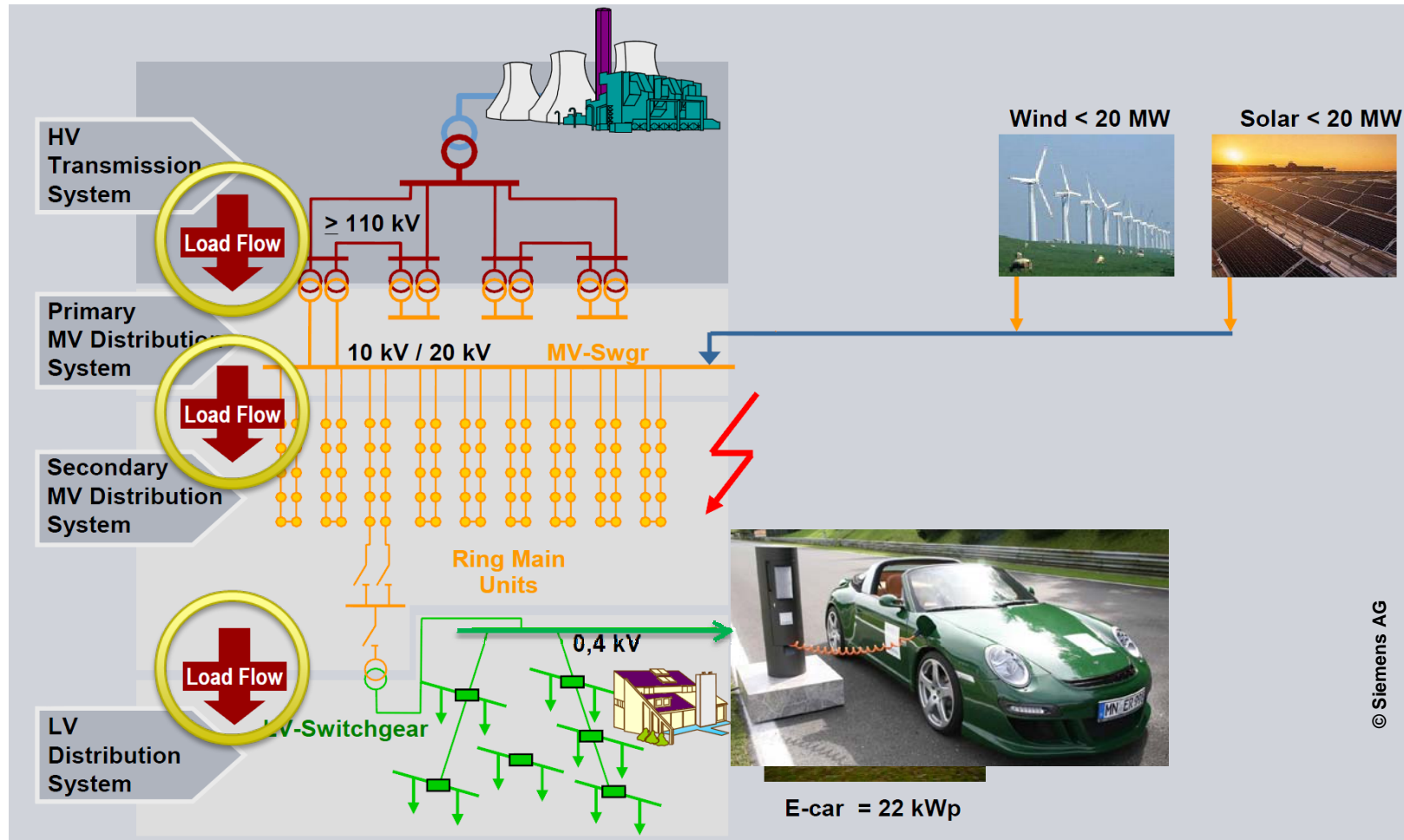


# E-Fahrzeuge und Infrastruktur

- Gesamtjahresenergiebedarf für Verkehr in D: 2500 PJ
- Bei der Annahme eines gleichmäßigen Verkehrsaufkommens bedeutet das eine Dauerleistung von  $\approx 80$  GW
- 2012 hat die gesamte installierte Photovoltaik-Leistung die 30 GW-Marke überschritten (Windkraft: 29 GW)
- Rein rechnerisch könnte also in absehbarer Zeit das gesamte Verkehrsaufkommen elektrisch mit Strom aus erneuerbaren Quellen bewältigt werden
- Voraussetzung: **Aufbau einer Speicherinfrastruktur**
- 1 Mio. Elektrofahrzeuge à 20 kWh ergibt Gesamtspeichervolumen von 20 GWh (1/3 der Kapazität des Walchensee-Pumpspeicherwerks)
- Zur Zeit also nur minimaler Beitrag. Zukünftig könnte Zahl der Speicher und ihre Kapazität zunehmen. Voraussetzungen für Nutzung:
  - Fahrzeuge sind die meiste Zeit verfügbar (erfüllt, Nutzungsdauer Privat-PKW < 10%)
  - Speicherfunktion ist für Netzbetreiber attraktiv (zur Zeit nicht erfüllt)
  - Speicherfunktion ist für Fahrzeugeigner attraktiv (zur Zeit nicht erfüllt)

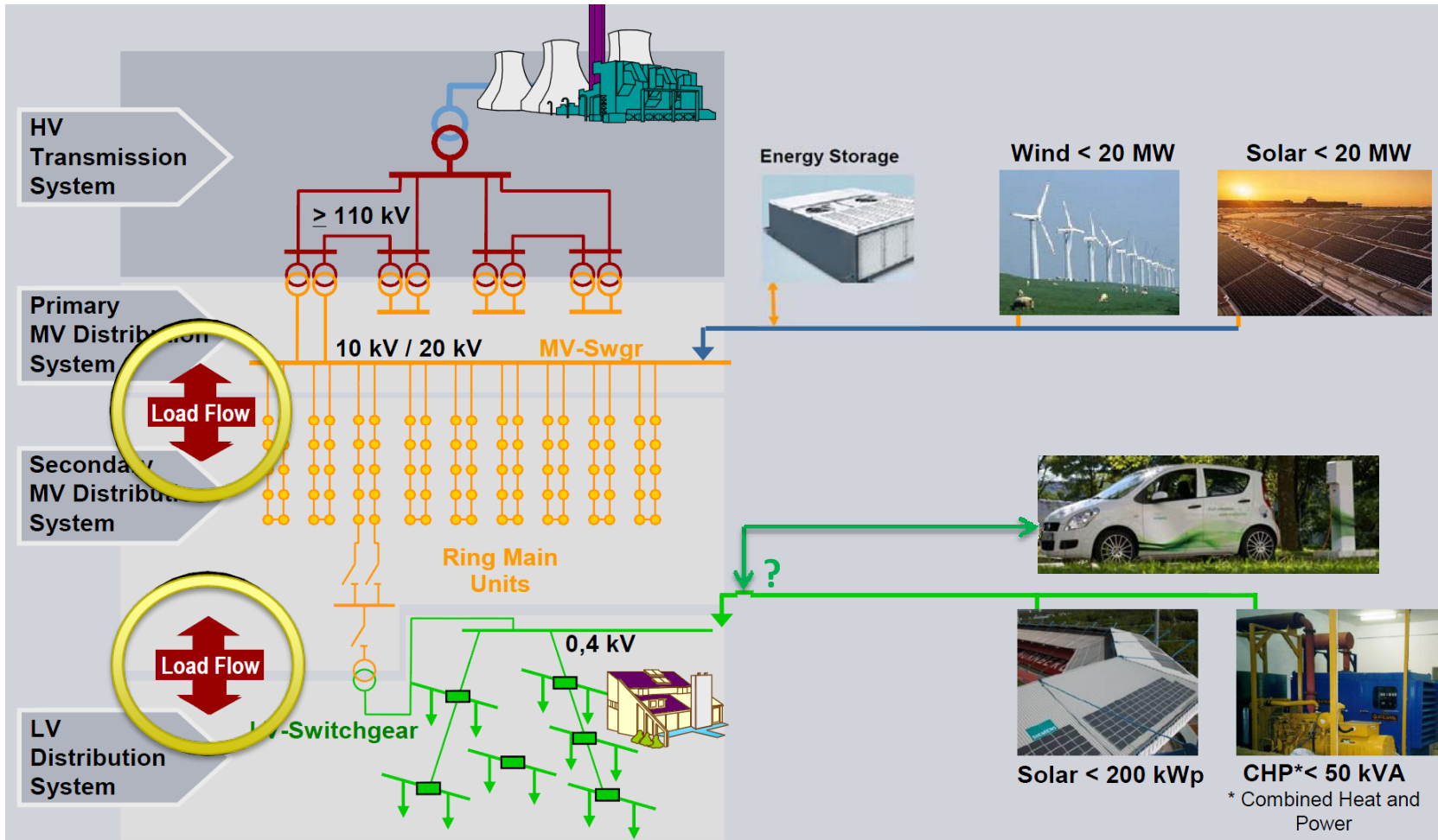
# E-Fahrzeuge und Infrastruktur

- Einbettung abhängig von Aufbau einer Gesamt-Versorgungsarchitektur
- Zustand heute:

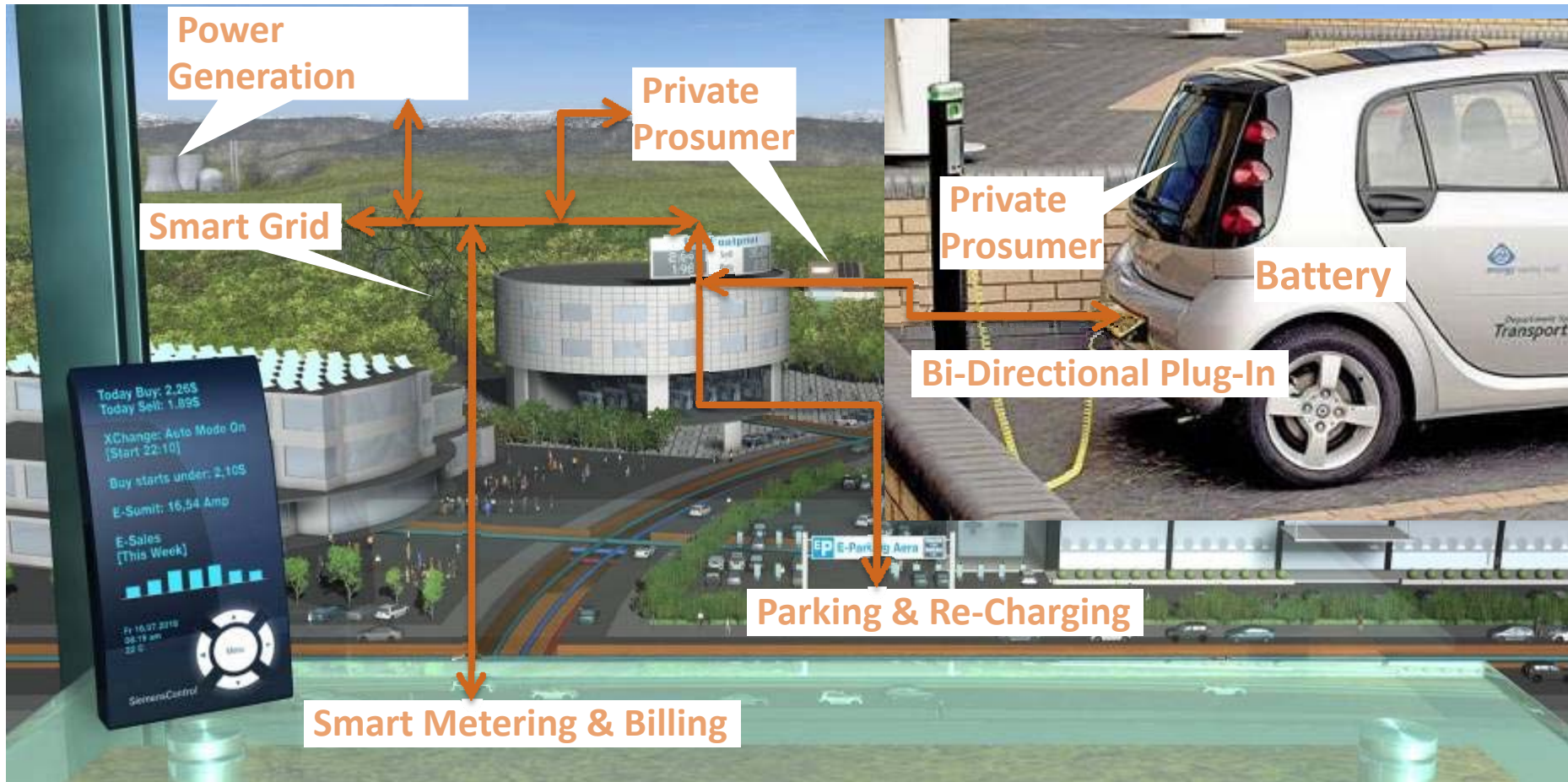


# E-Fahrzeuge und Infrastruktur

- Zustand morgen:



# Ziel-Infrastruktur aus Nutzersicht



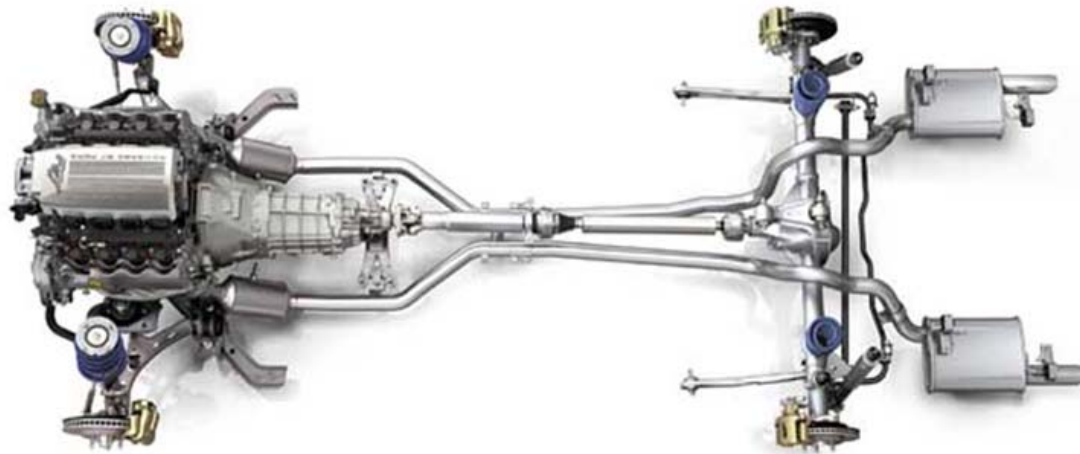
→ Engste Verzahnung von Datentransport und Energietransport!

# System-Architektur von E-Fahrzeugen

# Kurze Geschichte der IKT im Fahrzeug

„Elektronik und Software sind heute direkt für 90% der Innovationen im Auto verantwortlich“

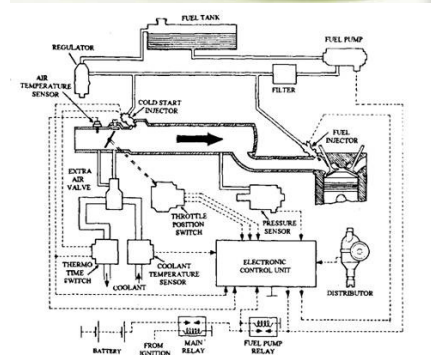
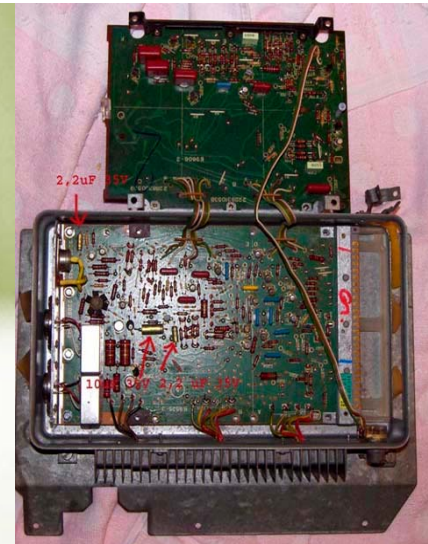
- Bis in die 1990er-Jahre keine oder minimale IKT im Auto (bis auf Radio), Steuerung des Energieflusses durch Fahrer
- Drei Entwicklungsstränge:
  - **Steuerautomaten** für automatische Getriebe
  - **Elektronische** Benzineinspritzung
  - Anti-Blockier-System **ABS**





# Kurze Geschichte der IKT im Fahrzeug: Einspritzung

- (Mechanische) Benzineinspritzung, Einführung im Flugzeugbau in den 30er-Jahren in Deutschland, durch Bendix in USA Anfang der 50er Jahre
- Erste Fahrzeuge mit elektronischer Benzineinspritzung: 1958 Chrysler's sport models D300, Adventurer, D500 and Fury mit **Bendix Electrojector**
- Erstes deutsches Auto mit elektronischer Einspritzung (Bosch D-Jetronic): VW Typ 3 (1600 E), 1967, **erstes Steuergerät (analog)**



# Kurze Geschichte der IKT im Fahrzeug: ABS

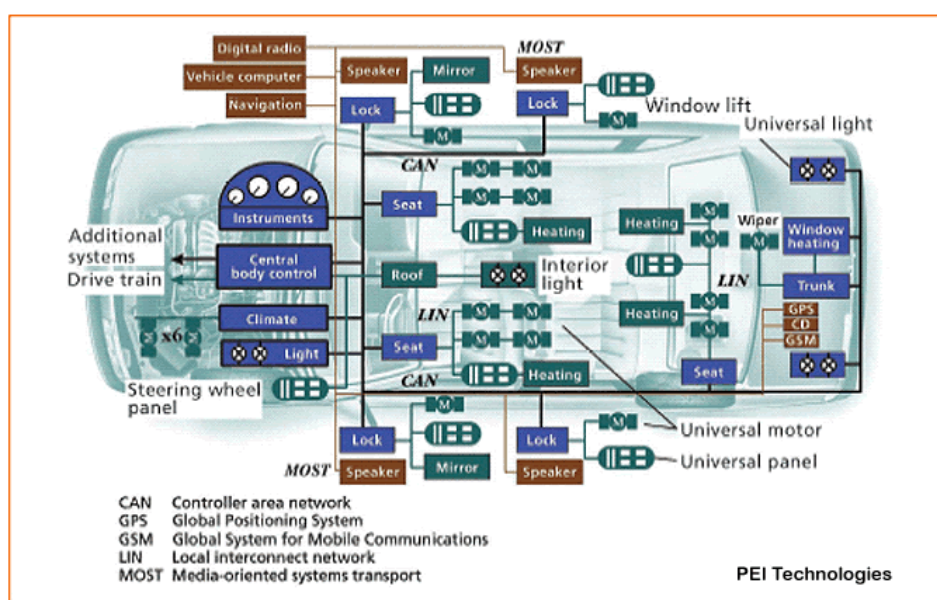
- Erste Vorstellung von ABS durch Mercedes-Benz 1970
- Serieneinführung 1978 in S-Klasse
- Erstes **digitales** Steuergerät, Grundlage der Digitalisierung der IKT im Auto





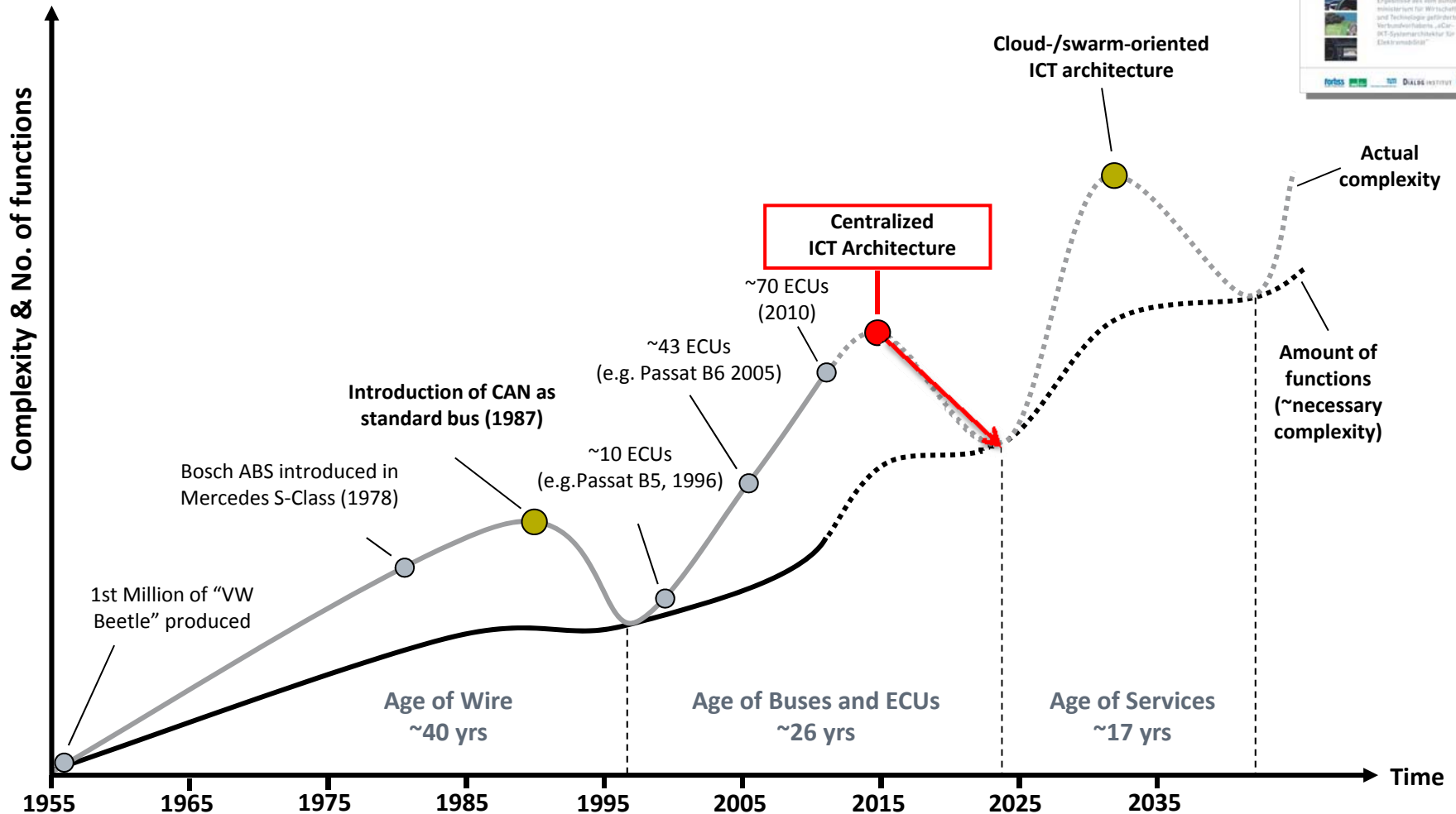
# Stand der Kunst heute

- “Hard-wired architecture” with distributed electronic control units (ECUs)
- Dedicated bus systems
- Evolutionary grown architecture that is increasingly interconnected
  - Over 70 electronic control units (ECU)
  - Divided in different domains (Chassis, Body, Drivetrain, Infotainment)
  - 5 different communication systems
  - 6 CAN buses (different speed / domains)
  - 22 LIN buses (connecting sensors / actuators)
  - 1 FlexRay bus (Chassis/drive train/ motor control)
  - 1 MOST bus (Infotainment/Multimedia)
  - Ethernet (Point to point)
- Complexity of integrating new functions increases dramatically



# Electronic Control Units (ECU) im Auto

## Zunahme von Zahl und Komplexität



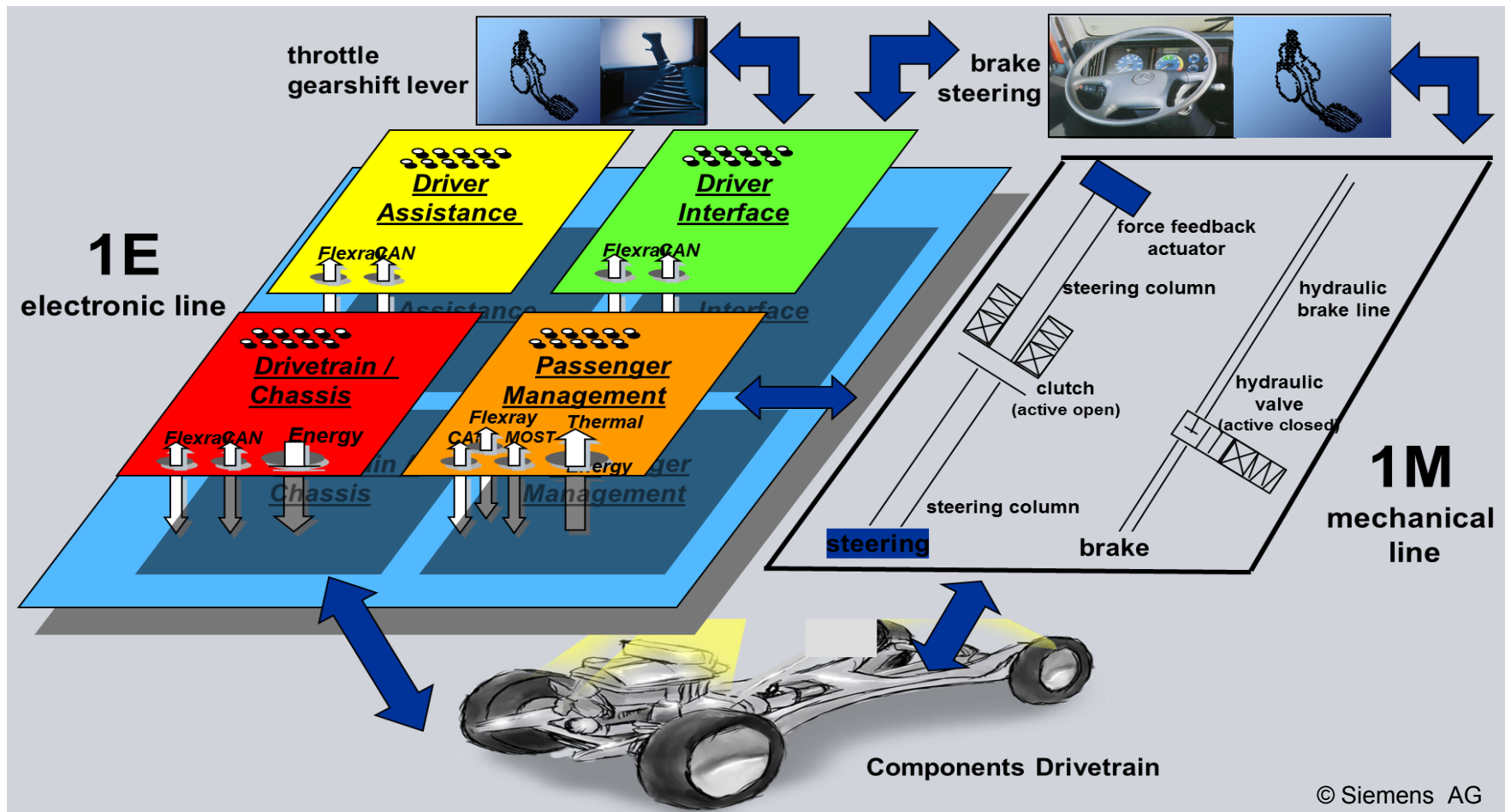
Source: "The Software Car: Information and Communication Technology as an Engine for the Electromobility of the Future", page 48

\*Information and Communication Technology



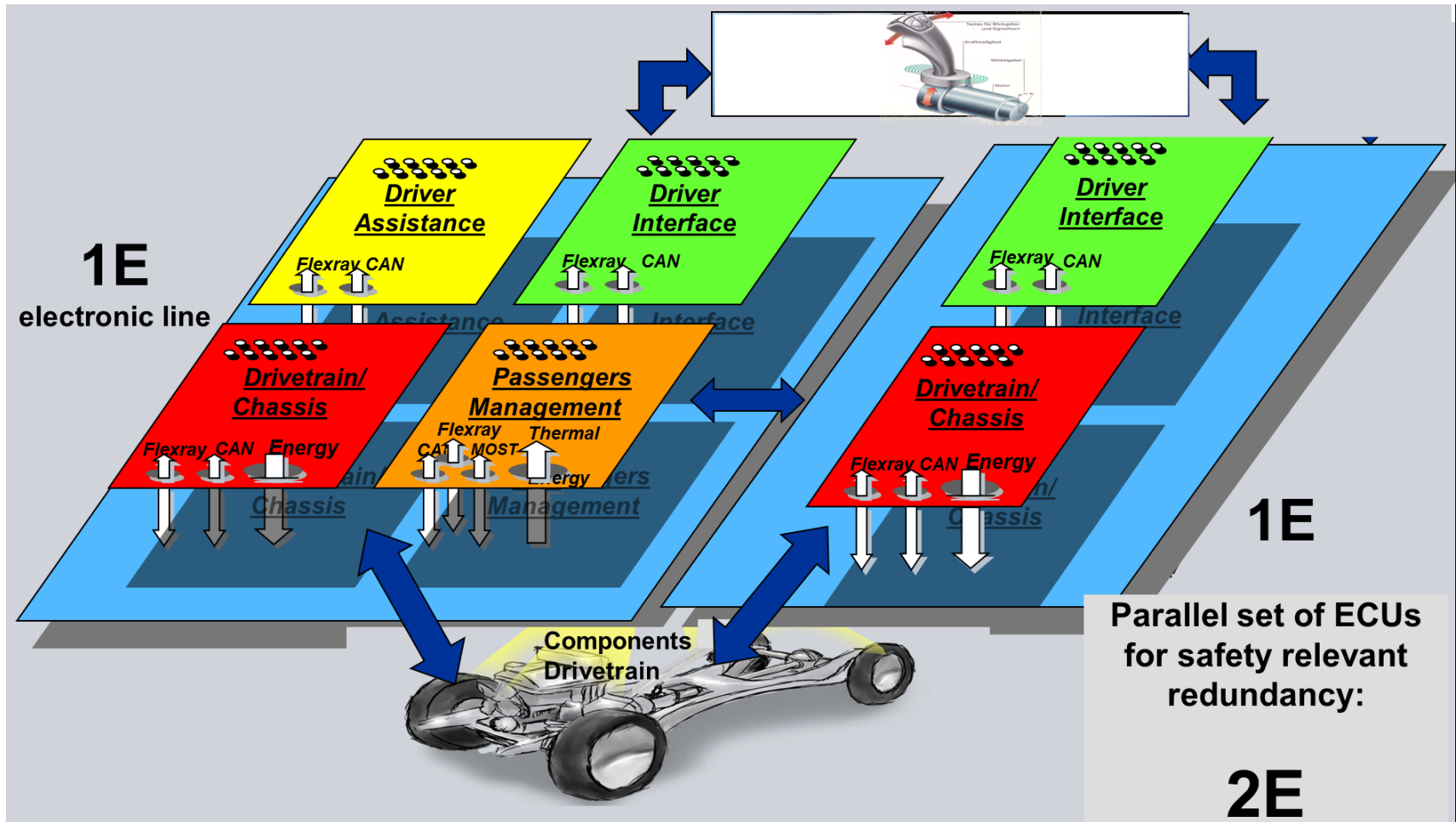
# Unterteilung nach Domänen reduziert Komplexität

- Typischerweise Gliederung nach Funktionsklassen:
  - (i) Antrieb (ii) Fahrwerk (iii) Passagier-Komfort und (iv) Entertainment **oder**
  - (i) Antrieb/Fahrwerk (ii) Assistenzsysteme (iii) Passagier-Komfort und (iv) Entertainment
- Beispiel Vorschlag Siemens (By-Wire mit mechanischer Rückfallebene „1E/1M“):



# Unterteilung nach Domänen reduziert Komplexität

- Beispiel Vorschlag Siemens (Redundante By-Wire-Systeme „2E“):





**Beispiele für Projekte  
e-performance, fortiss e-car, RACE**

# Projekt e-performance (Audi, Bosch, RWTH, ...)



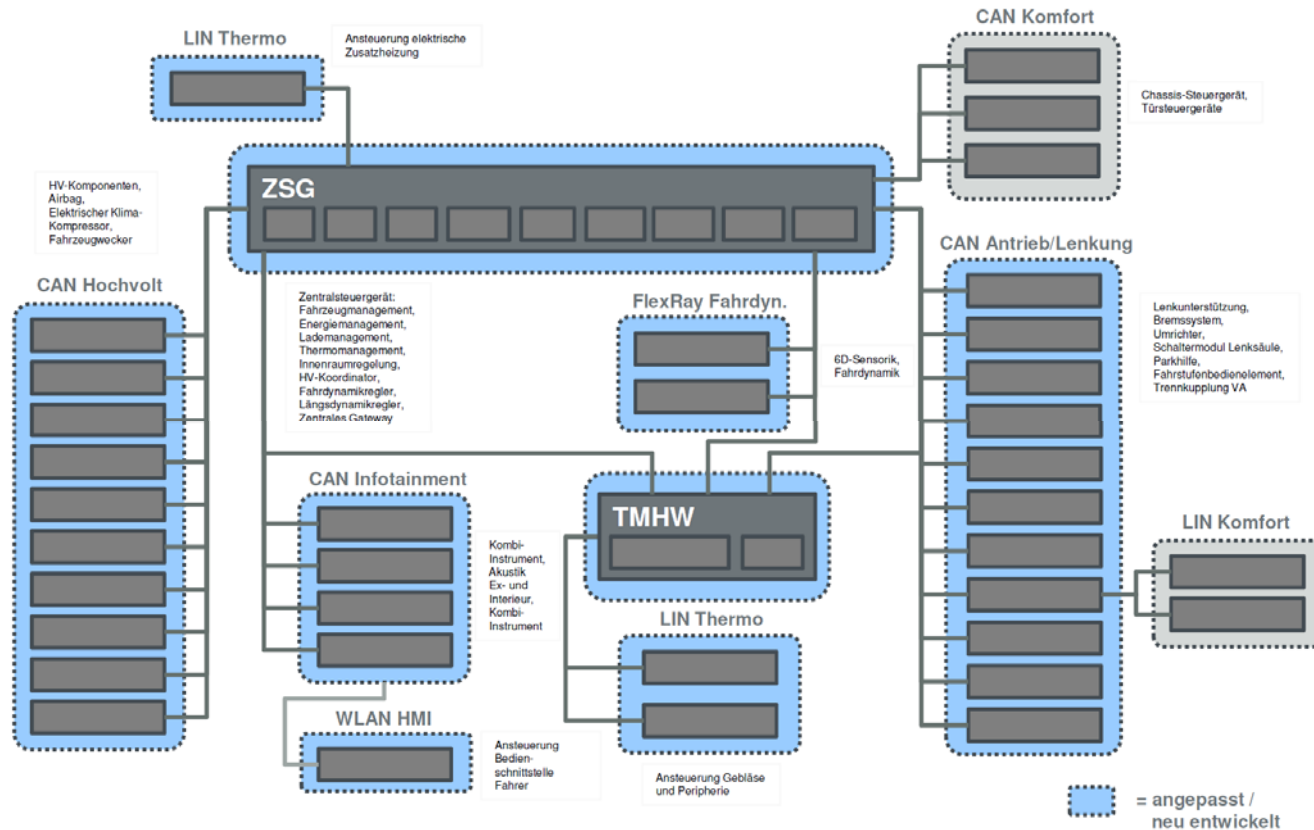
- ▶ **Fahrzeugkonzept**
  - ▶ Baureihenübergreifender Modul-Baukasten
  - ▶ Optimierte Leichtbaukarosserie
- ▶ **Batteriesystem**
  - ▶ Crashaktives Batteriepack
  - ▶ Multivariable Batterieauslegung
  - ▶ Variable Spannungsebenen
  - ▶ Demokratisierte Batterietechnologie
- ▶ **Antriebskonzept/Leistungselektronik**
  - ▶ Technologieunabhängige Systemkonzept
  - ▶ Elektrisches Schalten
- ▶ **Energiemanagement (thermisch/elektrisch)**
  - ▶ Adaptives Wärmepumpenkonzept
  - ▶ Optimierte Betriebsstrategie
- ▶ **Fahrwerk**
  - ▶ Adaptives Brems- und Rekuperationkonzept
- ▶ **Elektrik/Elektronik**
  - ▶ Skalierbare Leistungsmodule (DC/DC)
  - ▶ Komplexitätsreduzierte Vernetzung
  - ▶ Modulares Sicherheitskonzept
- ▶ ...



<http://www.audi.de/eperformance>

# Projekt e-performance

- Architektur der Steuergeräte und Vernetzung

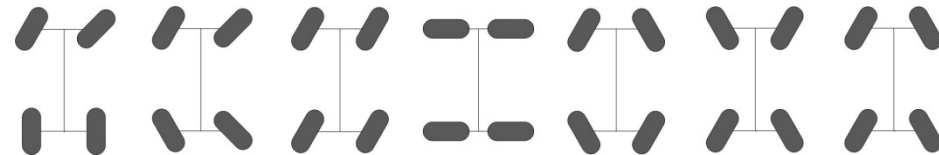


- Wesentliche Projektergebnisse

- **Reduktion** der ECU-Anzahl **um 33%**
- **Einsparung** eines Fahrzeugbusses
- Darstellung einer ersten **funktionalen Gruppierung** am Prototypen

# fortiss-E-car: Computer Scientists' Dream e-Car

- **Motivation:**
  - Evaluation and testing of EV-concepts
- **Project goals:**
  - Implementing a data centric architecture through model-driven development
  - In-time data provision
  - Modular design
  - Redundancy management
- **Future plans:**
  - Developing a second version of the eCar
  - Advanced control architectures
  - **Completely wireless communication system** (starting 2013)
  - ...



# fortiss-E-car

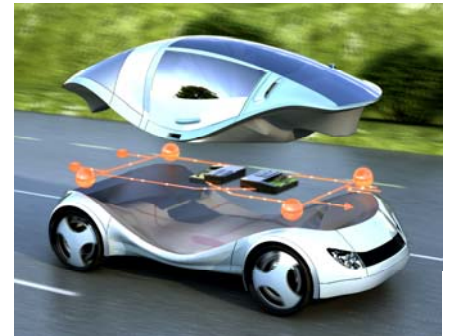


## Basic Principles

- The central concept of fortiss' EV architecture is data centrality: **data flows** from the sensors of the vehicle to its actuators, based on events and/or time predicates → *data-centric architecture with clear data structuring*
- **Avoid replication** of data and its acquisition → centralised logical data base or “*data cloud*” for decoupling modules
- **Modular design** for easy extensibility, testability, independent yet safe development → provision for specifying *abstract data dependencies*
- Simple **network structure** → logical or *virtual networking*
- **Scalability and portability** across vehicle classes → *flexible mapping* from logical architecture to target hardware through suitable tools
- **Fault tolerance** is mandatory → *fault recognition and redundancy management*

# Projekt RACE (Siemens, fortiss, ...)

- RACE: Robust and Reliable Automotive Computing Environment for Future eCars
- Projects Goals
  - **Reduction of complexity** by introducing a centralized platform computer similar to avionics bases on the results of the ICT survey
  - Reduce implementation effort for **complex functions**, e.g. autonomous driving
  - **Plug-and-Play** capability of the ICT infrastructure
  - **Certiability** of the ICT architecture (**ISO 26262**)
  - Constructing a **revolution** demonstrator car to show feasibility
  - Constructing an **evolution** demonstrator car to show migratability



<http://www.projekt-race.de/>

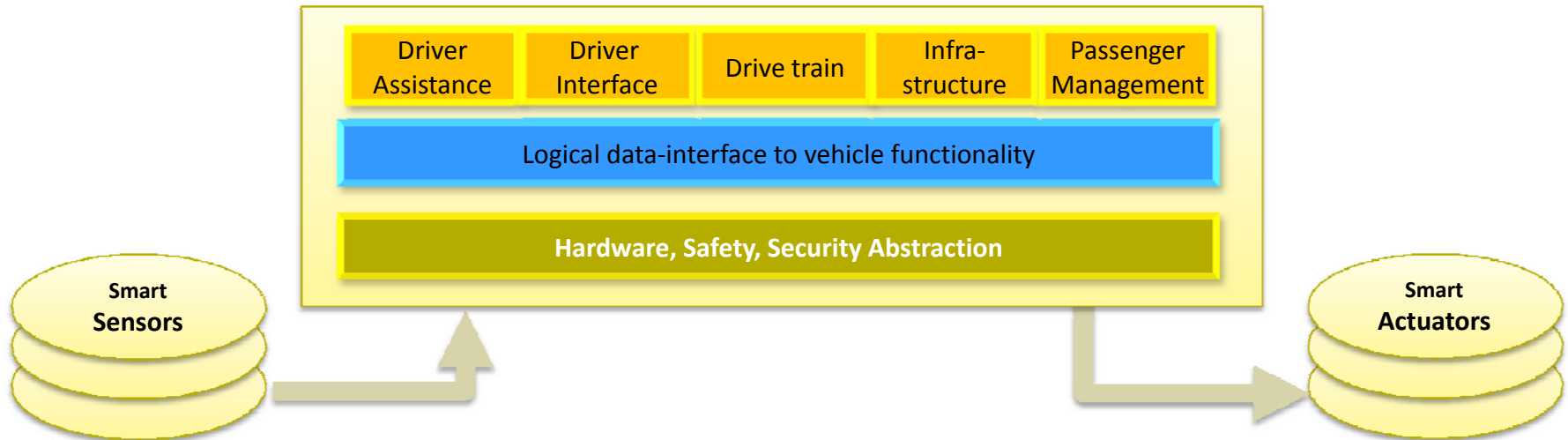
- Partners:





# RACE Platform

Idea: Logically centralized platform



## Completely new vehicle ICT:

- **Scalable** central processing units
- **Intelligent** sensors and actuators
- **Middleware** decouples functionality from safety, security and physical layers
- Support of **mixed-criticality** applications → **one network** for everything
- **Plug & play** for functions, sensors and actuators
- Support for **incremental certifiability**
- **Logically centralized platform** realizes vehicle control-functions up to ASIL-D

# Data-Centric Communication

## Decoupling Aggregates for future-proof Architectures

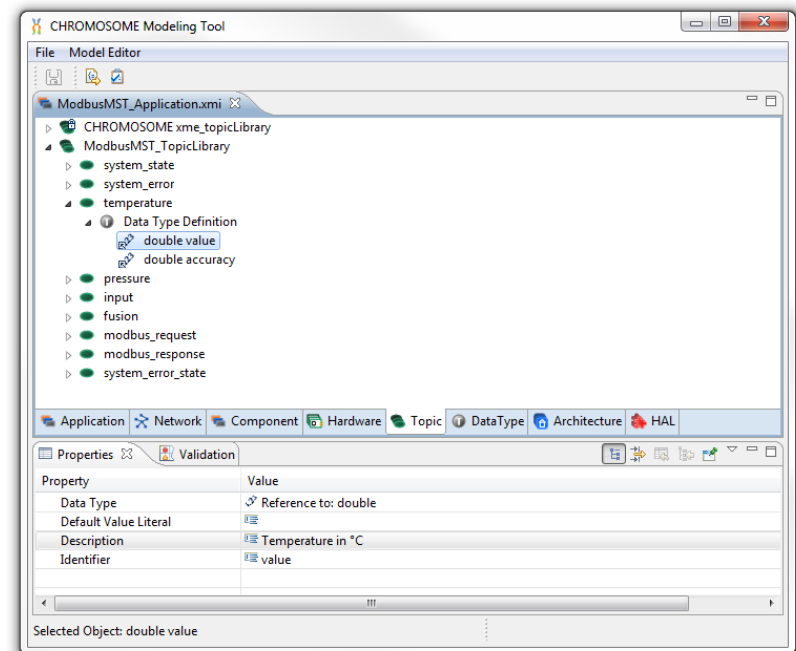
### Data-centric Communication

- **No direct** connection between functions
- **Transparent data access** from everywhere in the vehicle
- **Reuse** of data generated by other functions
- Publishers and Subscribers of data are „wired“ when the **car reconfigures itself**
- Introduction of **semantic data types** („Topics“)
- **Central Topic Dictionary** to help developers **reusing data**

### Semantic data types

- **Type:** enum, structural, int, double
- **Meaning:** (speed, torque, state, ...)
- **Attributes** define additional properties
  - Physical origin,
  - Confidence, ASIL, ...

→ **Topic type and attributes define a system-wide unique data item**



# Demonstratorfahrzeuge

## Ziel: Die Komplexität der IKT-Architektur reduzieren



Alle Standardfunktionen werden realisiert, davon **nur einige** auf Basis der neuen Systemarchitektur.

### Migration zum **Evolutionsfahrzeug**

- Basierend auf einem Standard-Fahrzeug
- Ein Funktionsblock (z. B. Längs- oder Querdynamik, Energiemanagement) wird mit neuer Systemarchitektur realisiert
- Alle anderen Funktionen basieren noch auf der herkömmlichen Architektur
- Die neue ist mit der alten Systemarchitektur über Gateway verbunden

## Ziel: Die Funktionalität der neuen IKT-Architektur nachweisen



Nur **wenige** Funktionen werden realisiert, diese basieren **alle** auf der neuen Systemarchitektur.

### Disruption zum **Revolutionsfahrzeug**

- Das Auto basiert auf einem neuen Fahrzeugkonzept
- Alle Funktionen (z. B. Beschleunigen, Abbremsen, Energiemanagement) werden über die neue Systemarchitektur realisiert
- Keine Integration von Funktionen, die auf der herkömmlichen Architektur basieren
- Einzelne Hardwareeinheiten können über Gateway verbunden werden
- Ziel ist reines Drive-by-Wire mit redundanter Elektronik (**2E**)



# Zusammenfassung

- Übergang zur Elektromobilität bietet **einmalige Chancen**, evolutionär gewachsene Infrastrukturen und IKT-Architekturen neu zu definieren
- IKT-Architekturen sind der Schlüssel: **90%** der zukünftigen Innovationen im Auto hängen von Elektronik/Software ab
- Notwendig ist aber ein **Paradigmenwechsel**:
  - Aufbau der IKT-Architektur nach den Erkenntnissen der Informatik
  - Fokus auf sich dynamisch wandelnde Nutzeranforderungen
  - Start mit kostengünstigen Elektrofahrzeugen
  - Globale statt lokale Architektur-Optimierung
  - Systemgrenzen erweitern, weg vom Einzelfahrzeug hin zu einem Zusammenspiel zwischen Smart Car, Smart Grid, Smart Traffic
- Erfolg werden Hersteller haben, die konsequent an der Überarbeitung der IKT-Architektur arbeiten!

# Kontakt Daten



## **Prof. Dr. habil. Alois Knoll**



fortiss GmbH – An-Institut der Technischen Universität München  
und  
Technische Universität München  
Boltzmannstraße 3 | 85748 Garching | Germany  
Tel. +49 (0)89 289-18106  
k@tum.de | wwwknoll.in.tum.de