



Vorlesung

Automotive Software Engineering

Teil 8-3 Beispiele aus der Praxis

Sommersemester 2014

Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Hohlfeld

Bernhard.Hohlfeld@mailbox.tu-dresden.de

Technische Universität Dresden, Fakultät Informatik

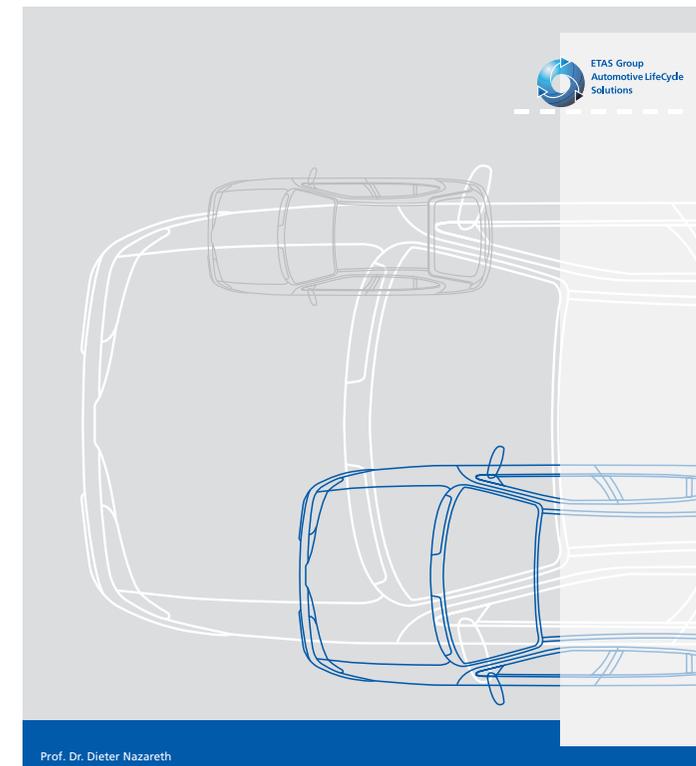
Honorarprofessur Automotive Software Engineering

Vorlesung Automotive Software Engineering

ETAS

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

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

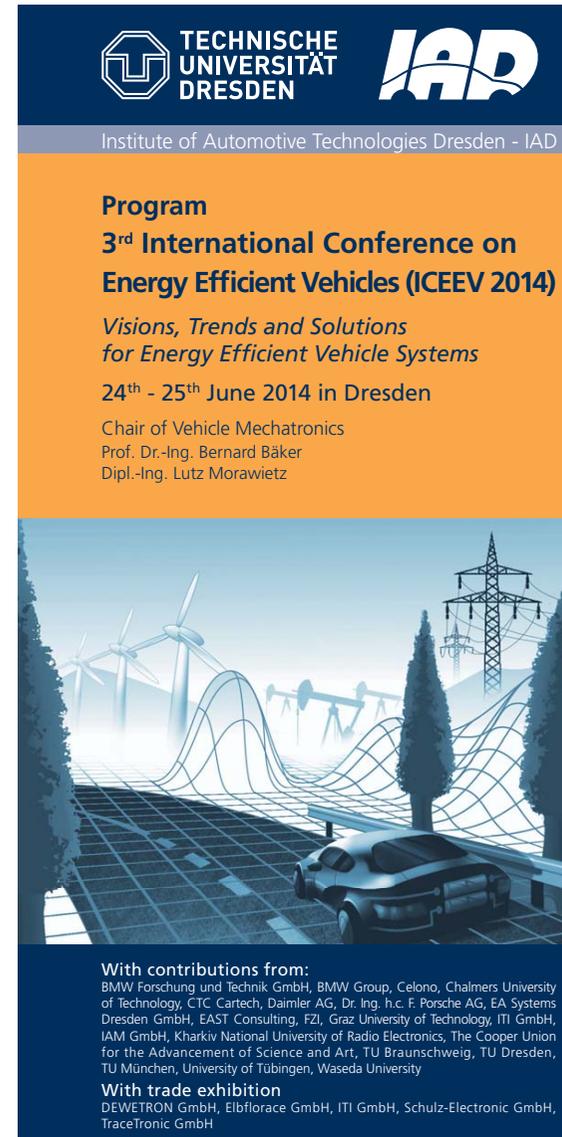


Lernziele Beispiele aus der Praxis

- Das Gelernte an einem praxisnahen Beispiel wieder erkennen und vertiefen.

Energieeffizienz

- Fachtagung 3rd International Conference on Energy Efficient Vehicles (ICEEV 2014)
24. und 25. Juni 2014 in Dresden
- <http://www.iceev.eu/index.php?id=3>
- Organisation
Prof. Bäker
TU Dresden
Lehrstuhl Fahrzeugmechatronik
- Beiträge / Aussteller
 - ITI GmbH
 - TraceTronic GmbH



The poster features a blue header with the TU Dresden logo and 'IAD' logo. Below the header, the text is set against an orange background. The bottom half of the poster shows a stylized illustration of a car on a road with wind turbines and power lines in the background.

 TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN 

Institute of Automotive Technologies Dresden - IAD

Program
3rd International Conference on Energy Efficient Vehicles (ICEEV 2014)
Visions, Trends and Solutions for Energy Efficient Vehicle Systems
24th - 25th June 2014 in Dresden
Chair of Vehicle Mechatronics
Prof. Dr.-Ing. Bernard Bäker
Dipl.-Ing. Lutz Morawietz

With contributions from:
BMW Forschung und Technik GmbH, BMW Group, Celono, Chalmers University of Technology, CTC Cartech, Daimler AG, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, EA Systems Dresden GmbH, EAST Consulting, FZI, Graz University of Technology, ITI GmbH, IAM GmbH, Kharkiv National University of Radio Electronics, The Cooper Union for the Advancement of Science and Art, TU Braunschweig, TU Dresden, TU München, University of Tübingen, Waseda University

With trade exhibition
DEWETRON GmbH, Elbflorace GmbH, ITI GmbH, Schulz-Electronic GmbH, TraceTronic GmbH

Energieeffizienz

- In der aktuellen Debatte wird Energieeffizienz oft mit Elektromobilität gleichgesetzt.
- Das ist falsch.
- Richtig ist: Elektrifizierung kann (neben anderen konstruktiven Massnahmen) zur Energieeffizienz beitragen.
 - Beispiel: Elektrische Lenkungen reduzieren den Treibstoffverbrauch um bis zu 0,8 l/km und den CO₂-Ausstoss um bis zu 20 g/km
Quelle: Electric power steering in all vehicle classes – state of the art
Alexander Gaedke et. al., ZF Lenksysteme GmbH, siehe Teil 4 der Vorlesung, Abschnitt „Elektromechanische Lenkungen“



- Andere (nicht konstruktive) Massnahmen?

Energieeffizienz - Konstruktive Massnahmen

	Verbrennungs- -motor	Elektro- motor	Elektrifizie- rung von Neben- aggregaten	Leichtbau	Aero- dynamik	...
Elektro- fahrzeuge		X	X	X	X	
Hybrid- fahrzeuge	X	X	X	X	X	
Fahrzeug mit Verbren- nungsmotor	X		X	X	X	

- Beispiel: BMW EfficientDynamics, Quelle Dr. Johannes Liebl, BMW AG
 - Erster Eindruck: Marketing gag - Falsch!
 - Zweiter Eindruck: Gutes Beispiel für angewandtes Systems Engineering

Batterie Management System (BMS) (1)

- Elektrifizierung von Nebenaggregaten trägt zur Energieeffizienz bei durch Entkopplung von Energieerzeugung und Energieverbrauch mittels Energiespeicherung in der Batterie.
 - „Elektrische Energie situativ abrufen“
- Der Einsatz von Batterien wird durch ein Batterie Management System (BMS) unterstützt.
 - Messen, überwachen und anzeigen von
 - Spannung
 - Strom
 - Ladungszustand
 - Temperatur
 - ...



Batterie Management System (BMS) (2)

- Aufgaben eines Batterie Management Systems (BMS):
 - Berechnung der elektrischen Reichweite
 - Start- / Stop-Automatik
 - Abschalten von „unwichtigen“ Verbrauchern wenn die Versorgung von „wichtigen“ Verbrauchern gefährdet ist
 - Beispiele für „unwichtige“ Verbraucher?
 - Beispiele für „wichtige“ Verbraucher?
 - Entdeckung von unerwünschten und(oder gefährlichen Zuständen der Batterie
 - ...



Batterie Management System (BMS) (3)

- Das Batterie Management System (BMS) ist sicherheitsrelevant
- ISO 26262-6 6.4.1 The software safety requirements shall address each software-based function whose failure could lead to a violation of a technical safety requirement allocated to software.

EXAMPLE

Functions whose failure could lead to a violation of a safety requirement can be:

- functions that enable the system to achieve or maintain a safe state;
 - functions related to the detection, indication and handling of faults of safety-related hardware elements;
-
- BMS is a software based function which detects, indicates and handles faults of the safety-related hardware element battery

Batterie Management Systems (BMS) (4)

- BMS is classified as ASIL C by German automotive industry
 - ASIL = Automotive Safety Integrity Level according to ISO 26262, from A (low) to D (high)
 - ASIL C implies requirements for development and documentation
 - The line of argumentation below is not necessarily the same as in the „official“ classification but it arrives at the same result

機能安全規格対応を柔軟にサポート！

ISO26262 支援サービス！

認証取得支援サービス

推進プロジェクト支援

教育研修プログラム

ISO26262 スタートアップ研修から
各種研修、安全推進プロジェクト支援、
規格認証取得コンサルティング支援まで、

迷わずスムーズにお悩み解決！

岡野アイエスコンサルティング(株)は、ドイツの審査機関で多数の審査実績を持ち、豊富なコンサルティング経験のある日本人の専門コンサルタントが、ISO26262規格において、対応を迫られている企業様を強力かつ柔軟にサポートいたします。認証支援は勿論、推進PJ支援、各種教育・研修などご期待にお応えいたします。

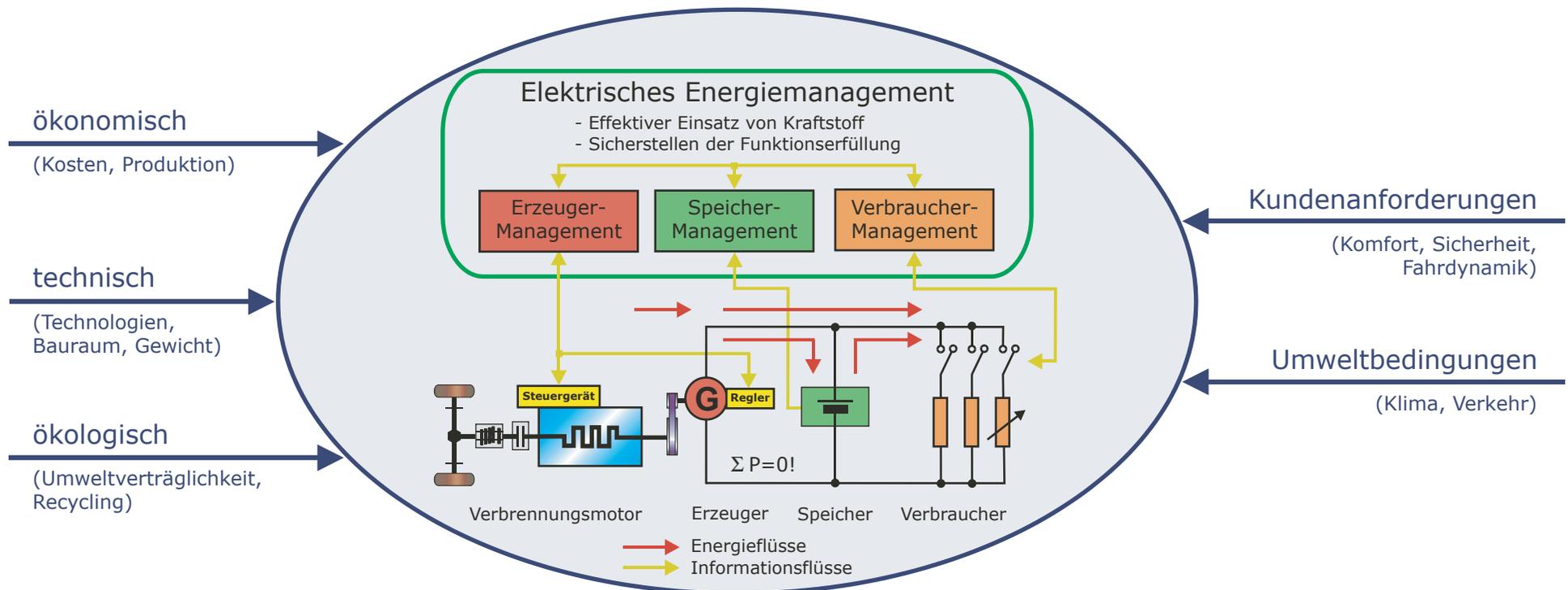
こんな事でお困りではないですか？



Batterie Management Systems (BMS) (5)

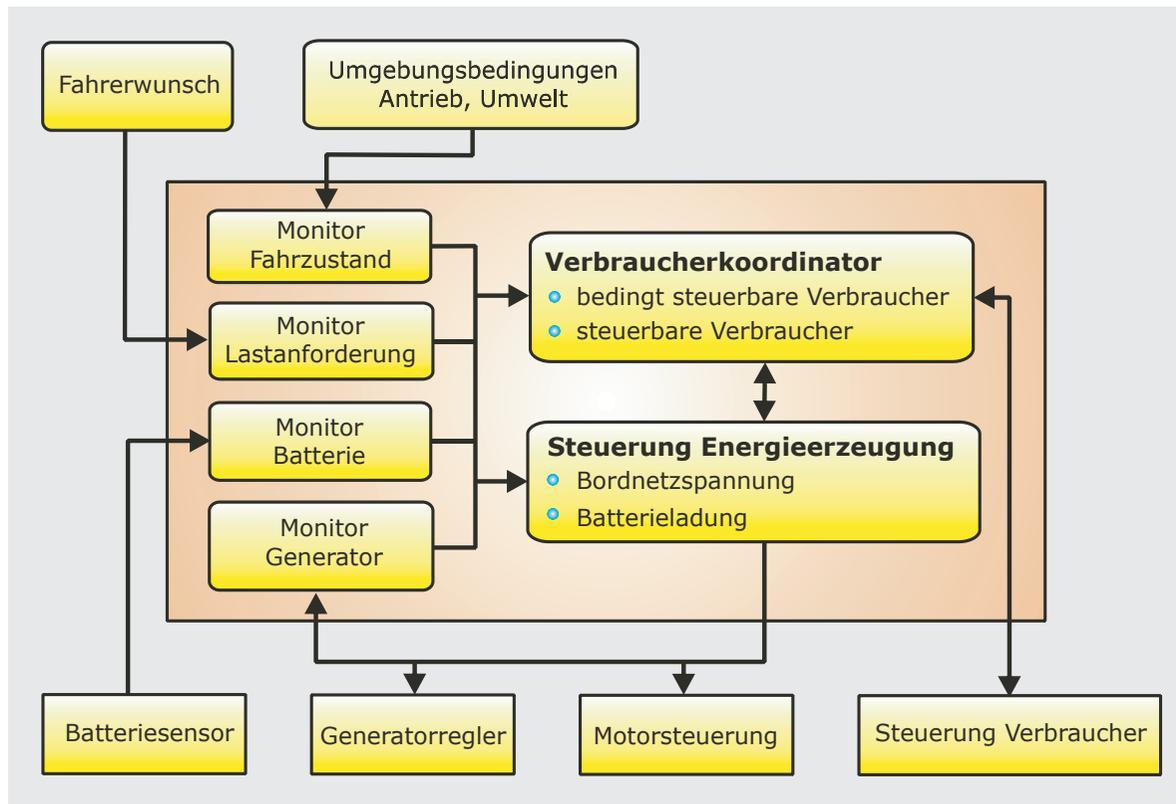
Severity class	Probability class	Controllability Class		
		C1	C2	C3
S1	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	QM
	E3	QM	QM	ASIL A
	E4	QM	ASIL A	ASIL B
S2	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	ASIL A
	E3	QM	ASIL A	ASIL B
	E4	ASIL A	ASIL B	ASIL C
S3	E1	QM	QM	ASIL A
	E2	QM	ASIL A	ASIL B
	E3	ASIL A	ASIL B	ASIL C
	E4	ASIL B	ASIL C	ASIL D

Elektrisches Energiemanagement (1)



- Quelle: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/iad/professuren/fm/forschung/projekte/plakat%20EEM.pdf

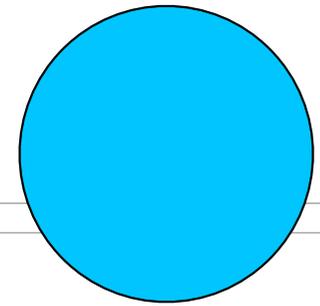
Elektrisches Energiemanagement (2) Softwarefunktionen und Schnittstellen



- Quelle: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/iad/professuren/fm/forschung/projekte/plakat%20EEM.pdf

Beispiele aus der Praxis - 4 Vorträge

- Victor Schäfer, Porsche, Entwicklung E/E Elektromobilität
Die Revolution des Bordnetzes – 48V, Mildhybridisierung
bonding TU Dresden, April 2014
- Thomas Weber, Daimler, Vorstand Forschung und Entwicklung
Innovationen als Schlüssel für die Mobilität der Zukunft
Januar 2014, Universität Stuttgart
- Stephan Neugebauer, BMW, Leiter Wärmemanagement
Vom Saulus zum Paulus – Abwärme muss nichts Schlechtes sein.
September 2008, Graz, AVL Tagung „Motor & Umwelt“
- Johannes Liebl, BMW
BMW EfficientDynamics – wir haben die Segel richtig gesetzt
Juni 2010, TU Dresden, 30. Tagung „Elektronik im Kraftfahrzeug“



Weber

- text Vortrag von Prof. Weber, Daimler AG, 27. Januar 2014, Universität Stuttgart

Im Rahmen der Vorlesungsreihe "Technologieführer der Automobilindustrie stellen sich vor" hat am 27. Januar 2014 Prof. Dr. Thomas Weber, Vorstand Forschung und Entwicklung der Daimler AG, einen Vortrag zum Thema "Innovationen als Schlüssel für die Mobilität der Zukunft" gehalten. Den Vortrag finden Sie in der Anlage.

Die Vorlesungsreihe wird von Prof. Reuss, [Lehrstuhl Kraftfahrzeugmechatronik](http://www.ivk.uni-stuttgart.de), Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK), organisiert.
<http://www.ivk.uni-stuttgart.de>

Der Feldtkeller-Hörsaal (420 Sitzplätze) war überfüllt.

Herr Weber hat in seinem Vortrag ein schönes Bonmot geäußert: "Wir müssen beim Sprit sparen massiv Gas geben."

Interessant war der offene Umgang mit dem Thema Hybrid, sinngemäss "Hybrid bedeutet 100 kg mehr Gewicht". Und damit hat die Hybrid-Variante bei gleicher Ausstattung und gleicher Motorisierung einen höheren Kraftstoffverbrauch bei Betrieb mit Verbrennungsmotor,

Beim Panamera sind es laut Herstellerangaben ca. 200 kg mehr, verteilt auf 100 kg höheres zul. Gesamtgewicht und 100 kg weniger Zuladung (und ca. 100 l weniger Ladevolumen). Dank Regelung Nr. 101 hat der Panamera Hybrid dann 3,1 l Verbrauch auf 100 km.

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

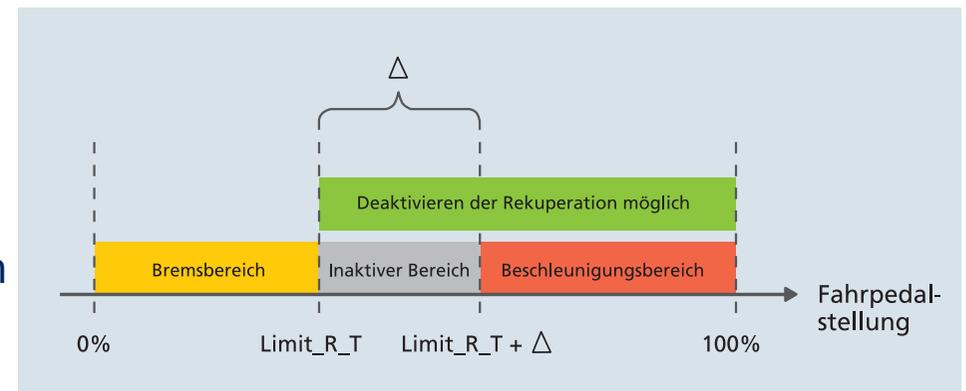
1. Einleitung
2. Das Fahrzeug
3. Die Bordnetz-Architektur
4. Funktionsentwicklung mit ASCET
 - 1. Fahrpedal-Logik**
 2. Berechnung des maximalen Drehmoments
 3. Drehmomentverteilung
 4. Drehmomentanstiegsbegrenzung
 5. Funktionsmodellierung
5. Die Erprobung
 1. Offline-Simulation
 2. Rapid Prototyping
6. Höhere Antriebsfunktion
7. Fazit
8. Abkürzungsverzeichnis

Quelle: http://www.etas.com/de/products/download_center.php?entrylist=13992

Fahrpedal-Logik (2)

- Da die konventionelle Bremse aus Sicherheitsgründen nicht verändert wurde, wird über das Fahrpedal sowohl beschleunigt, als auch elektrisch gebremst (rekuperiert). Die Wegstrecke des Fahrpedals wird dabei, in Abhängigkeit vom Rekuperierzustand in drei unterschiedliche Funktionsbereiche aufgeteilt:

- Bremsbereich**
Das Fahrzeug wird entgegen der Richtung, die der eingelegten Fahrstufe entspricht, abgebremst.
- Inaktiver Bereich**
In diesem Bereich wird das Fahrzeug weder beschleunigt noch abgebremst.
- Beschleunigungsbereich**
Das Fahrzeug wird in die Richtung, die der eingelegten Fahrstufe entspricht, beschleunigt.



Fahrpedalkennlinien

Bremsbereich

- Das Fahrzeug wird entgegen der Richtung, die der eingelegten Fahrstufe entspricht, abgebremst.
- Jedesmal Bremsen ist einmal zuviel.
- BMW EfficientDynamics – wir haben die Segel richtig gesetzt
Dr. Johannes Liebl, BMW AG
Vortrag auf der
30. Tagung „Elektronik im Kraftfahrzeug“, Dresden, 16. - 17. Juni 2010
- Prädiktives Fahren

Bremsbereich

- Das Fahrzeug wird entgegen der Richtung, die der eingelegten Fahrstufe entspricht, abgebremst.
⇒ Motorbremse
- Jedesmal Bremsen ist einmal zuviel.
- BMW EfficientDynamics – wir haben die Segel richtig gesetzt
Dr. Johannes Liebl, BMW AG
Vortrag auf der
30. Tagung „Elektronik im Kraftfahrzeug“, Dresden, 16. - 17. Juni 2010
- Prädiktives Fahren

Bremsbereich

- Das Fahrzeug wird entgegen der Richtung, die der eingelegten Fahrstufe entspricht, abgebremst.
⇒ Motorbremse
- Jedesmal Bremsen ist einmal zuviel.
(Walter Röhrl)
- BMW EfficientDynamics – wir haben die Segel richtig gesetzt
Dr. Johannes Liebl, BMW AG
Vortrag auf der
30. Tagung „Elektronik im Kraftfahrzeug“, Dresden, 16. - 17. Juni 2010
- Prädiktives Fahren

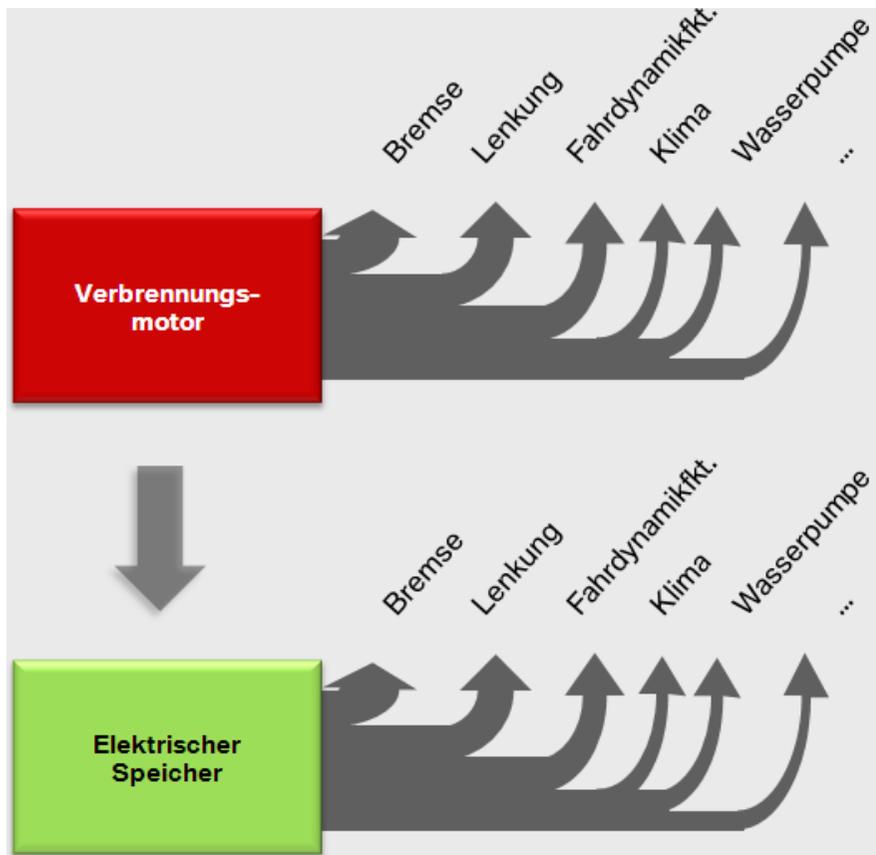
BMW EfficientDynamics (1)

Wir haben die Segel richtig gesetzt



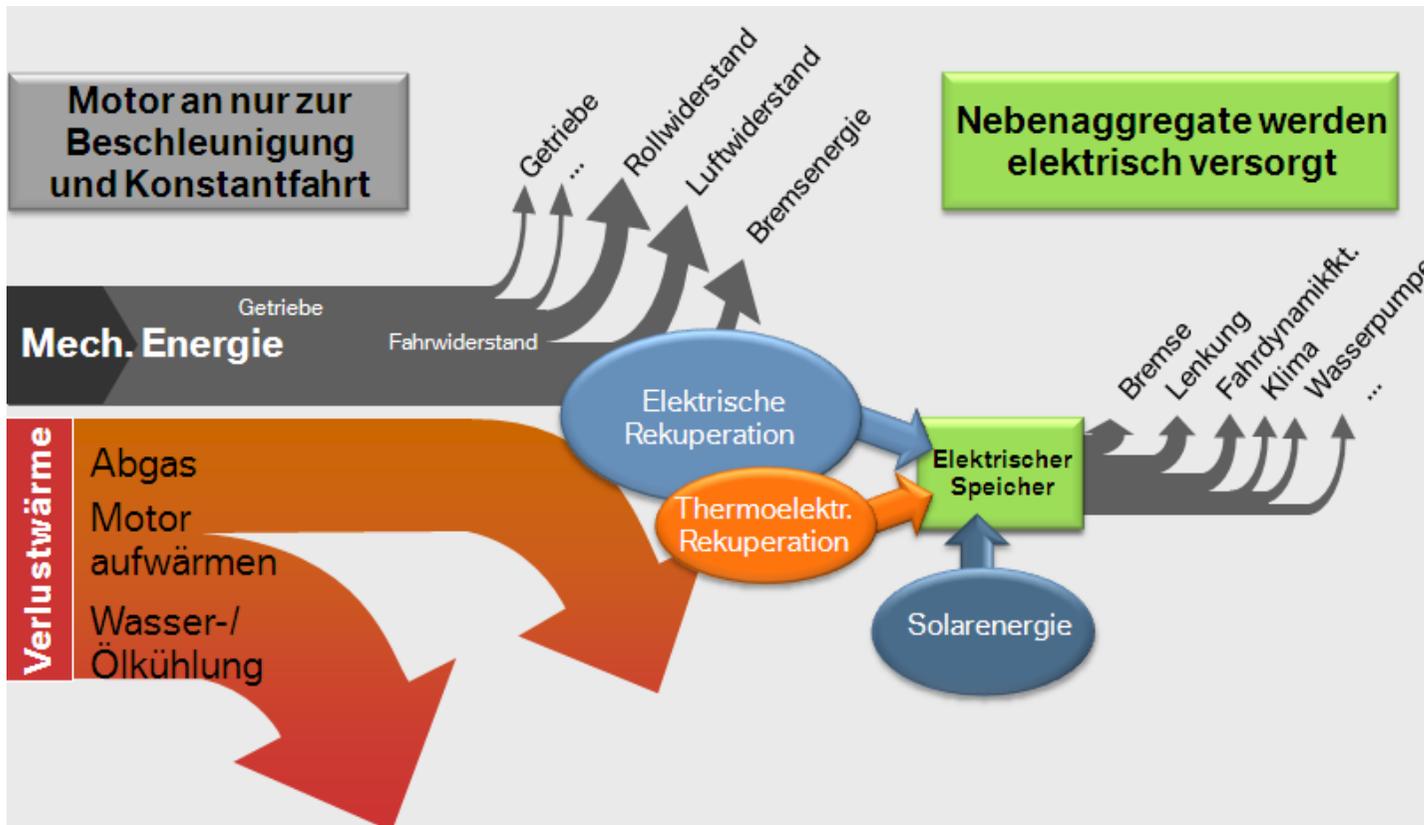
BMW EfficientDynamics (2)

Entkopplung der Nebenaggregate vom Verbrennungsmotor



BMW EfficientDynamics (3)

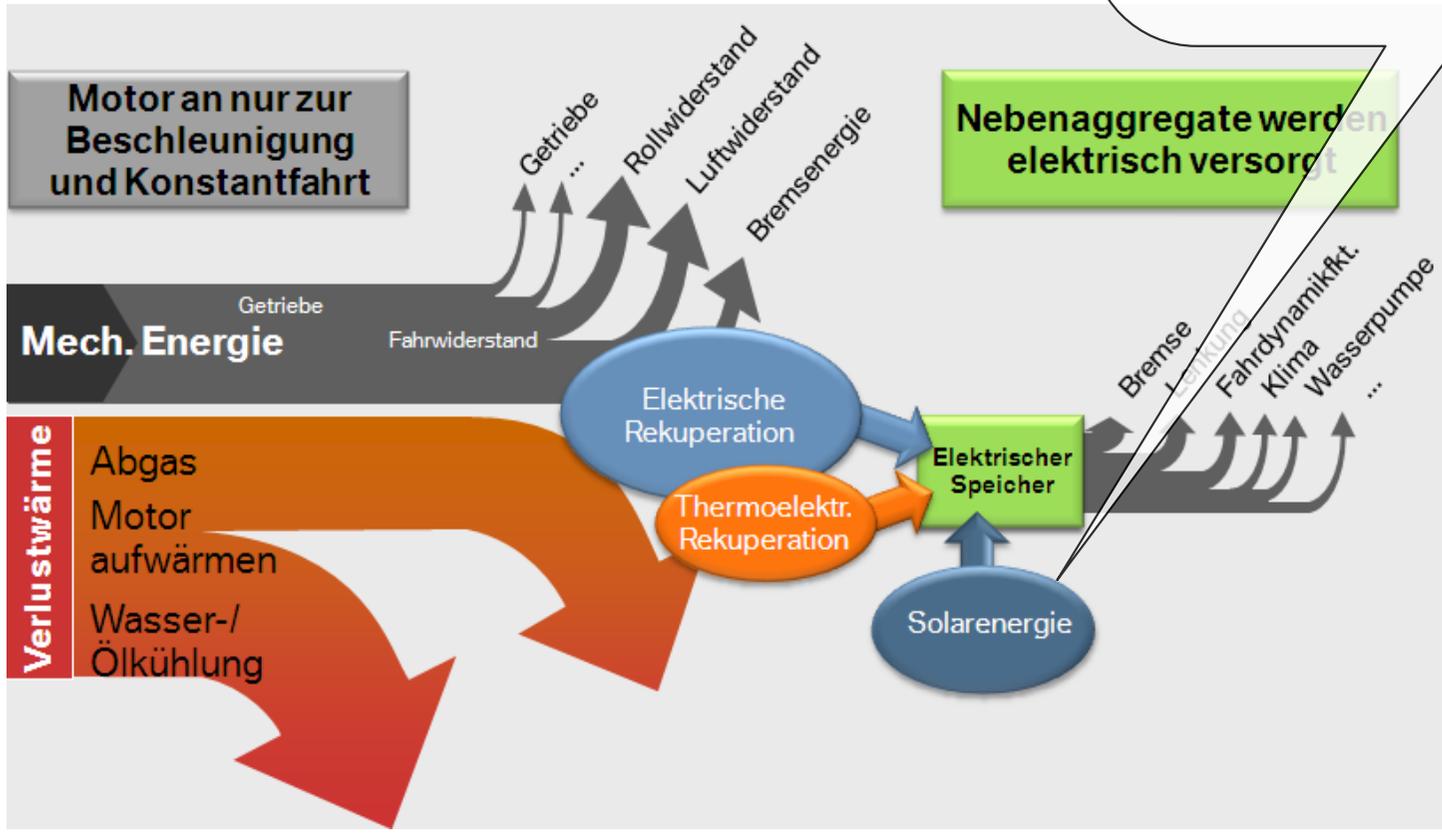
Befüllen des elektrischen Speichers



BMW EfficientDynamics (4)

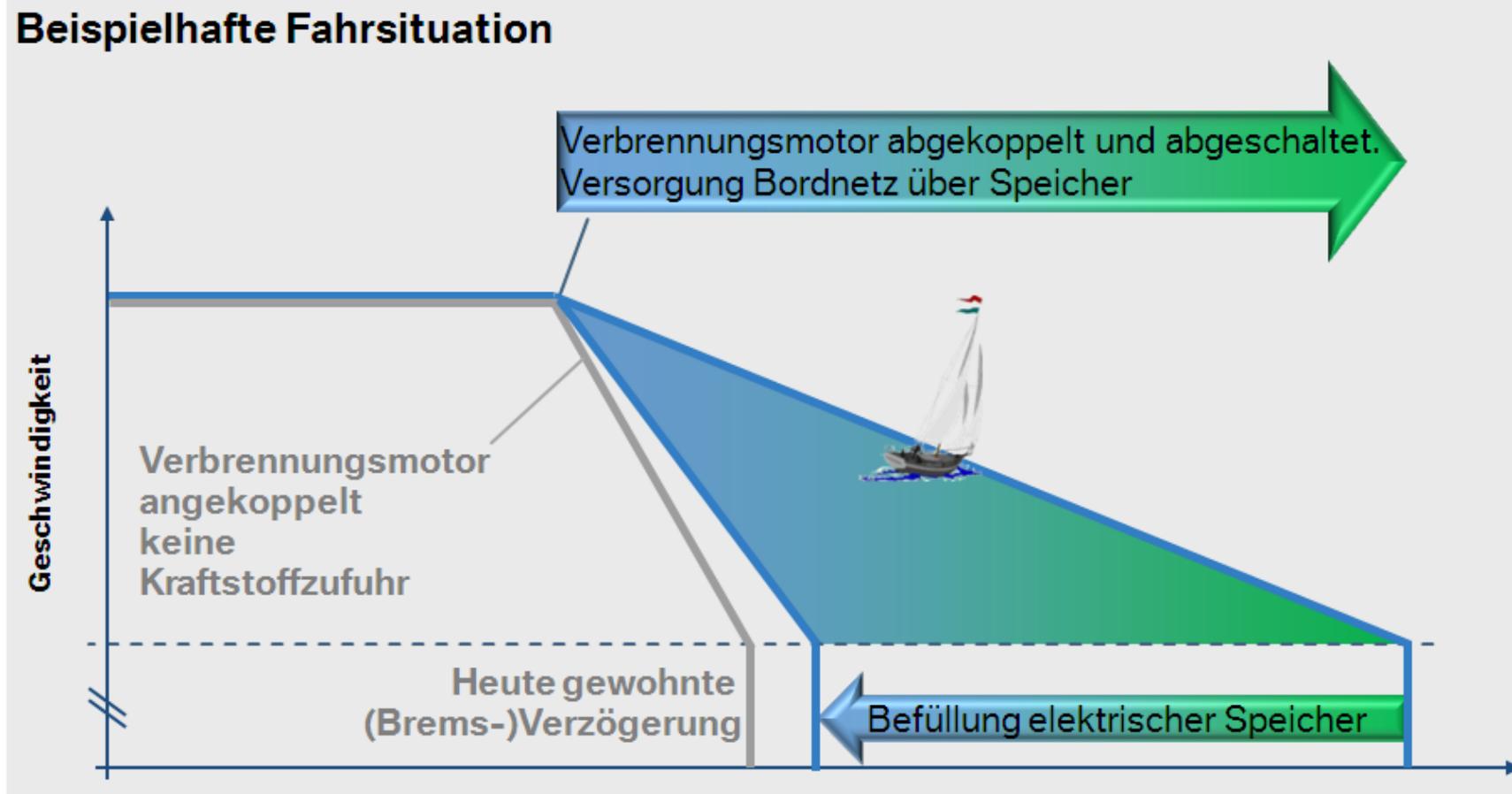
Befüllen des elektrischen Speichers

(Exkursion am 01. Juli 2014)
Solarzelle auf Phaeton Schiebedach



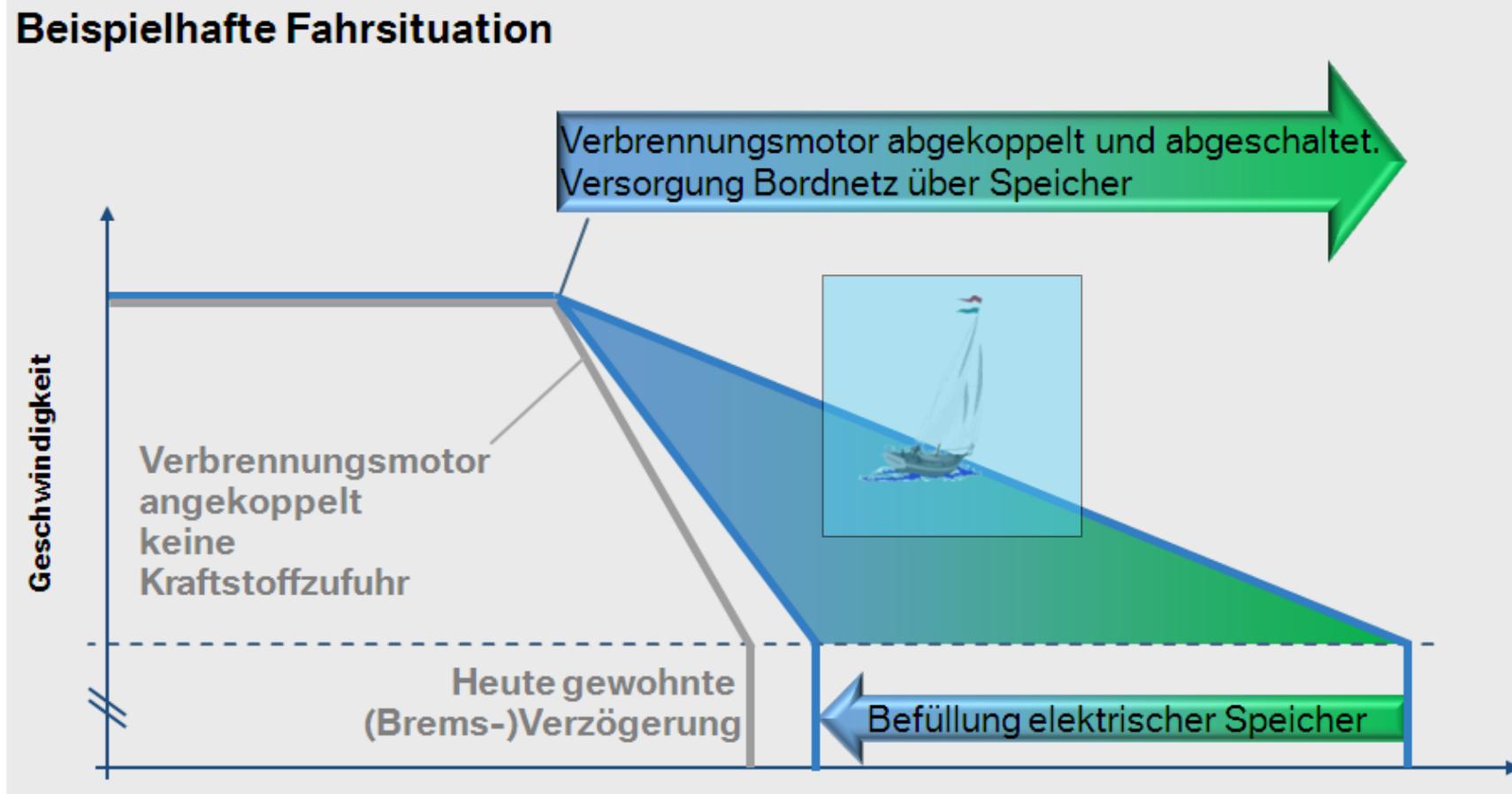
BMW EfficientDynamics (5)

Verzögerungsphasen beeinflussen die Rekuperation



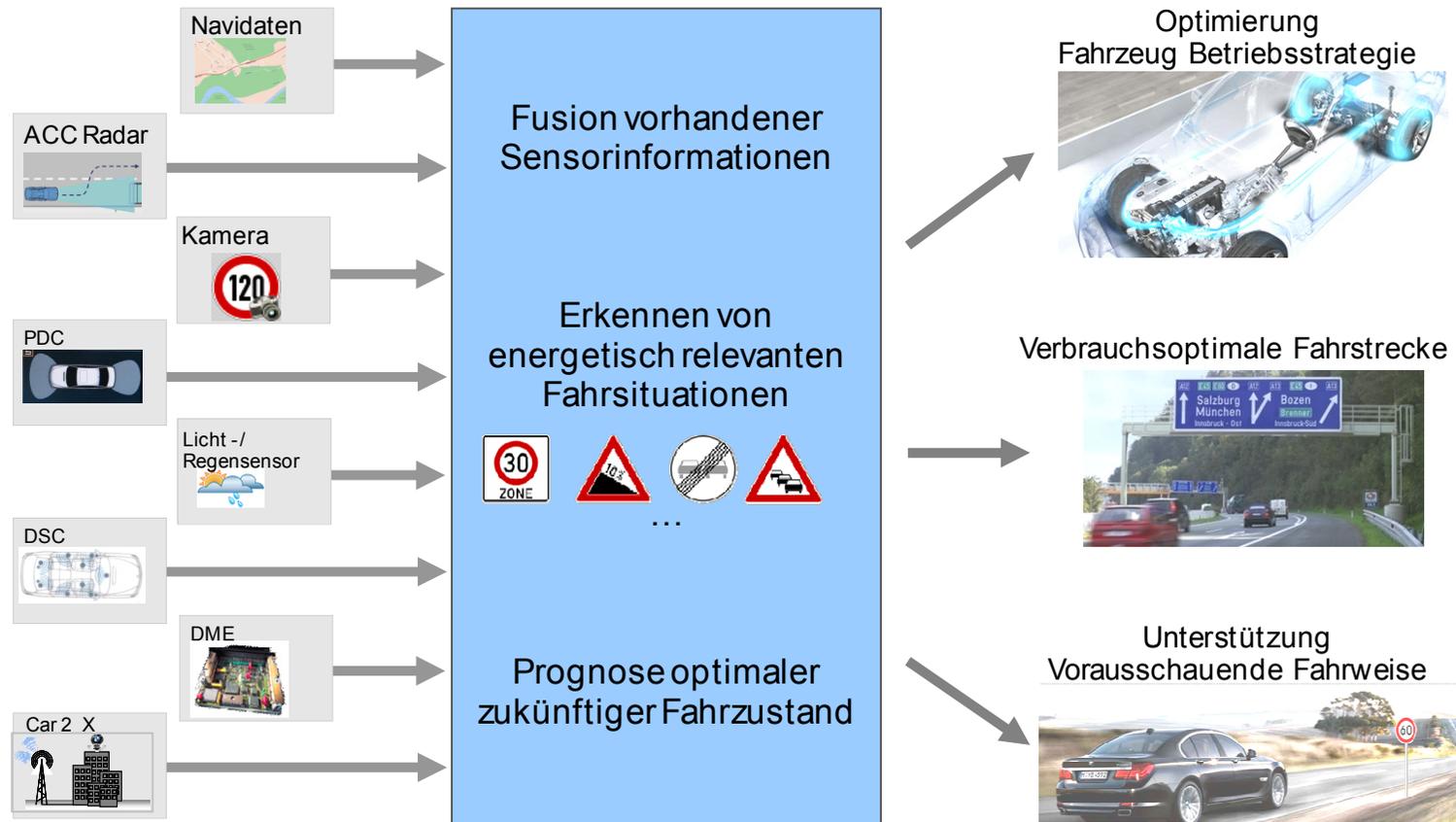
BMW EfficientDynamics (6)

Verzögerungsphasen beeinflussen die Rekuperation



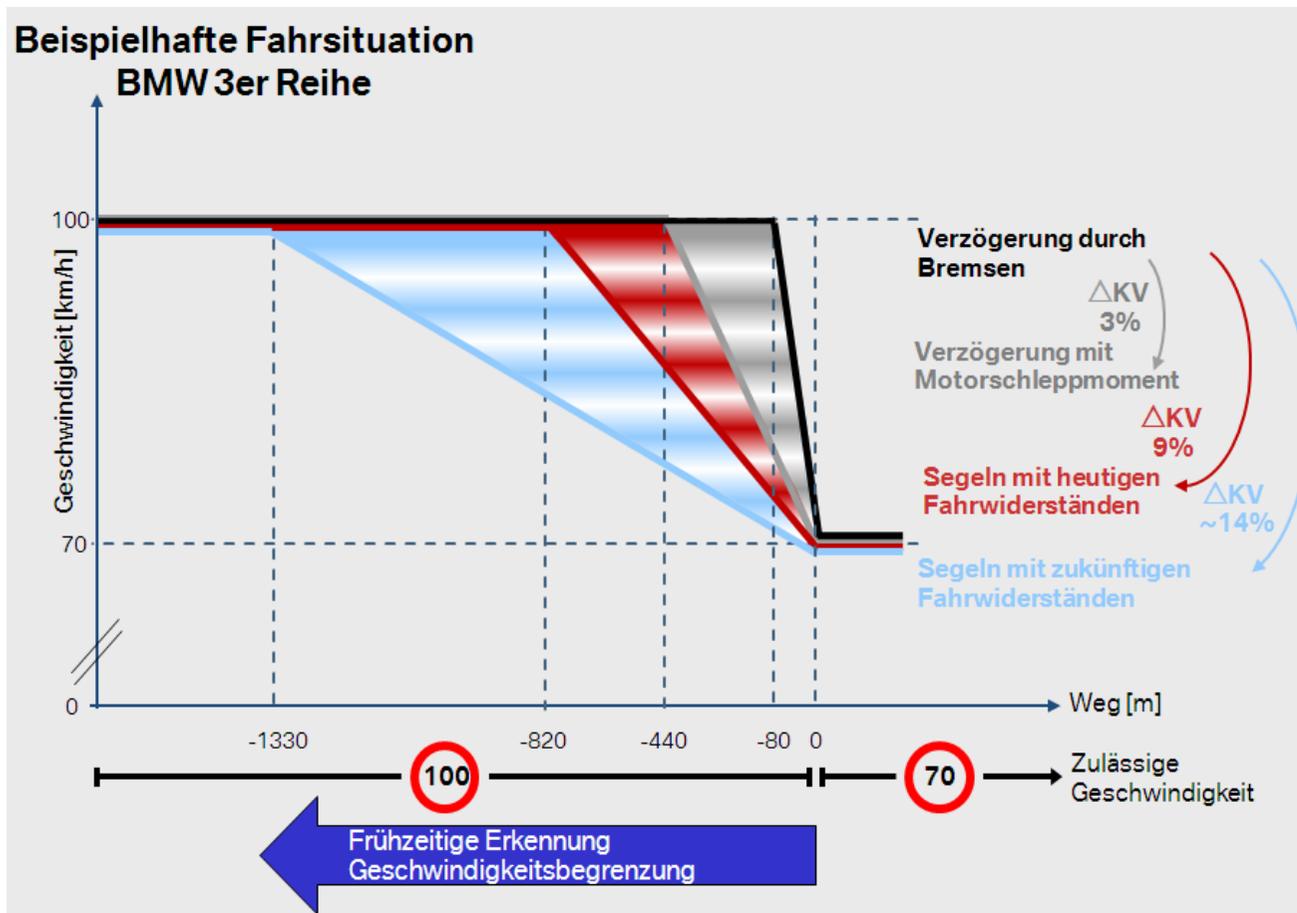
BMW EfficientDynamics (7)

Vorausschauendes Energiemanagement als Schlüssel zum energetischen Optimum



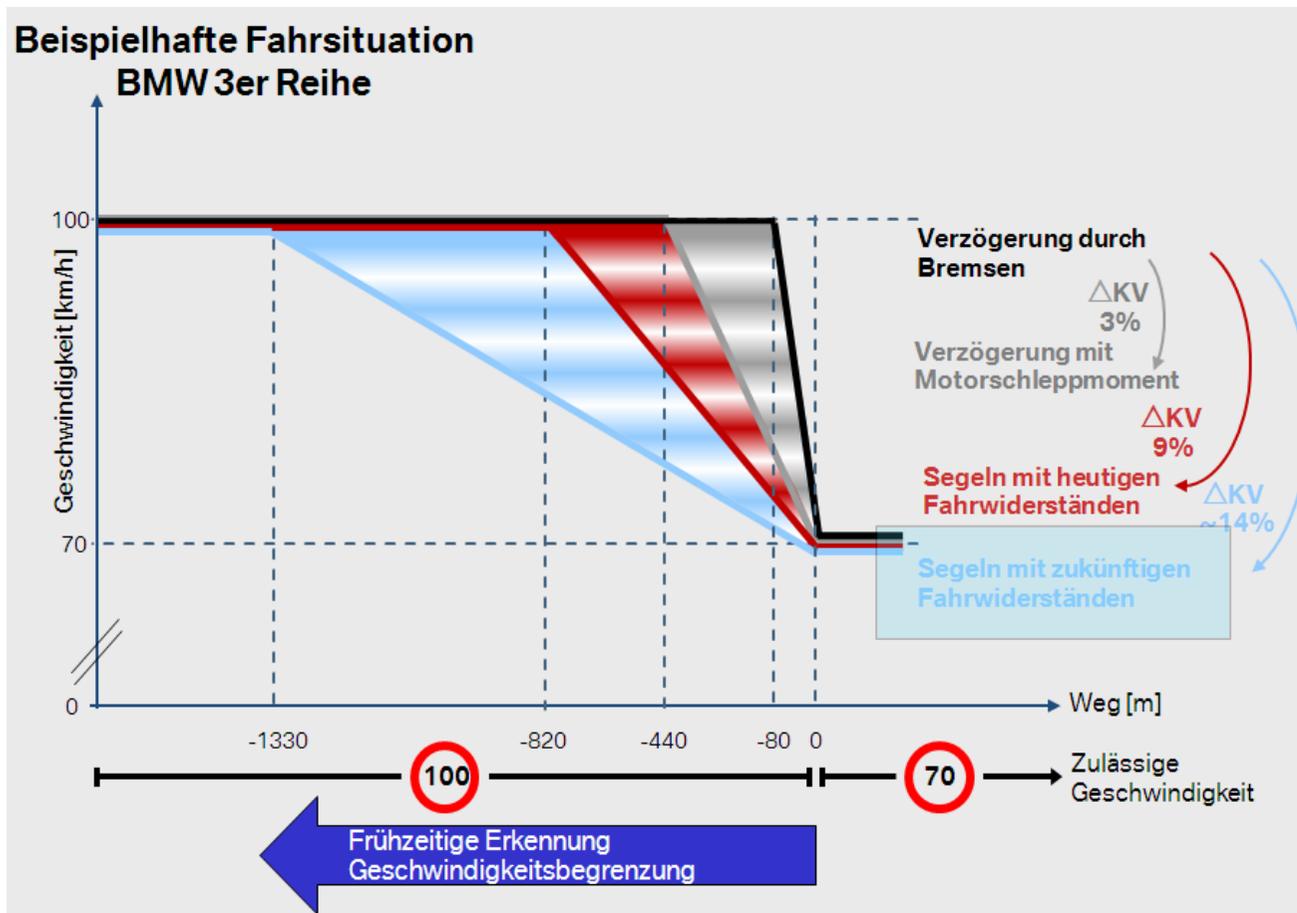
BMW EfficientDynamics (8)

Vorausschauendes Energiemanagement ermöglicht eine sinnvolle Segelfunktion



BMW EfficientDynamics (9)

Vorausschauendes Energiemanagement ermöglicht eine sinnvolle Segelfunktion



Prädiktives Fahren (1)

- Einbeziehung von Umfeld-, Routen- und Verkehrsdaten führt zu einer situationsbezogenen, optimierten Gesamtfahrzeugbetriebsstrategie: Prädiktives Fahren
- Prädiktives Fahren ermöglicht prädiktives Energiemanagement
- Vorsicht beim Segeln auf der Autobahn
 - 100 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung
 - Dichter Verkehr mit 110 - 120 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit
 - In 1330 m Entfernung 70 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung
 - 10 Prozent der Fahrzeuge beginnen zu segeln

Prädiktives Fahren (1)

- Einbeziehung von Umfeld-, Routen- und Verkehrsdaten führt zu einer situationsbezogenen, optimierten Gesamtfahrzeugbetriebsstrategie: Prädiktives Fahren
- Prädiktives Fahren ermöglicht prädiktives Energiemanagement
- Vorsicht beim Segeln auf der Autobahn
 - 100 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung
 - Dichter Verkehr mit 110 - 120 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit
 - In 1330 m Entfernung 70 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung
 - 10 Prozent der Fahrzeuge beginnen zu segeln



Prädiktives Fahren (1)

- Einbeziehung von Umfeld-, Routen- und Verkehrsdaten führt zu einer situationsbezogenen, optimierten Gesamtfahrzeugbetriebsstrategie: Prädiktives Fahren
- Prädiktives Fahren ermöglicht prädiktives Energiemanagement
- Vorsicht beim Segeln auf der Autobahn
 - 100 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung
 - Dichter Verkehr mit 110 - 120 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit
 - In 1330 m Entfernung 70 km/h Geschwindigkeitsbegrenzung
 - 10 Prozent der Fahrzeuge beginnen zu segeln



Prädiktives Fahren (2)

- Ähnlich Eisenbahn:
 - Vor der Steigung Beschleunigung zurücknehmen
 - Mit Schwung auf den Scheitelpunkt
 - Im Gefälle Beschleunigung aufnehmen
- Versuche bei Freightliner: Bis zu 5% Kraftstoffeinsparung durch prädiktives, kartengestütztes Fahren
- <http://www.motor-talk.de/forum/was-verbraucht-euer-truck-t1899263.html>

Prädiktives Fahren (2)

- Ähnlich Eisenbahn:
 - Vor der Steigung Beschleunigung zurücknehmen
 - Mit Schwung auf den Scheitelpunkt
 - Im Gefälle Beschleunigung aufnehmen
- Versuche bei Freightliner: Bis zu 5% Kraftstoffeinsparung durch prädiktives, kartengestütztes Fahren
- <http://www.motor-talk.de/forum/was-verbraucht-euer-truck-t1899263.html>
 - Ich fahre zur Zeit einen Scania R 380 mit Opticruise 40t Hinfahrt Leer Rückfahrt Voll ausgeladen Gelände Mitteldeutschland Verbrauch 26ltr/100km minimaler Verbrauch 23 ltr max Verbrauch 30 ltr/ 100 km
 - unser fuhrpark (die actrose) verbrauchen im schnitt ca 25-32liter im internationalen fernverkehr, mit tridem zügen 400 und 410er actros volumenzüge
 - die bei meinem vater ca 30-40liter deutschland verkehr zwischen 30 und 40 entlader in der woche, staplerzüge, berge ohne ende, zu 85% immer voll ausgeladen
- 5% Einsparung bei 30 l / 100 km und Dieselpreis von 1,40 € / l: 2,10 € / 100 km

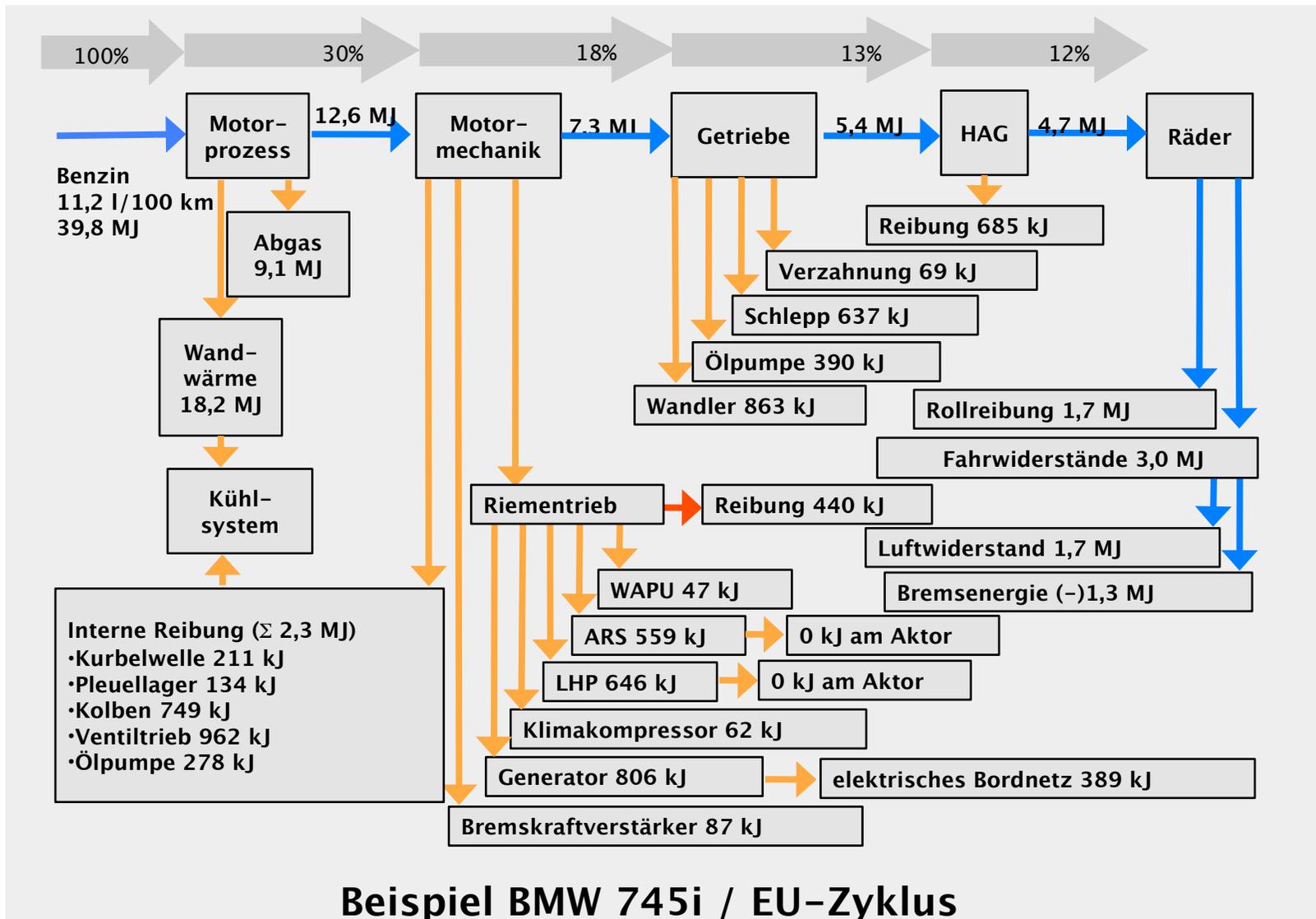
Wussten Sie

- dass bei einem PKW mit konventionellem Verbrennungsmotor nur ? % der Kraftstoffenergie bei den Reifen ankommt?
Quelle: Technische Universität München / HdT-Tagung "Elektrik/Elektronik in Elektro- und Hybridfahrzeugen", März 2010
- dass man mit einer vollen, 125 kg schweren Batterie eine Reichweite von 160 km erreicht, aber mit 125 kg Diesel die Reichweite 1.500 km beträgt?
Quelle: EVONIC 2009 / ADAC Zukunftstechnologien, München 2009
- dass die Jahresproduktion von 90.000 t Lithiumcarbonat reichen, um 12 Millionen Hybridfahrzeuge auszustatten?
Quelle: <http://www.lithiumaktien.com/> EN/566/1590

Wussten Sie

- dass bei einem PKW mit konventionellem Verbrennungsmotor nur 7 % der Kraftstoffenergie bei den Reifen ankommt?
Quelle: Technische Universität München / HdT-Tagung "Elektrik/Elektronik in Elektro- und Hybridfahrzeugen", März 2010

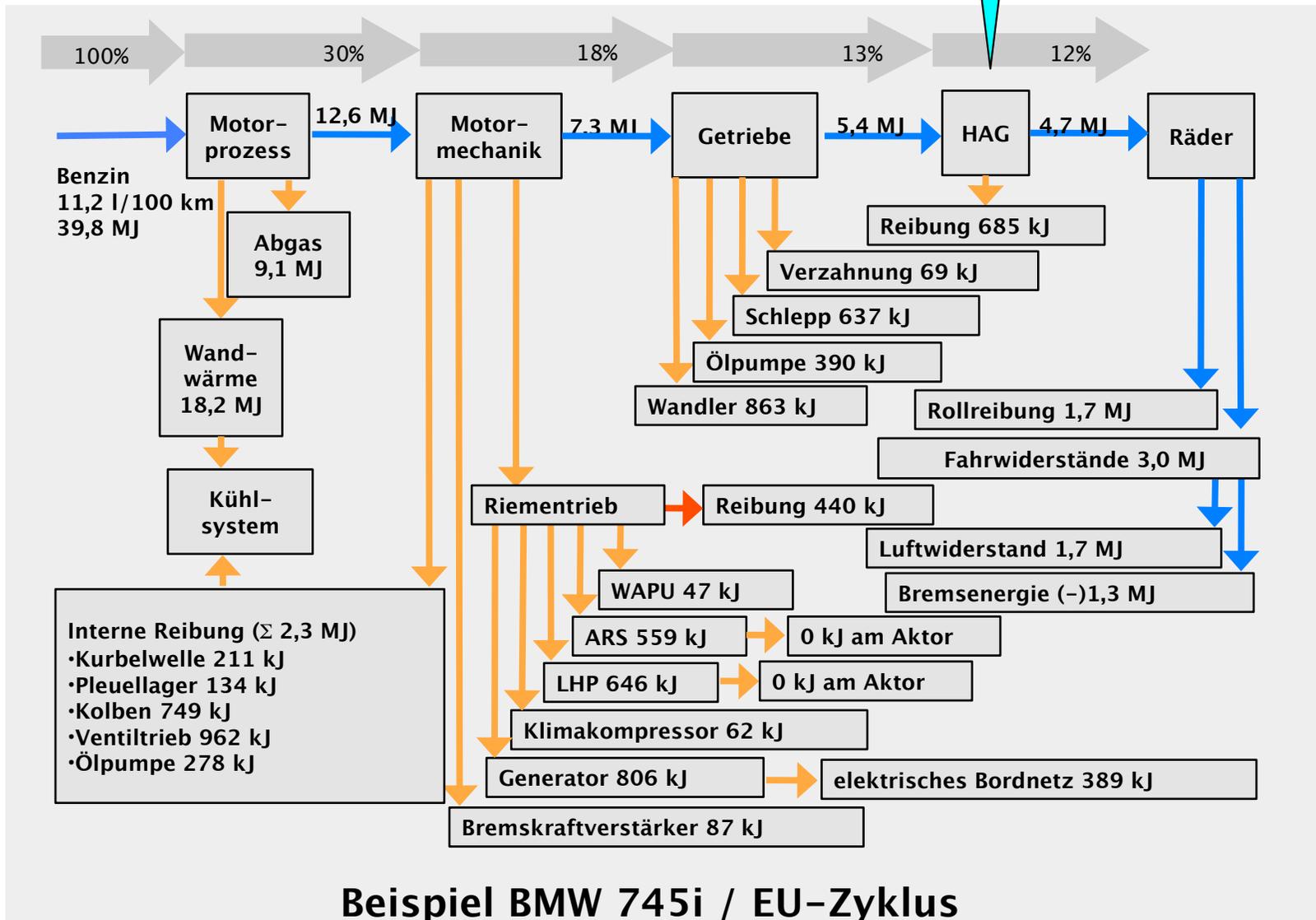
Energieverbraucher im Fahrzeug



Beispiel BMW 745i / EU-Zyklus

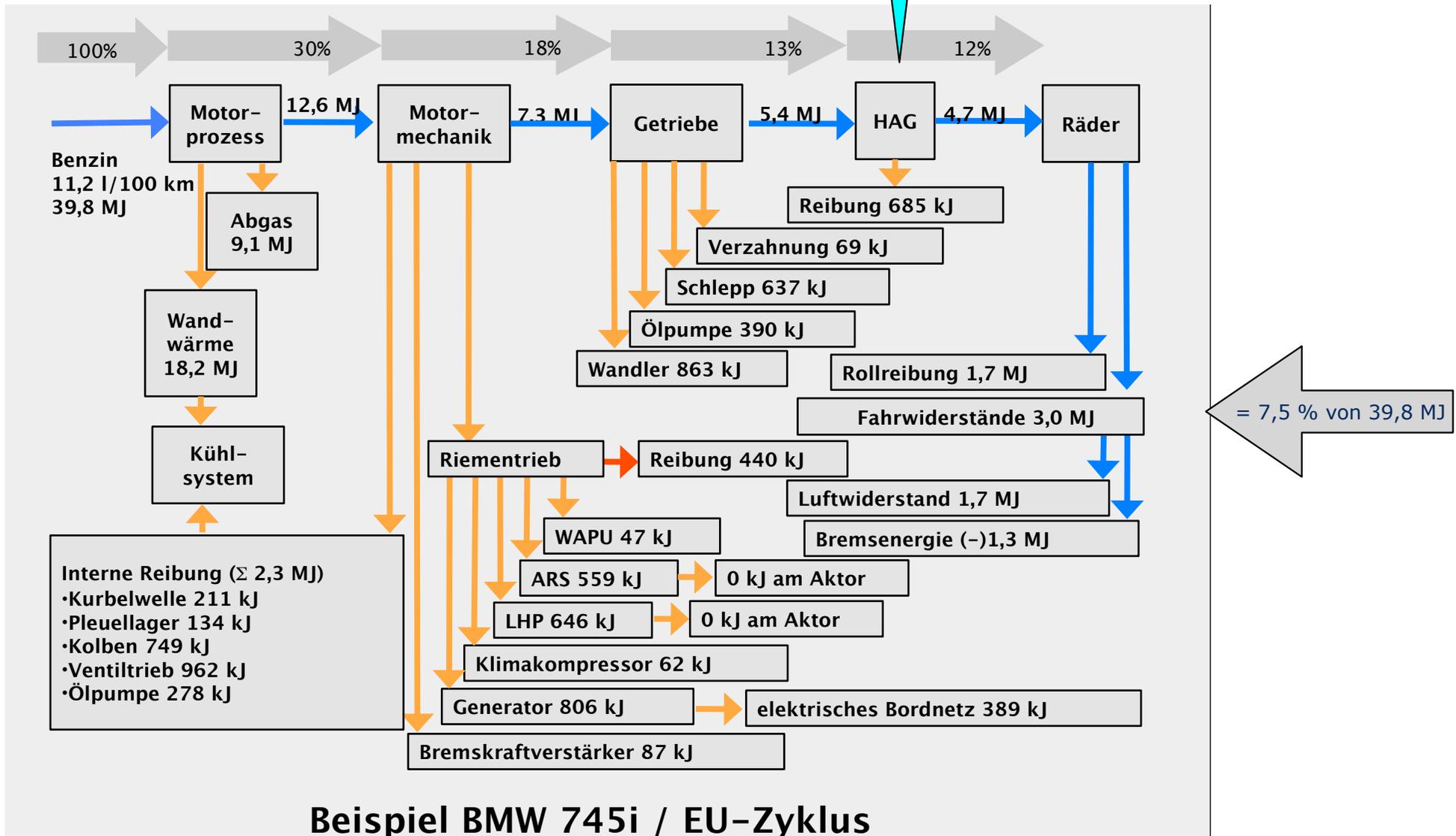
Hinterachsgetriebe

Energieverbraucher im Fahrzeug



Hinterachsgetriebe

Energieverbraucher im Fahrzeug



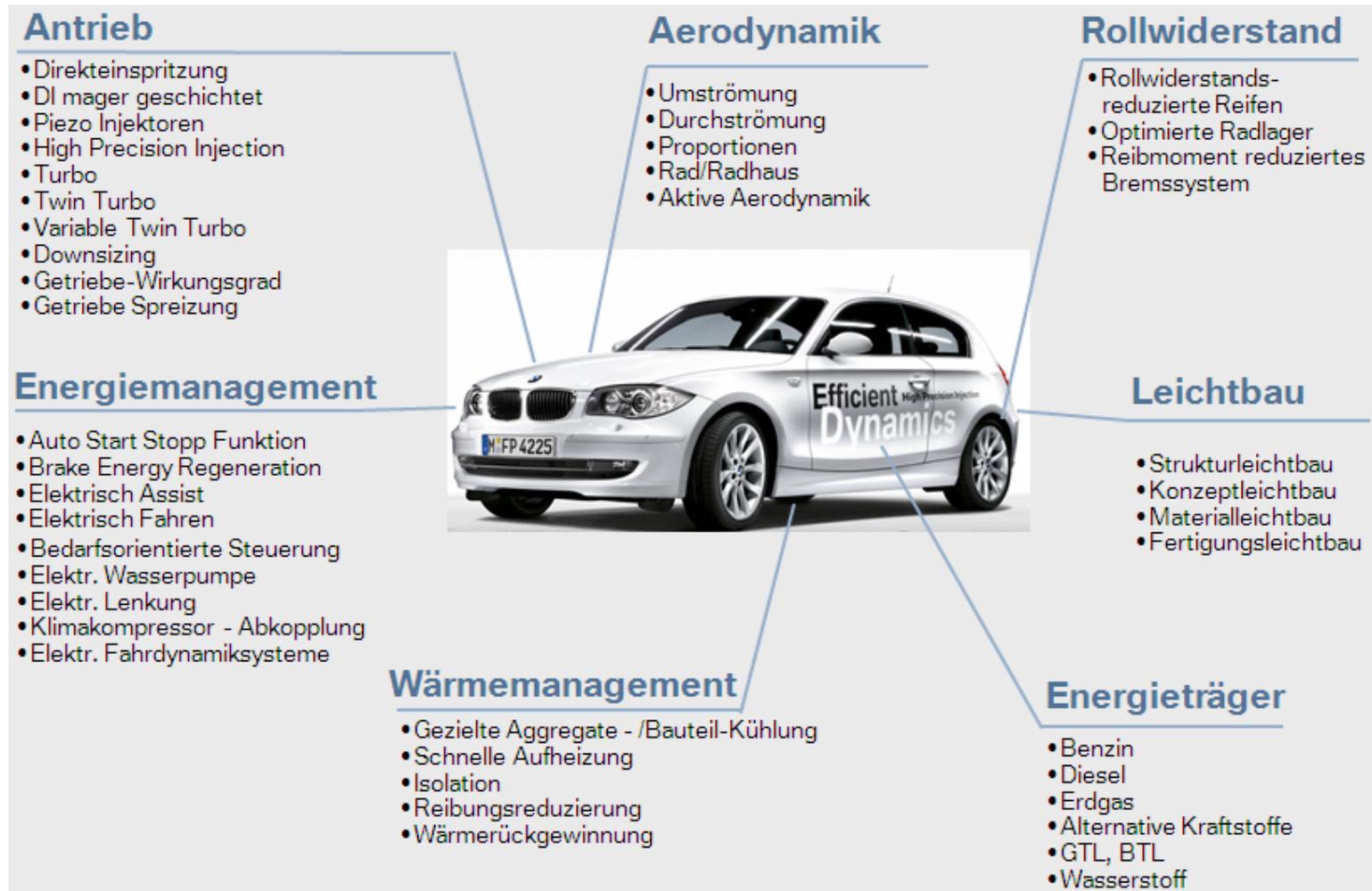
= 7,5 % von 39,8 MJ

BMW EfficientDynamics

- BMW EfficientDynamics – wir haben die Segel richtig gesetzt
Dr. Johannes Liebl, BMW AG
Vortrag auf der
30. Tagung „Elektronik im Kraftfahrzeug“, Dresden, 16. - 17. Juni 2010
- Vom Saulus zum Paulus –
Abwärme muss nichts Schlechtes sein.
Dr. Stephan Neugebauer, BMW Group
Leiter Wärmemanagement
Vortrag auf der 20. Internationalen AVL Tagung „Motor & Umwelt“
Graz, 11. – 12. September 2008

BMW EfficientDynamics

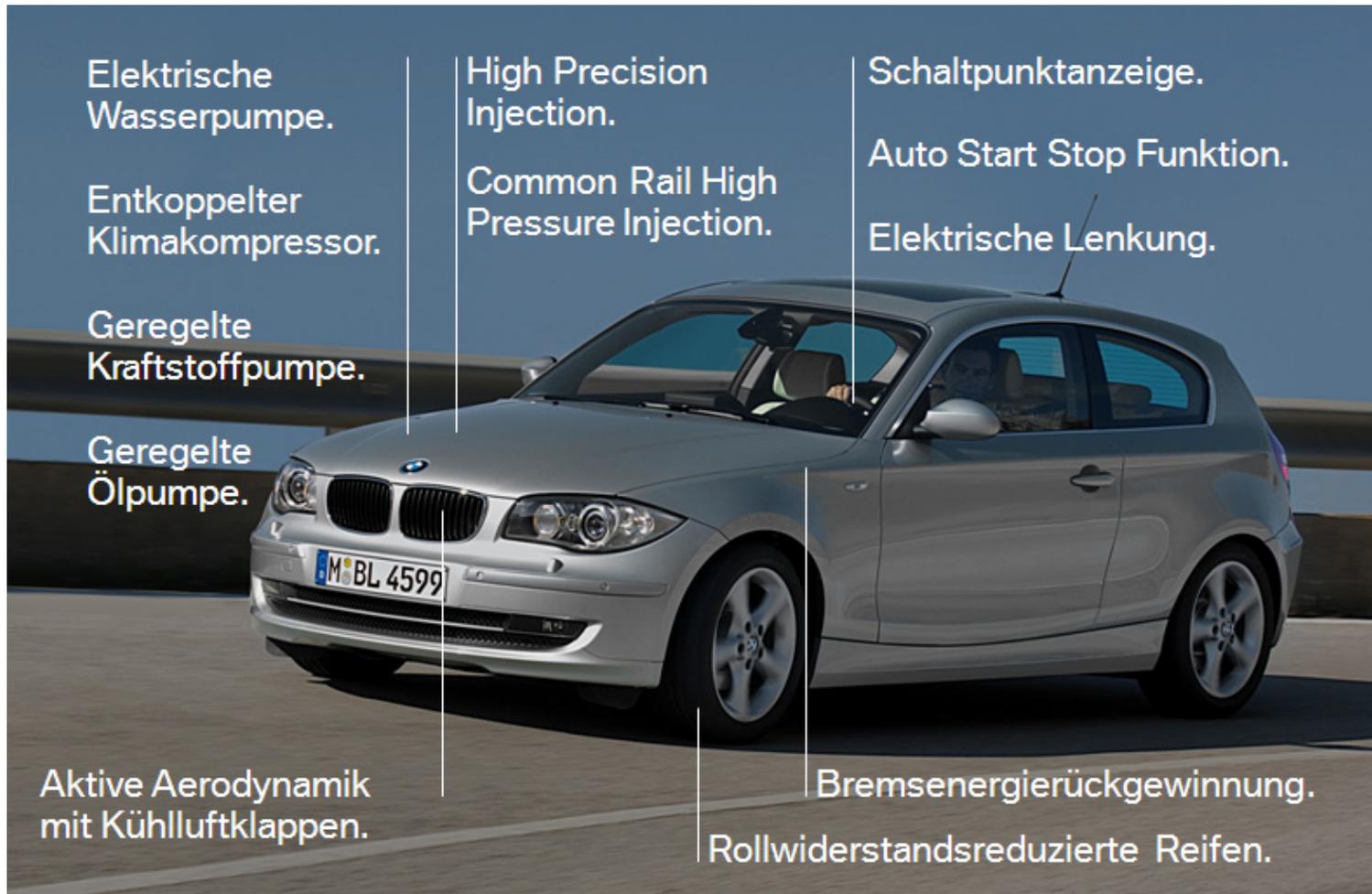
Physikalische Verbrauchs- und CO2-Stellhebel



Energiepyramide zur Priorisierung der Entwicklungsarbeit



BMW 1er Reihe mit EfficientDynamics



BMW 7er Reihe mit EfficientDynamics



Wussten Sie

- dass man mit einer vollen, 125 kg schweren Batterie eine Reichweite von 160 km erreicht, aber mit 125 kg Diesel die Reichweite 1.500 km beträgt?
Quelle: EVONIC 2009 / ADAC Zukunftstechnologien, München 2009
 - Dichte Diesel 0,82 - 0,85, d.h. 125 kg Diesel sind ca. 150 l
 - 1.500 km Reichweite entspricht Verbrauch von 10 l / 100 km
 - 2.000 km Reichweite bei Verbrauch von 7,5 l / 100 km
 - Gesamtenergiebilanz: Energie, Rohstoff, Verschmutzung, Arbeitskosten
 - Herstellung
 - Verteilung
 - Verbrauch / Gebrauch
 - Entsorgung
 - Gewicht Batterie konstant, Gewicht Diesel nimmt ab
 - Lebensdauer Batterie

Vortrag von Prof. Weber, Daimler AG

- Vorlesungsreihe "Technologieführer der Automobilindustrie stellen sich vor"
27. Januar 2014
Prof. Dr. Thomas Weber, Vorstand Forschung und Entwicklung der Daimler AG
„Innovationen als Schlüssel für die Mobilität der Zukunft“
- Die Vorlesungsreihe wird von Prof. Reuss, Lehrstuhl Kraftfahrzeugmechatronik,
Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK), organisiert.
<http://www.ivk.uni-stuttgart.de>
- Thomas Weber:
 - „Wir müssen beim Sprit sparen massiv Gas geben.“
 - „Hybrid bedeutet 100 kg mehr Gewicht.“ (sinngemäss)
 - Und damit hat die Hybrid-Variante bei gleicher Ausstattung und gleicher Motorisierung einen höheren Kraftstoffverbrauch wie bei Betrieb mit Verbrennungsmotor.



Der neue Panamera

Die Modelle in Daten
(Stand: 04/2013)

panamera s

- <http://www.porsche.com/germany/models/panamera/panamera-s/featuresandspecs/>
- 309 kW (420 PS) bei 6.000 1/min
- 0-100 km/h in 5,1 s
- Höchstgeschwindigkeit 287 km/h
- Kombiniert in l/100 km: 8,7
- CO2-Emission in g/km: 204

Motorlage	Frontmotor / Heckantrieb
-----------	--------------------------

Zylinderzahl	6
--------------	---

Hubraum	2.997 cm ³
---------	-----------------------

Leistung	309 kW (420 PS)
----------	-----------------

bei Drehzahl	6.000 1/min
--------------	-------------

Max. Drehmoment	520 Nm
-----------------	--------

bei Drehzahl	1.750 - 5.000 1/min
--------------	---------------------

Verdichtungsverhältnis	9,8 : 1
------------------------	---------

panamera s e hybrid

- <http://www.porsche.com/germany/models/panamera/panamera-s-e-hybrid/featuresandspecs/>
- 306 kW (416 PS) bei 5.500 1/min
- 0-100 km/h in 5,5 s
- Höchstgeschwindigkeit 270 km/h
- Kombiniert in l/100 km: 3,1
- CO2-Emission in g/km: 71
- Stromverbrauch kombiniert: 16,2 kWh/100 km

Zylinderzahl	6
--------------	---

Hubraum	2.995 cm ³
---------	-----------------------

Leistung	245 kW (333 PS)
----------	-----------------

bei Drehzahl	5.500–6.500 1/min
--------------	-------------------

Max. Drehmoment	440 Nm
-----------------	--------

bei Drehzahl	3.000 – 5.250 1/min
--------------	---------------------

Elektrische Reichweite	36 km
------------------------	-------

Reichweite NEFZ	25 km
-----------------	-------

Vergleich panamera s - panamera s e hybrid

Fahrzeug	Verbrauch	Gesamtgewicht	Leergewicht	Zuladung	Ladevolumen
panamera s	8,7 l / 100 km	2.415 kg	1.810 kg	605 kg	445 l
panamera s e hybrid	3,1 l / 100 km	2.580 kg	2.095 kg	485 kg	335 l
Differenz	-5,6 l / 100 km	+165 kg	+285 kg	-120 kg	-110 l

- „Hybrid bedeutet 100 kg mehr Gewicht“ (Prof. Weber)
- Und damit hat die Hybrid-Variante bei gleicher Ausstattung und gleicher Motorisierung einen höheren Kraftstoffverbrauch wie bei Betrieb mit Verbrennungsmotor.
 - Motoren wohl mechanisch weitgehend identisch, aber anders elektronisch geregelt (420 PS und 333 PS)
- Der Hybrid hat aber laut Herstellerangaben 5,6 l / 100 km weniger Verbrauch

Regelung Nr. 101

- <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/44904/publicationFile/59055/r-101-messung-co2-und-kraftstoffverbrauch-pdf.pdf>
- Regelung Nr. 101 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Personenkraftwagen, die nur mit einem Verbrennungsmotor oder mit Hybrid-Elektro-Antrieb betrieben werden, hinsichtlich der Messung der Kohlendioxidemission und des Kraftstoffverbrauchs und/oder der Messung des Stromverbrauchs und der elektrischen Reichweite sowie der nur mit Elektroantrieb betriebenen Fahrzeuge der Klassen M₁ und N₁ hinsichtlich der Messung des Stromverbrauchs und der elektrischen Reichweite

Regelung Nr. 101

- Anhang 8 3.4.4.1.

3.4.4.1. Wenn die Prüfung nach den Vorschriften des Absatzes 3.2.3.2.1 durchgeführt wird, gilt Folgendes:

$$C = (D_e \cdot C_1 + D_{av} \cdot C_2) / (D_e + D_{av}).$$

Dabei ist

C = der Kraftstoffverbrauch in l/100 km,

C_1 = der Kraftstoffverbrauch in l/100 km bei voll aufgeladenem elektrischem Energiespeicher,

C_2 = der Kraftstoffverbrauch in l/100 km bei einem elektrischen Energiespeicher, der die Mindestladung aufweist (maximale Entladung),

D_e = die elektrische Reichweite des Fahrzeugs gemäß dem in Anhang 9 beschriebenen Verfahren, für das der Hersteller die Geräte zur Durchführung der Messung an dem im reinen Elektrobetrieb gefahrenen Fahrzeug zur Verfügung stellen muss,

D_{av} = 25 km (angenommene durchschnittliche Strecke zwischen zwei Batterieaufladungen).

Berechnung

$$\begin{aligned}
 C &= (D_e \cdot C_1 + D_{av} \cdot C_2) / (D_e + D_{av}) \\
 &= (36 \text{ km} \cdot 0 + 25 \text{ km} \cdot 8,7 \text{ l}/100 \text{ km}) / (36 \text{ km} + 25 \text{ km}) \\
 &= 3,6 \text{ l} / 100 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Differenz zu Angabe Porsche 3,1 l / 100 km: C2 nicht explizit angegeben

Elektrische Reichweite	D_e	die elektrische Reichweite des Fahrzeugs ...	36 km	59 %
	D_{av}	25 km (angenommene durchschnittliche Strecke zwischen zwei Batterieaufladungen)	25 km	41 %
Hybrid		Angabe Porsche	3,1 l/100 km	
	C_1	der Kraftstoffverbrauch in l/100 km bei voll aufgeladenem elektrischem Energiespeicher	0	
Verbrenner	C_2	der Kraftstoffverbrauch in l/100 km bei ... maximale Entladung	8,7 l/100 km	
Berechnung	C	der Kraftstoffverbrauch in l/100 km	3,6 l/100 km	

Die Regelung 101

- Unterstellt folgenden Fahrzyklus
 - Elektrische Reichweite laut Herstellerangaben (hier 36 km) nur mit Strom, kein Kraftstoffverbrauch
 - Der Strom kommt aus der Steckdose
 - 25 km ohne Strom, nur mit Verbrennungsmotor
- Realistisch?
- Verbrauch bei Fahrt mit Verbrennungsmotor nicht angegeben
 - Rückrechnung mit Formel aus Regelung 101 und Durchschnittsverbrauch