INFORMATIK ▪ CONSULTING ▪ SYSTEMS AG

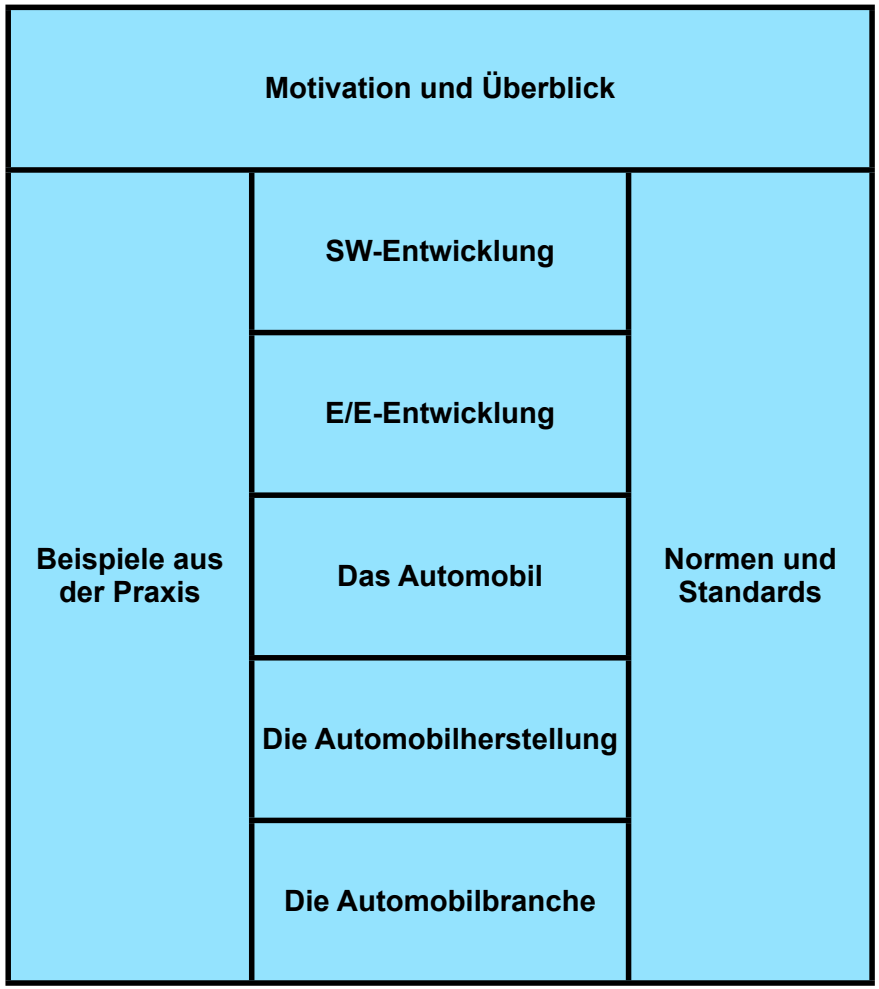
Vorlesung
Automotive Software Engineering
Teil 1 Motivation und Überblick (1)

Sommersemester 2014

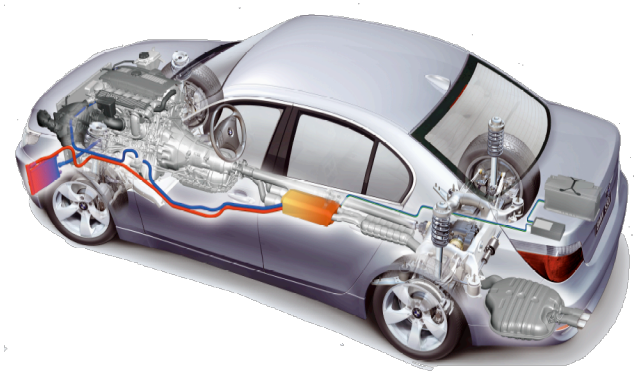
Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Hohlfeld

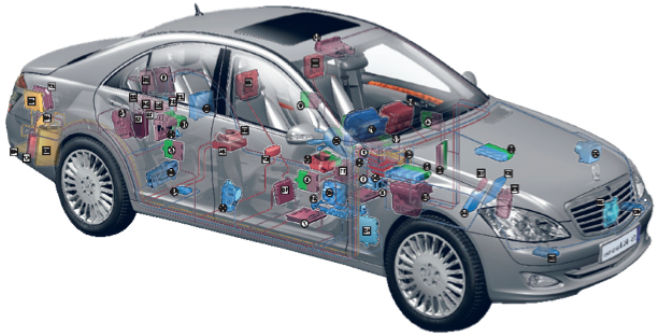
Bernhard.Hohlfeld@mailbox.tu-dresden.de

Technische Universität Dresden, Fakultät Informatik
Honorarprofessur Automotive Software Engineering


Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

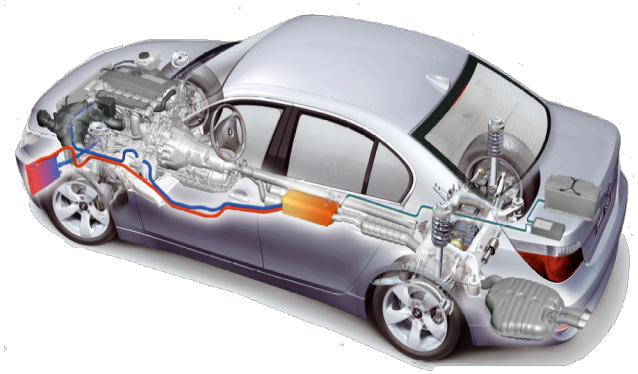
Motivation und Überblick		
Beispiele aus der Praxis	SW-Entwicklung	Normen und Standards
	E/E-Entwicklung	
	Das Automobil	
	Die Automobilherstellung	
	Die Automobilbranche	

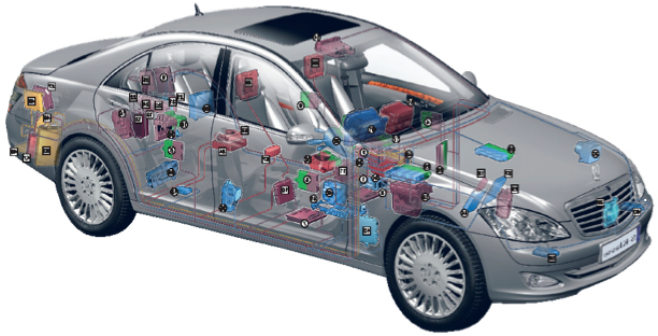




Motivation und Überblick		
Beispiele aus der Praxis	**SW-Entwicklung**	**Normen und Standards**
	E/E-Entwicklung	
	Das Automobil	
	Die Automobilherstellung	
	Die Automobilbranche	

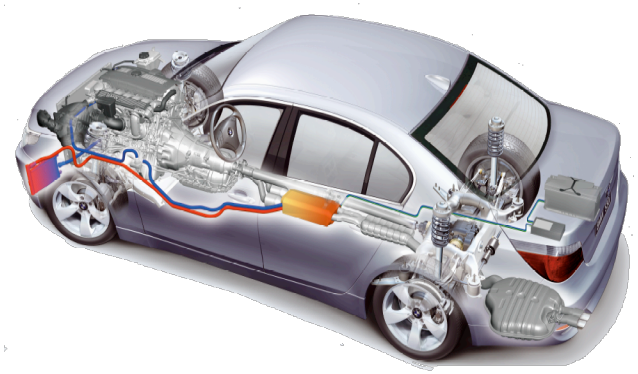
Fahrzeugkomponenten



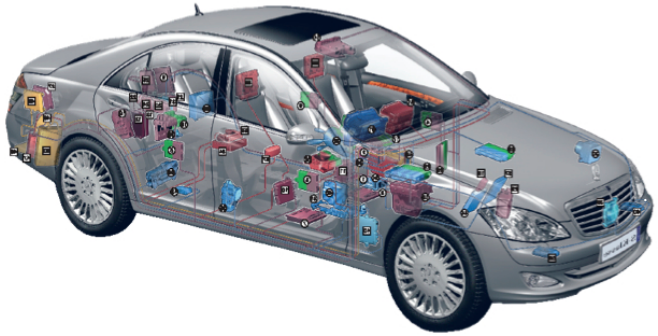


Motivation und Überblick		
Beispiele aus der Praxis	SW-Entwicklung	Normen und Standards
	E/E-Entwicklung	
	Das Automobil	
	Die Automobilherstellung	
	Die Automobilbranche	

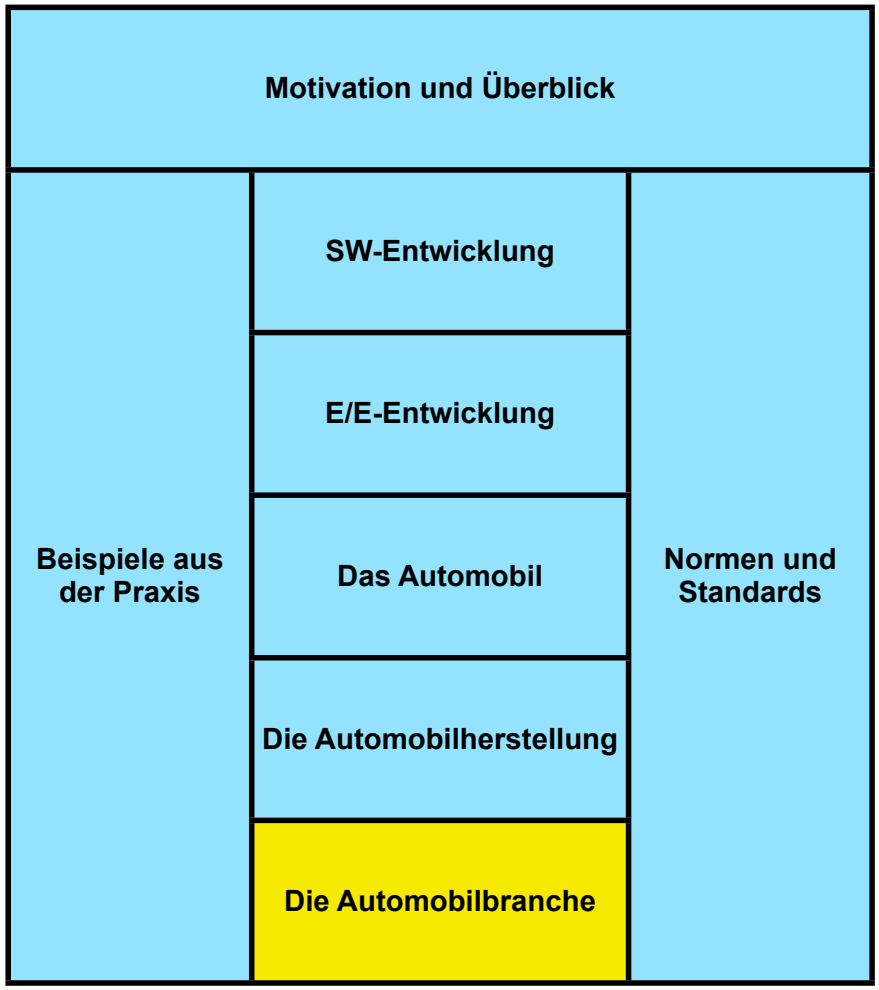
Fahrzeugkomponenten

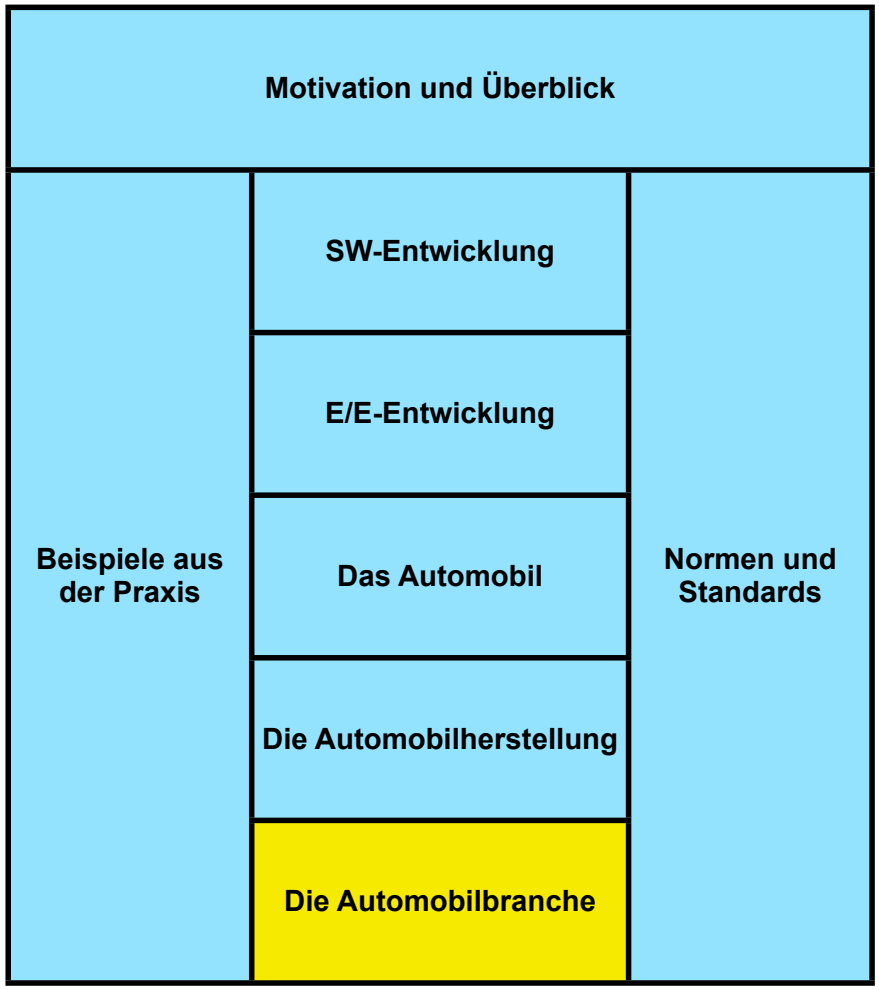


Steuergeräte: Rechner und SW

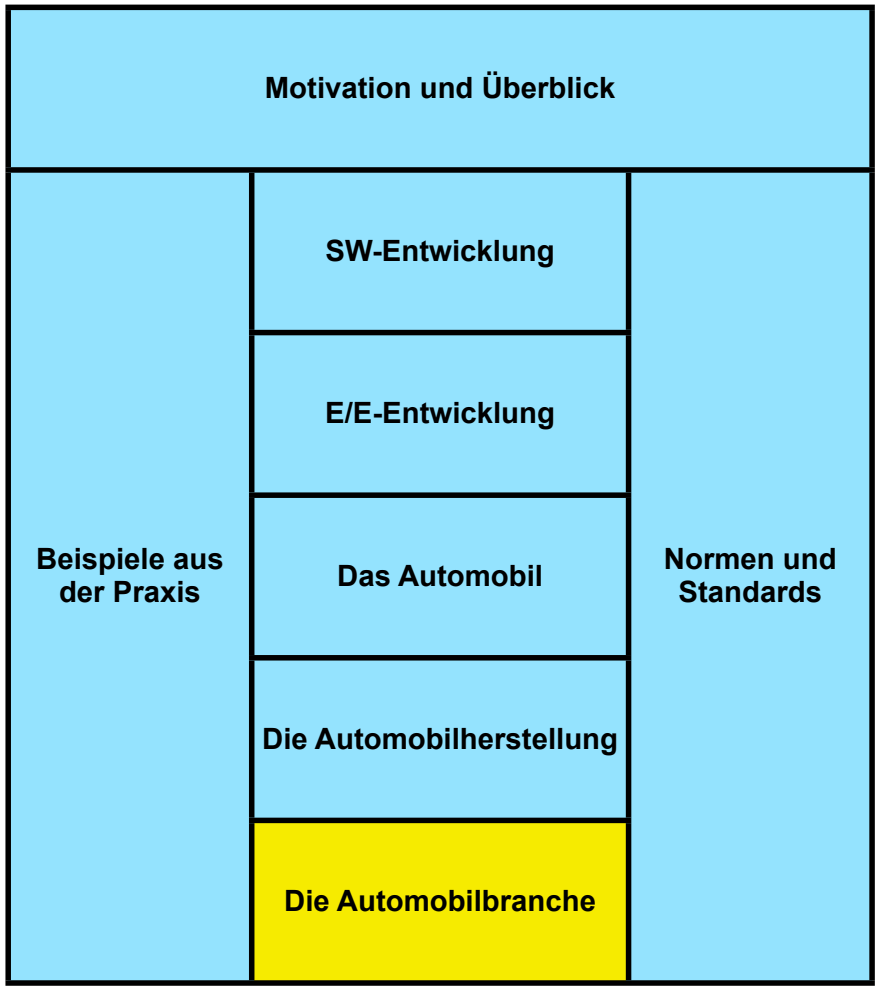


Vorlesung Automotive Software Engineering

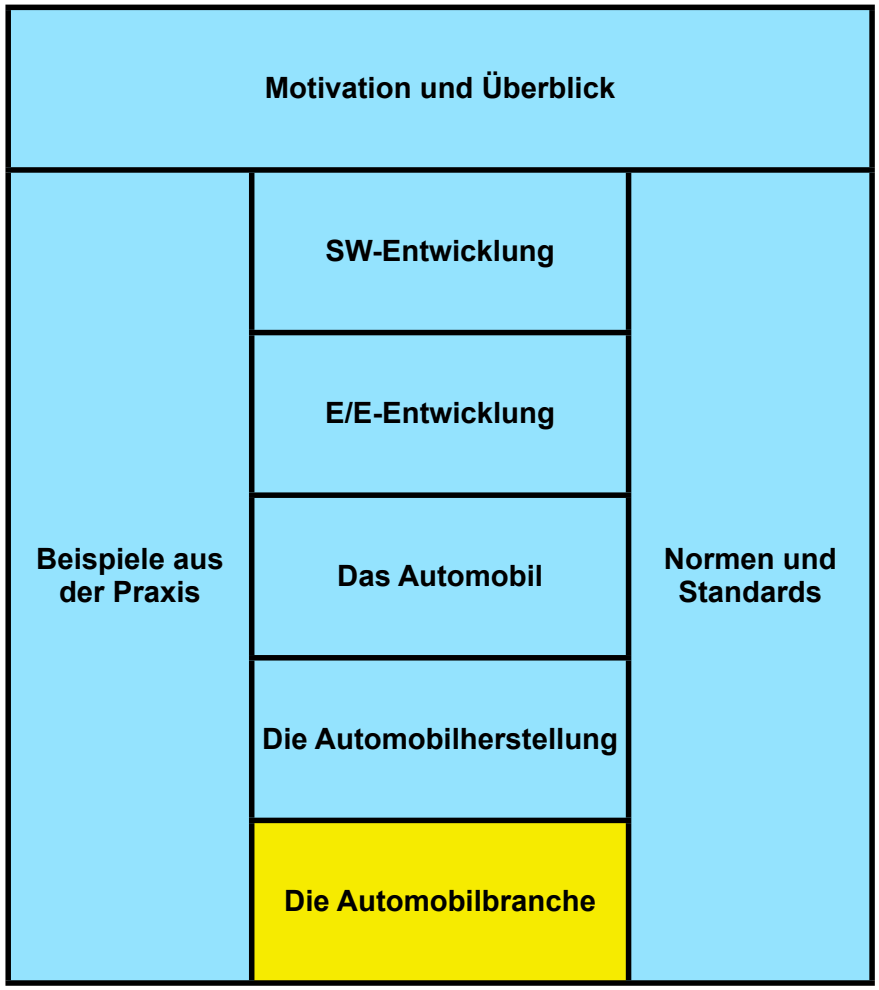



Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

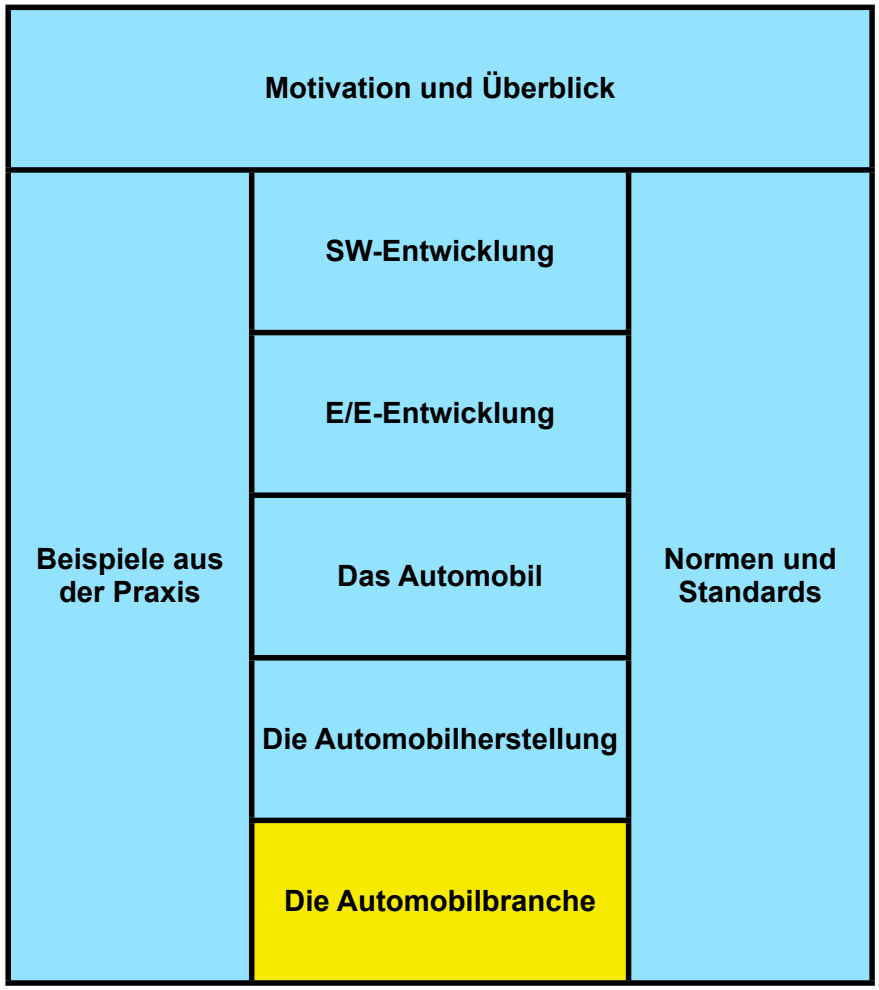
Hersteller (OEM)



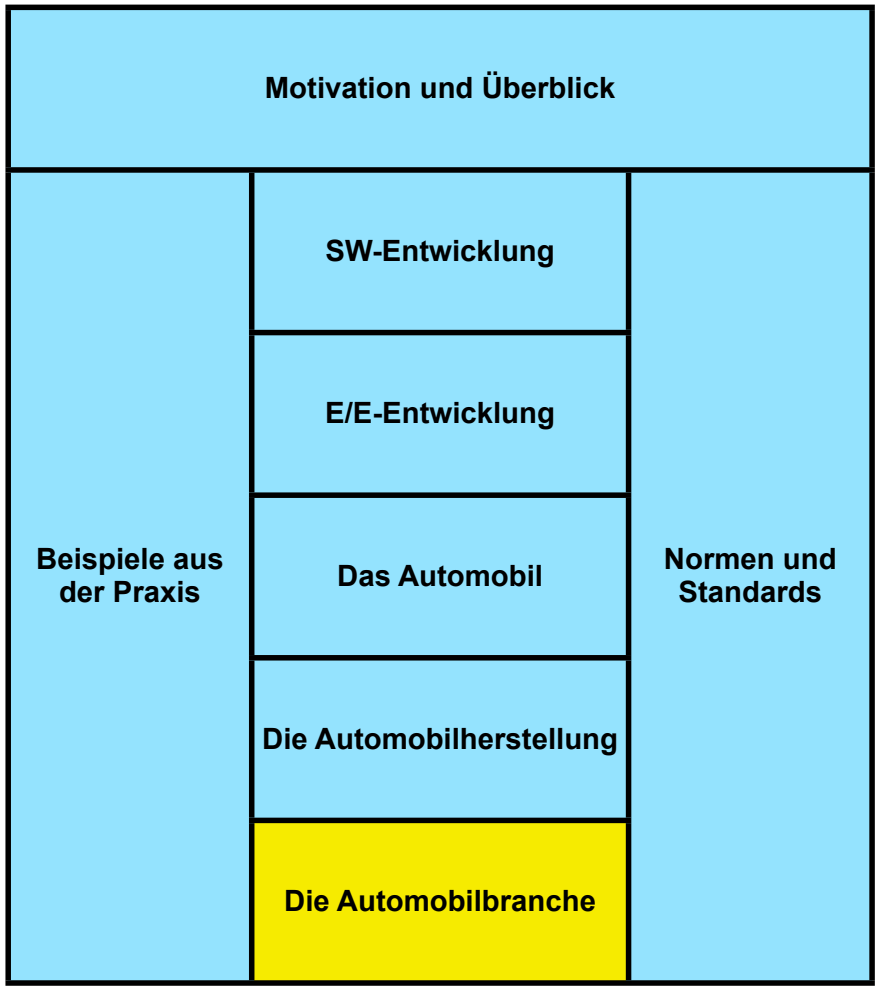
Vorlesung Automotive Software Engineering



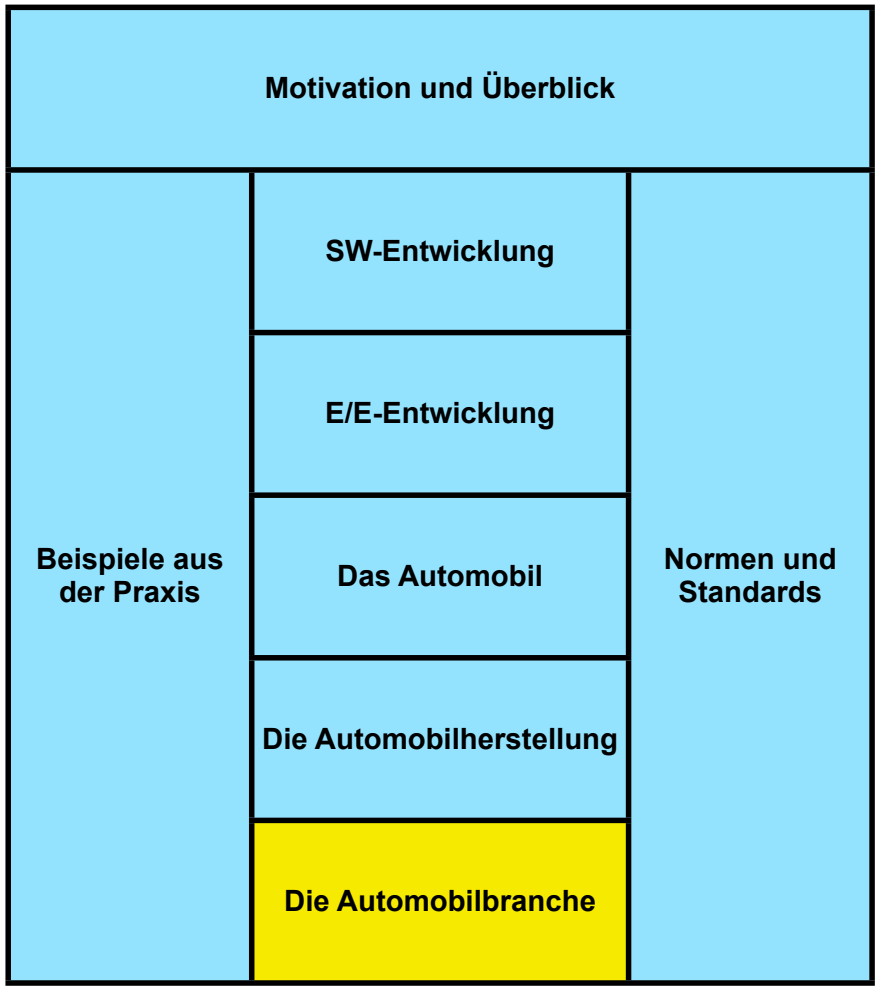
Zulieferer

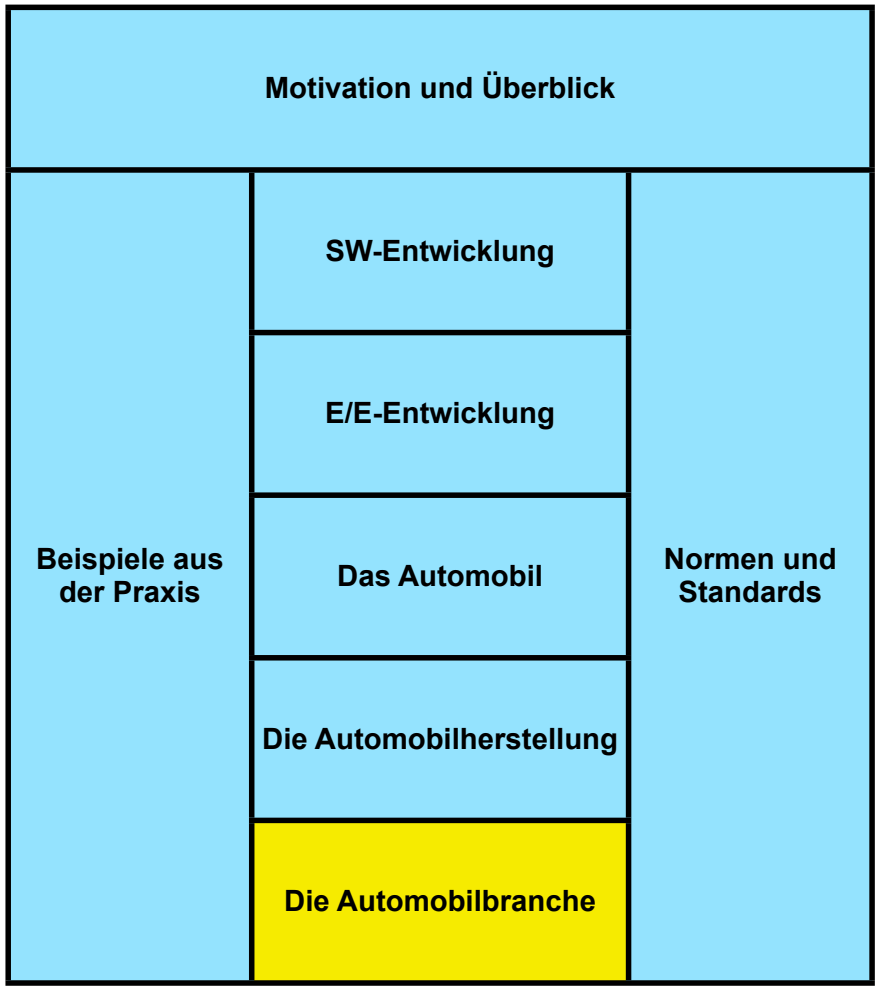

Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

Vorlesung Automotive Software Engineering

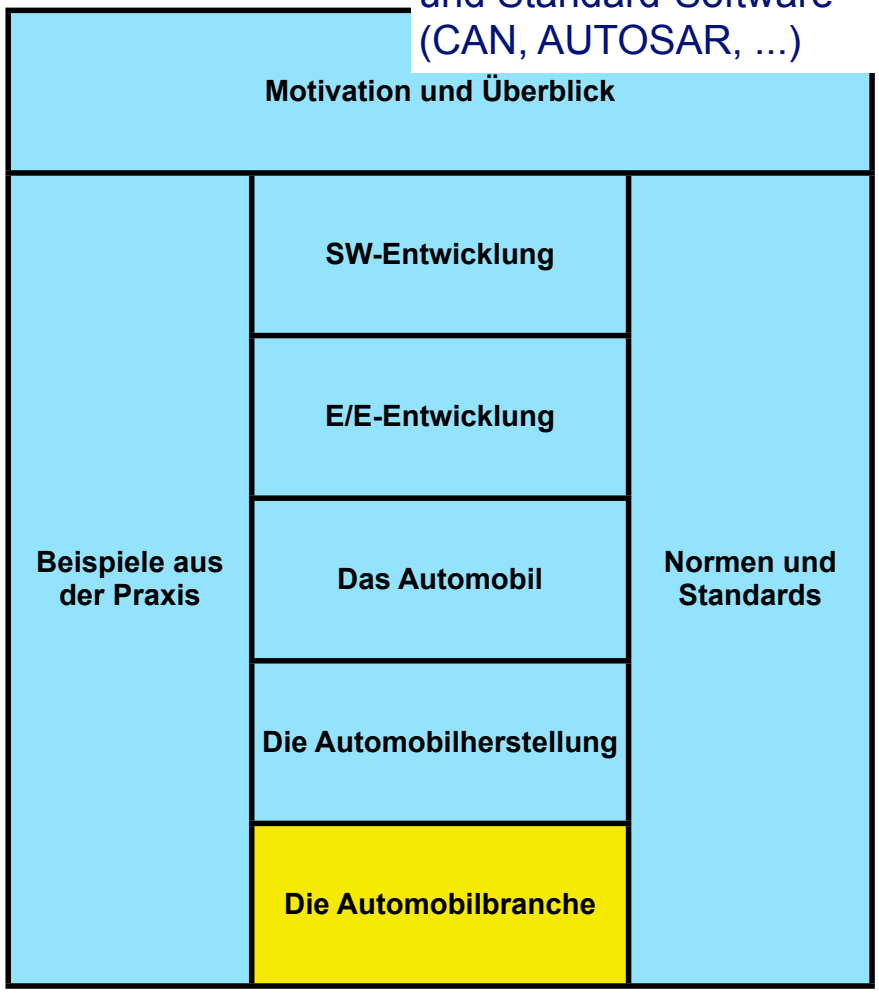


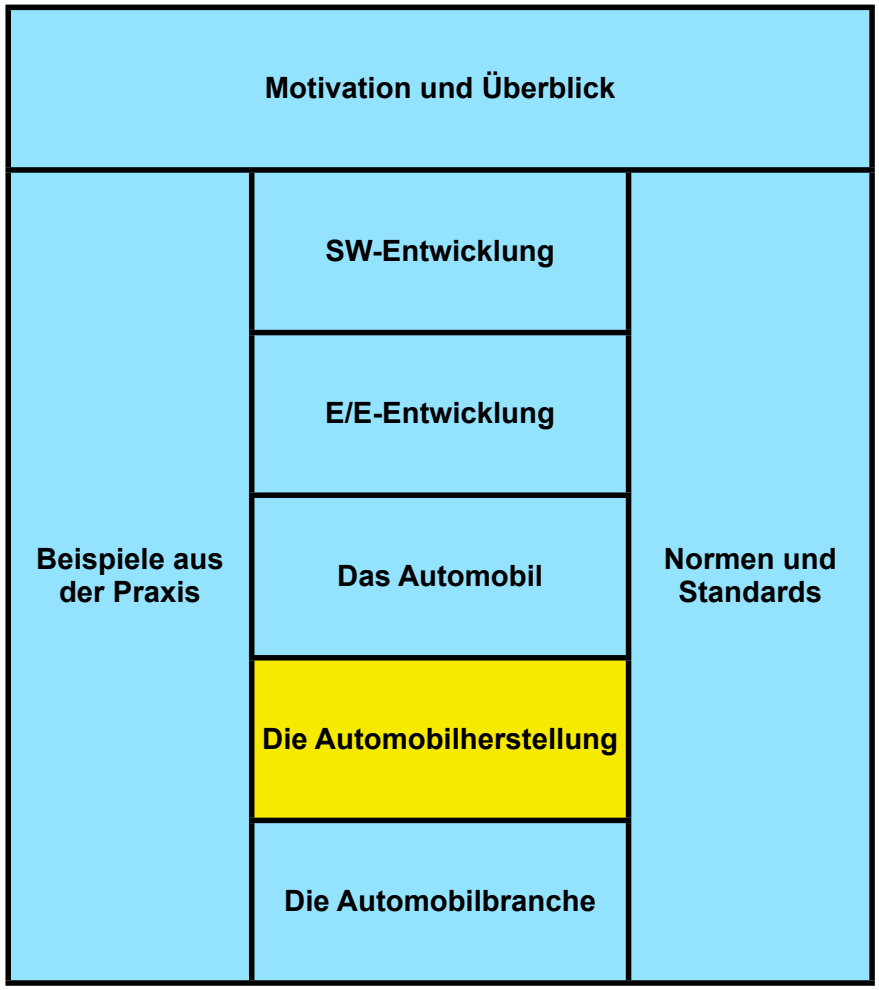
Halbleiter-Hersteller

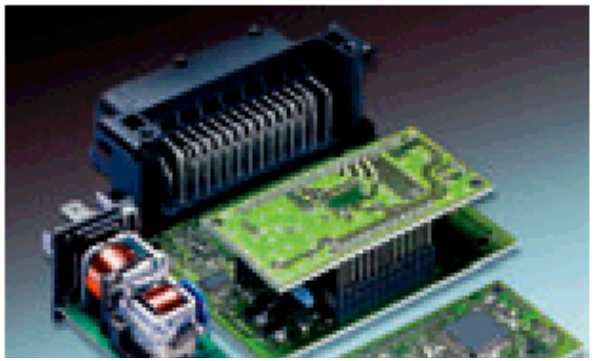


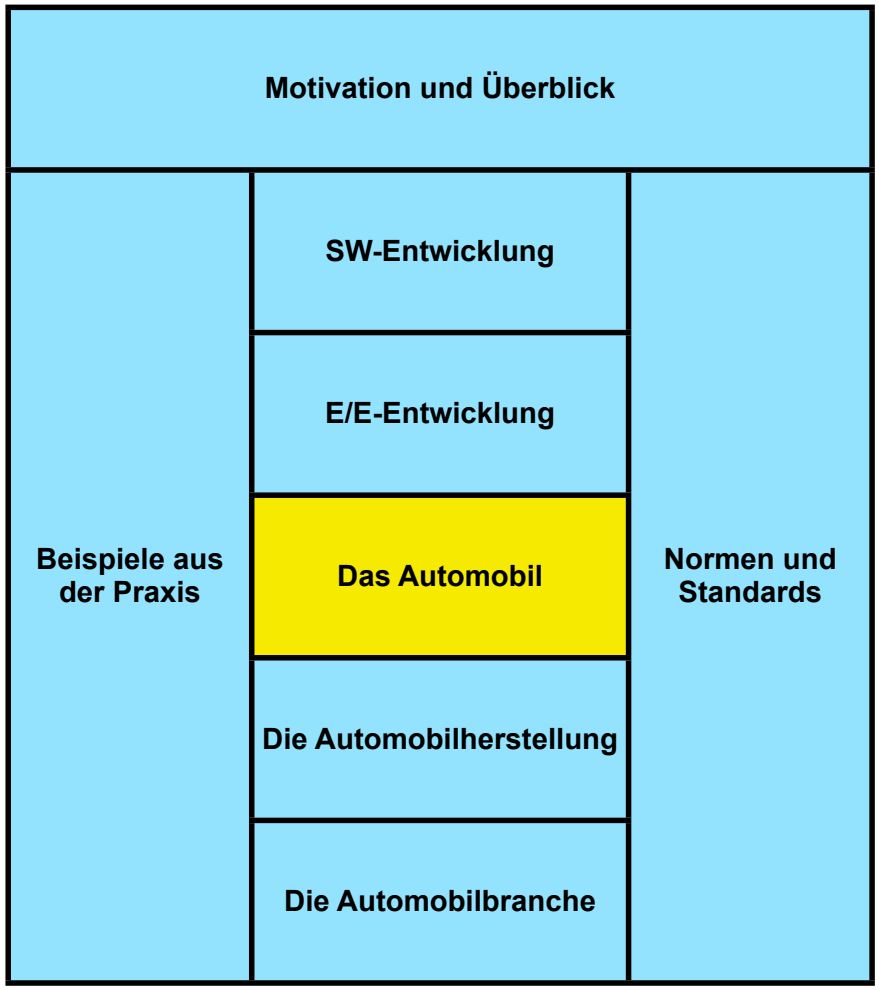

Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

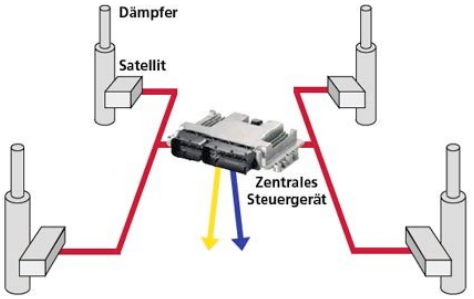
Software-Entwicklungswerkzeuge und Standard-Software (CAN, AUTOSAR, ...)

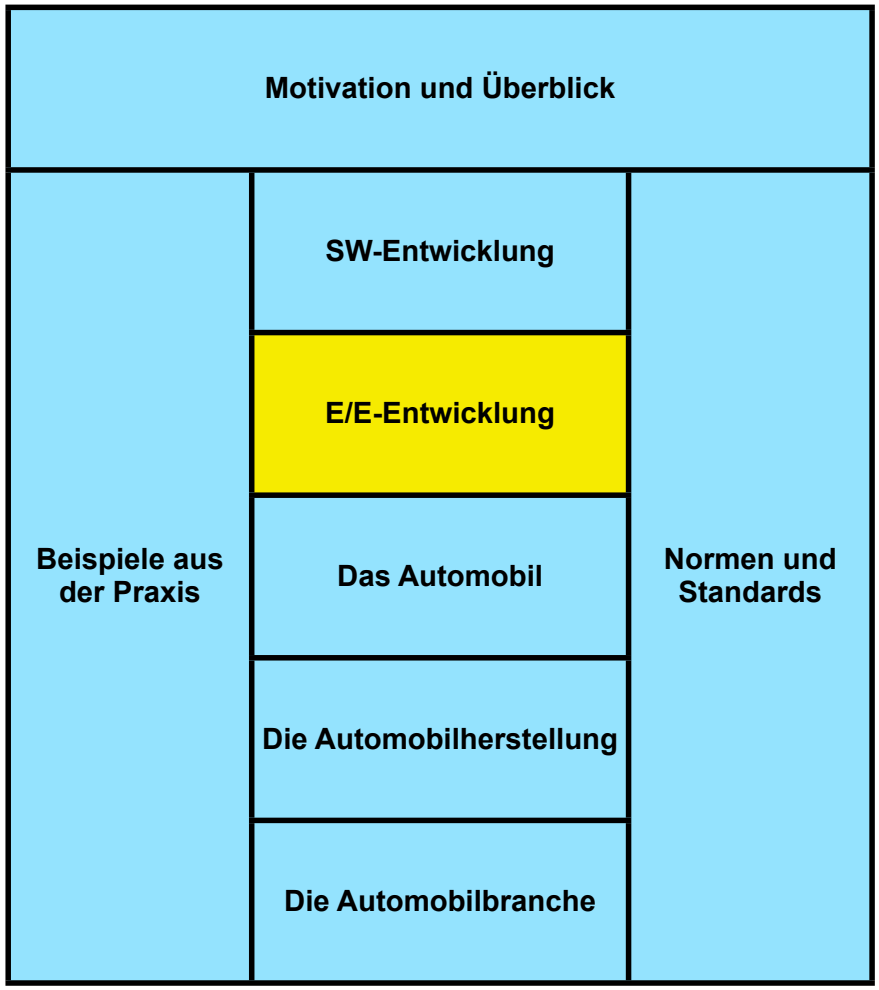


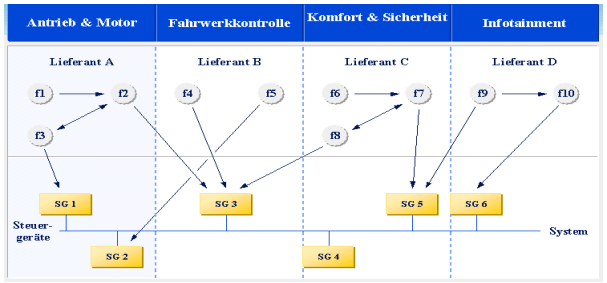

Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

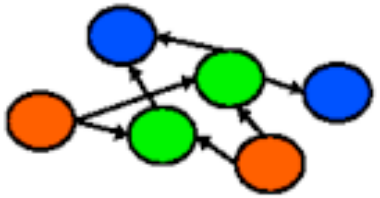


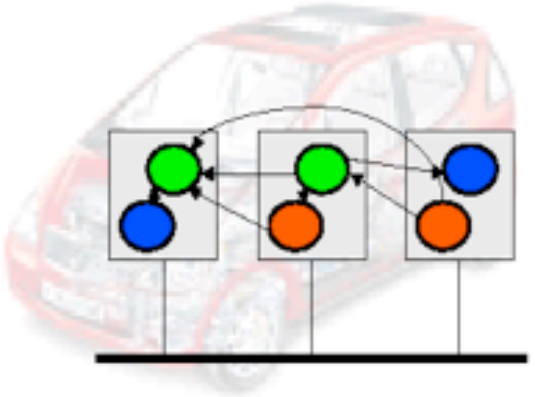

Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

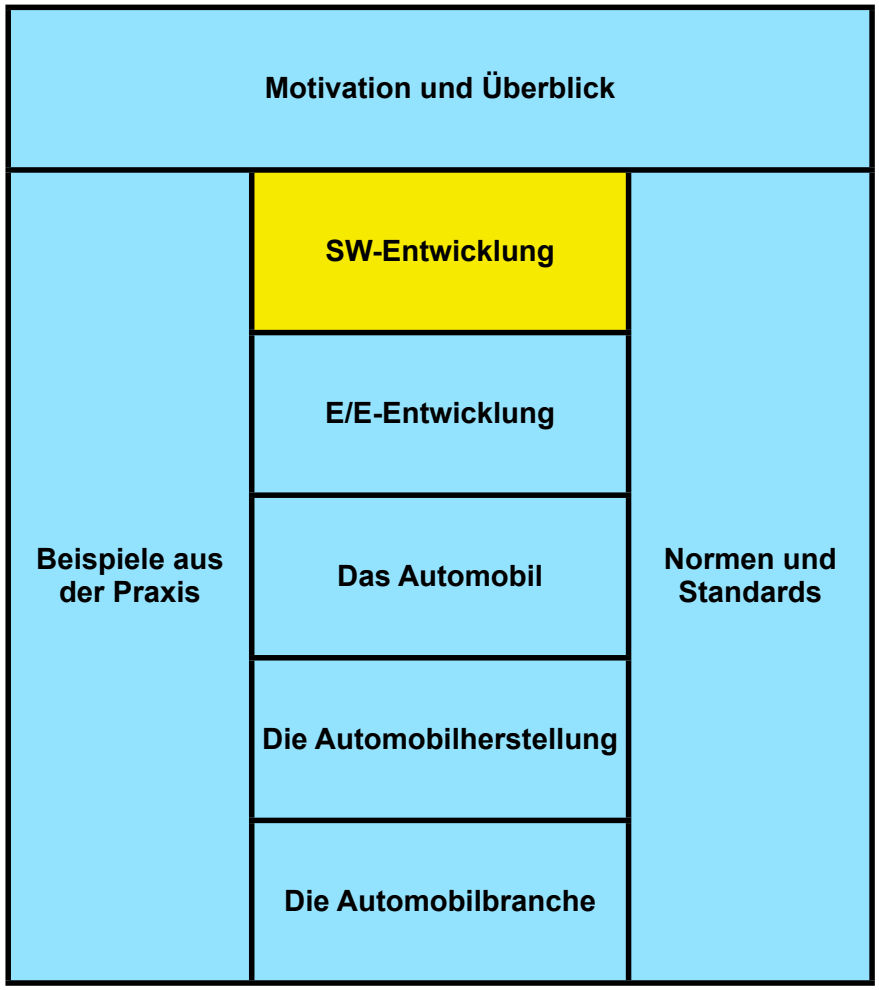

Dämpfer
Satellit
Zentrales Steuergerät

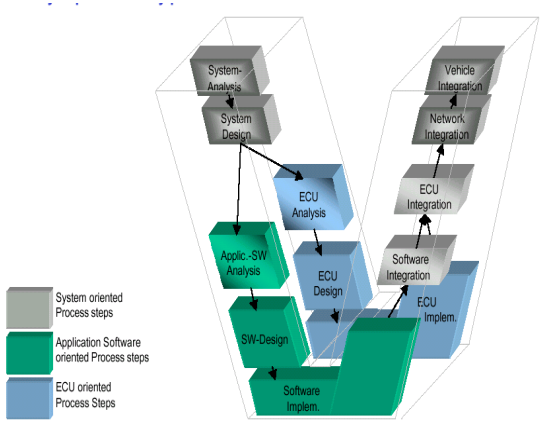

Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

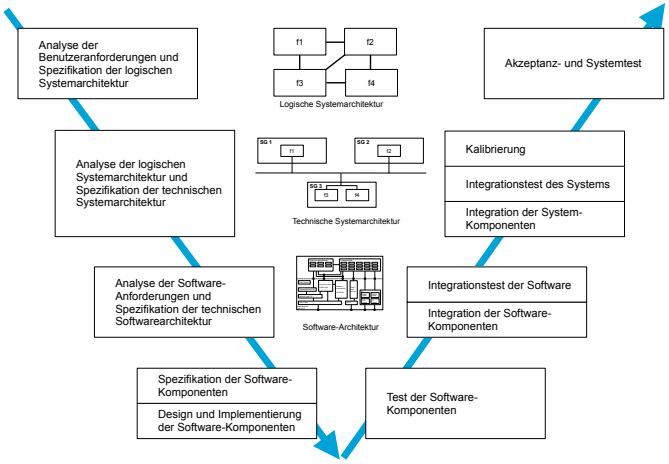

Antrieb & Motor
Fahrwerkkontrolle
Komfort & Sicherheit
Infotainment
Lieferant A
Lieferant B
Lieferant C
Lieferant D
f1
f2
f3
f4
f5
f6
f7
f8
f9
f10
SG 1
SG 2
SG 3
SG 4
SG 5
SG 6
Steuer-geräte
System

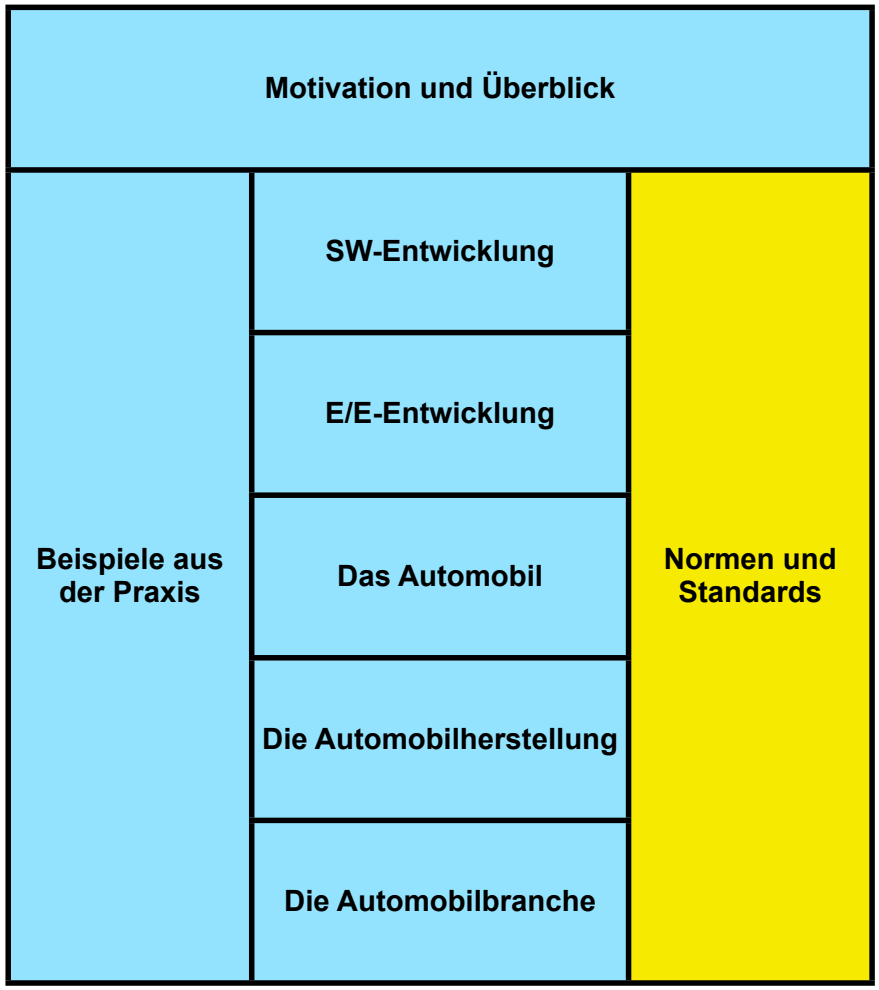





Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards


System-Analysis
System Design
ECU Analysis
Applic.-SW Analysis
ECU Design
SW-Design
Software Implem.
Vehicle Integration
Network Integration
ECU Integration
Software Integration
ECU Implem.
System oriented Process steps
Application Software oriented Process steps
ECU oriented Process Steps


Analyse der Benutzeranforderungen und Spezifikation der logischen Systemarchitektur
Logische Systemarchitektur
Akzeptanz- und Systemtest
Analyse der logischen Systemarchitektur und Spezifikation der technischen Systemarchitektur
Technische Systemarchitektur
Kalibrierung
Integrationstest des Systems
Integration der System-Komponenten
Analyse der Software-Anforderungen und Spezifikation der technischen Softwarearchitektur
Software-Architektur
Integrationstest der Software
Integration der Software-Komponenten
Spezifikation der Software-Komponenten
Design und Implementierung der Software-Komponenten
Test der Software-Komponenten



AUTOSAR

MOST

CAN

LIN

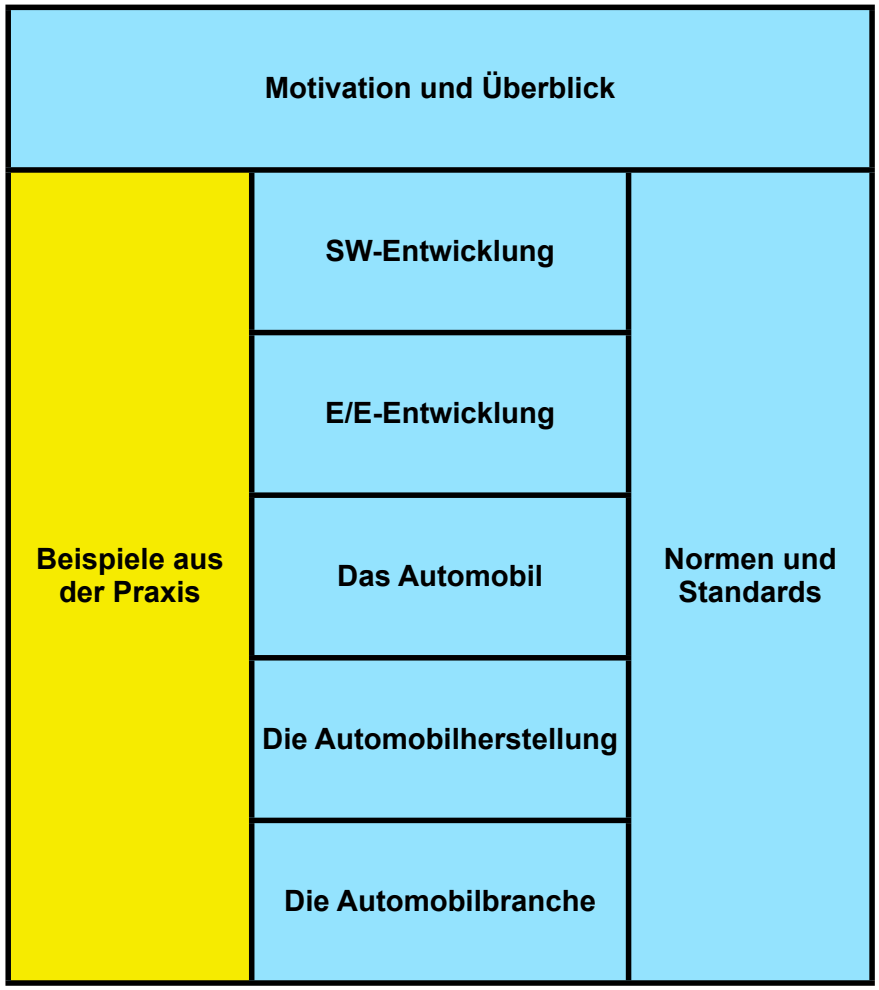
HIS

OSEK/ VDX

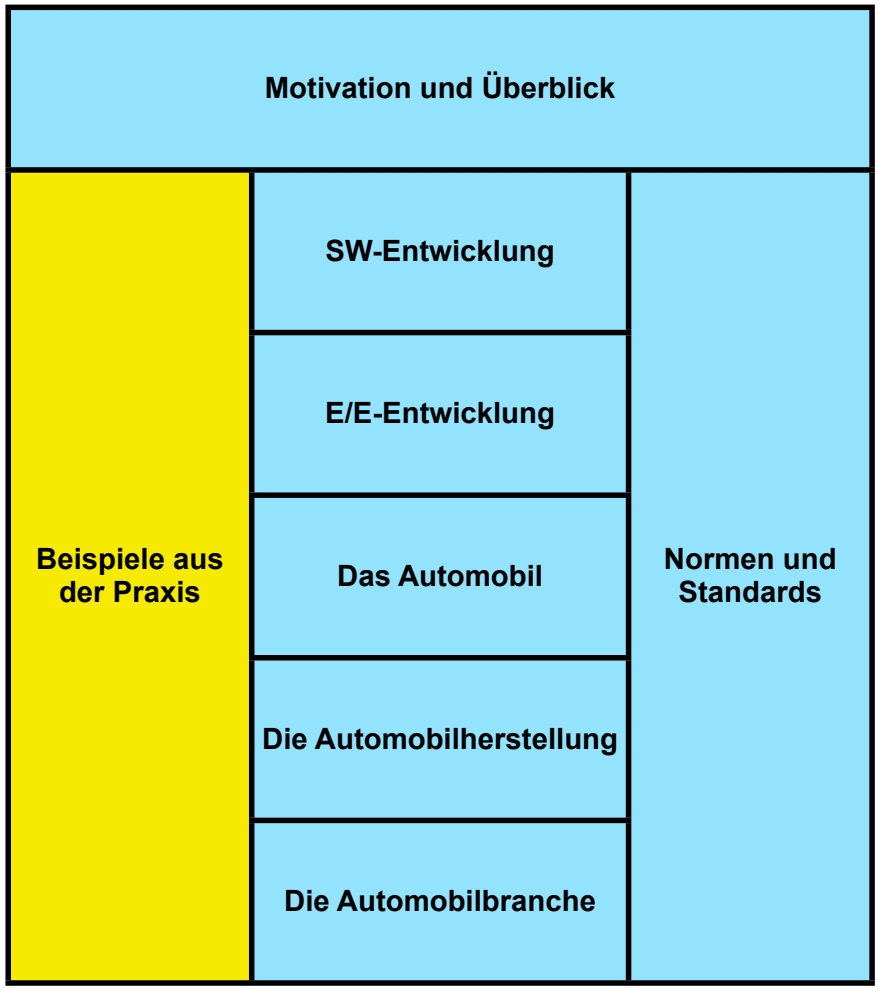
ASAM

FlexRay

ISO 26262
Road vehicles -
Functional safety

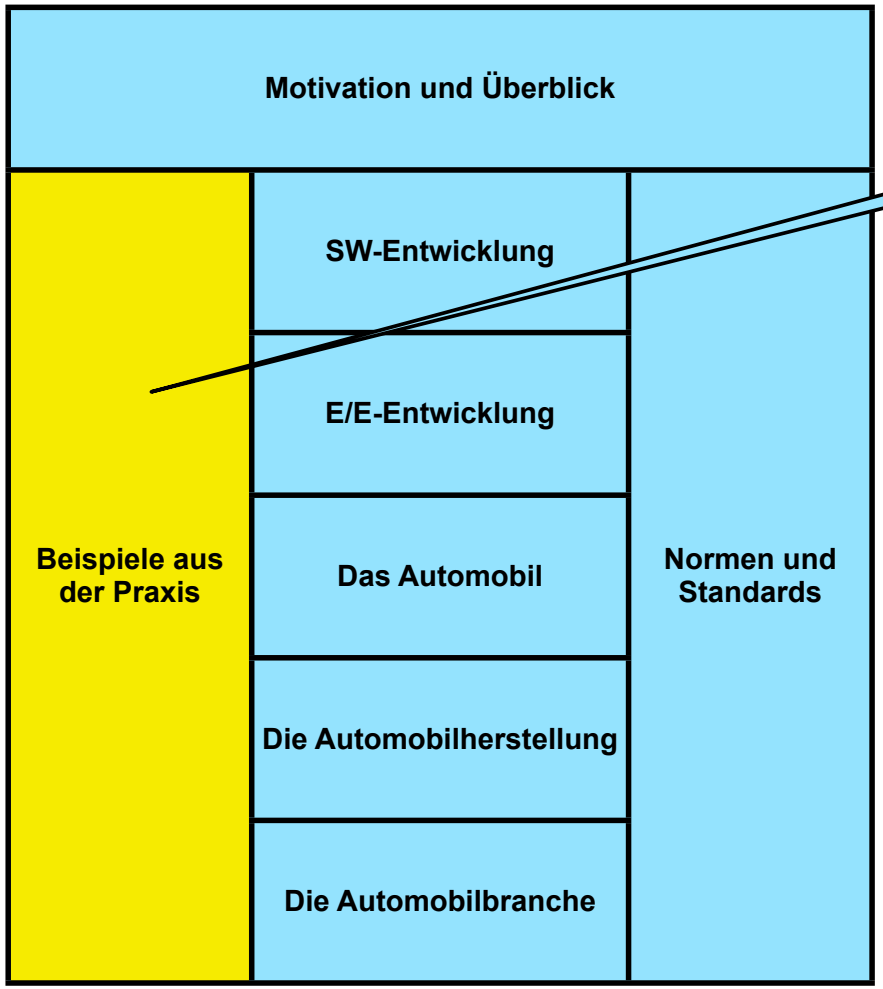


Entwicklung einer Antriebssteuerung für ein Hybridfahrzeug in einer Rapid Prototyping-Umgebung



ETAS

Entwicklung einer Antriebssteuerung für ein Hybridfahrzeug
in einer Rapid Prototyping-Umgebung



Entwicklung einer Antriebssteuerung für ein Hybridfahrzeug in einer Rapid Prototyping-Umgebung

Entwicklung einer Antriebssteuerung für ein Hybridfahrzeug in einer Rapid Prototyping-Umgebung

Motivation und Überblick

Beispiele aus der Praxis

SW-Entwicklung

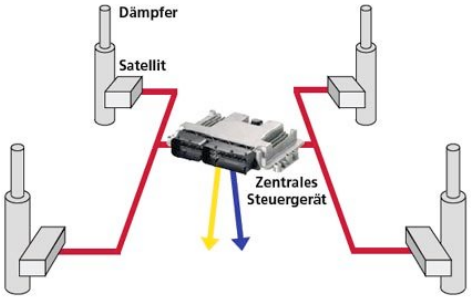
E/E-Entwicklung

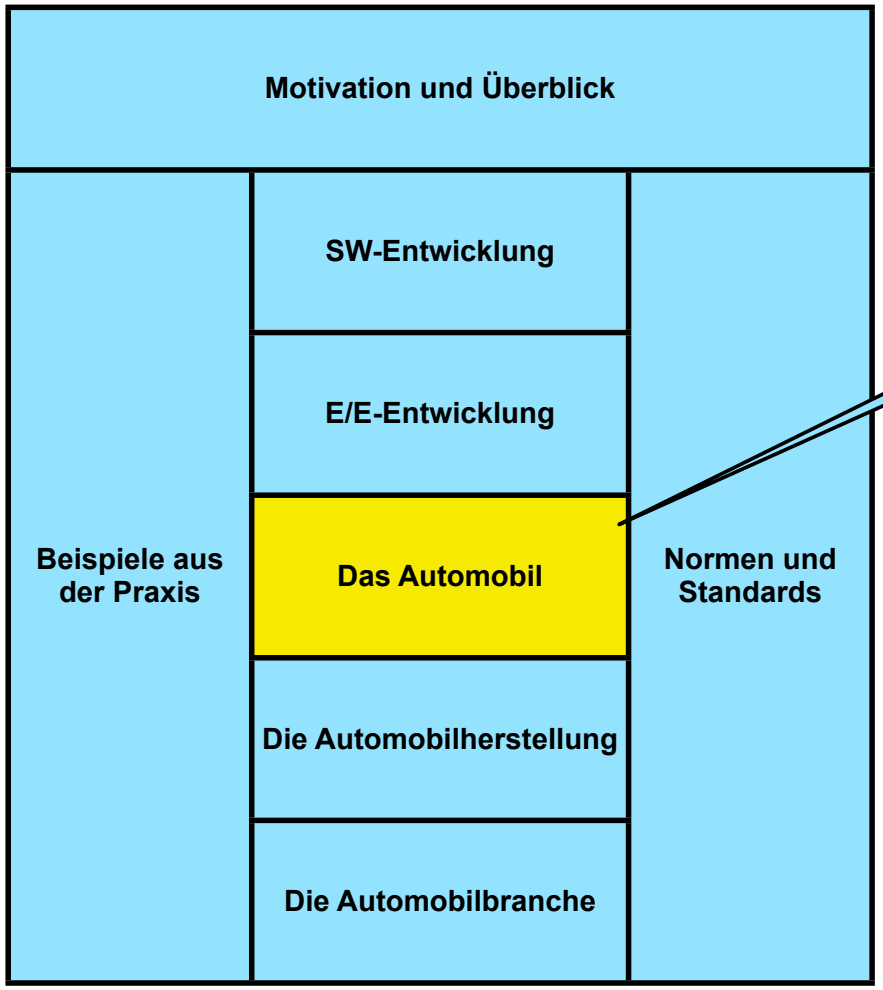
Das Automobil

Die Automobilherstellung

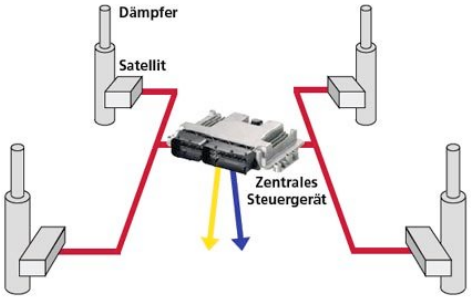
Die Automobilbranche

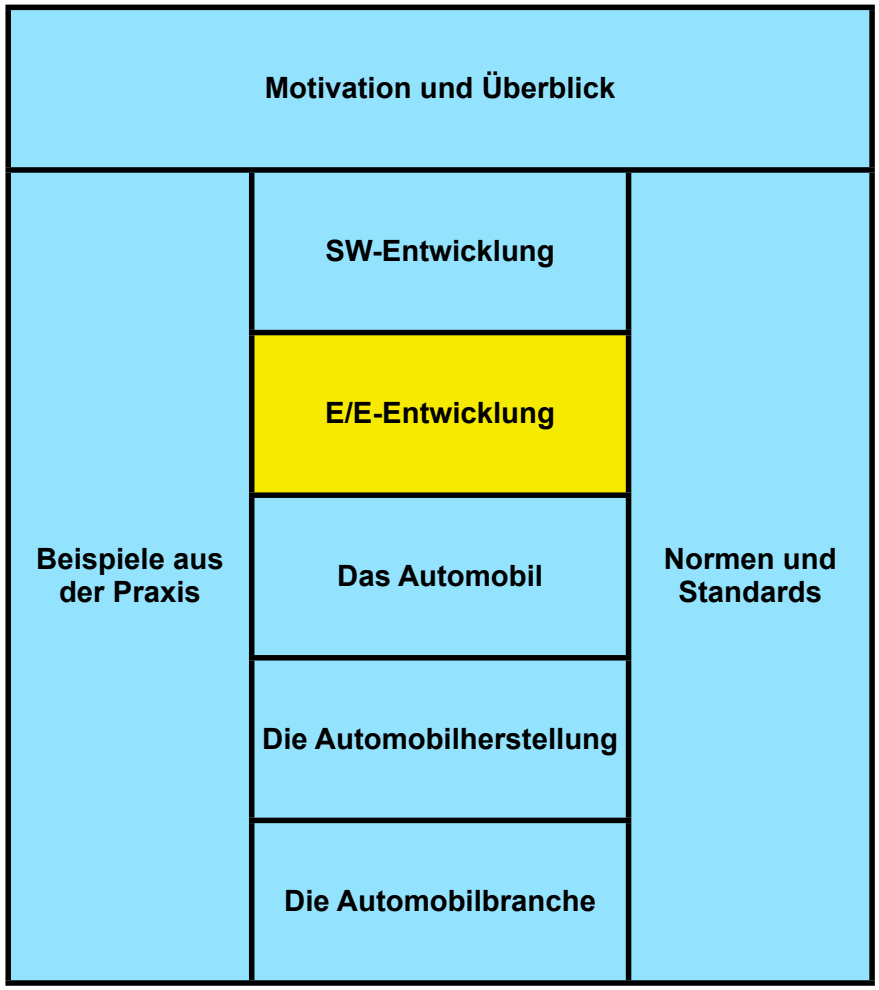
Normen und Standards

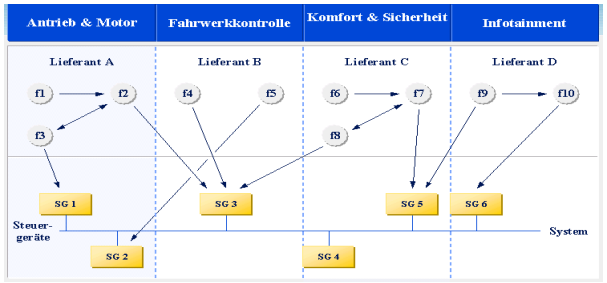


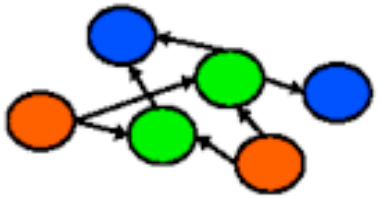


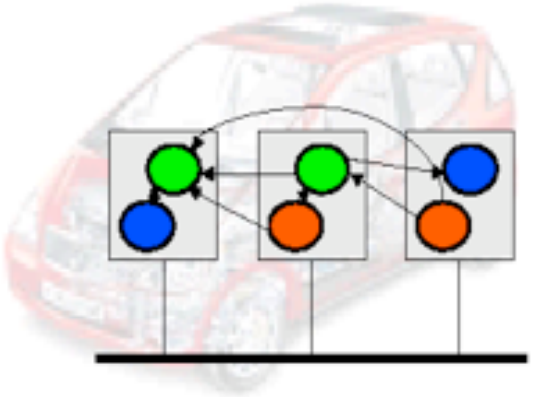
Entwicklung einer Antriebssteuerung für ein Hybridfahrzeug in einer Rapid Prototyping-Umgebung

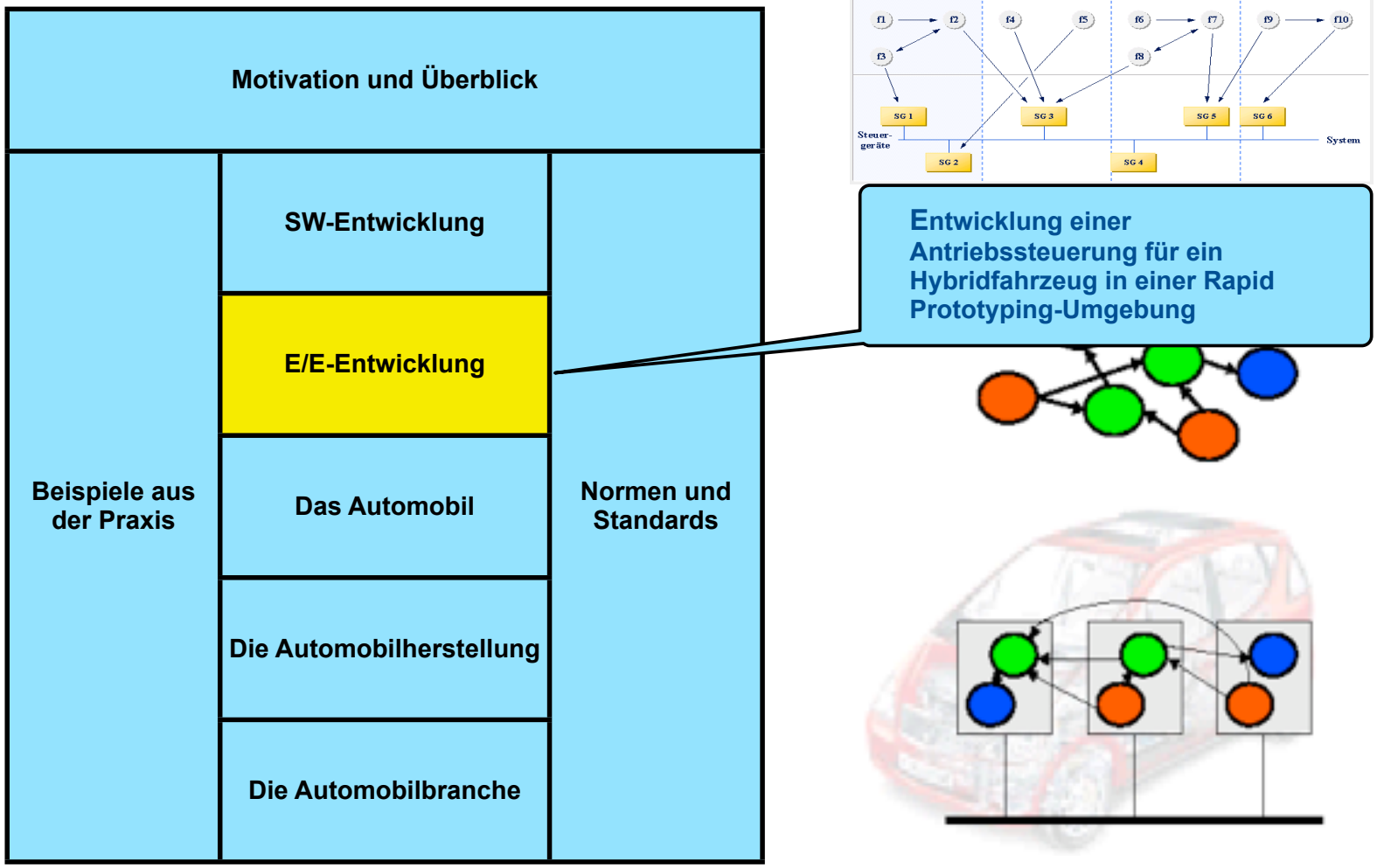


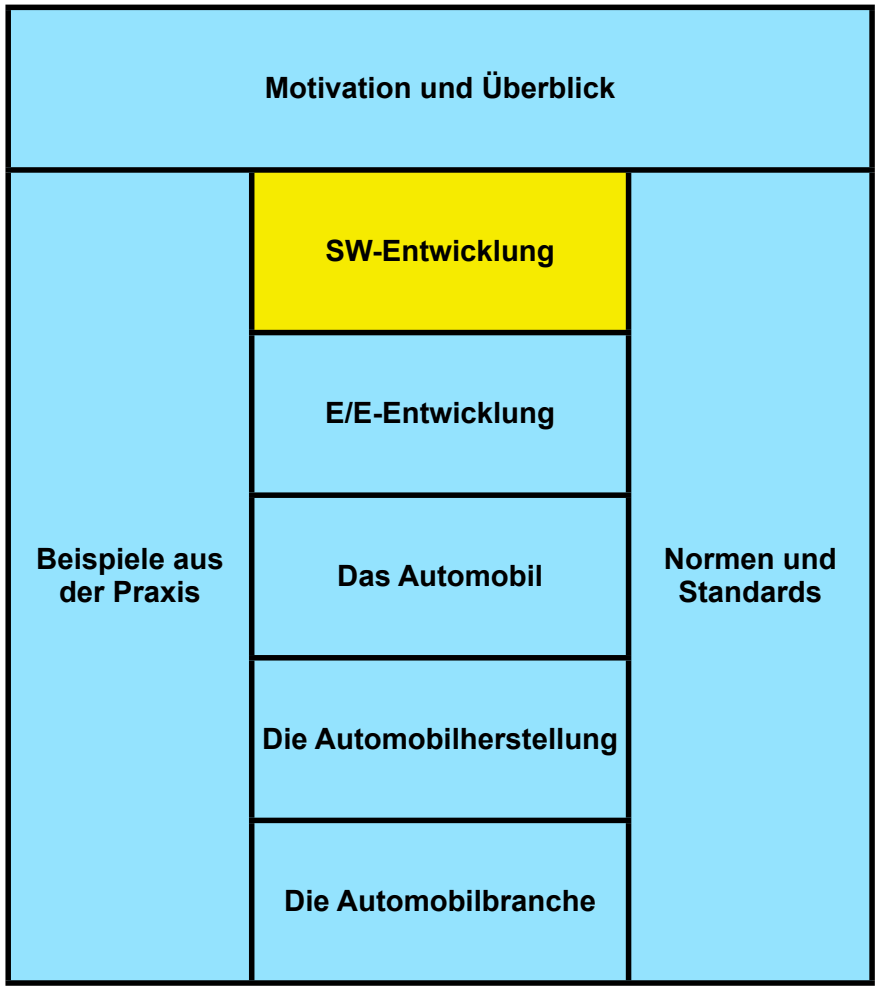

Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

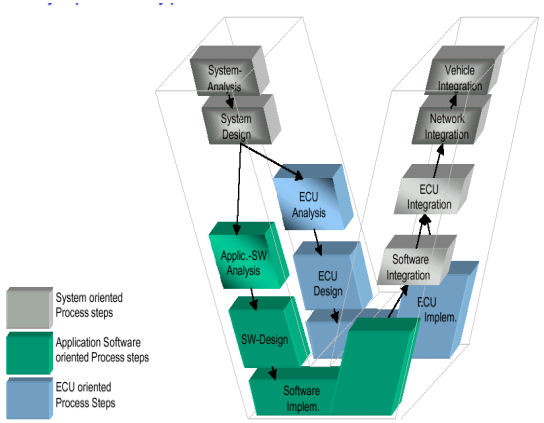

Antrieb & Motor
Fahrwerkkontrolle
Komfort & Sicherheit
Infotainment
Lieferant A
Lieferant B
Lieferant C
Lieferant D
f1
f2
f3
f4
f5
f6
f7
f8
f9
f10
SG 1
SG 2
SG 3
SG 4
SG 5
SG 6
Steuer-geräte
System

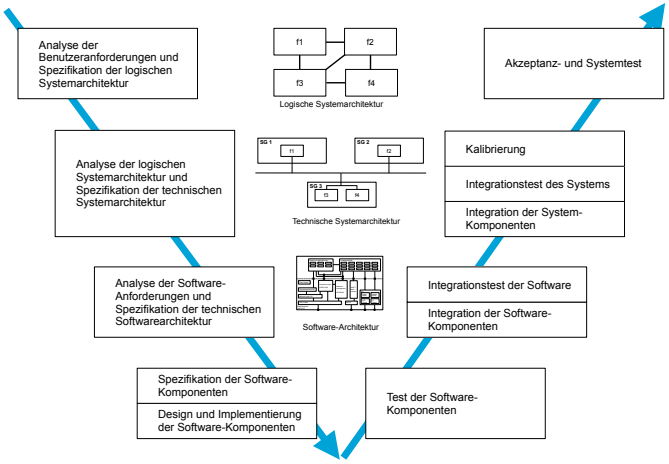


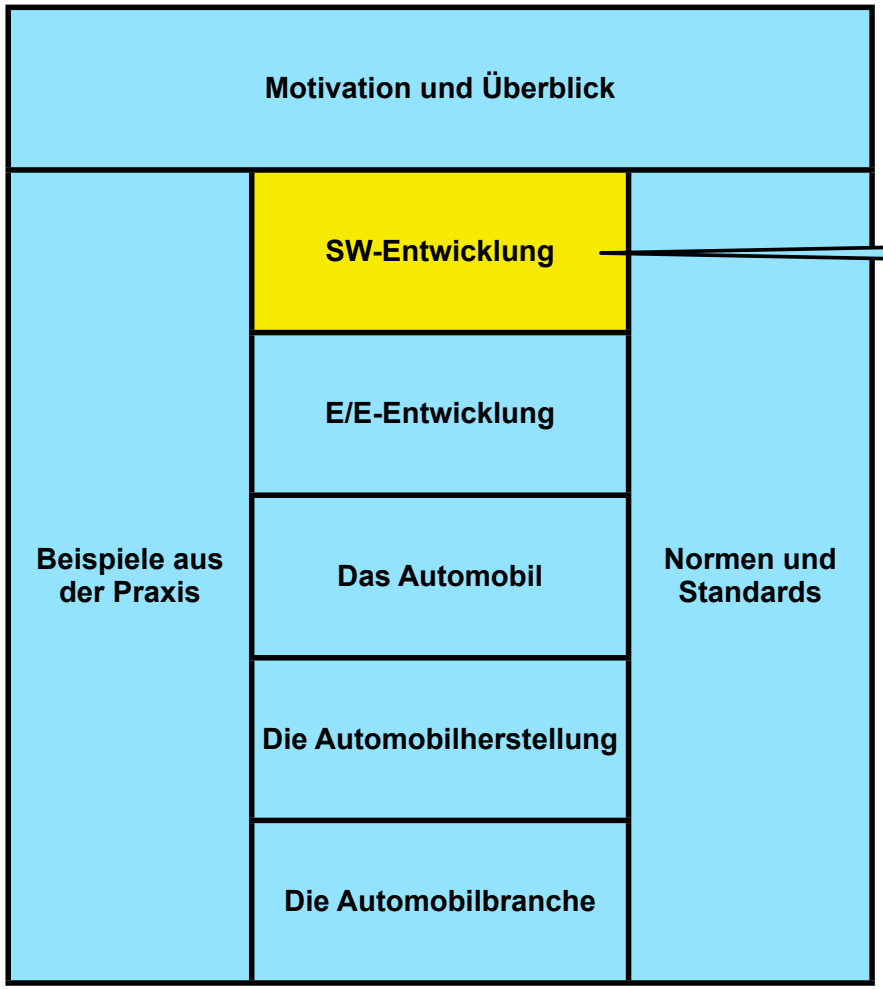


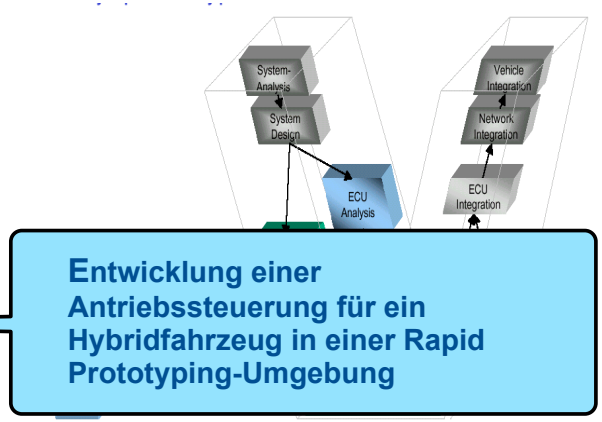

Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards
Antrieb & Motor
Fahrwerkkontrolle
Komfort & Sicherheit
Infotainment
Lieferant A
Lieferant B
Lieferant C
Lieferant D
f1
f2
f3
f4
f5
f6
f7
f8
f9
f10
SG 1
SG 2
SG 3
SG 4
SG 5
SG 6
Steuer-geräte
System
Entwicklung einer Antriebssteuerung für ein Hybridfahrzeug in einer Rapid Prototyping-Umgebung

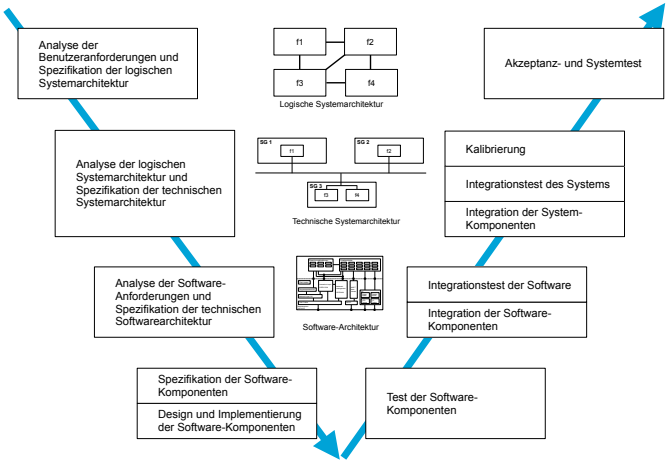

Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards

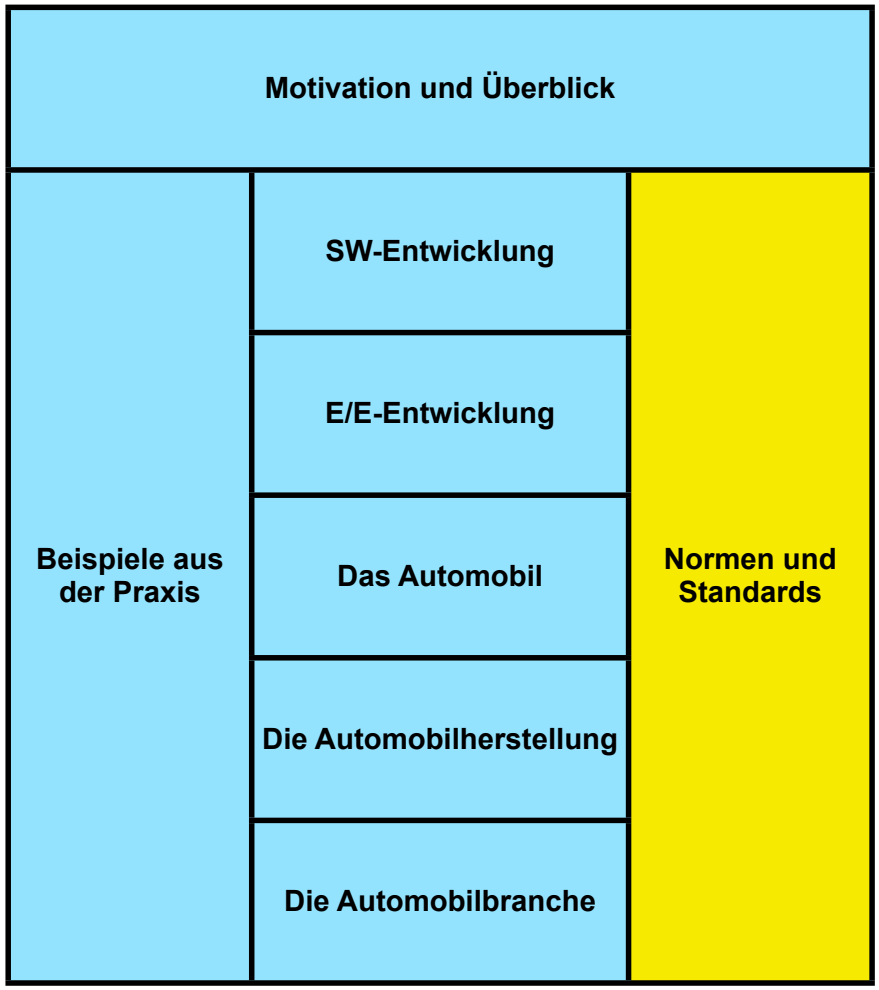

System-Analysis
System Design
ECU Analysis
Applic.-SW Analysis
ECU Design
SW-Design
Software Implem.
Vehicle Integration
Network Integration
ECU Integration
Software Integration
ECU Implem.
System oriented Process steps
Application Software oriented Process steps
ECU oriented Process Steps


Analyse der Benutzeranforderungen und Spezifikation der logischen Systemarchitektur
Logische Systemarchitektur
Akzeptanz- und Systemtest
Analyse der logischen Systemarchitektur und Spezifikation der technischen Systemarchitektur
Technische Systemarchitektur
Kalibrierung
Integrationstest des Systems
Integration der System-Komponenten
Analyse der Software-Anforderungen und Spezifikation der technischen Softwarearchitektur
Software-Architektur
Integrationstest der Software
Integration der Software-Komponenten
Spezifikation der Software-Komponenten
Design und Implementierung der Software-Komponenten
Test der Software-Komponenten


Motivation und Überblick
Beispiele aus der Praxis
SW-Entwicklung
E/E-Entwicklung
Das Automobil
Die Automobilherstellung
Die Automobilbranche
Normen und Standards


System-Analysis
System Design
ECU Analysis
Vehicle Integration
Network Integration
ECU Integration
Entwicklung einer Antriebssteuerung für ein Hybridfahrzeug in einer Rapid Prototyping-Umgebung


Analyse der Benutzeranforderungen und Spezifikation der logischen Systemarchitektur
Logische Systemarchitektur
Akzeptanz- und Systemtest
Analyse der logischen Systemarchitektur und Spezifikation der technischen Systemarchitektur
Technische Systemarchitektur
Kalibrierung
Integrationstest des Systems
Integration der System-Komponenten
Analyse der Software-Anforderungen und Spezifikation der technischen Softwarearchitektur
Software-Architektur
Integrationstest der Software
Integration der Software-Komponenten
Spezifikation der Software-Komponenten
Design und Implementierung der Software-Komponenten
Test der Software-Komponenten



AUTOSAR

MOST

CAN

LIN

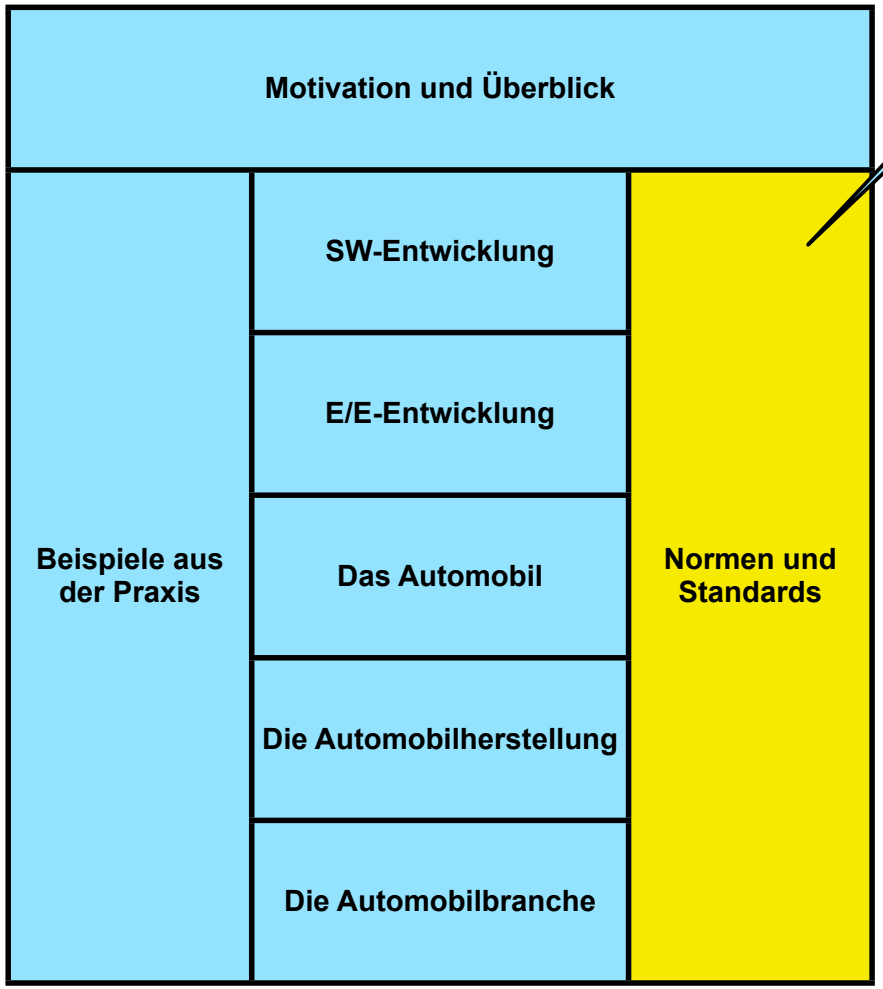
HIS

OSEK/ VDX

ASAM

FlexRay

ISO 26262
Road vehicles - Functional safety



Entwicklung einer Antriebssteuerung für ein Hybridfahrzeug in einer Rapid Prototyping-Umgebung

MOST

CAN

lin

HIS

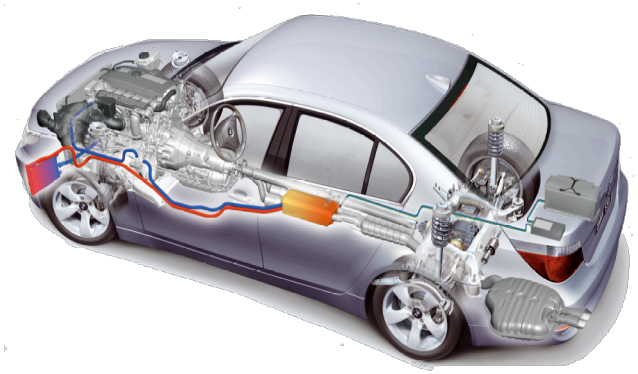
OSEK/ VDX

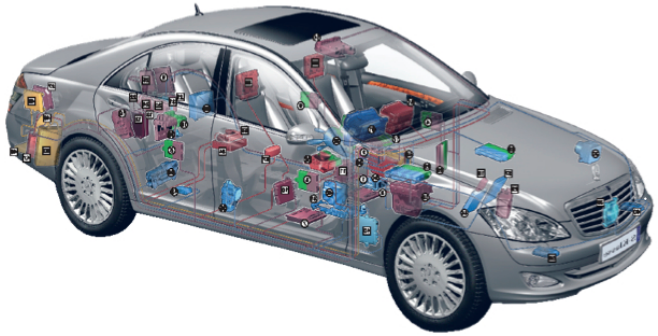
ASAM

FlexRay

ISO 26262
Road vehicles - Functional safety

Motivation und Überblick		
Beispiele aus der Praxis	SW-Entwicklung	Normen und Standards
	E/E-Entwicklung	
	Das Automobil	
	Die Automobilherstellung	
	Die Automobilbranche	





Lernziele
Motivation und Überblick

- Die Rolle der Software im Automobil an Beispielen verstehen
- Die Entwicklung in den letzten zwanzig Jahren kennenlernen
  - Zunahme der Funktionalität: Beispiel Türsteuerung
  - Varianten durch Software: Beispiel Motoren
  - Zunahme der Varianten: Beispiel Karosseriefunktionen
- Die Systementwicklung im Zusammenspiel zwischen Herstellern (OEM) und Zulieferern kennenlernen
- Informationen über Automotive Software Engineering in der Gesellschaft für Informatik (GI) erhalten
- Inhalte von Lehrveranstaltungen über Automotive Software Engineering beispielhaft kennenlernen

1. Motivation und Überblick

1. Das Automobil - Geschichte und Grundbegriffe
2. Eingebettete Systeme und Cyber-Physical-Systems (CPS)
3. Motivation Automotive Software Engineering
4. Verteilte und komplexe Systementwicklung zwischen Hersteller (OEM) und Zulieferern
5. GI-Fachgruppe Automotive Software Engineering
6. Lehrveranstaltungen

1. Das Automobil - Geschichte und Grundbegriffe

2. Eingebettete Systeme und Cyber-Physical-Systems (CPS)

3. Motivation Automotive Software Engineering

4. Verteilte und komplexe Systementwicklung zwischen Hersteller (OEM) und Zulieferern

5. GI-Fachgruppe Automotive Software Engineering

6. Lehrveranstaltungen

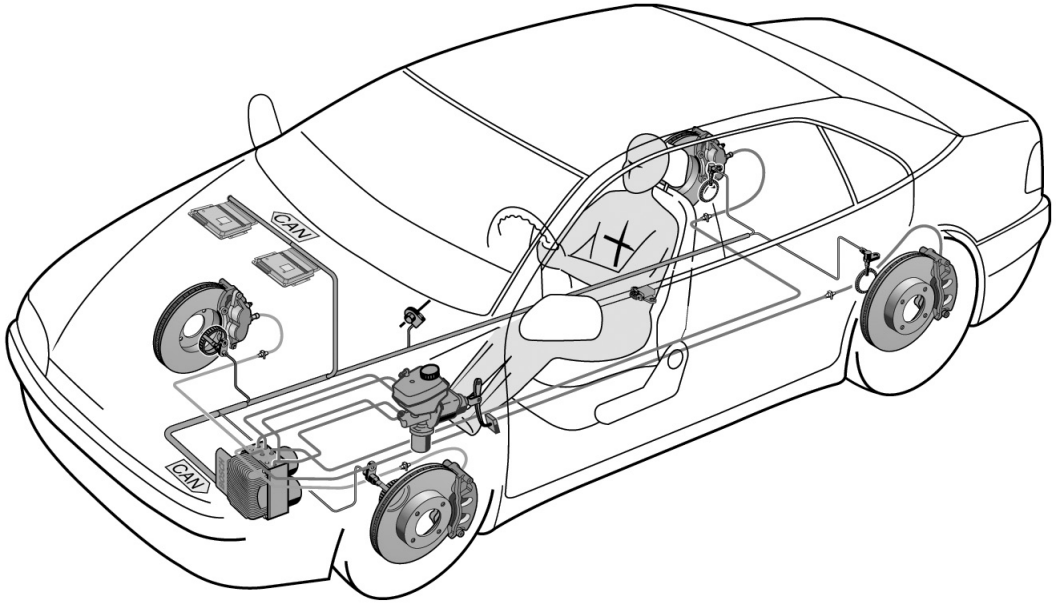
Das Automobil ist eine badische Erfindung (1)

- Carl Friedrich Benz
  (25.11.1844 -04.04.1929)
- Der Ingenieur hatte unabhängig von (und vor!) Daimler ein (das!) Automobil erfunden. Viele Aktionäre, vor allem solche aus dem Badischen, sind erbost, dass DaimlerChrysler nicht wieder den alten Firmennamen Daimler-Benz annimmt. Benz hatte in Mannheim 1883 die Firma Benz & Cie. Rheinische Gasmotorenfabrik gegründet, die sich 1926 mit der Daimler-Motoren-Gesellschaft zur Daimler-Benz AG zusammentat.

Das Automobil ist eine badische Erfindung (2)

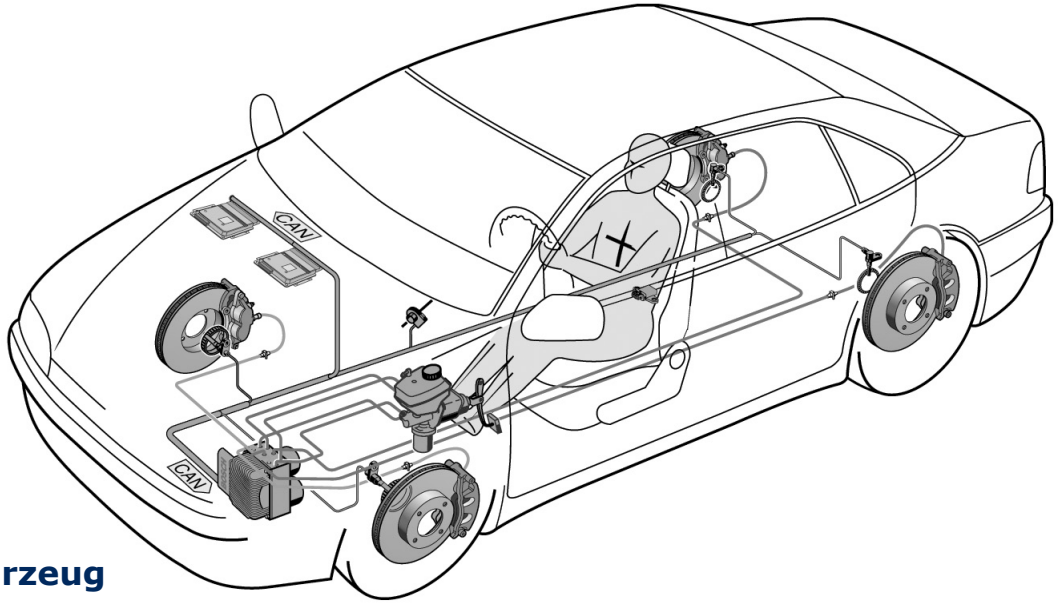
- 1886: Benz Motorwagen
- Das erste Automobil mit Konstruktions-merkmalen, die teilweise heute noch zu finden sind (z. B. bei der Lenkung)
- August 1888
- Berta Benz (03.05.1849 - 05.05.1944) fuhr 100 km lange Strecke von Mannheim nach Pforzheim.
  - Nachweis der Konzepttauglichkeit
  - Bedienbarkeit

- 1886: Daimler Motorkutsche
- Einbau eines Motors in eine Kutsche, Typ "Americain", der Firma W. Wimpff & Sohn in Stuttgart. Es ist den alten Unterlagen zu entnehmen, dass Daimler 775 Mark für den Kutschenwagen bezahlt hat.
- Erstes Vierrad-Automobil (Erste Vierrad-Motorkutsche)

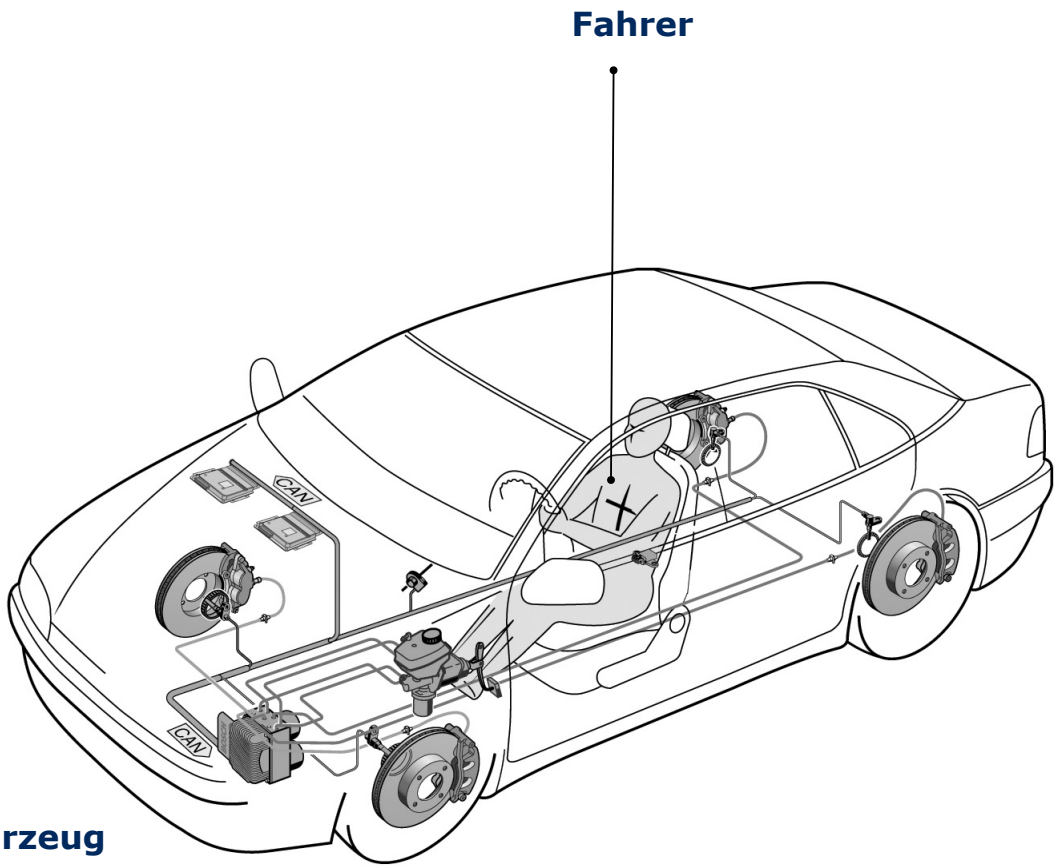


Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren

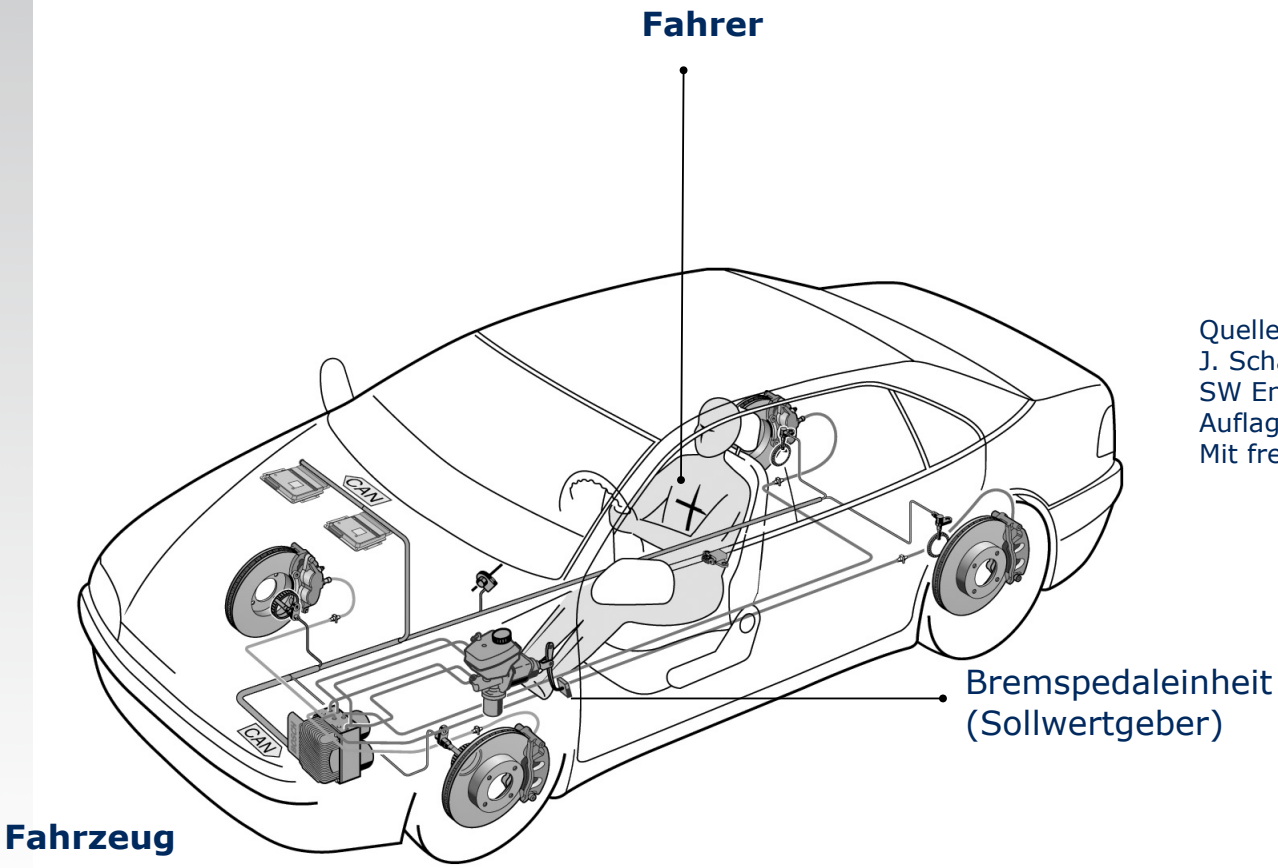
Fahrzeug



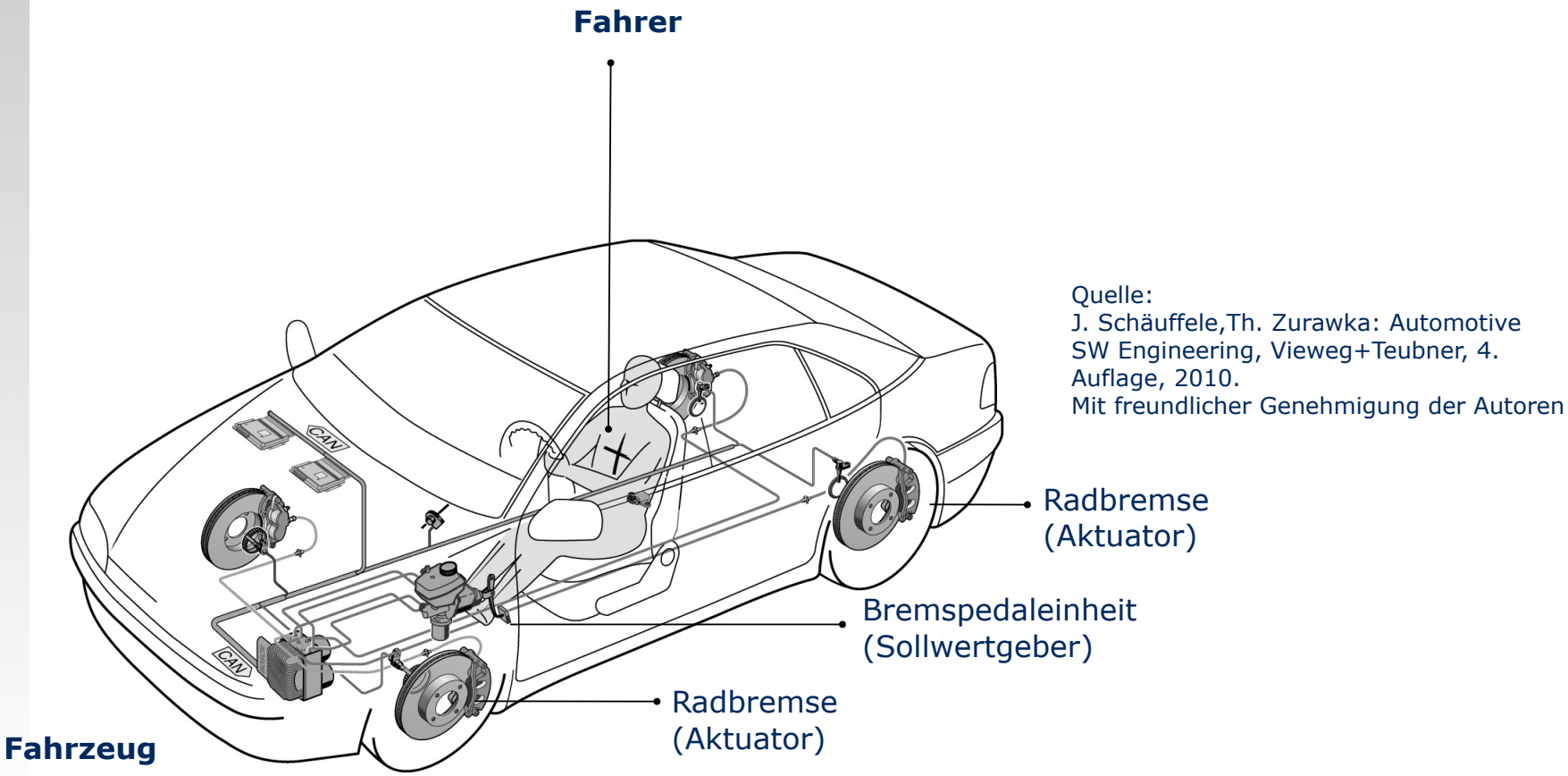
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



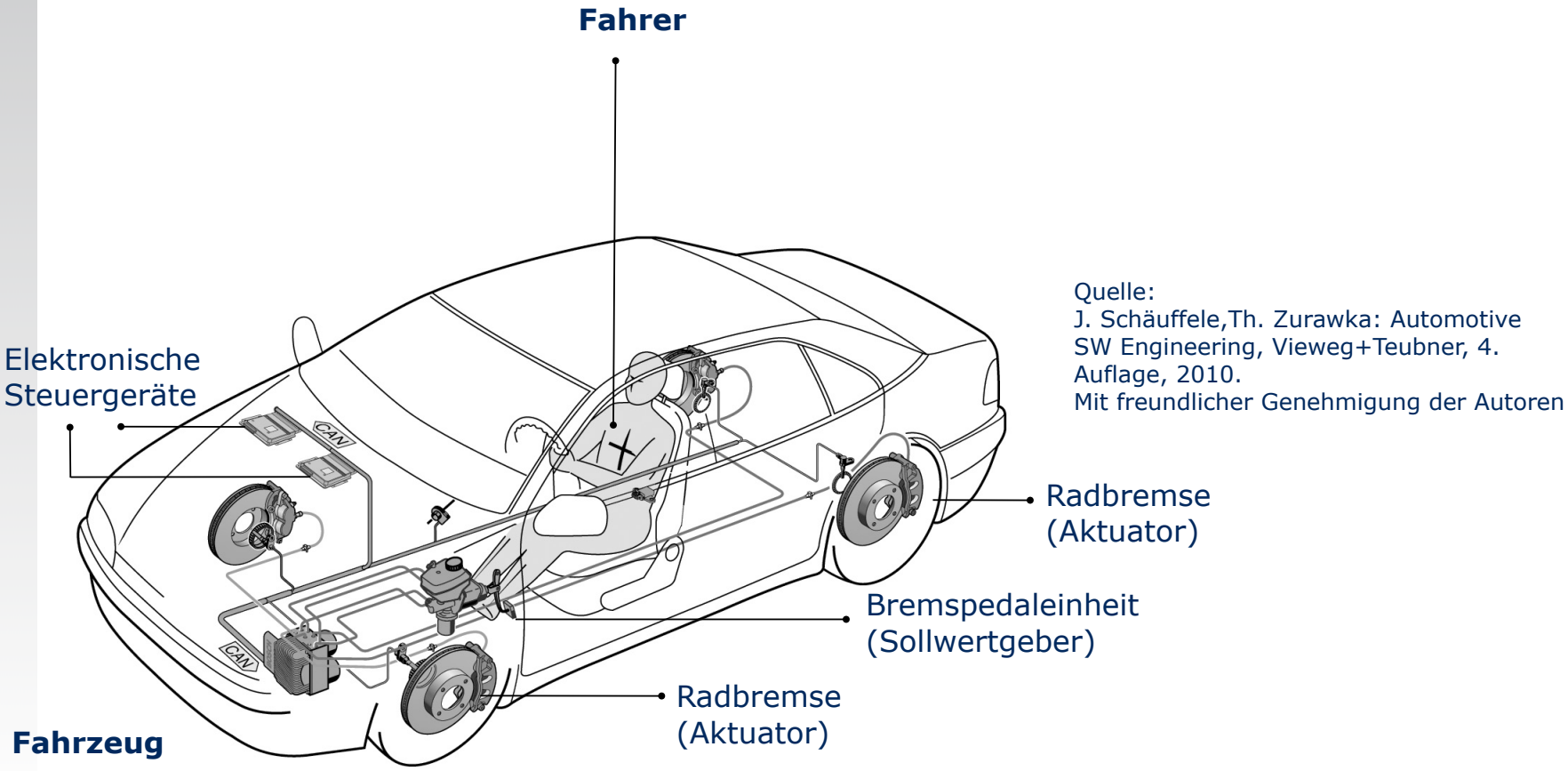
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



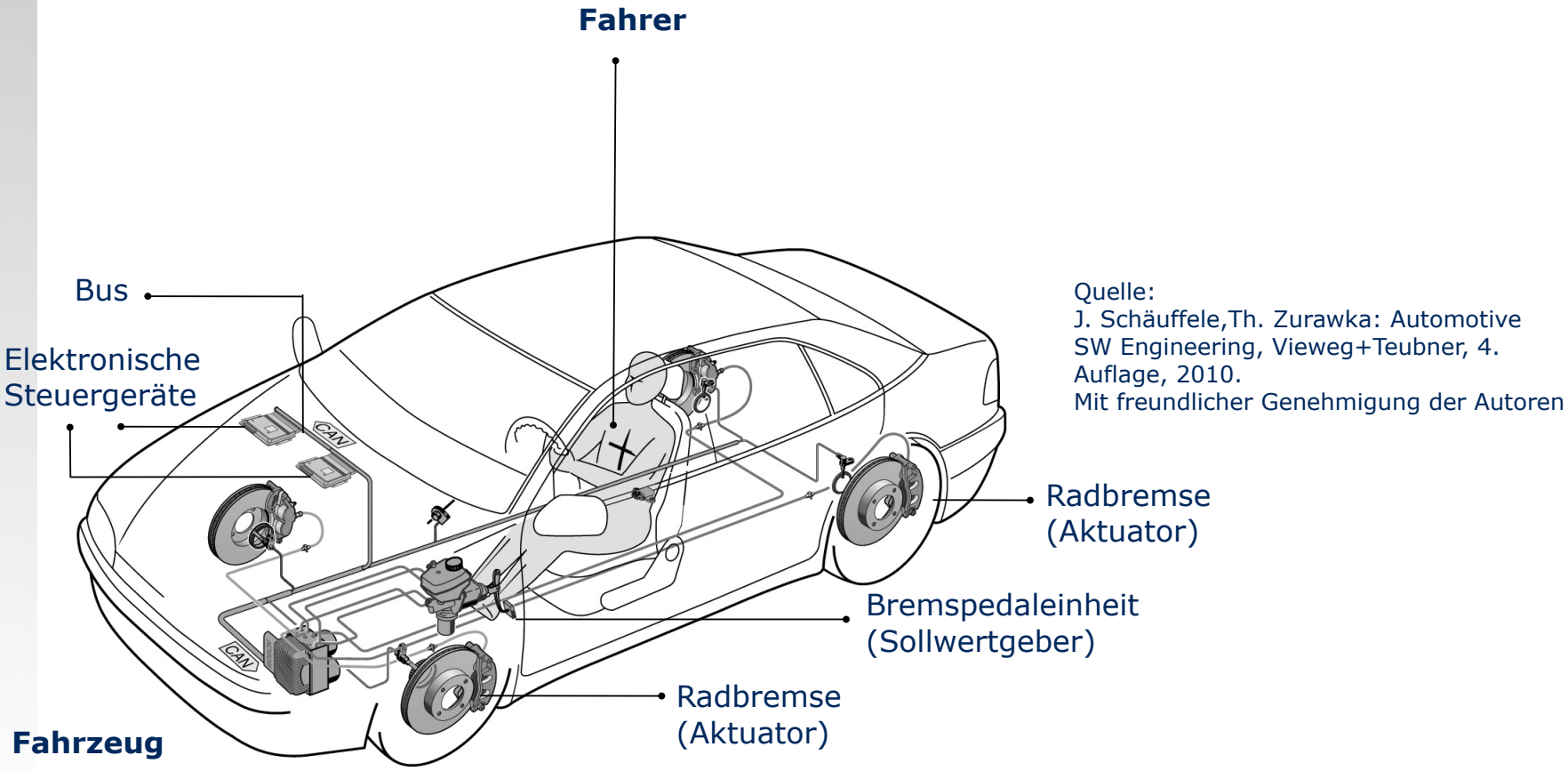
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



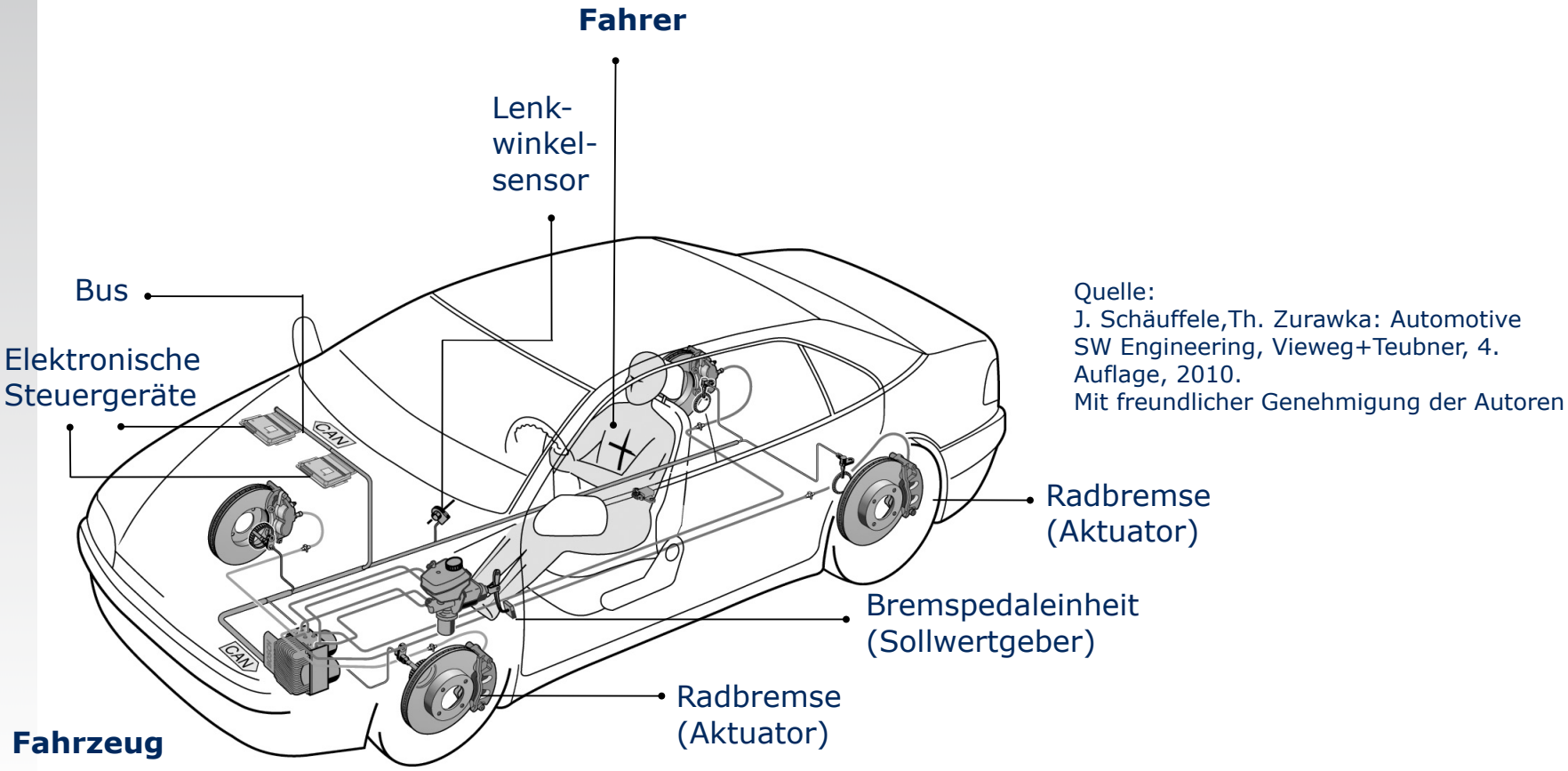
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



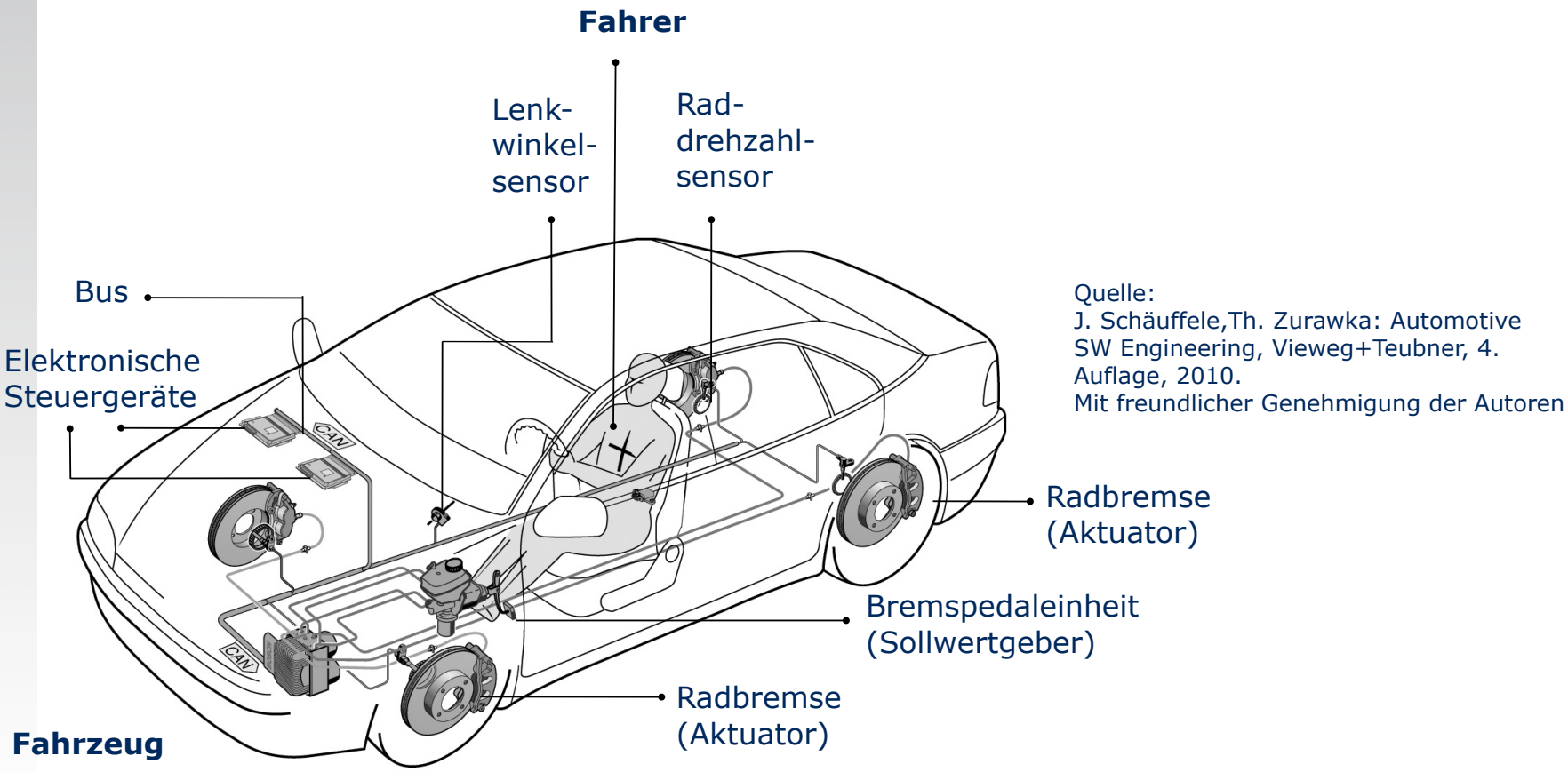
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



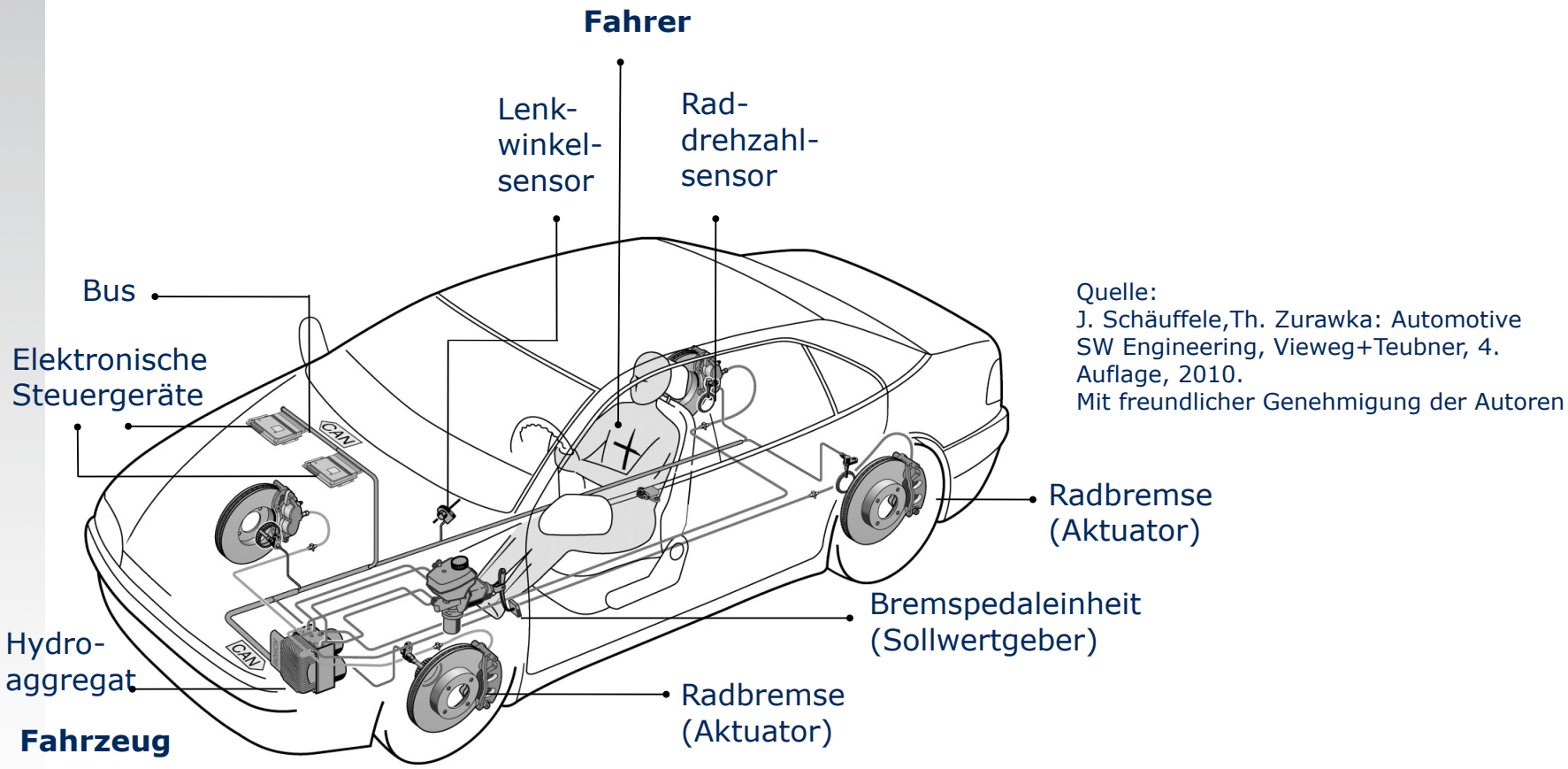
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



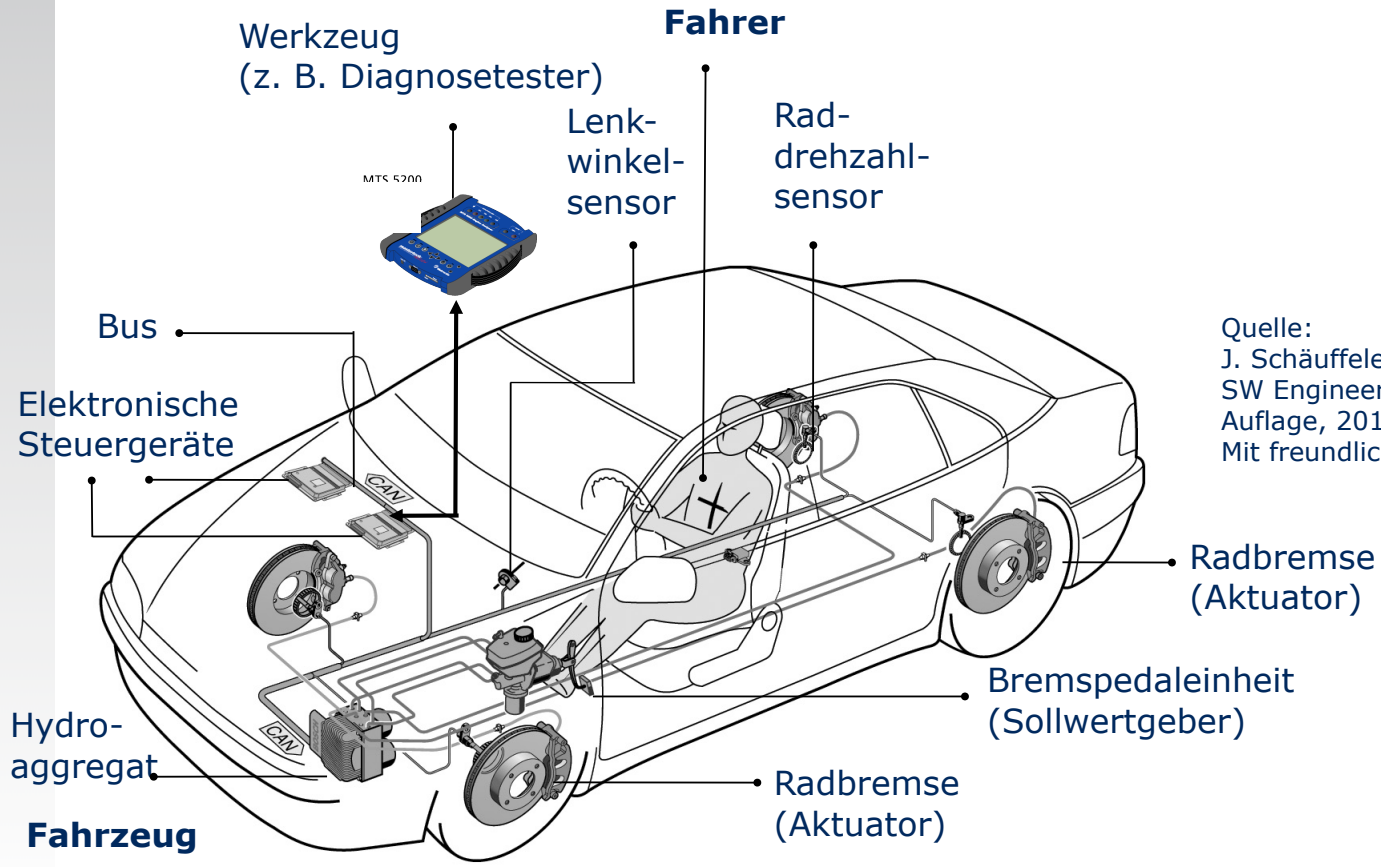
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



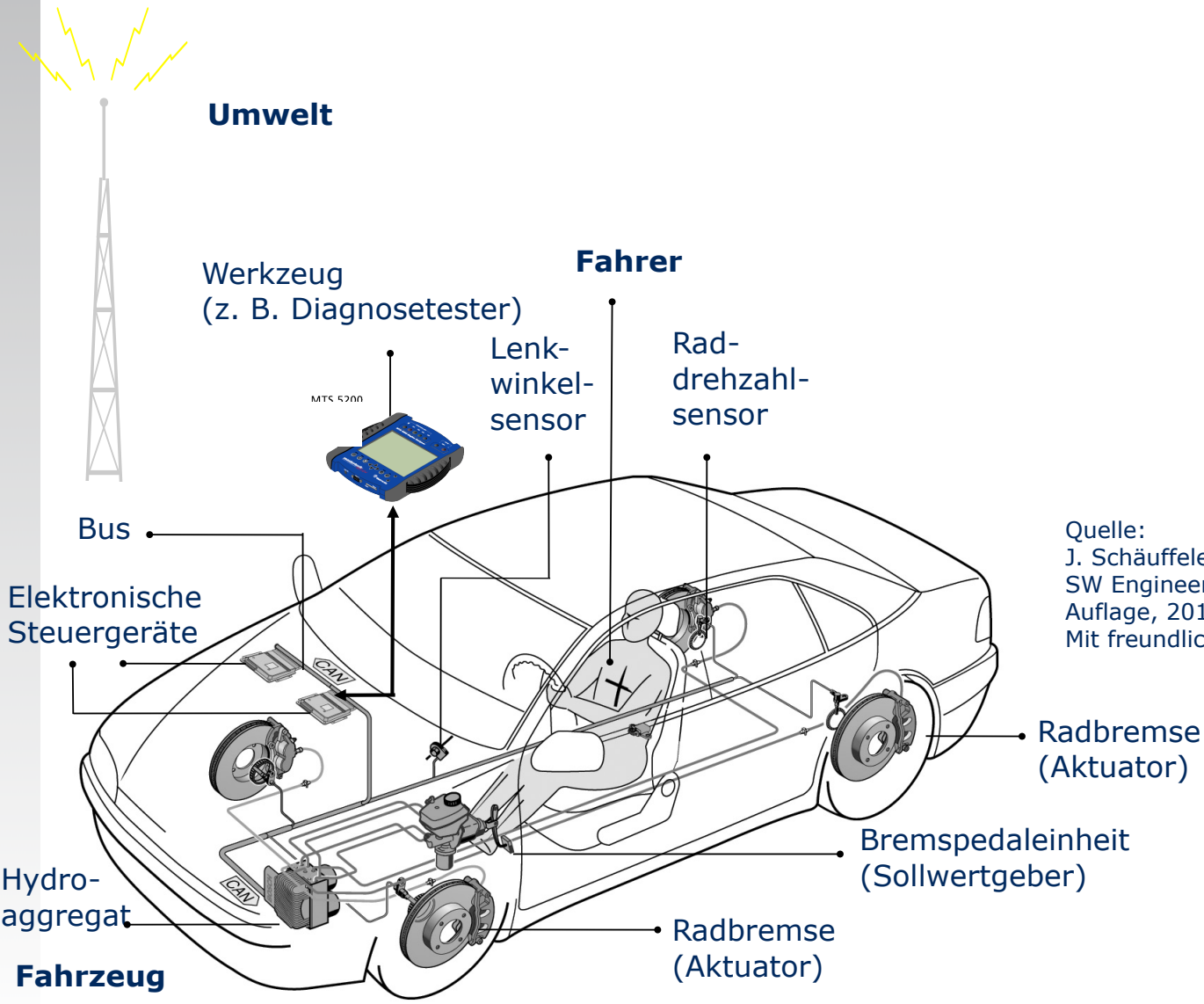
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



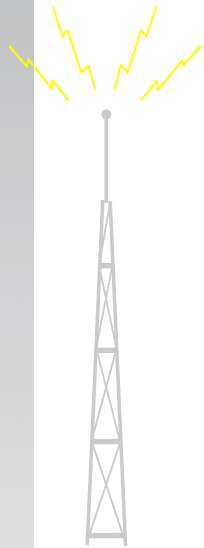
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



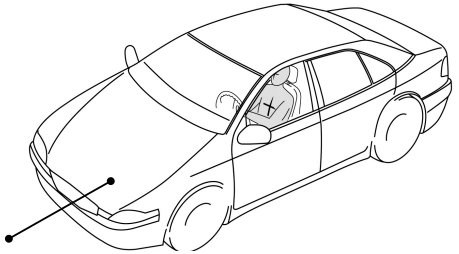
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



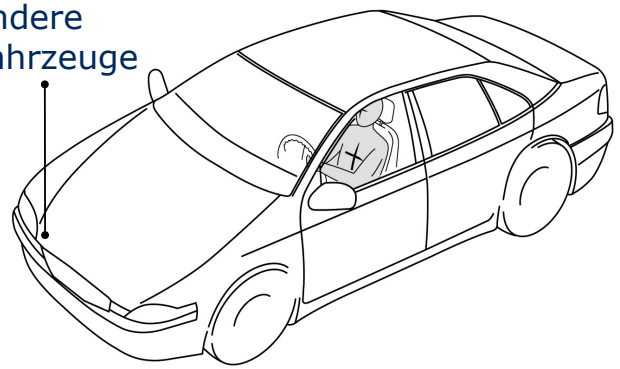
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren



Umwelt



andere Fahrzeuge



Werkzeug (z. B. Diagnosetester)

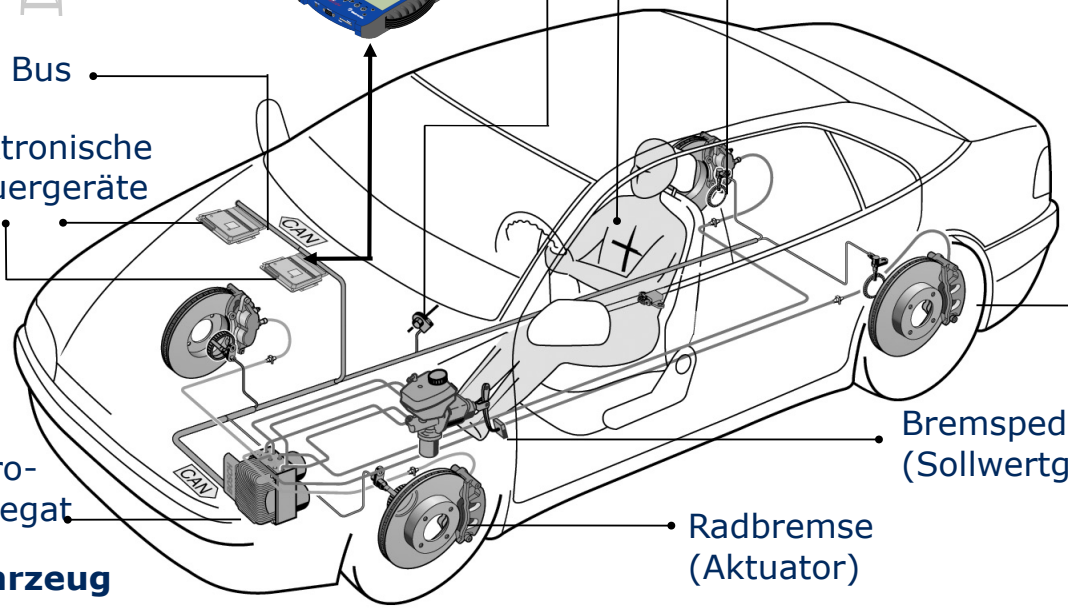
Fahrer

Lenk-winkel-sensor

Rad-drehzahl-sensor

Bus

Elektronische Steuergeräte



Radbremse (Aktuator)

Bremspedaleinheit (Sollwertgeber)

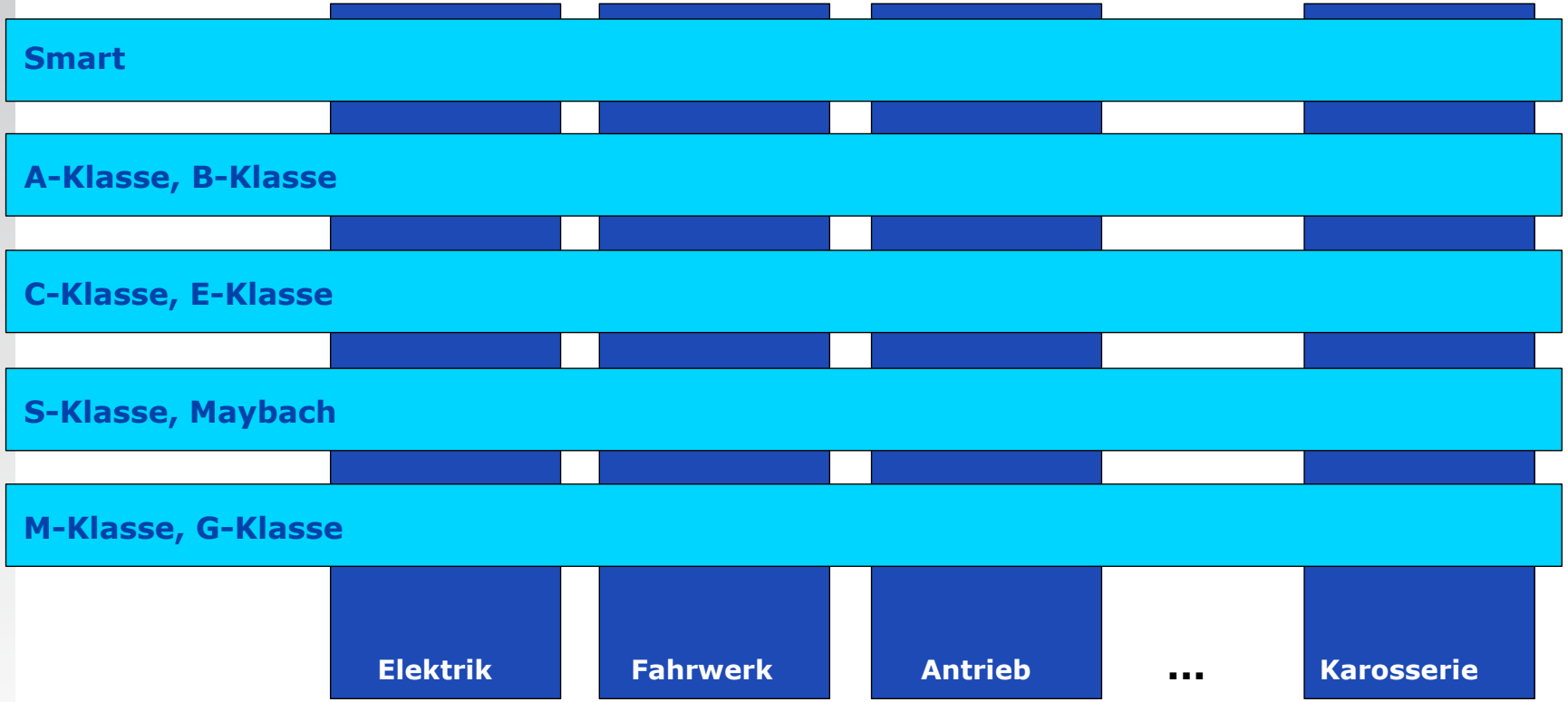
Hydro-aggregat

Radbremse (Aktuator)

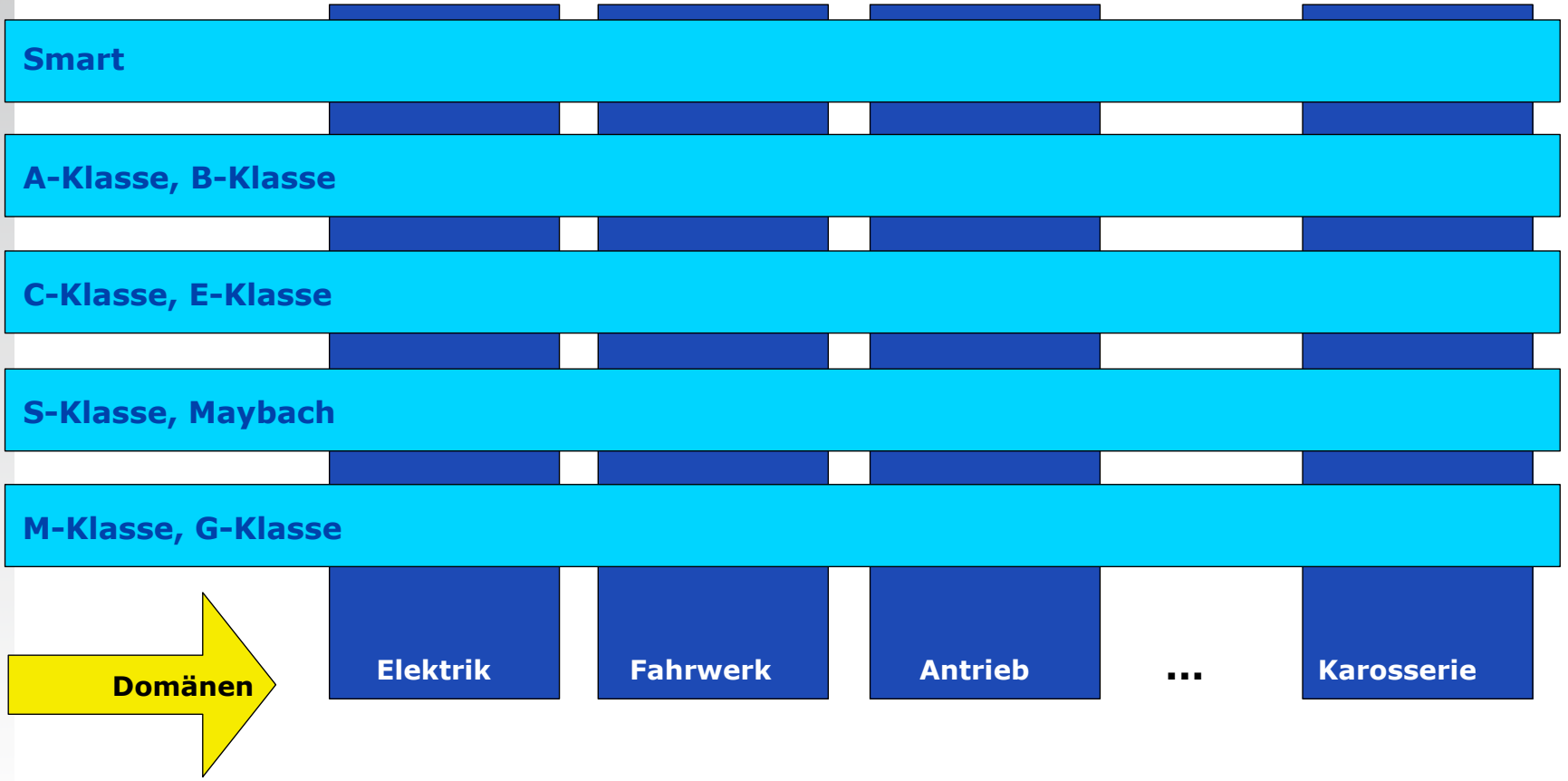
Fahrzeug

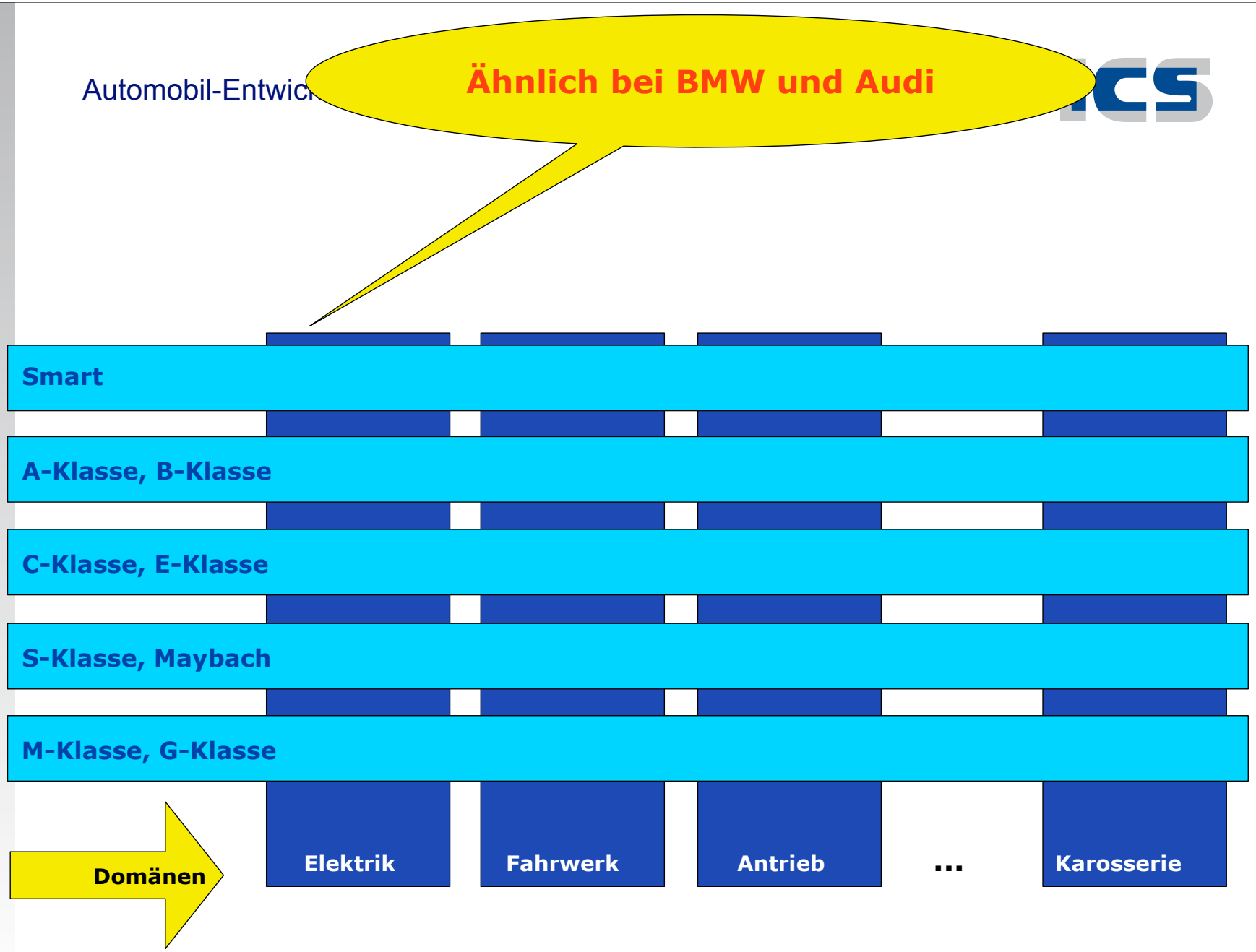
Quelle:
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010.
Mit freundlicher Genehmigung der Autoren

Automobil-Entwicklung: Matrix-Struktur



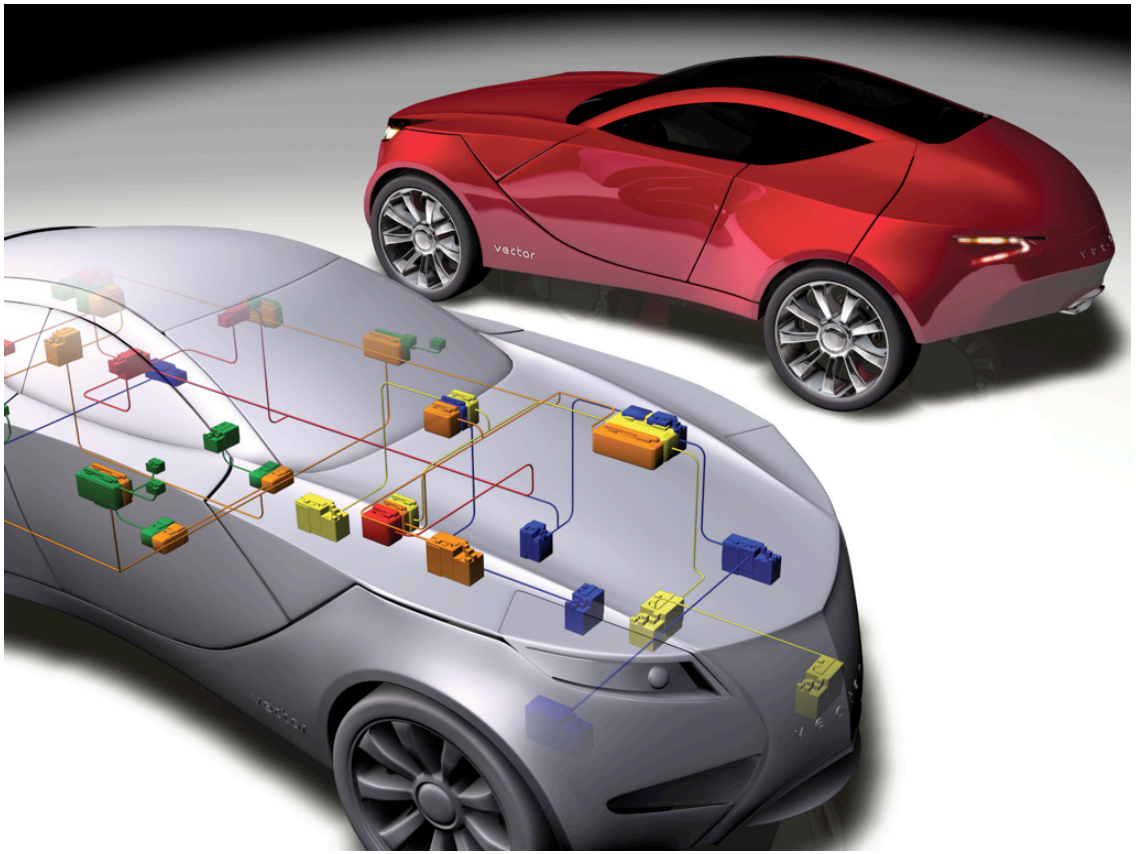
Automobil-Entwicklung: Matrix-Struktur




Ähnlich bei BMW und Audi
Smart
A-Klasse, B-Klasse
C-Klasse, E-Klasse
S-Klasse, Maybach
M-Klasse, G-Klasse
Domänen
Elektrik
Fahrwerk
Antrieb
...
Karosserie

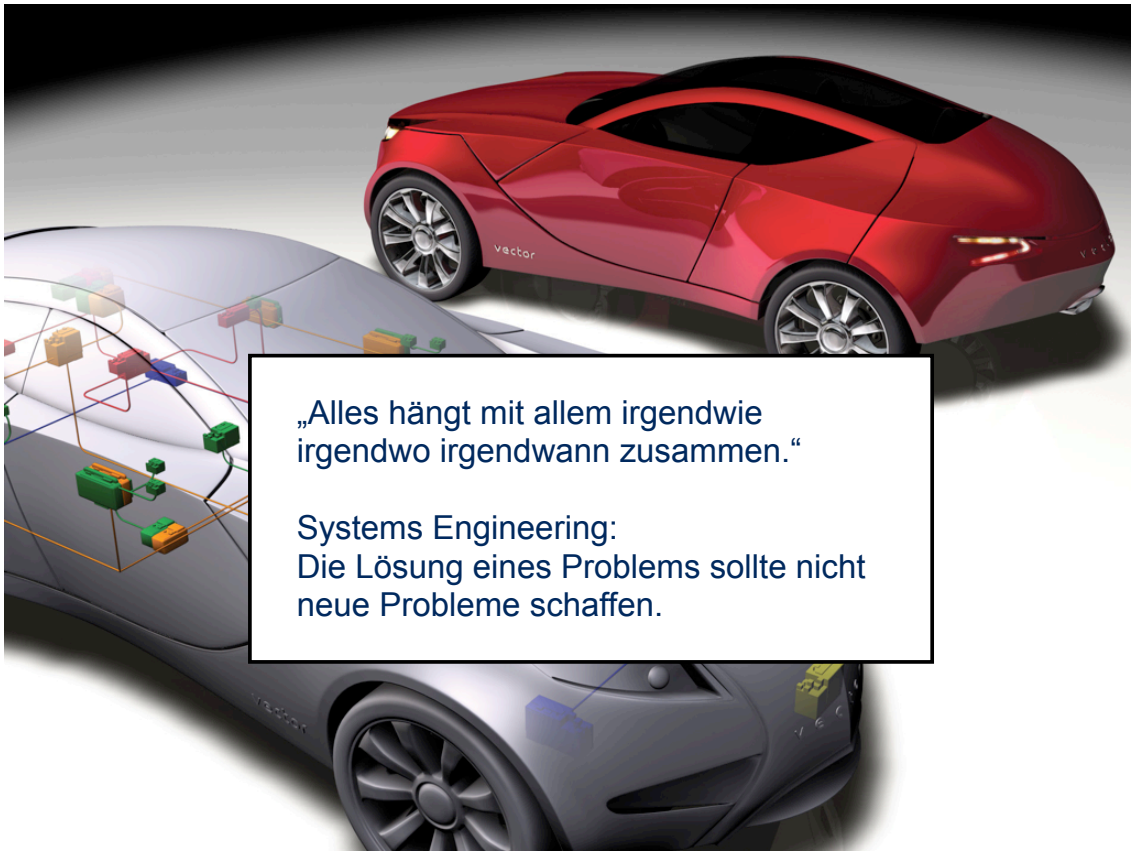
Domänen im Automobil - Komponenten (Auswahl)

- Fahrwerk / Chassis
  - Bremsen
  - Lenkung
  - Federung
- Antriebsstrang / Powertrain
  - Motor
  - Getriebe
- Karosserie / Body
  - Türen
  - Fenster
  - Sitze
  - Beleuchtung
  - Scheibenwischer
- Telematik
  - Navigation
  - Audio
  - Telefonie



Domänen im Automobil - Komponenten (Auswahl)

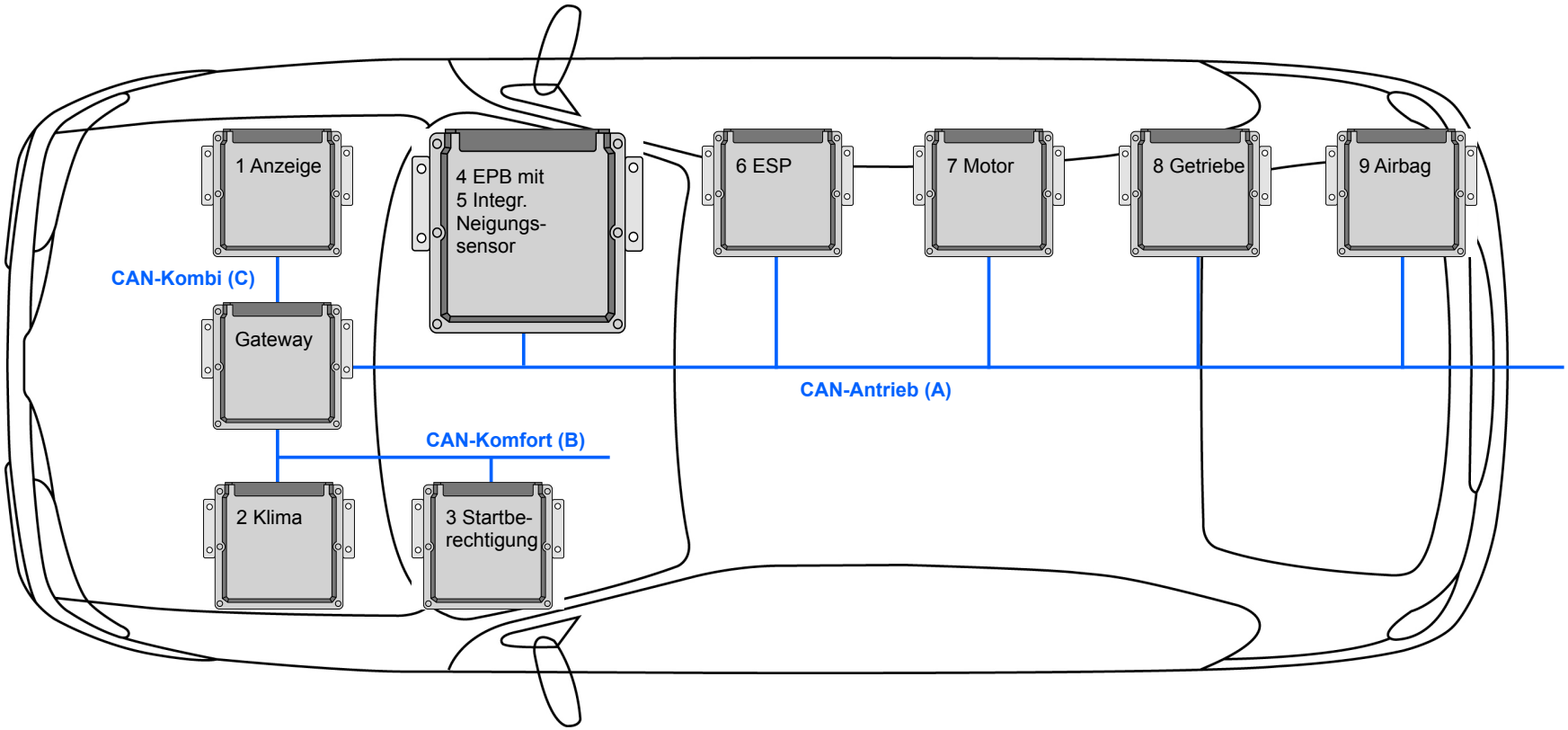
- Fahrwerk / Chassis
  - Bremsen
  - Lenkung
  - Federung
- Antriebsstrang / Powertrain
  - Motor
  - Getriebe
- Karosserie / Body
  - Türen
  - Fenster
  - Sitze
  - Beleuchtung
  - Scheibenwischer
- Telematik
  - Navigation
  - Audio
  - Telefonie



„Alles hängt mit allem irgendwie irgendwo irgendwann zusammen.“

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

Vernetzung der Steuergeräte für Elektronische Parkbremse (EPB) in einem Audi A8

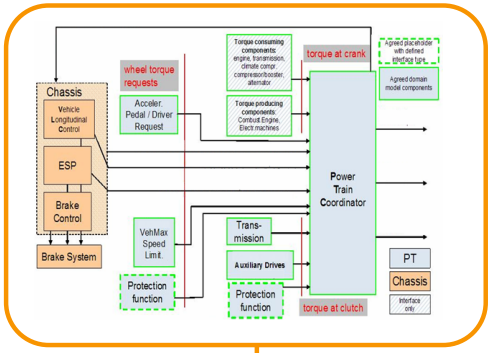


Quellen:
T. Trautmann: Grundlagen der Fahrzeugmechatronik, Vieweg+Teubner Verlag, 2009. (Struktur)
J. Schäuffele,Th. Zurawka: Automotive SW Engineering, Vieweg+Teubner, 4. Auflage, 2010. (Grafiken)

Softwarebasierte Funktionen in den Domänen

AUTOSAR Application Interfaces
Compositions under Consideration

- **Body Domain**
  - Central Locking
  - Interior Light
  - Mirror Adjustment
  - Mirror Tinting
  - Seat Adjustment
  - Wiper/Washer
  - Anti Theft Warning System
  - Horn Control
  - Exterior Lights
  - Defrost Control
  - Seat climatization
  - Cabin climatization
  - Steering wheel climatization
  - Window Control
  - Sunroof/Convertible control
  - Steering column adjustment
  - Roller blind control



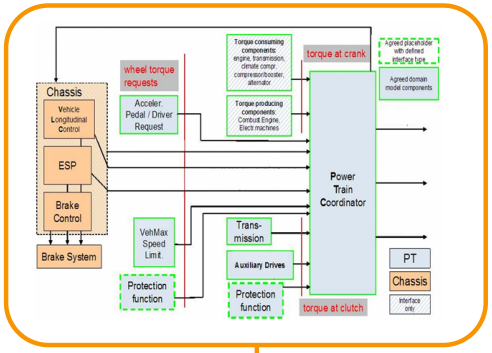
- **Chassis Control Domain**
  - Vehicle Longitudinal Control
  - Electronic Stability Program
  - Electronic Parking Brake
  - Adaptive Cruise Control
  - Roll Stability Control
  - Steering System
  - Suspension System
  - Stand Still Manager
  - High Level Steering
    - Vehicle Stability Steering
    - Driver Assistance Steering
  - All Wheel Drive/ Differential Lock

- **Powertrain Domain**
  - Powertrain Coordinator
  - Transmission System
  - Combustion Engine
    - Engine torque and mode management
    - Engine Speed And Position
    - Combustion Engine Misc.
  - Electric Machine
  - Vehicle Motion Powertrain
    - Driver Request
    - Accelerator Pedal Position
    - Safety Vehicle Speed Limitation

Softwarebasierte Funktionen in den Domänen

AUTOSAR Application Interfaces
Compositions under Consideration

- **Body Domain**
  - Central Locking
  - Interior Light
  - Mirror Adjustment
  - Mirror Tinting
  - Seat Adjustment
  - Wiper/Washer
  - Anti Theft Warning System
  - Horn Control
  - Exterior Lights
  - Defrost Control
  - Seat climatization
  - Cabin climatization
  - Steering wheel climatization
  - Window Control
  - Sunroof/Convertible control
  - Steering column adjustment
  - Roller blind control



- **Chassis Control Domain**
  - Vehicle Longitudinal Control
  - Electronic Stability Program
  - Electronic Parking Brake
  - Adaptive Cruise Control
  - Roll Stability Control
  - Steering System
  - Suspension System
  - Stand Still Manager
  - High Level Steering
    - Vehicle Stability Steering
    - Driver Assistance Steering
  - All Wheel Drive/ Differential Lock

- **Powertrain Domain**
  - Powertrain Coordinator
  - Transmission System
  - Combustion Engine
    - Engine torque and mode management
    - Engine Speed And Position
    - Combustion Engine Misc.
  - Electric Machine
  - Vehicle Motion Powertrain
    - Driver Request
    - Accelerator Pedal Position
    - Safety Vehicle Speed Limitation

Telematik?

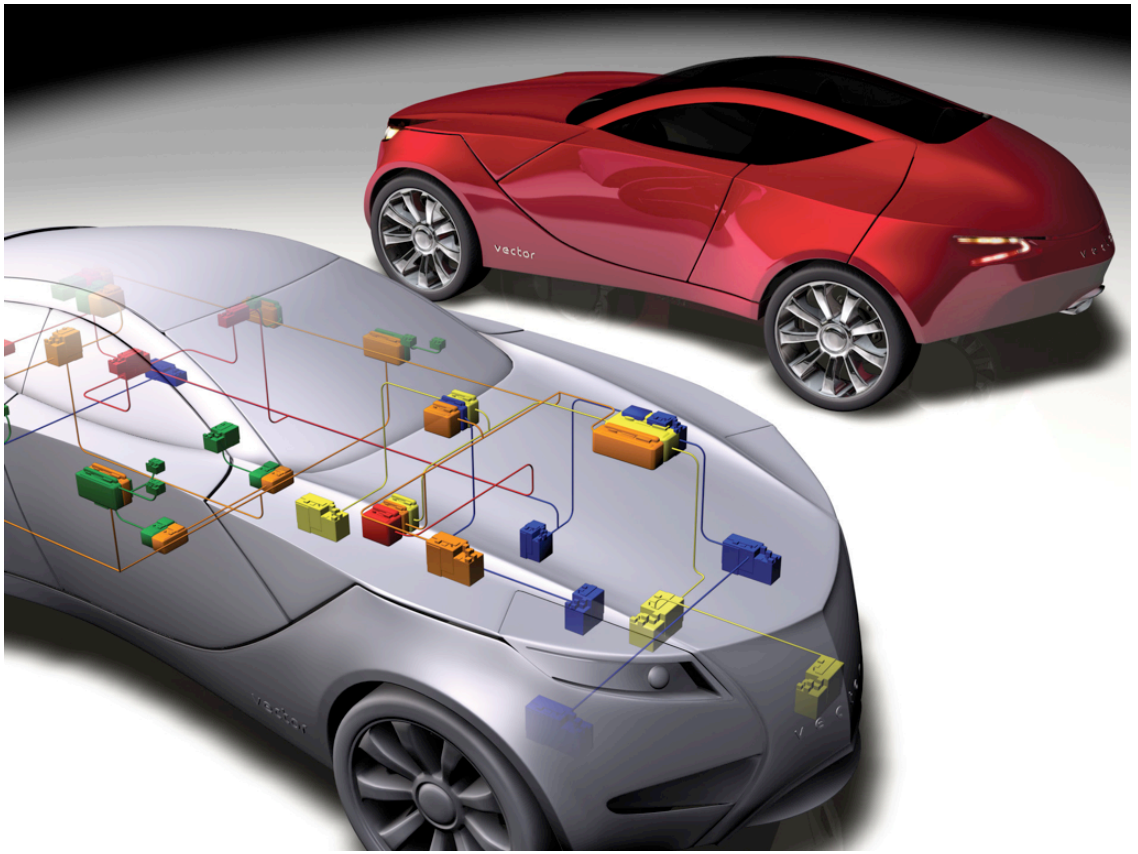
Domänen - Vergleich Benz und Daimler

Domänen	Benz Motorwagen	Daimler Motorkutsche
Fahrwerk / Chassis	Automobil: Gelenktes Rad	Kutsche: Drehbare Achse
Antriebsstrang / Powertrain	Verbrennungsmotor	Verbrennungsmotor
Karosserie / Body	Kutsche	Kutsche
Telematik		

Schon Janis Joplin sang in ihrem bekannten Hit schließlich "Oh Lord, won't you buy me a mercedes benz". Von Daimler war da keine Rede.
http://www.spiegel.de/wirtschaft/autokonzern-badener-rebellieren-gegen-daimlerchrysler-a-489661.html

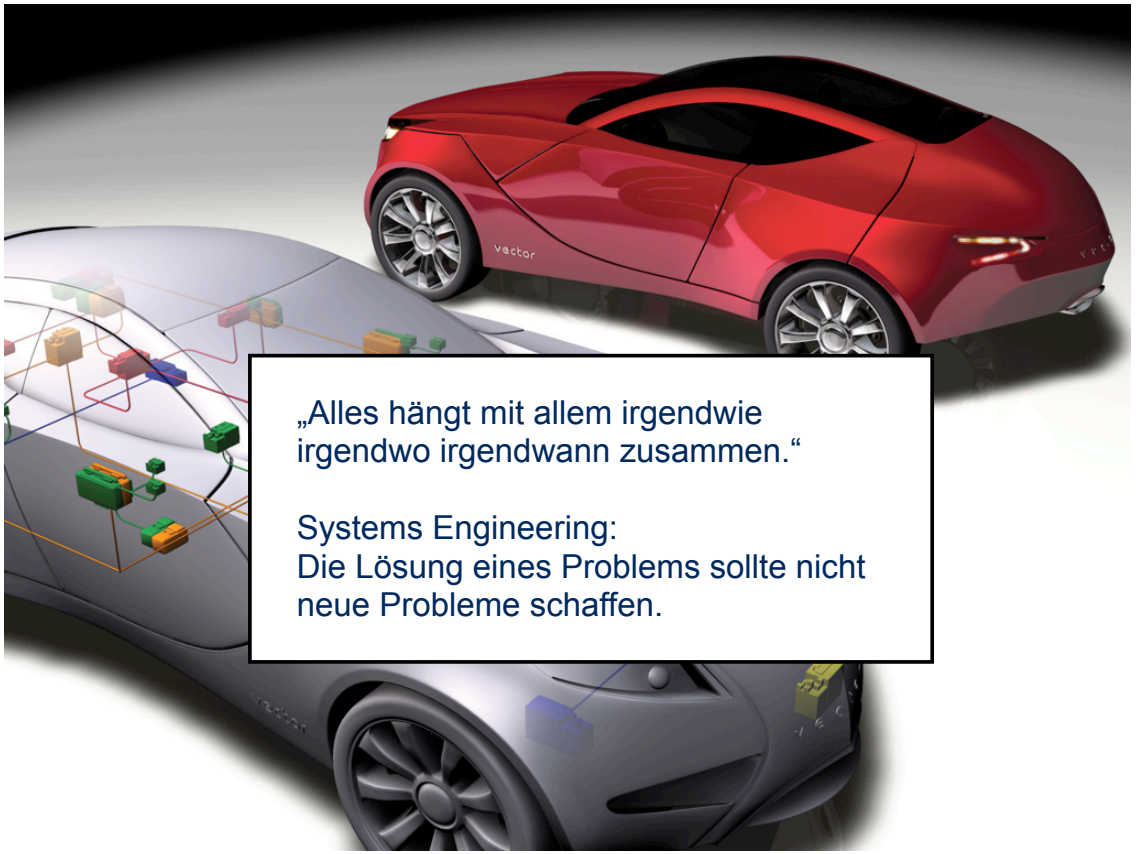
Domänen im Automobil - Komponenten (Auswahl)

- Fahrwerk / Chassis
  - Bremsen
  - Lenkung
  - Federung
- Antriebsstrang / Powertrain
  - Motor
  - Getriebe
- Karosserie / Body
  - Türen
  - Fenster
  - Sitze
  - Beleuchtung
  - Scheibenwischer
- Telematik
  - Navigation
  - Audio
  - Telefonie



Domänen im Automobil - Komponenten (Auswahl)

- Fahrwerk / Chassis
  - Bremsen
  - Lenkung
  - Federung
- Antriebsstrang / Powertrain
  - Motor
  - Getriebe
- Karosserie / Body
  - Türen
  - Fenster
  - Sitze
  - Beleuchtung
  - Scheibenwischer
- Telematik
  - Navigation
  - Audio
  - Telefonie



„Alles hängt mit allem irgendwie irgendwo irgendwann zusammen.“

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

- Problem

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

- Problem
- Der Motor droht im Sommer zu überhitzen

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

- Problem
- Der Motor droht im Sommer zu überhitzen

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

- Problem
- Der Motor droht im Sommer zu überhitzen

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

- Problem
- Der Motor droht im Sommer zu überhitzen
- Einfach zu realisierende Lösung

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

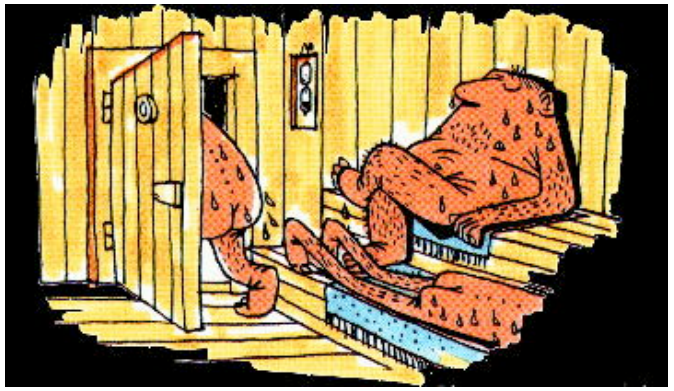
- Problem
- Der Motor droht im Sommer zu überhitzen
- Einfach zu realisierende Lösung
- (dieses Problems!)

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

- Problem
- Der Motor droht im Sommer zu überhitzen
- Einfach zu realisierende Lösung
- (dieses Problems!)
- Heizung auf höchste Stufe

Systems Engineering:
Die Lösung eines Problems sollte nicht neue Probleme schaffen.

- Problem
- Der Motor droht im Sommer zu überhitzen
- Einfach zu realisierende Lösung
- (dieses Problems!)
- Heizung auf höchste Stufe



Systems Engineering:
Alles hängt mit allem irgendwie irgendwo irgendwann zusammen.

- Fachtagung „Tempo 30 – Chancen, Hindernisse, Erfahrungen“

  Viele Lärmaktionspläne schlagen Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen als eine Maßnahme zur Lärmminderung - vor allem zum Schutz der Nachtruhe - vor. Manche Kommunen haben dies bereits umgesetzt, andere beginnen jetzt Versuche mit Tempo 30 auf Hauptverkehrs-straßen. Auf einer Fachtagung des UBA und des ALD wurden die bisherigen Erfahrungen ausgetauscht und das Pro und Contra diskutiert.

- Welchen Einfluss hat Tempo 30 auf Verkehrslärm?

- Begründung(en)?

- Quelle (Text und Bild): http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/index.html

1. Das Automobil - Geschichte und Grundbegriffe
2. **Eingebettete Systeme und Cyber-Physical-Systems (CPS)**
3. Motivation Automotive Software Engineering
4. Verteilte und komplexe Systementwicklung zwischen Hersteller (OEM) und Zulieferern
5. GI-Fachgruppe Automotive Software Engineering
6. Lehrveranstaltungen

Begriffsklärungen

Begriff	Beschreibung	Beispiel Automobil	Beispiel Bahn
Embedded System	Rechnergesteuertes technisches System; Kommunikation betrifft nicht die Kernfunktionen	Automobil nach Stand der Technik; Kommunikation für Telematik (Telefonie, Radio, Navigation)	Schienenfahrzeug ohne Leittechnik (Neben-strecken, Strassen-bahnen); nicht mehr Stand der Technik
Cyber-Physical System	Mehrere rechner-gesteuerte technische Systeme, die unter-einander und mit ihrer Umwelt kommunizieren; Kommunikation betrifft die Kernfunktionen	Mehrere Automobile mit Car-to-X-Kommuni-kation incl. Infrastruktur (Zentralen, Baken, Diensteanbieter, ...)	Mehrere Schienen-fahrzeuge incl. Leittechnik (onboard und offboard)

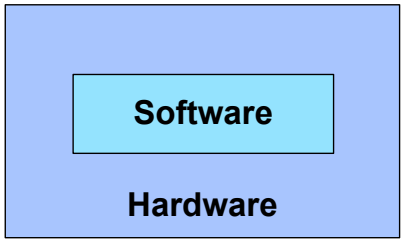
Onion ring like structure of CPS (modified)

- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)

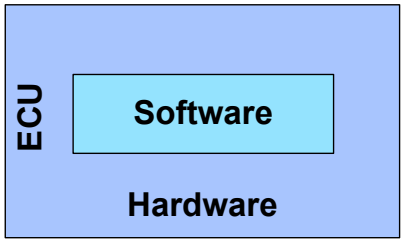
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



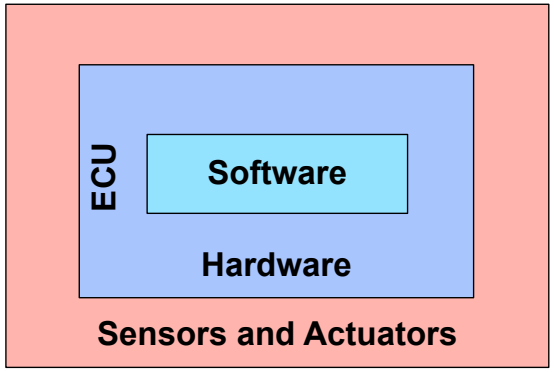
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



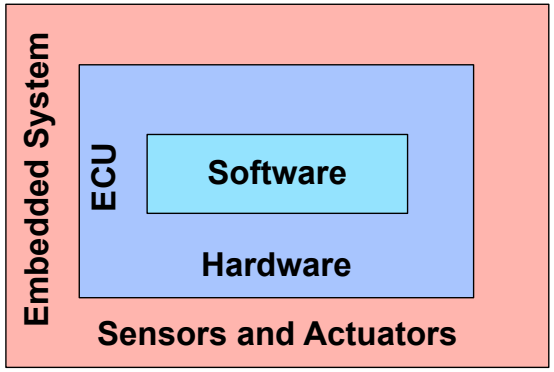
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



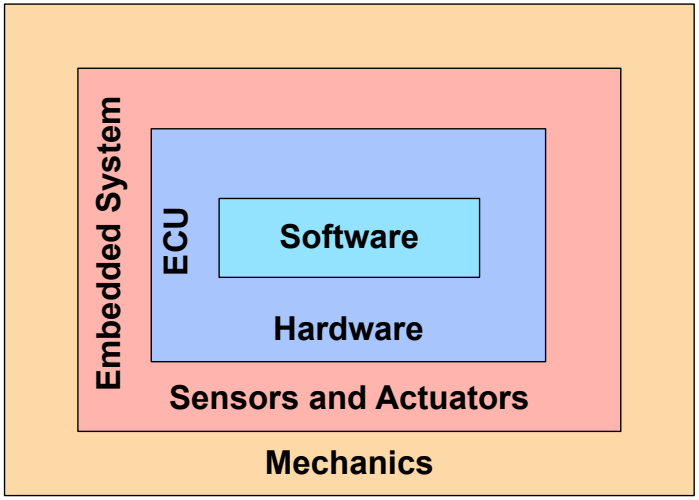
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



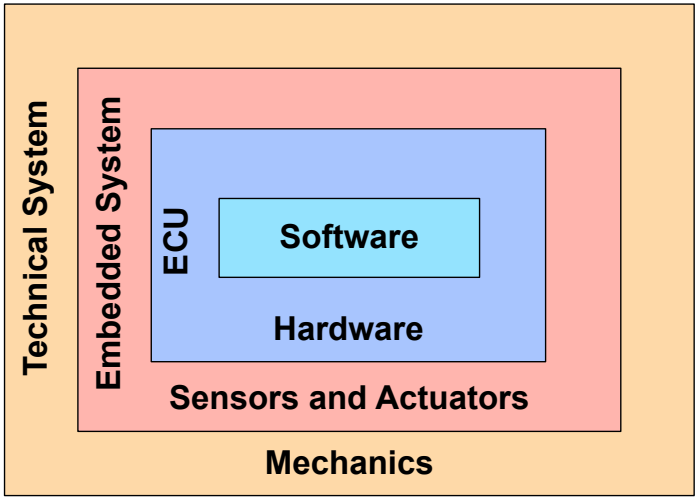
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



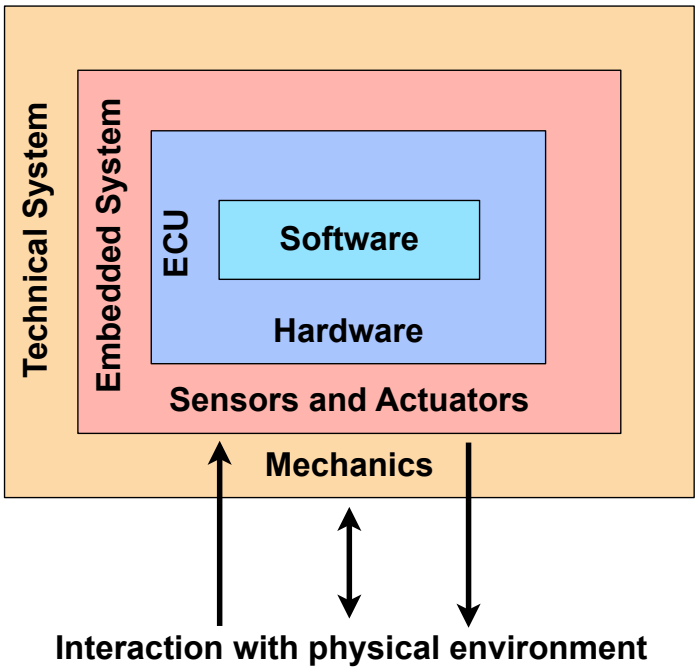
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



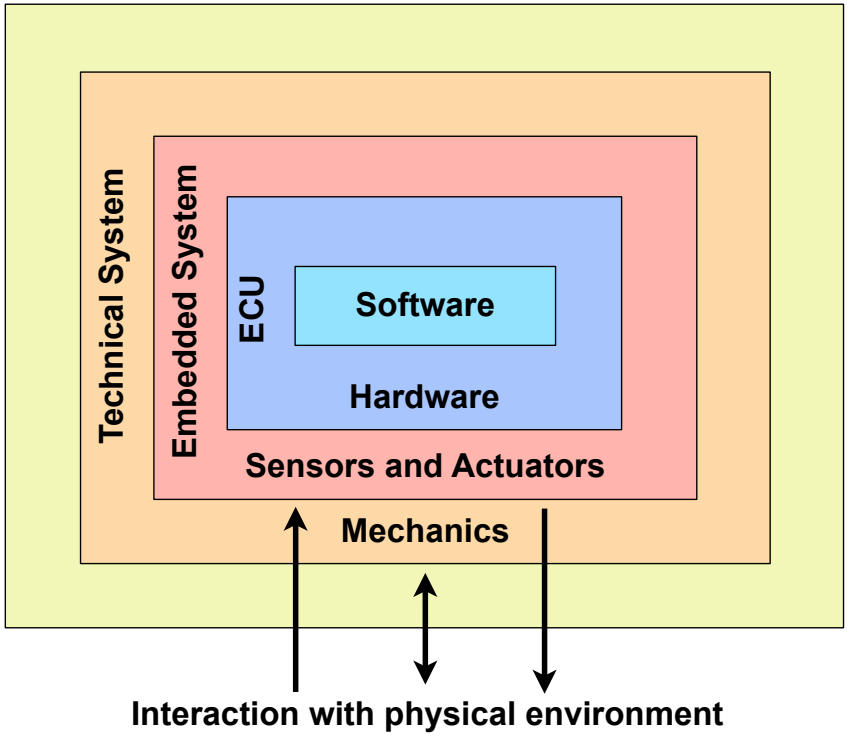
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



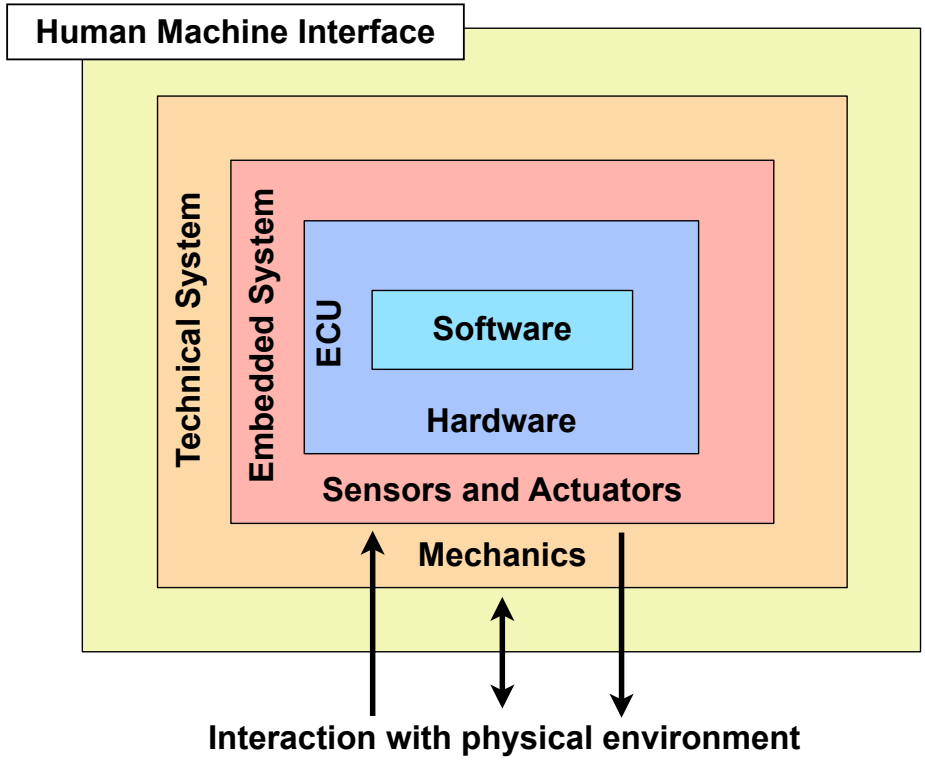
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



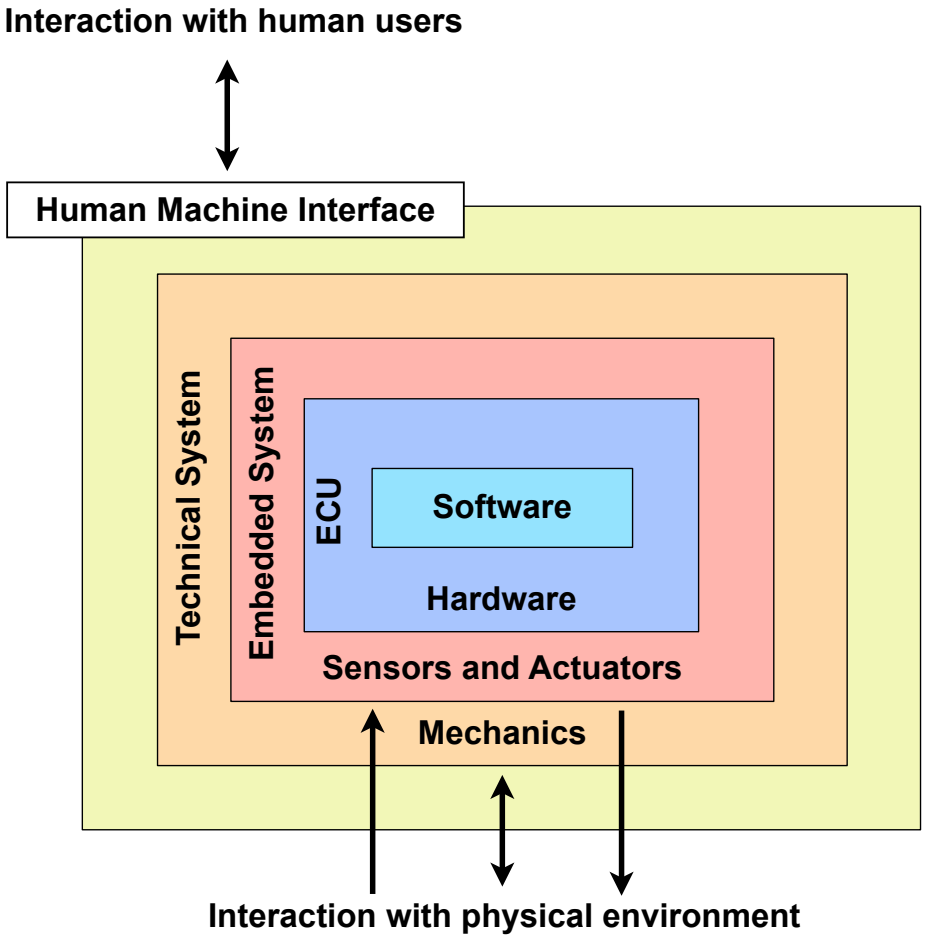
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



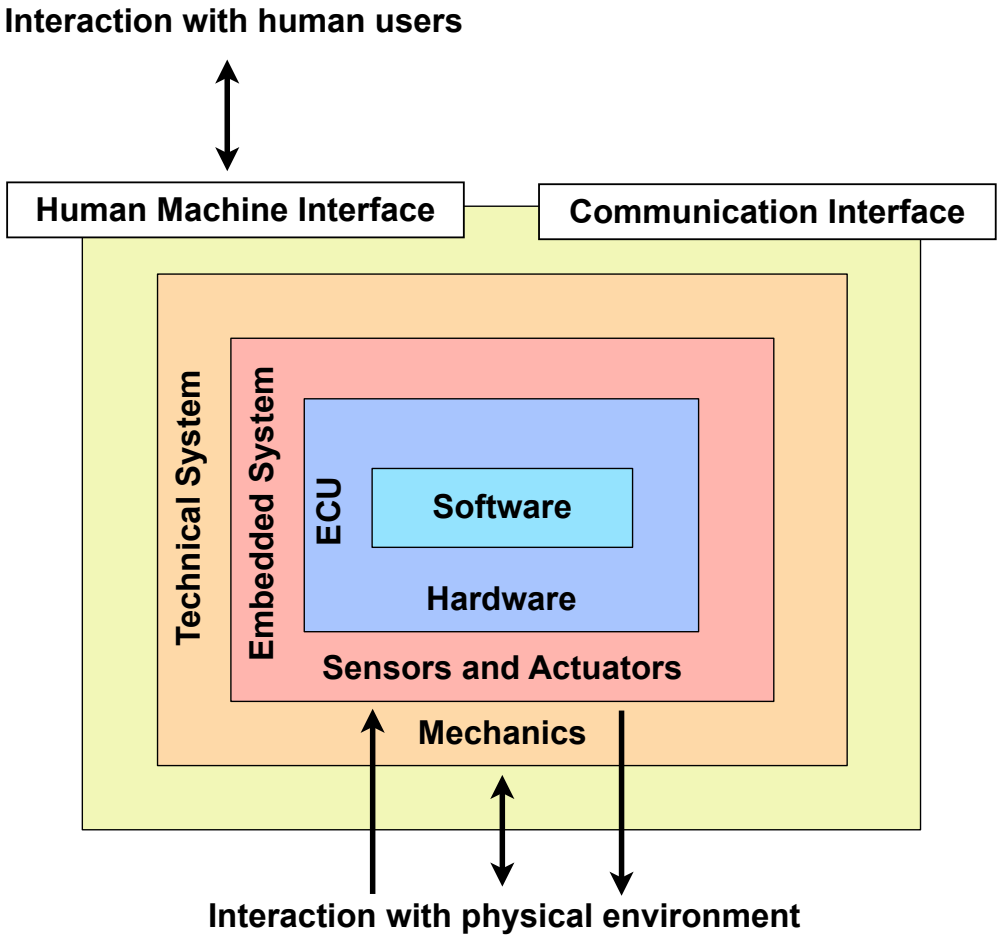
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



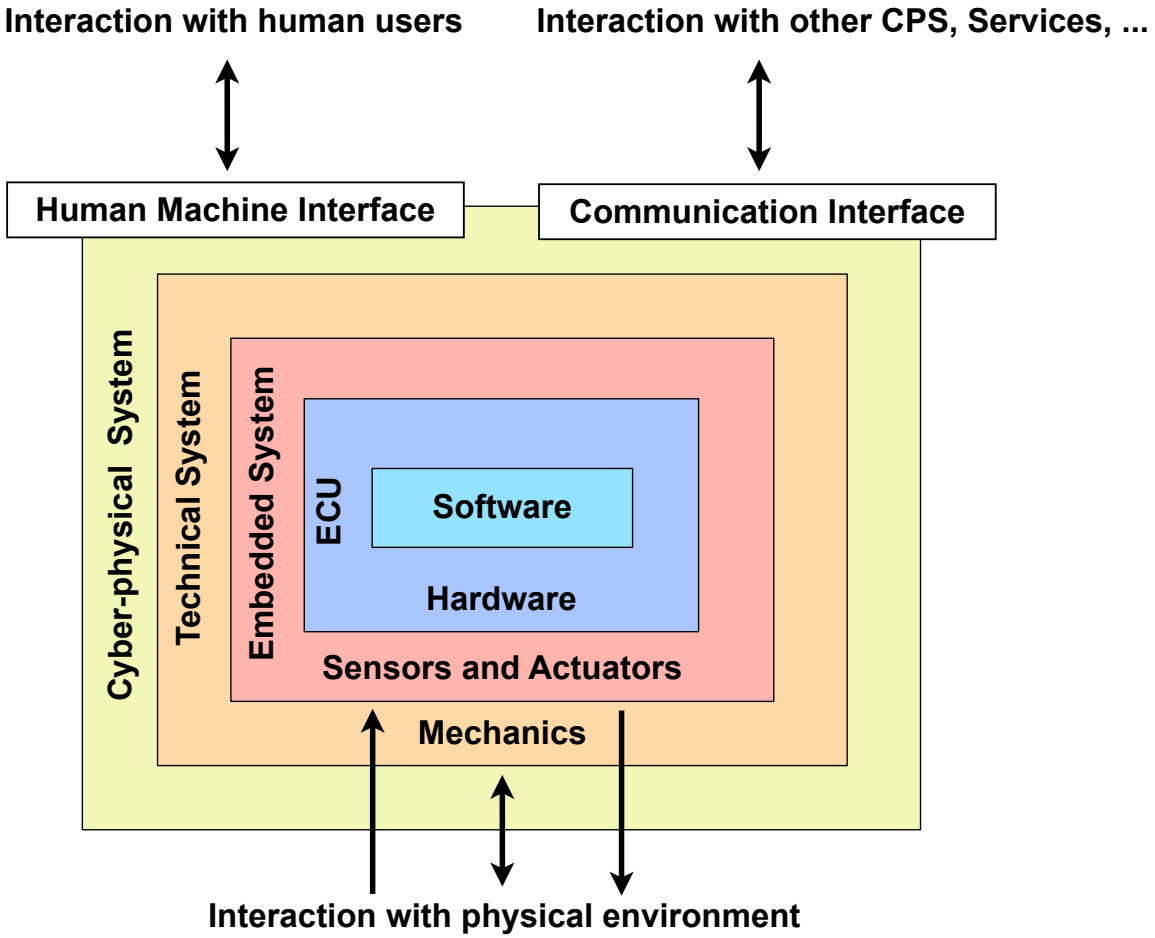
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified)



- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

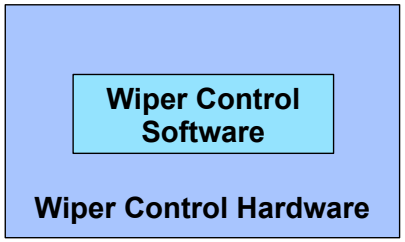
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

Wiper Control Software

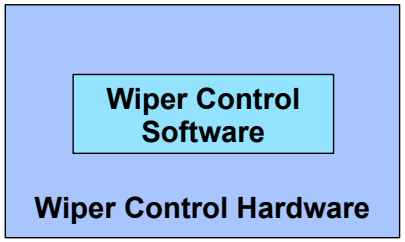
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS



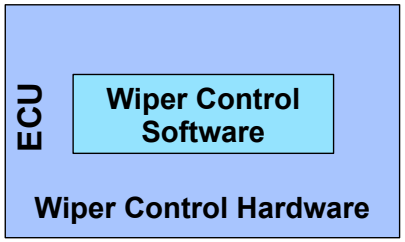
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS



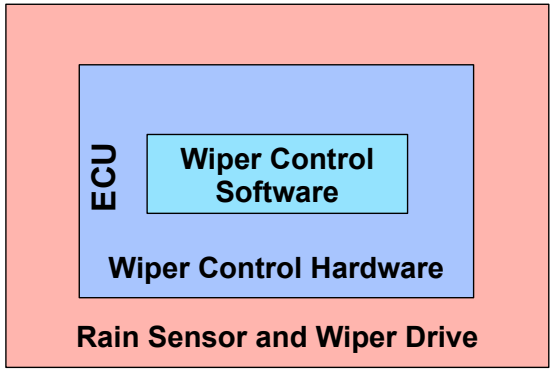
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS



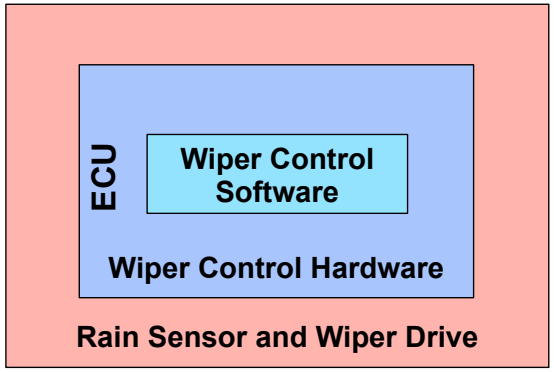
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

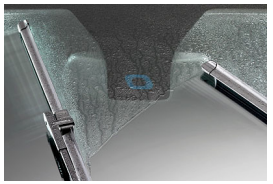
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS



- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

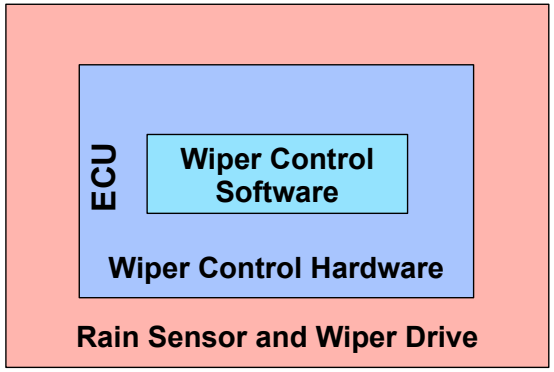
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

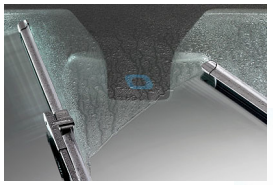




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

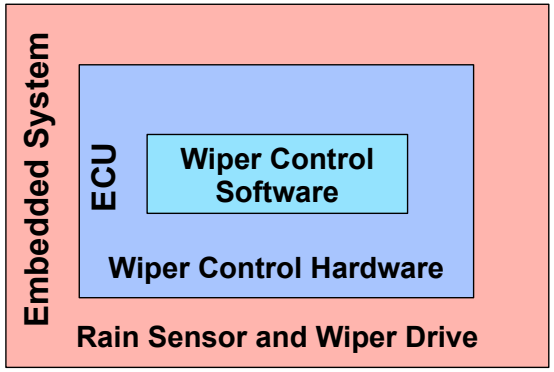
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

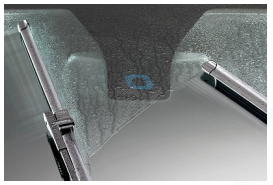




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

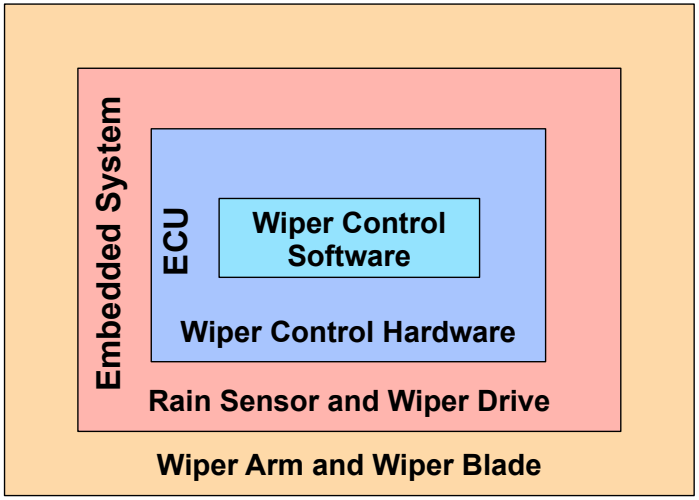
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

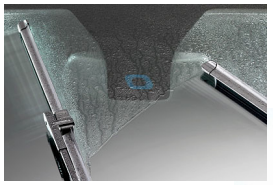




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

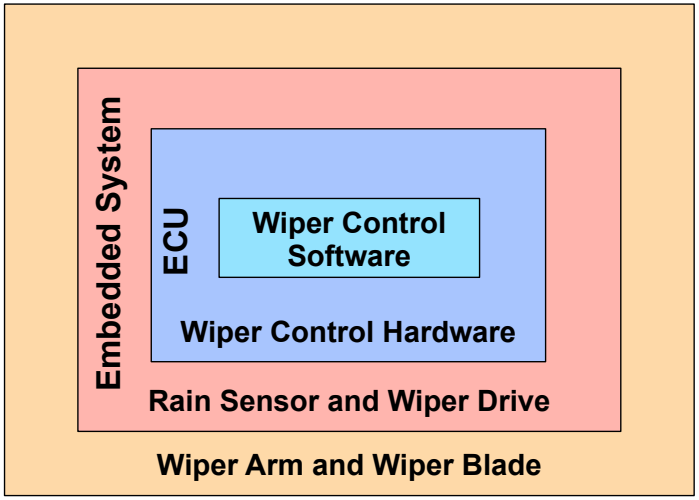
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

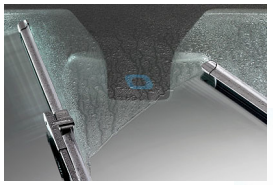




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

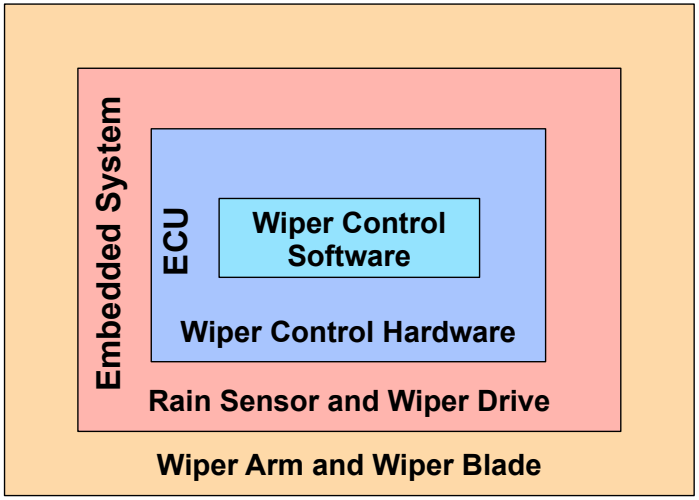
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

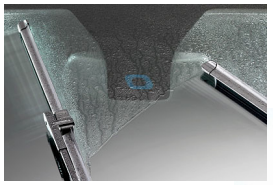




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

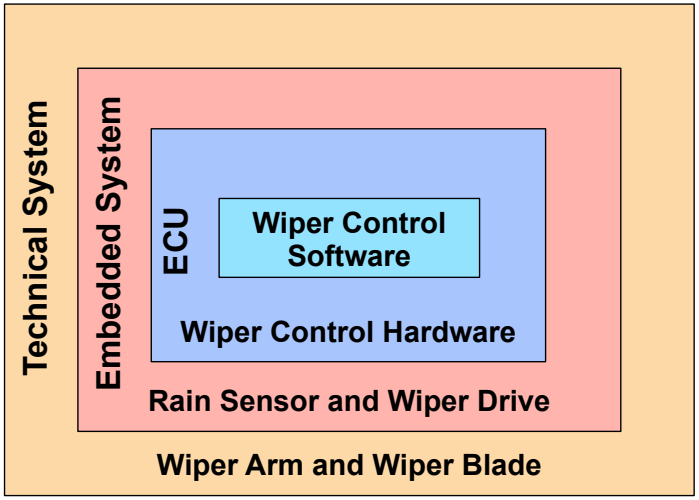
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

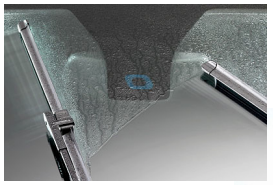




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

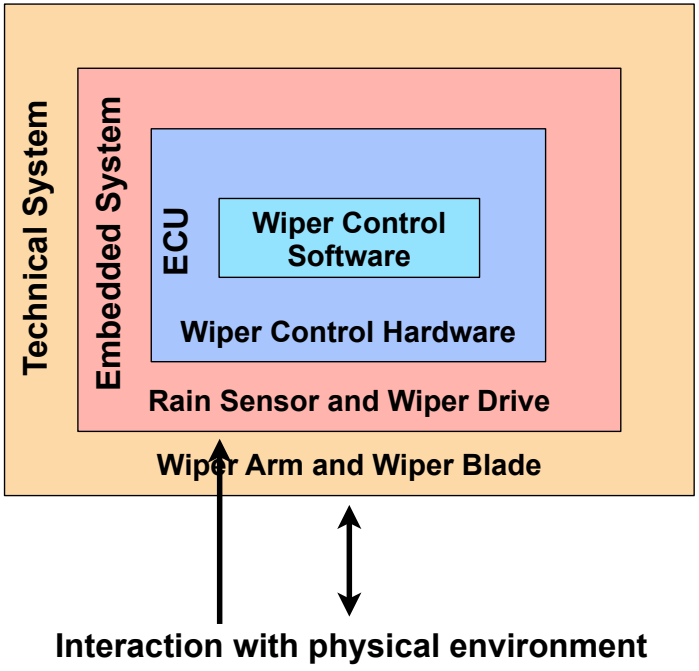
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

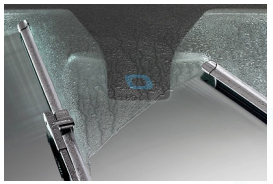




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

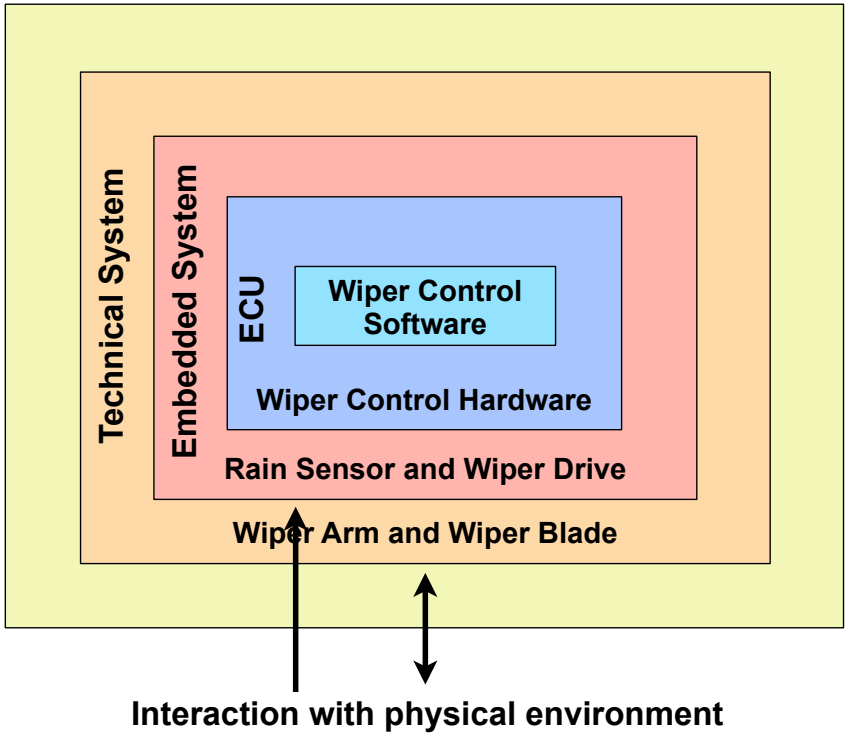
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

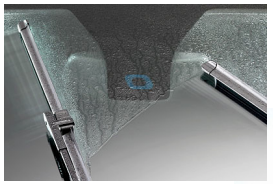




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

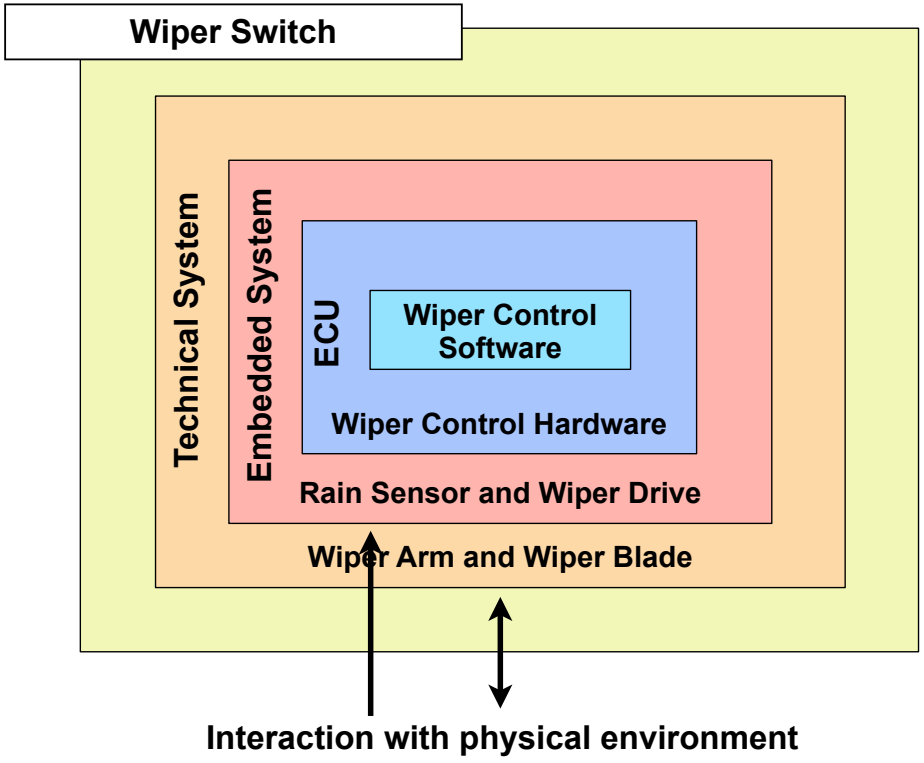
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

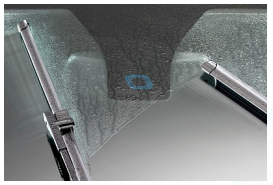




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

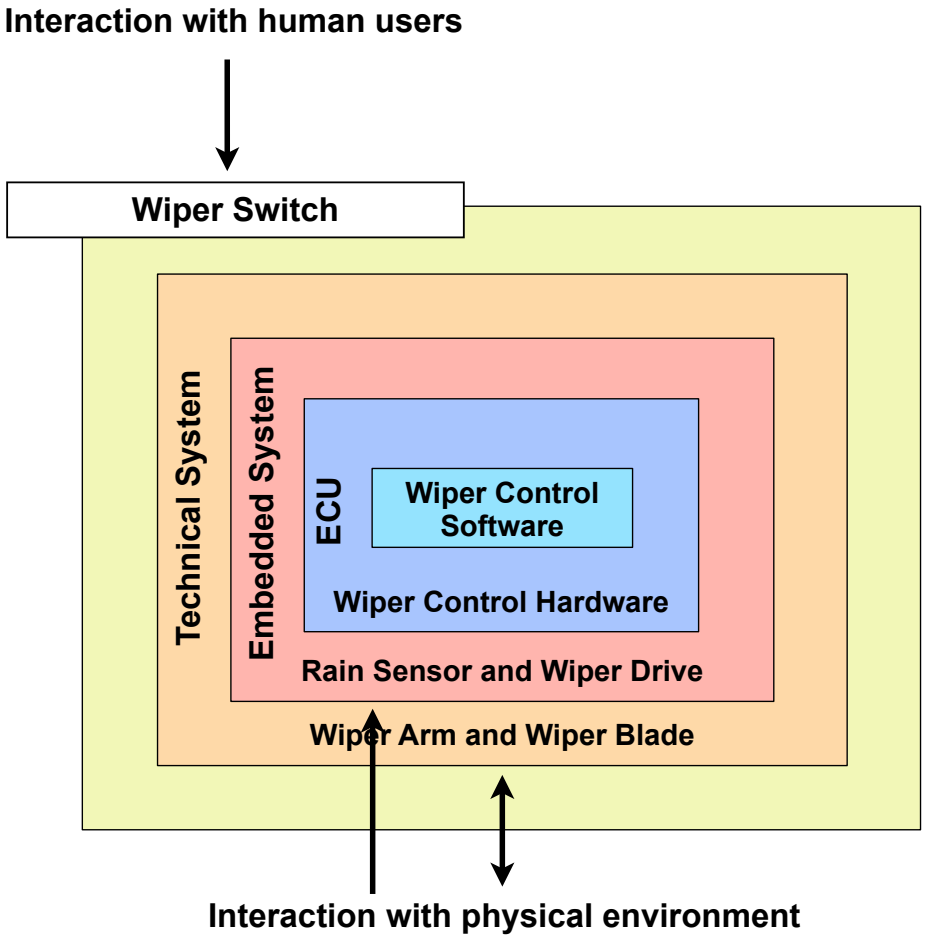
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

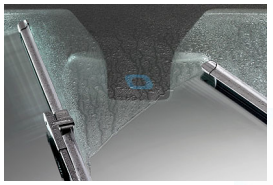




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

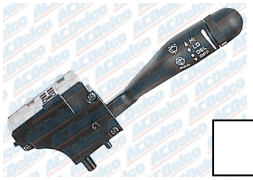
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

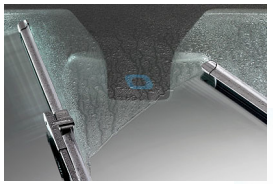




- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

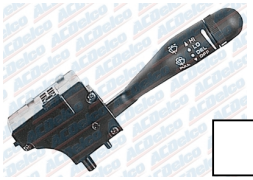
Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS

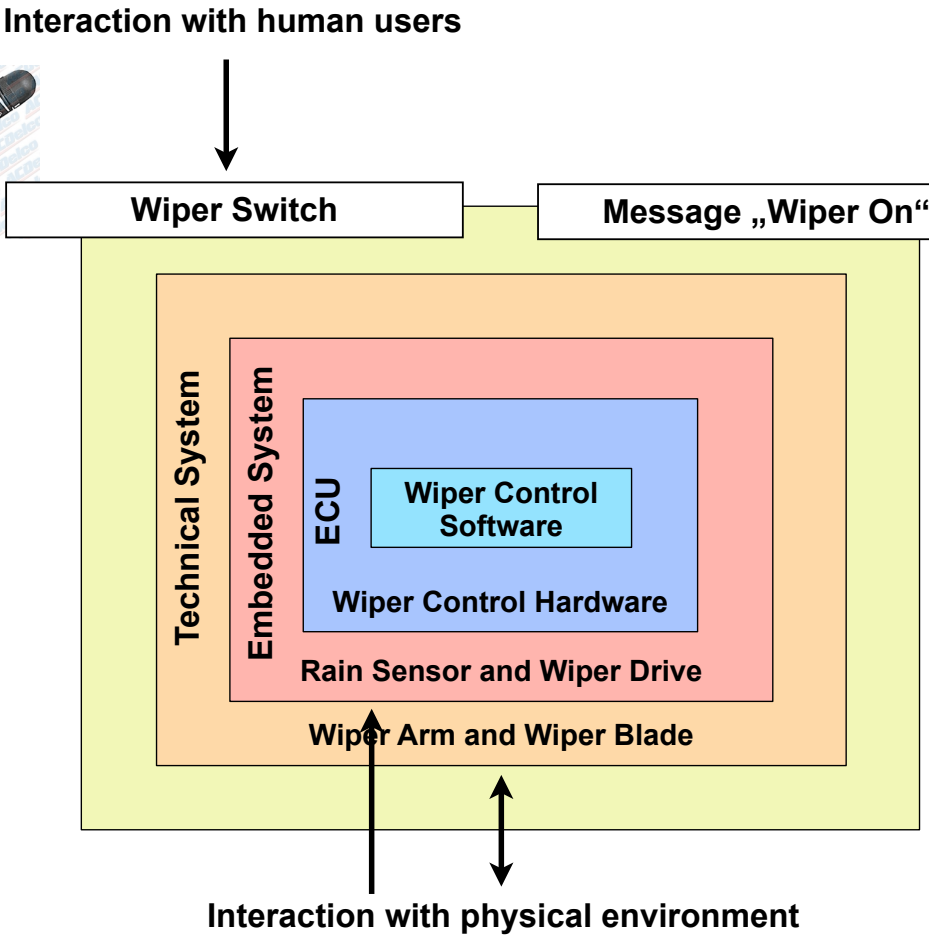


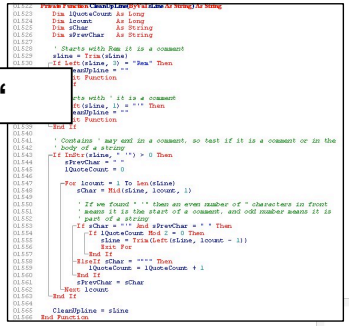


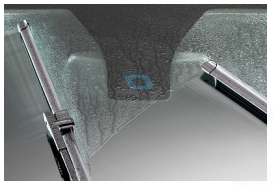
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS



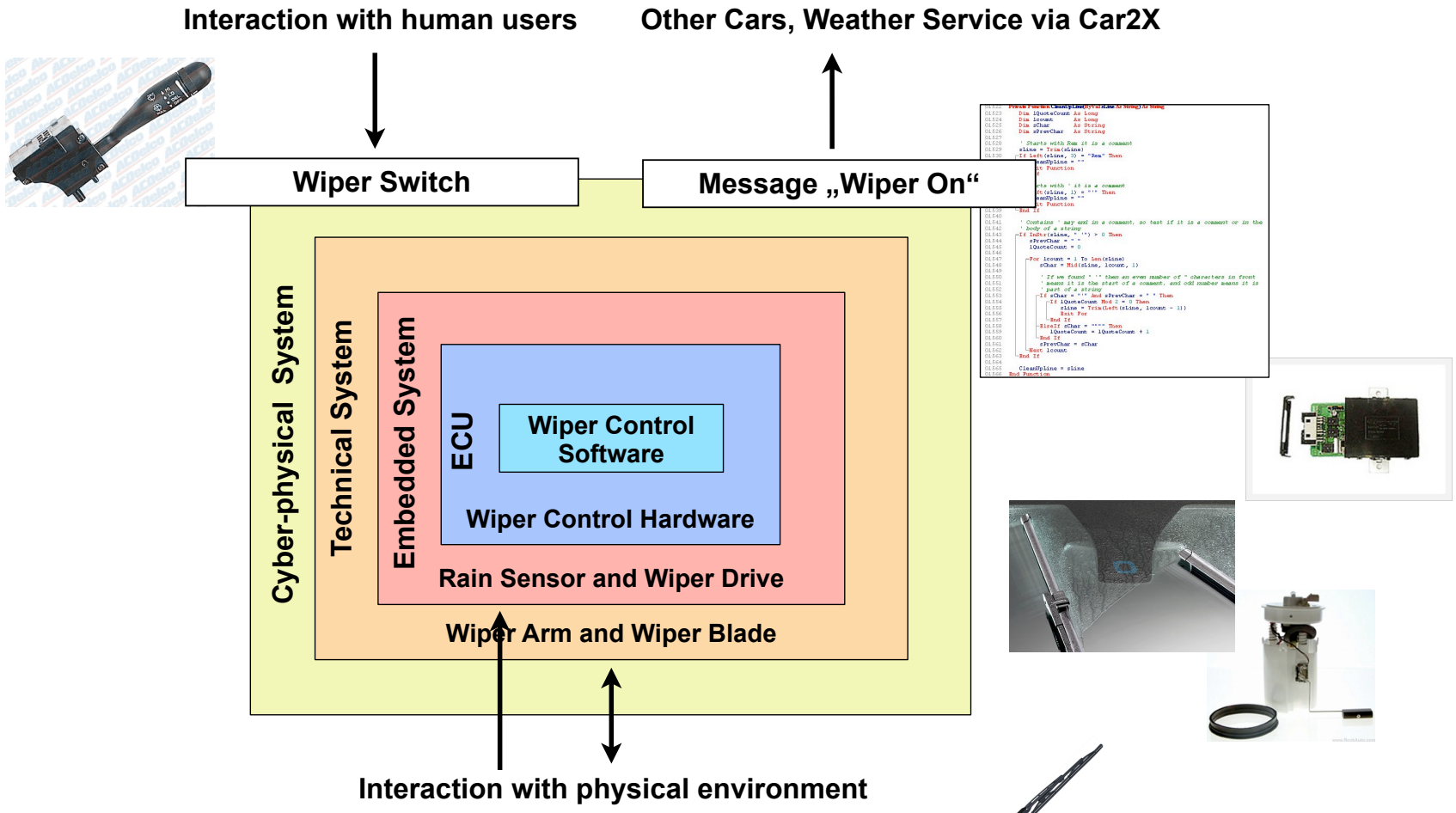






- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

Onion ring like structure of CPS (modified and enhanced): Example of a simple CPS



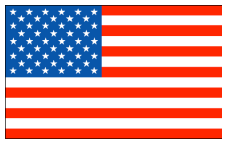
- Source: Manfred Broy, Complex Systems Modeling and Engineering and CPS research, CPS Principal Investigator Meeting 2011 (http://www.cps-vo.org/group/pimtg11)

acatech
Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

About the term “cyber-physical systems”

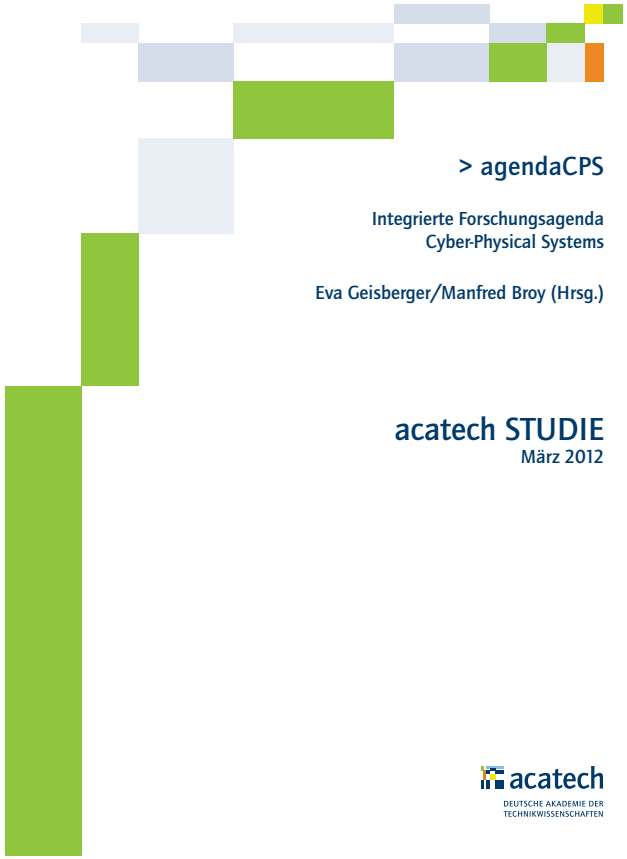
- The term cyber-physical systems (CPS) is used to describe software-intensive embedded systems that are connected to services available around the world through global networks such as the Internet, and their diverse potential for development and utilisation. Driven by increasing computing power and the continuing penetration of digital solutions into everyday processes in work and life, over the past few years research activities have expanded in the wide-ranging, interdisciplinary field of networking the digital and physical worlds, with the associated scientific, technical and economic challenges. The initial work referred to under the umbrella of CPS, and also triggered by varied scientific and socio-economic objectives, aims to integrate mechanical, control-system and digital aspects and the subsequent applications. Moreover, it is concerned with the potential of this networking (the “Internet of things” concept) and the resulting revolution in the economy and in society.
- Quelle:
  acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
  Agenda Cyber-physical Systems
  Outlines of a new Research domain
  Intermediary Results | January 2011

National Science Foundation (NSF)



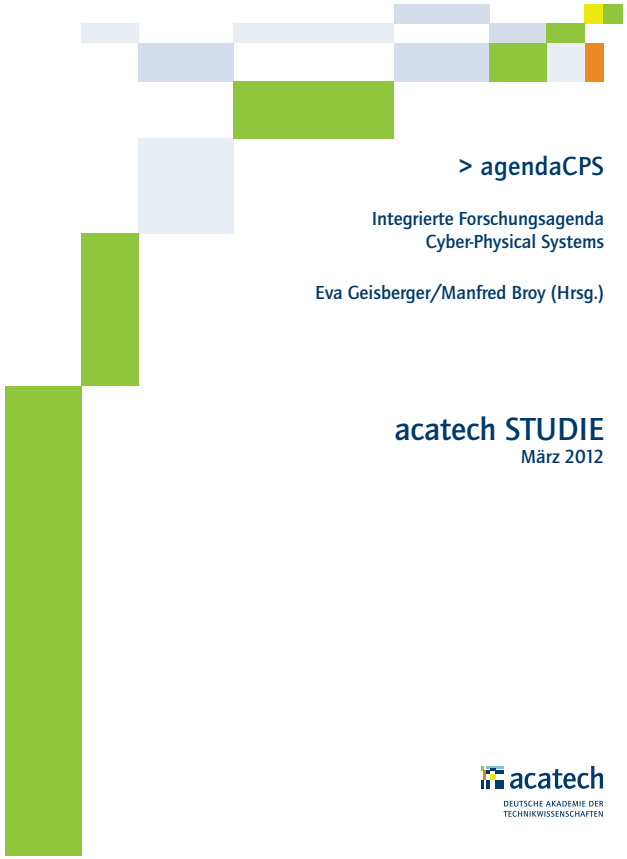
- Cyber-physical systems (CPS) are engineered systems that are built from and depend upon the synergy of computational and physical components. Emerging CPS will be coordinated, distributed, and connected, and must be robust and responsive. The CPS of tomorrow will need to far exceed the systems of today in capability, adaptability, resiliency, safety, security, and usability. Examples of the many CPS application areas include the smart electric grid, smart transportation, smart buildings, smart medical technologies, next-generation air traffic management, and advanced manufacturing. CPS will transform the way people interact with engineered systems, just as the Internet transformed the way people interact with information. However, these goals cannot be achieved without rigorous systems engineering.
- Quelle: http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286

agendaCPS (1)



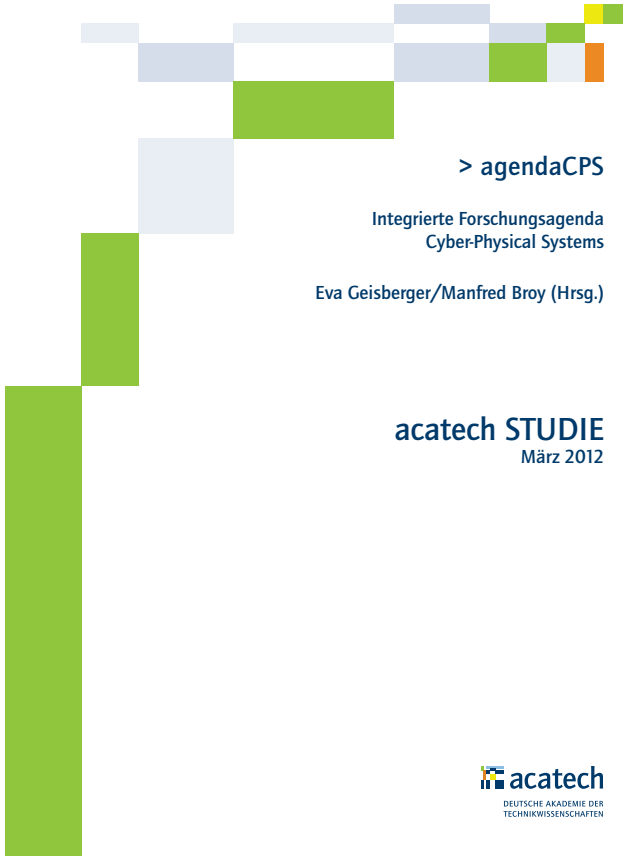
- Studie der acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSEN-SCHAFTEN www.acatech.de
- 300 Seiten pdf
- AUTOREN
  - Dr. Eva Geisberger, fortiss GmbH
  - Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Broy, Technische Universität München
  - Dr. María Victoria Cengarle, fortiss GmbH
  - Patrick Keil, fortiss GmbH
  - Jürgen Niehaus, SafeTRANS e. V.
  - Dr. Christian Thiel, BICCnet Bavarian Information and Communication Technology Cluster
  - Hans-Jürgen Thönnißen-Fries, ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH
- PROJEKTLEITUNG
  - Prof. Dr. Dr. h. c. Manfred Broy, Technische Universität München

agendaCPS (2)



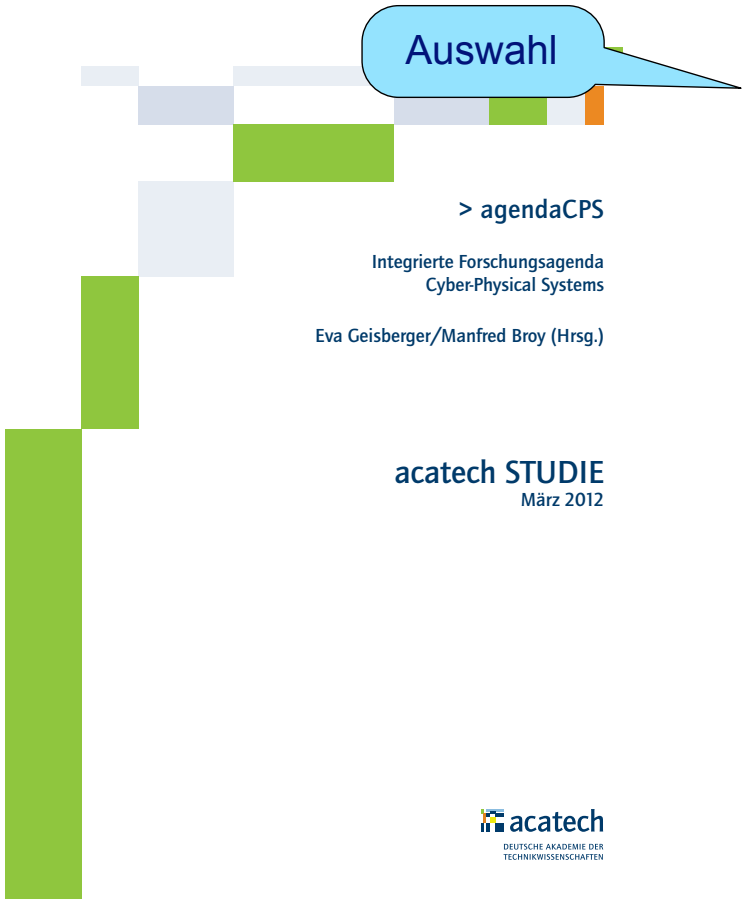
- FACHLICHE LEITUNG
  - Dr. Eva Geisberger, fortiss GmbH
- PROJEKTGRUPPE
  - Dr. Heinz Derenbach, Bosch Software Innovations GmbH
  - Prof. Dr.-Ing. José L. Encarnação, Technische Universität Darmstadt
  - Prof. Dr. Otthein Herzog, Universität Bremen und Jacobs University Bremen
  - Prof. Dr. Wolfgang Merker
  - Hannes Schwaderer, Intel GmbH
  - Dr. Reinhard Stolle, BMW AG
- PROJEKTLAUFZEIT
  - 1. Mai 2010 – 31. Januar 2012

agendaCPS (3)



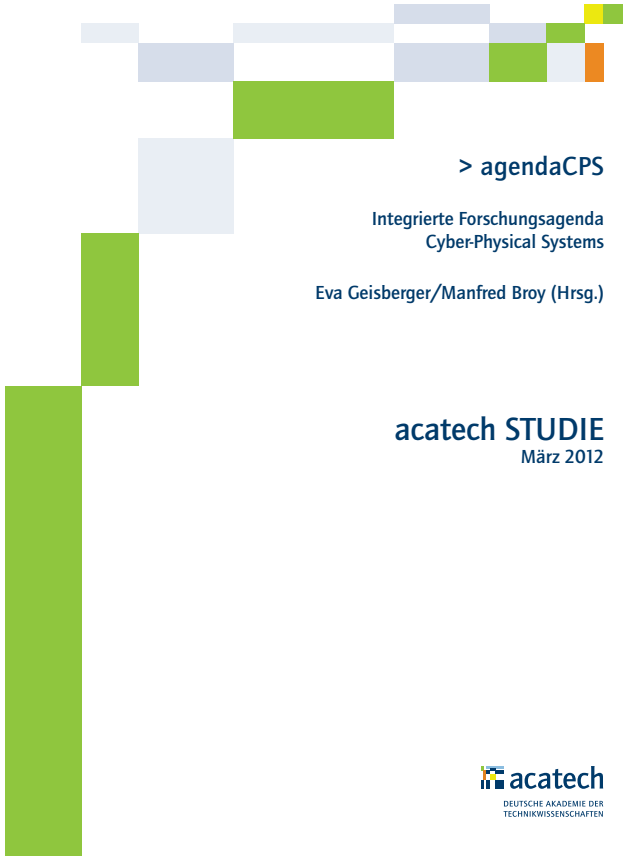
- WIR DANKEN DEN FOLGENDEN PERSONEN FÜR IHRE EXPERTISE UND WERTVOLLEN BEITRÄGE:
  - Ottmar Bender, Cassidian
  - Thomas Benedek, BMW Car IT GmbH
  - Prof. Dr.-Ing. Jana Dittmann, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg
  - Prof. Dr.-Ing. Jörg Eberspächer, Technische Universität München
  - Prof. Dr. Bernhard Josko, OFFIS e. V.
  - Prof. Dr. Dres. h. c. Arnold Picot, Ludwig-Maximilians-Universität München
  - Christine Rossa, Robert Bosch GmbH
  - Dr. Harald Rueß, fortiss GmbH
  - Dr. Thomas Stauner, BMW AG
  - Dr. Mario Trapp, Fraunhofer IESE
  - Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser, Technische Universität München, AIS
  - Dr. Kay Werthschulte, ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH

agendaCPS (3)



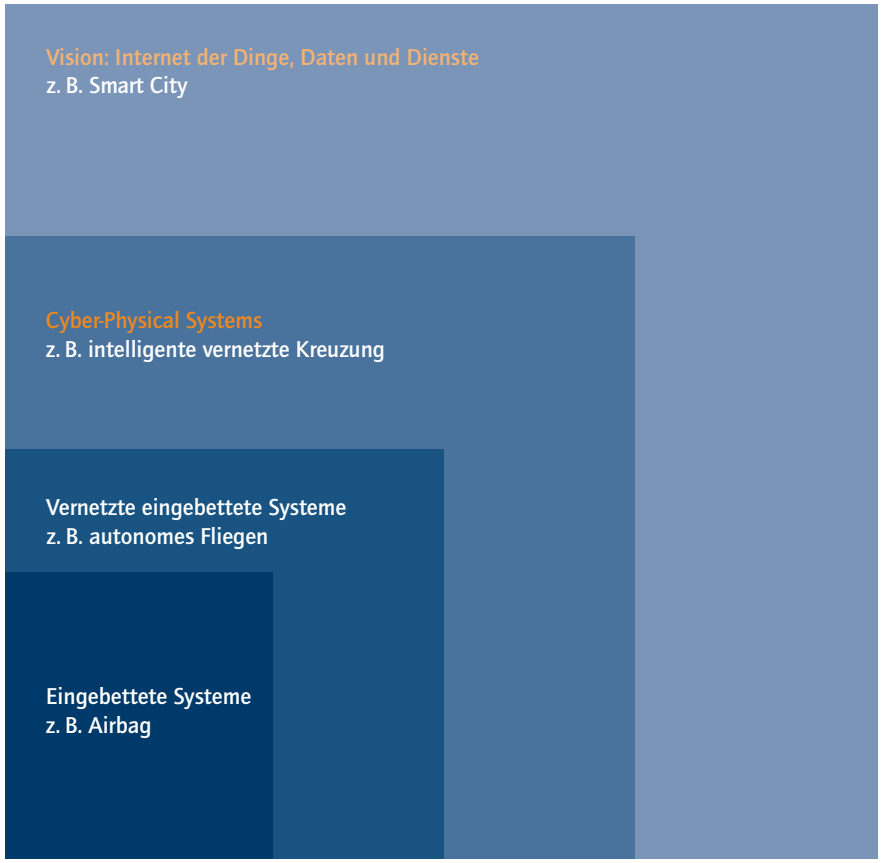
- WIR DANKEN DEN FOLGENDEN PERSONEN FÜR IHRE EXPERTISE UND WERTVOLLEN BEITRÄGE:
  - Ottmar Bender, Cassidian
  - Thomas Benedek, BMW Car IT GmbH
  - Prof. Dr.-Ing. Jana Dittmann, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg
  - Prof. Dr.-Ing. Jörg Eberspächer, Technische Universität München
  - Prof. Dr. Bernhard Josko, OFFIS e. V.
  - Prof. Dr. Dres. h. c. Arnold Picot, Ludwig-Maximilians-Universität München
  - Christine Rossa, Robert Bosch GmbH
  - Dr. Harald Rueß, fortiss GmbH
  - Dr. Thomas Stauner, BMW AG
  - Dr. Mario Trapp, Fraunhofer IESE
  - Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser, Technische Universität München, AIS
  - Dr. Kay Werthschulte, ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH

agendaCPS (4)



- PROJEKTBEIRAT
  - Dr. Reinhold Achatz, Siemens AG
  - Prof. Dr. Heinrich Dämbkes, Cassidian
  - Prof. Dr. Werner Damm, Universität Oldenburg (Sprecher des Beirats)
  - Dr. Klaus Grimm, Daimler AG
  - Harald Hönninger, Robert Bosch GmbH
  - Prof. Dr. Peter Liggesmeyer, Fraunhofer IESE
- http://www.acatech.de/de/publikationen/studien.htm
- http://www.acatech.de/de/publikationen/empfehlungen/acatech/detail/artikel/acatech-studie-agendacps-integrierte-forschungsagenda-cyber-physical-systems.html

Evolution vom eingebetteten System zum Internet der Dinge, Daten und Dienste



CPS: Konvergenz von eingebetteten Systemen und globalen Datennetzen (1)

CPS: Konvergenz von eingebetteten Systemen und globalen Datennetzen (1)

Technische Systeme mit eingebetteter Software

CPS: Konvergenz von eingebetteten Systemen und globalen Datennetzen (1)

Technische Systeme mit eingebetteter Software

Globale Datennetze mit verteilten und interaktiven Anwendungssystemen

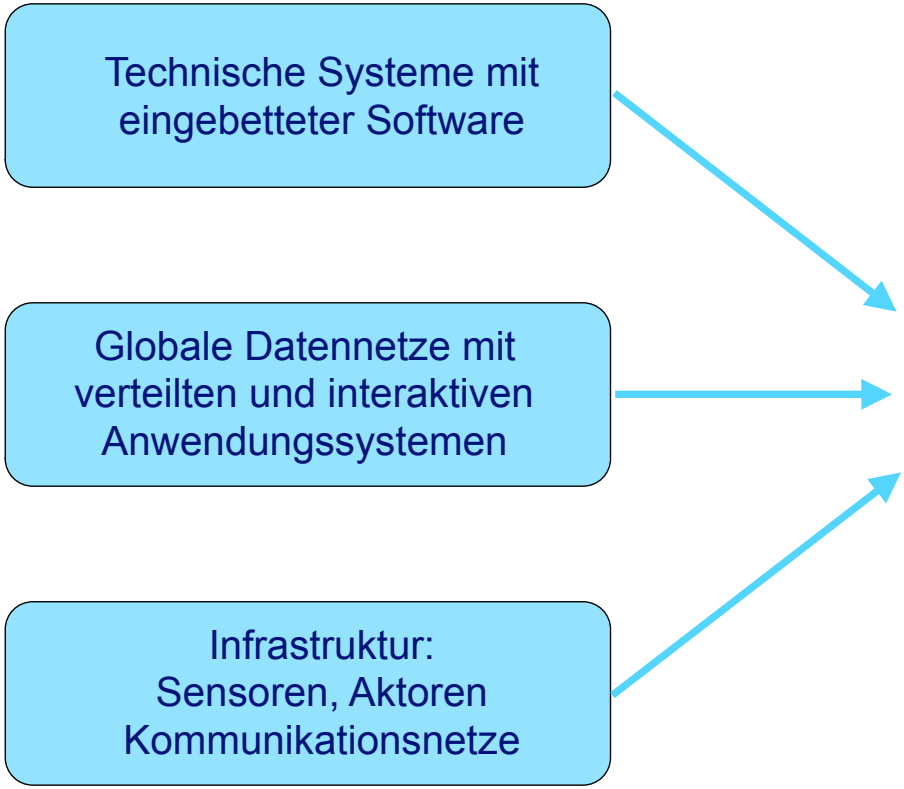
CPS: Konvergenz von eingebetteten Systemen und globalen Datennetzen (1)

Technische Systeme mit eingebetteter Software

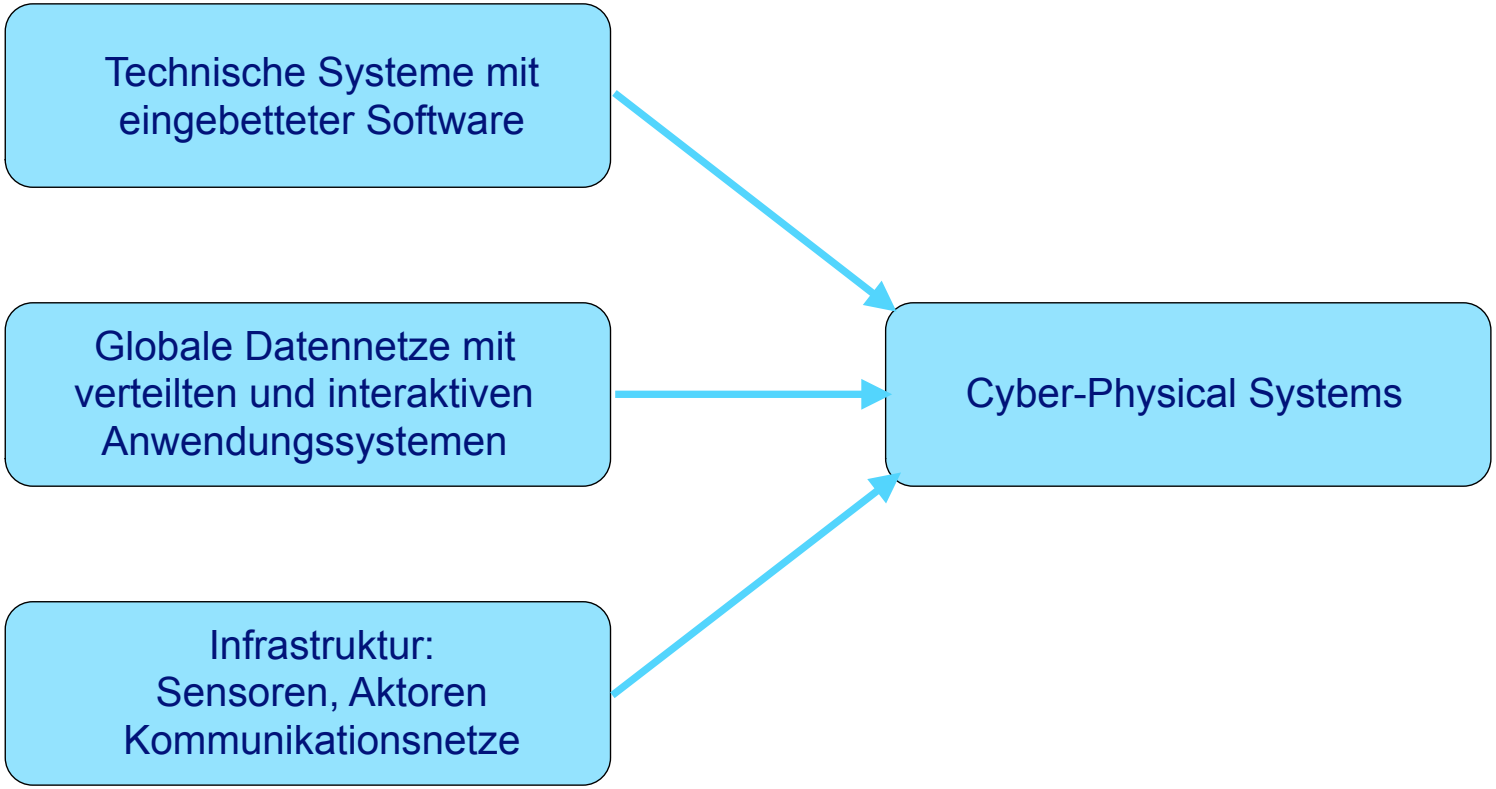
Globale Datennetze mit verteilten und interaktiven Anwendungssystemen

Infrastruktur:
Sensoren, Aktoren
Kommunikationsnetze

CPS: Konvergenz von eingebetteten Systemen und globalen Datennetzen (1)



CPS: Konvergenz von eingebetteten Systemen und globalen Datennetzen (1)

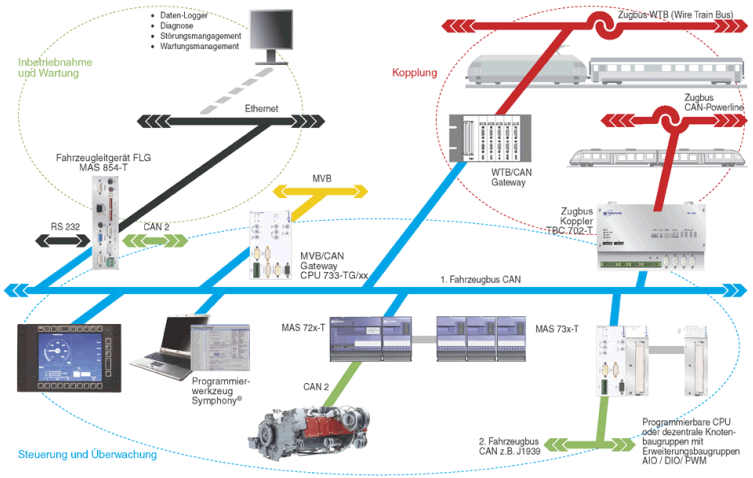


CPS: Konvergenz von eingebetteten Systemen und globalen Datennetzen (2)

- Wesentliche Treiber (Technologien und Trends)
  - Die Nutzung leistungsfähiger intelligenter eingebetteter Systeme, mobiler Dienste und eines allgegenwärtigen (Ubiquitous) Computing
    - Heute: Geschlossene Systeme, teilweise vernetzt und kooperativ.
    - Beispiele: Automobilbranche, Luftfahrt, Produktion, (Eisenbahnen)
      - Ortsgebundene und zunehmend mobile Sensor-, Regelungs- und Steuerungsdienste
    - Nutzung von Mobilitätsdiensten und weiteren Diensten aus dem Netz
  - Die Nutzung des Internets als Business Web (Plattform für wirtschaftliche Kooperationen)
    - Zustands- und Umgebungsbeobachtung sowie das „Gedächtnis“ der digitalen Komponenten
      - Intelligente, vernetzte und mit Sensoren ausgestattete Komponenten: Beispiel RFID-Technik
      - Informationen über Ort, Zeit, Zustand, Temperatur, Feuchtigkeit, Geschwindigkeit, ...
      - Anwendungsbereiche: Handel, Logistik, Fernwartung, Flottenmanagement
    - Verlagerung klassischer IT- und Verwaltungsaufgaben in die Cloud
      - Weltweit verteilte externe Dienstleister, Betrieb ist unabhängig von ortsgebundenen Rechenzentren.
  - Die Nutzung des semantischen Webs und von Verfahren des Web 2.0 und der interaktiven Gestaltung integrierter Dienste

Warum (Eisenbahnen) und nicht Eisenbahnen?

- Eisenbahnen kommen in der Agenda CPS nur am Rande vor
- Eisenbahnen haben heute schon wesentliche Elemente von CPS



- Beispiel Leit- und Sicherungstechnik
  - TCMS (Train Control and Monitoring System)
  - Kommunikation zwischen Zügen und Infrastruktur
  - Beeinflussung der Züge durch die Infrastruktur

- Beispiel Strassenbahnen
  - Kommunikation zwischen Zügen und Infrastruktur
    - Ampelfreischaltung
    - Aktuelle Ankunftszeiten

Foto: Lars Brüggemann www.larsbrueggemann.de

Charakterisierung von Cyber-Physical Systems - CPS (1)

- Cyber-Physical Systems umfassen **eingebettete Systeme, also Geräte, Gebäude, Verkehrsmittel und medizinische Geräte,** aber auch **Logistik-, Koordinations- und Managementprozesse** sowie **Internet-Dienste**, die
  - mittels **Sensoren** unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels **Aktoren** auf physikalische Vorgänge einwirken,
  - Daten auswerten und speichern sowie auf dieser Grundlage aktiv oder reaktiv **mit der physikalischen und der digitalen Welt interagieren**,
  - **mittels digitaler Netze untereinander verbunden** sind, und zwar sowohl drahtlos als auch drahtgebunden, sowohl lokal als auch global,
  - **weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen**,
  - über eine Reihe **multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen** verfügen, also sowohl für Kommunikation und Steuerung differenzierte und dedizierte Möglichkeiten bereitstellen, zum Beispiel Sprache und Gesten.

Charakterisierung von Cyber-Physical Systems - CPS (2)

- Cyber-Physical Systems ermöglichen eine **Reihe von neuartigen Funktionen, Diensten und Eigenschaften**, die über die heutigen Fähigkeiten eingebetteter Systeme mit kontrolliertem Verhalten weit hinausgehen. Leistungsstarke Cyber- Physical Systems können ihre verteilte **Anwendungs- und Umgebungssituation unmittelbar erfassen**, zusammen mit den Nutzern interaktiv beeinflussen und ihr Verhalten im Hinblick auf die jeweilige Situation gezielt steuern. Auf diesem Weg erbringen die Systeme ihre Dienste
  - weitgehend ortsunabhängig,
  - jedoch kontextspezifisch („Context Aware“),
  - angepasst an die Erfordernisse der Anwendungssituation,
  - teilautonom,
  - teilautomatisiert,
  - multifunktional sowie
  - vernetzt und verteilt für die jeweiligen Anwender und Stakeholder.

Charakterisierung von Cyber-Physical Systems - CPS (3)

- **Beispiele sind** die situationsgerechte Steuerung i**ntegrierter Verkehrslösungen** oder die **Koordination medizinischer Dienste** über das Internet. Besonders bemerkenswert ist die direkte **Einbindung von Cyber-Physical Systems in die physikalische Realität** („Real World Awareness“).
- Die Analyse dieser Charakterisierung und der neuen Fähigkeiten von Cyber-Physical Systems und ihres vielfältigen Anwendungs- und Innovationspotenzials ist ein zentraler Beitrag der vorliegenden Agenda.

- Quelle: agendaCPS, 1.2.2 INITIALE CHARAKTERISIERUNG VON CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

agendaCPS - Inhaltsverzeichnis

1. EINFÜHRUNG
2. CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: VISIONEN, CHARAKTERISTIKA UND NEUE FÄHIGKEITEN
    1. Ineinandergreifende Anwendungsbereiche
    2. Smart Mobility – Assistenz, Komfort und Sicherheit durch kooperierende Systeme
    3. Individuelle und sichere Versorgung – integrierte Betreuung in der Medizin
    4. Smart Grid
    5. Intelligente Fabrik – vernetzte, adaptive und echtzeitfähige Produktion
    6. Charakteristische Fähigkeiten und Potenziale von Cyber-Physical Systems
3. CPS-THEMENFELDER
    1. Intelligente Infrastruktur und erforderliche Domänenmodelle
    2. Vernetztes Handeln in ungewissen physikalischen und sozialen Umgebungen
    3. Mensch-Maschine-Interaktion und geteilte Kontrolle
    4. Wesentliche Akzeptanzfaktoren: Brauchbarkeit, Transparenz, Sicherheit und Aufbau von Vertrauen
    5. Zusammenfassung von CPS-Fähigkeiten und der wesentlichen Herausforderungen, die sich daraus ergeben
    6. Revolutionäre und evolutionäre Systeme mit ihren Herausforderungen für das Engineering
4. POLITISCHE UND GESELLSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN
    1. Technikfolgen, gesellschaftliche Spannungsfelder und interdisziplinäre Forschungsfragen
    2. Privatsphäre und Datenschutz
5. TECHNOLOGIE- UND ENGINEERING-HERAUSFORDERUNGEN
    1. Technologien zur Realisierung der besonderen Fähigkeiten von Cyber-Physical Systems
    2. Technologien zur Umsetzung nichtfunktionaler Anforderungen – Sicherheit und Schutz der Privatsphäre
    3. Engineering-Konzepte und Kompetenzen
    4. Zusammenfassung der technologischen Herausforderungen
6. GESCHÄFTSMODELLE UND ÖKOSYSTEME
7. STANDORTBESTIMMUNG, ANALYSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

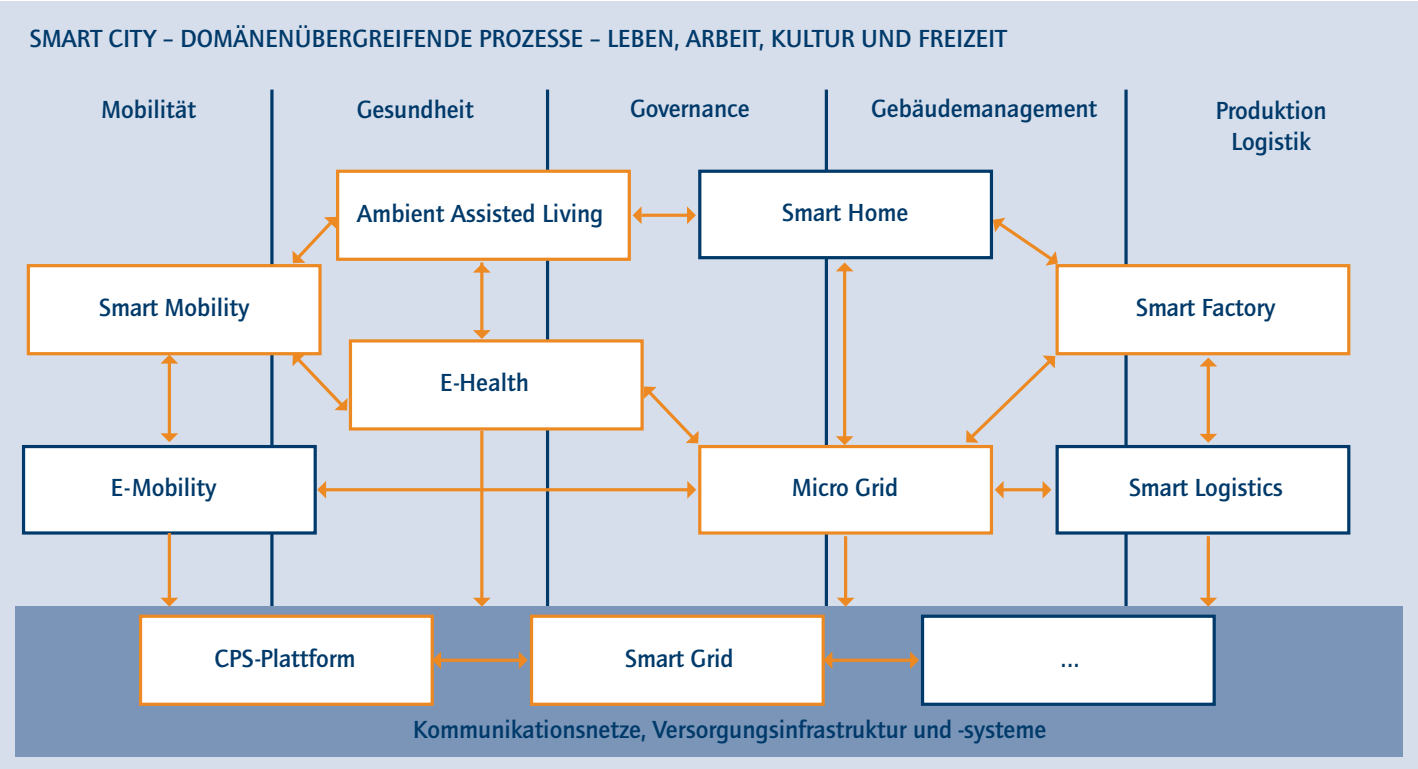
ANHANG A: STAND DER FORSCHUNG UND TECHNIK

ANHANG B: INTEROPERABILITÄTS- UND QOS-PLATTFORMDIENSTE AM BEISPIEL ... FAHRZEUG

agendaCPS Kapitel 2
CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: VISIONEN, CHARAKTERISTIKA UND NEUE FÄHIGKEITEN

- Der Zielsetzung der Agenda folgend werden in Kapitel 2 zunächst Technologie- und **Anwendungstrends von Cyber-Physical Systems** anhand ausgewählter **Zukunftsszenarien** herausgearbeitet. Diese sind die Grundlage für die Charakterisierung von Cyber-Physical Systems, ihrer Fähigkeiten sowie ihres Nutzen- und Innovationspotenzials. **Ausgewählte Anwendungsfelder** und -szenarien sind:
  - intelligente Mobilitätskonzepte mit umfassenden Koordinations-, Komfort- und Sicherheitsdiensten,
  - Telemedizin und umfassende Betreuung von Patienten – auch über medizinische Anwendungsplattformen und mithilfe von Communities im Internet,
  - Smart Grid, also die verteilte und teilweise autonome Steuerung von Stromerzeugung, Speicherung, Verbrauch und Netzbetriebsmitteln in Netzen der Elektrizitätsversorgung, sowie
  - eine intelligente und flexibel vernetzte Produktion.
- Im Rahmen systematischer Analysen dieser Szenarien werden **wesentliche Eigenschaften und neue Fähigkeiten von Cyber-Physical Systems** charakterisiert. Diese werden unter folgenden Gesichtspunkten analysiert:
  - zunehmende Offenheit der Systeme,
  - intelligente teilautonome Vernetzung,
  - Adaption und
  - neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion.
- Quelle: agendaCPS, 1.1.1 STRUKTUR DES BERICHTS

Ineinandergreifende CPS-Anwendungsbereiche und übergreifende Nutzungsprozesse (1)

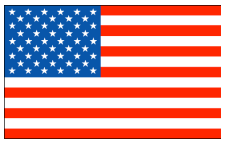


Quelle: agendaCPS Abbildung 2.1

Seminar Cyber-Physical Systems
Literatur

- agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems
  Eva Geisberger/Manfred Broy (Hrsg.)
  acatech STUDIE März 2012
  http://www.acatech.de/de/publikationen/studien.html
- Literaturverzeichnis der agendaCPS
  30 Seiten mit zahlreichen englischsprachigen Quellen
  Viele Quellen über Internetadresse referenziert
- http://www.acatech.de/?id=1405 (Projektseite)
  http://www.acatech.de/de/projekte/laufende-projekte/integrierte-forschungsagenda-cyber-physical-systems.html
- http://www.sit.fraunhofer.de/de/kompetenzfelder/cyber-physical-systems.html
- http://www.dfki.de/web/forschung/cps
- http://www12.informatik.uni-erlangen.de/edu/cps/WS0910/
- http://www.esi-anwendungszentrum.de/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=64
- http://www.esg.de/unternehmen/cyber-physical-systems/
- http://www.fortiss.org/de/forschung/gruppen/cyber-physical-systems.html
- VDE Dialog 02/2012, Schwerpunktthema Smart Grid
  - Beitrag Prof. Wahlster: Die 4. Industrielle Revolution

Seminar Cyber-Physical Systems
Literatur



- National Science Foundation (NSF)
  Directorate for Computer & Information Science & Engineering
  Cyber-Physical Systems (CPS)
  http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286 Cyber Physical Systems
- NFS Konferenz Oktober 2006 http://varma.ece.cmu.edu/CPS/
- Virtual Organization (CPS-VO) http://cps-vo.org/
- CPS Principal Investigator Meeting August 2011 http://www.cps-vo.org/group/pimtg11
- http://chess.eecs.berkeley.edu/cps/

Literatur

- P. Liggesmeyer, D. Rombach (Hrsg.): SW Engineering eingebetteter Systeme, Elsevier, 2005.
- agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems
  Eva Geisberger/Manfred Broy (Hrsg.)
  acatech STUDIE März 2012
  http://www.acatech.de/de/publikationen/studien.html
- Literaturverzeichnis agendaCPS (30 Seiten)