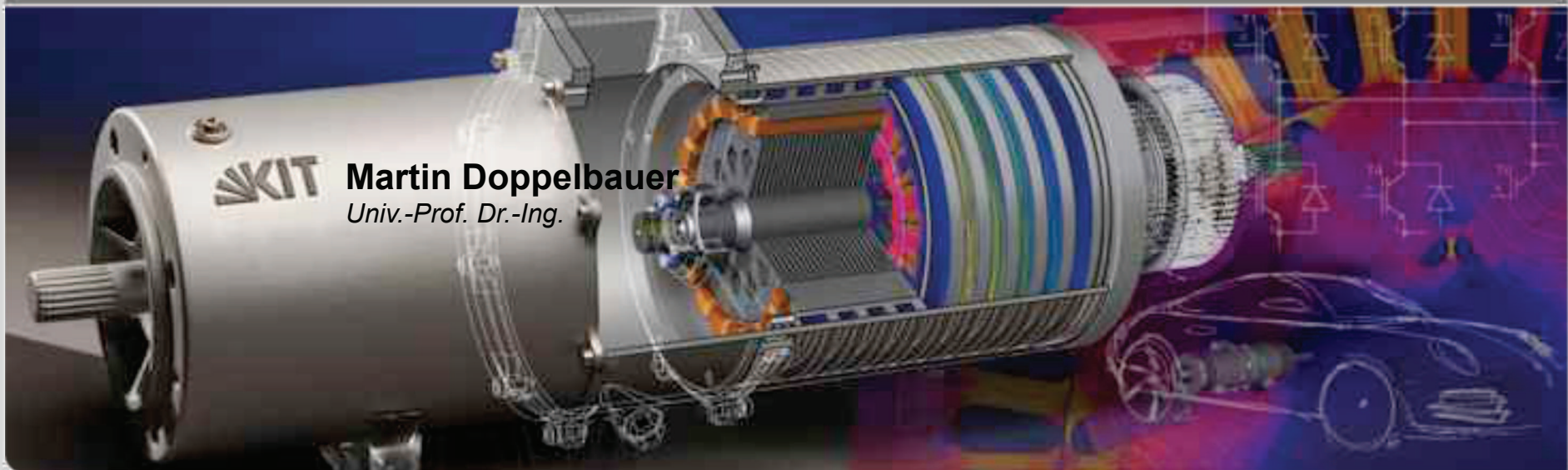


Grüner wird's nicht!

Unsere Umwelt und die Zukunft des elektrischen Automobils

Elektrotechnisches Institut (ETI) – Professur für Hybridelektrische Fahrzeuge (HEV)



KIT = Technische Universität Karlsruhe + Forschungszentrum Karlsruhe

Starke Lehre: 364 Professoren

**Wissenschaftlicher
Nachwuchs:** 3200 Doktoranden

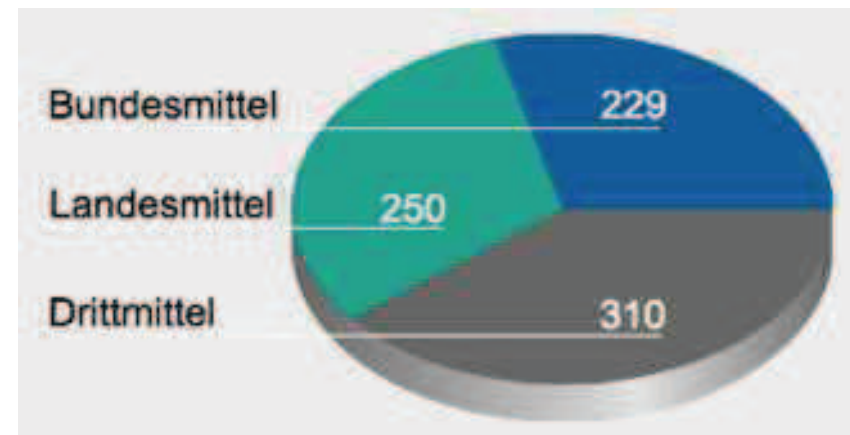
**International
attraktiv:** 844 Ausländische
Wissenschaftler

**Exzellente
Ausbildung:** 445 Auszubildende

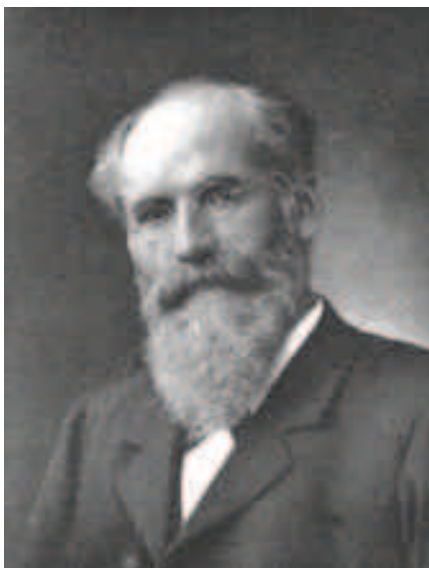
23.836 Studierende

Stand 2012

Einnahmen in Mio. € (2011)	789
Bundesmittel	229
Landesmittel	250
Drittmittel	310



Das Elektrotechnische Institut (ETI) am KIT



Engelbert Arnold
(Institutsgründung 1895)



Maschinensaal um 1899



- Kooperation mit OEMs, Industrie und Forschungseinrichtungen
- Entwicklung, Bau und Erprobung von Leistungselektronik bis 250 KW
- Entwicklung, Bau und Erprobung von Elektromotoren bis 200 kW / 30.000 /min

Das Elektrotechnische Institut (ETI) am KIT



Prof. Dr.-Ing.
Michael Braun

*Elektrische Antriebe und
Leistungselektronik*

Tel.: +49 (721) 608-42472

Michael.Braun@kit.edu

Campus Süd, Geb. 11.10

Raum 111

- Stromrichter-Systemtechnik
- Modulare Multilevel-Umrichter
- Neuartige Umrichtertopologien
- Maschinenregelung



Prof. Dr.-Ing.
Martin Doppelbauer

*Professur für
Hybridelektrische Fahrzeuge*

Tel.: +49 (721) 608-46250

Martin.Doppelbauer@kit.edu

Campus Süd, Geb. 11.10

Raum 114

- Elektromagnetische Motorauslegung
- Mechanische Auslegung / Konstruktion
- Industrielle und automobile
Antriebssysteme
- Hybride und vollelektrische Fahrzeuge

Historie Elektrofahrzeuge

1896 bis 1912: Die große Zeit der Elektroautos

- 1834 Bau des ersten **Elektromotors** (Moritz Hermann **Jacobi** in Königsberg)
- 1842 Erste Versuche mit **elektrischen Bahnen** (Robert **Davidson** in Glasgow)
- 1859 Erfindung des aufladbaren **Blei-Akkus** (Gaston **Planté** in Paris)
- 1881 Erstes **batteriebetriebene Elektroauto** (Gustave **Trouvé** in Paris)
- 1900 Erstes **Elektroauto** in Deutschland (Lohner-Porsche)
- 1901 Erstes **Hybridauto** mit Range-Extender (ebenfalls von Porsche)



Trouvé Tricycle

Quelle: Wikipedia



Allrad Lohner-Porsche

Quelle: Porsche

Moderne Elektrofahrzeuge

1990 bis heute: Renaissance einer cleveren Idee

- 1990 Erlassen des **Clean Air Act** in Kalifornien
- 1991 Sony bringt die **Lithium-Ionen Batterie** auf den Markt (für Videokameras)
- 1995 City-STROMer von VW auf Basis Golf III mit Bleibatterie
- 1997 **Toyota Prius** geht in Serie
- 2006 **Tesla** stellt den **Roadster** vor (lieferbar ab 2008)
- 2008 **Honda** bringt mit dem **FCX Clarity** das erste Brennstoffzellenauto in Serie
- 2009 **Mitsubishi** stellt mit dem **i-MIEV** das erste moderne Serien-Elektroauto vor
- 2010 **General Motors** stellt den **Chevrolet Volt** vor (Opel Ampera folgt 2011)
- 2012/13 **Renault** bringt eine Flotte von vier kostengünstigen Serien-Elektroautos
- 2014 Viele weitere Serienfahrzeuge von Europäischen Herstellern folgen



Quelle: Audi AG



Quelle: Renault

Fünf Fragen

1 Technik – Wie funktioniert ein Elektroauto ?

2 Praxis – Wie gehen wir damit um ?

3 Energie – Woher kommt der ganze Strom ?

4 Ökonomie – Was kostet uns das ?

5 Ökologie – Was bringt das für die Umwelt ?

Fünf Fragen

1 Technik – Wie funktioniert ein Elektroauto ?

2 Praxis – Wie gehen wir damit um ?

3 Energie – Woher kommt der ganze Strom ?

4 Ökonomie – Was kostet uns das ?

5 Ökologie – Was bringt das für die Umwelt ?

Energie [kW·h]

Wie *weit* kann man fahren?

Leistung [kW]

Wie *schnell* kann man fahren?

Mit **elektrischer Energie** kommt man rund **2 ... 3 -fach weiter** als mit **thermischer Energie** (Verbrennungskraftmaschinen), weil der Wirkungsgrad des E-Motors viel höher ist !

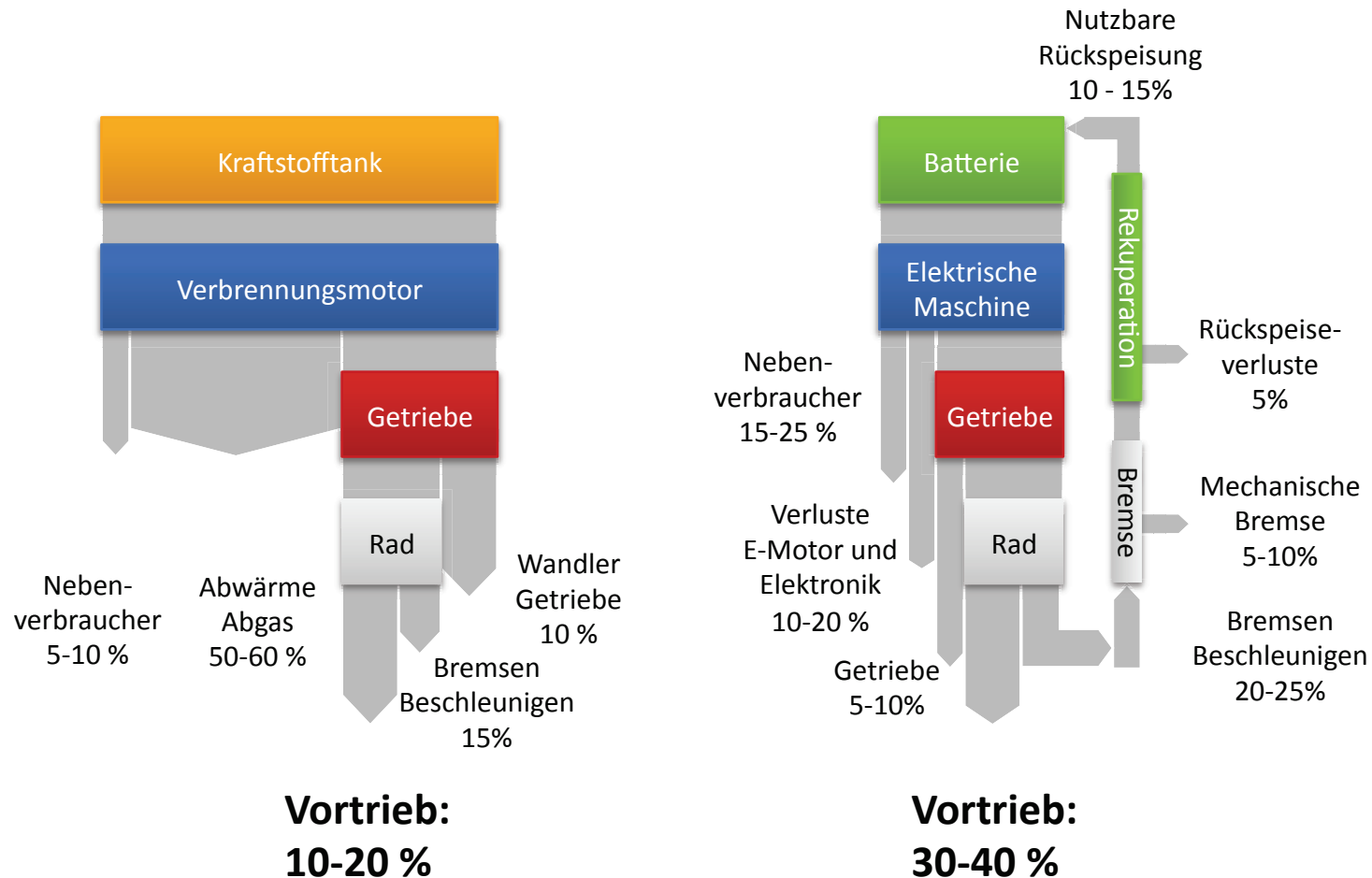
Richtwerte für **100 km Reichweite**:

- Benzin/Diesel: **5 l** (entspricht ca. 50 kWh)
(Brennwert 1 l Kraftstoff ca. 10 kWh)
- Elektrisch: **20 kWh Strom** (netto)
(oft wird die Kapazität einer Batterie nicht voll genutzt, um die Lebensdauer zu erhöhen)

Gelegentlich liest man von „kW/h“. Diese Einheit existiert physikalisch nicht. Gemeint sind „kW·h“.

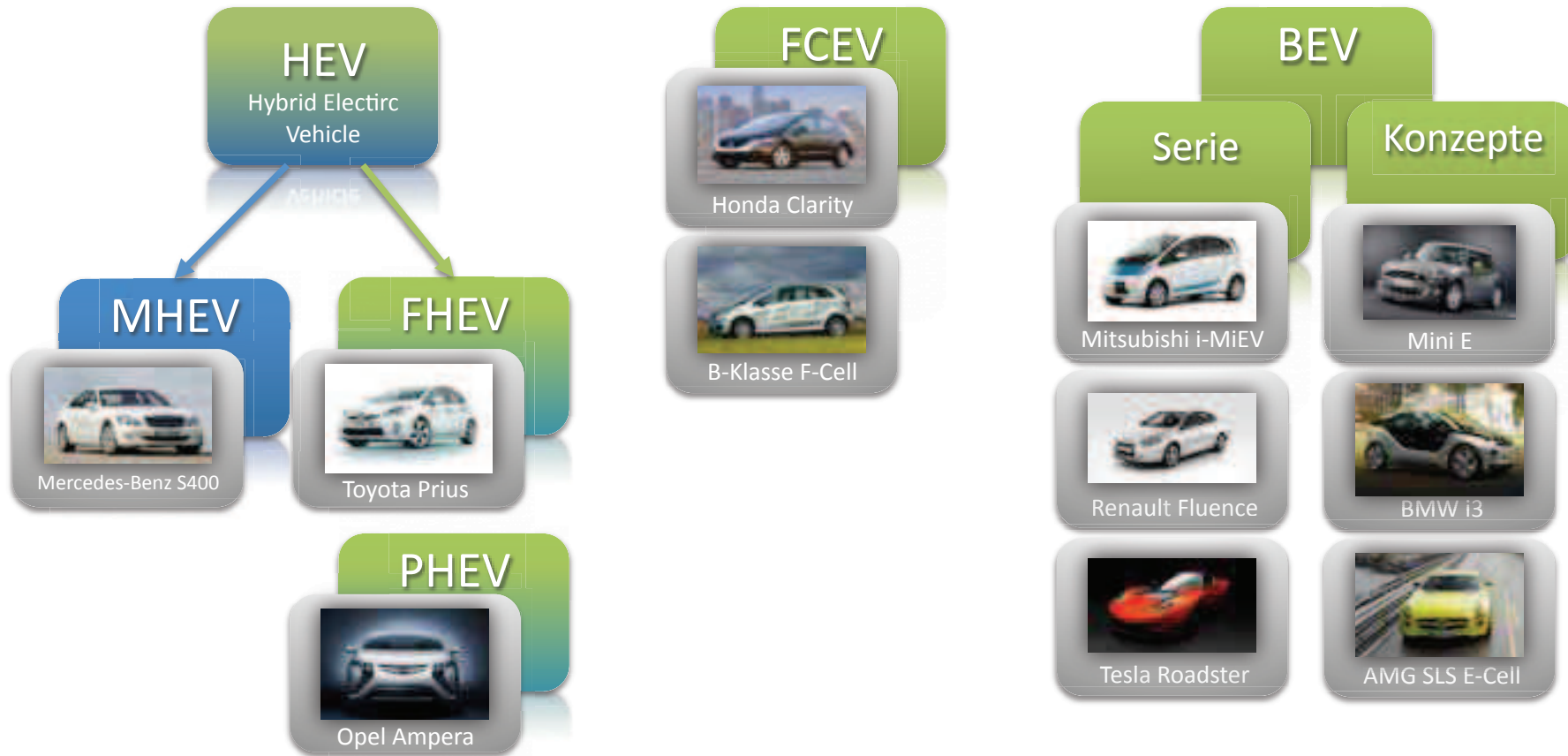
Energieverbrauch und Verluste

Wirkungsgradbilanz















Hybride und Elektrofahrzeuge

Kategorien



Hybride und Elektrofahrzeuge

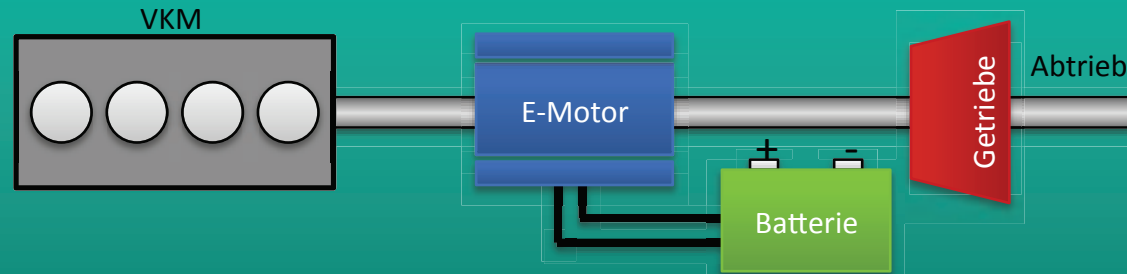
Kategorien und Funktionen

	<i>Micro-Hybrid</i> MCHEV	<i>Mild-Hybrid</i> MHEV	<i>Full-Hybrid</i> FHEV	<i>Plug-In Hybrid</i> PHEV	<i>Battery Elec. Vehicle</i> BEV	<i>Fuel-Cell Elec. Vehicle</i> FCEV
E-Maschine	< 2 kW	10 – 15 kW	15 – 60+ kW	30 – 120+ kW	30 – 120+ kW	30 – 120+ kW
Batterie	< 1 kWh	0,5 – 1,5 kWh	1,5 – 2,5 kWh	5 – 15 kWh	15 – 35 kWh	< 1 kWh
	Start/Stopp	Start/Stopp	Start/Stopp	Start/Stopp		
	Rekuperation < 2 kW	Rekuperation 10...15 kW	Rekuperation > 15 kW	Rekuperation > 15 kW		
		Lastpunkt- Verschiebung	Lastpunkt- Verschiebung	Lastpunkt- Verschiebung		
		Boosten < 15 kW	Boosten > 15 kW	Boosten > 30 kW		
			E-Fahren 1 – 3 km	E-Fahren 20 – 60 km	E-Fahren 80 – 160+ km	E-Fahren 400+ km
	 	 	 	  	 	
	GEM Getriebeintegrierte E-Motoren		TEM Traktions E-Motoren			

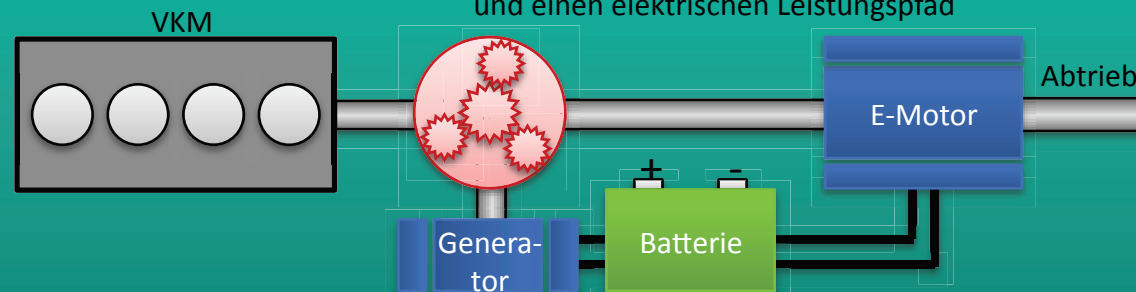
Hybridantriebe (HEV)

Varianten

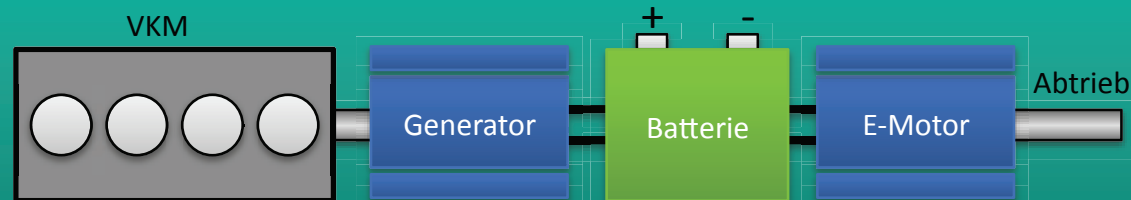
Paralleler Hybridantrieb Direkter mechanischer Durchtrieb vom Verbrennungsmotor zum Rad



Leistungsverzweigter Hybridantrieb Die mechanische Leistung wird aufgeteilt in einen mechanischen und einen elektrischen Leistungspfad



Serieller Hybridantrieb Kein mechanischer Durchtrieb vom Verbrennungsmotor zum Rad



Antriebsanordnung und Hybridfunktionen

			Hybridisierungsgrad			
			MCHEV	MHEV	FHEV	PHEV
Antriebsanordnung	Parallel	Momenten-addition	✓	✓	✓	
		Zugkraft-addition	X	X	✓	
	Seriell		X	X	X	✓
	Leistungsverzweigt	One Mode	X	X	✓	✓
		Two Mode	X	X	✓	

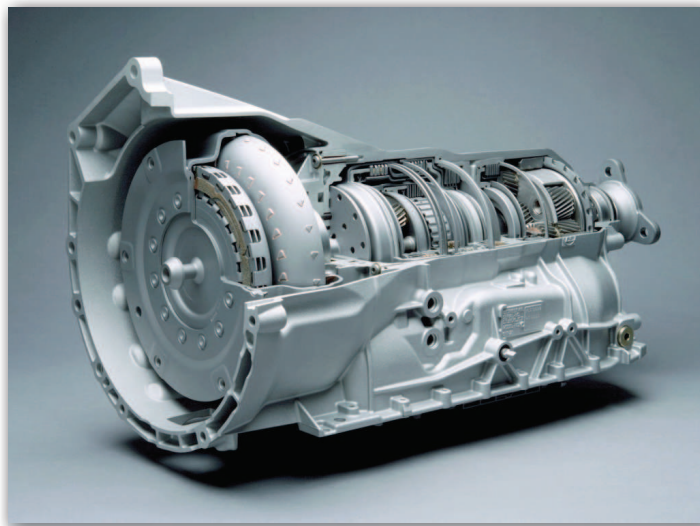
Elektroauto (BEV) und Traktionsmotoren (TEM)

Getriebe

Elektromotor = Drehmoment ab Drehzahl Null

- Keine Kupplung, keine Gangschaltung
- nur ein einfaches, kompaktes Getriebe mit hohem Wirkungsgrad ($> 95\%$)

Anstelle eines komplexen, schaltbaren Getriebes ...



... reicht ein einfaches Stirnrad (oder Planetengetriebe) mit Differential



Quelle: BMW AG, Robert McNeel & Associates

E-Motoren für Elektrofahrzeuge

Heute und in Zukunft

ASM

Asynchronmotor



PMSM

Permanentmagnet
Synchronmaschine



FESM

Fremderregte
Synchronmaschine



TFM

Transversalflussmotor



AFM

Axialflussmotor



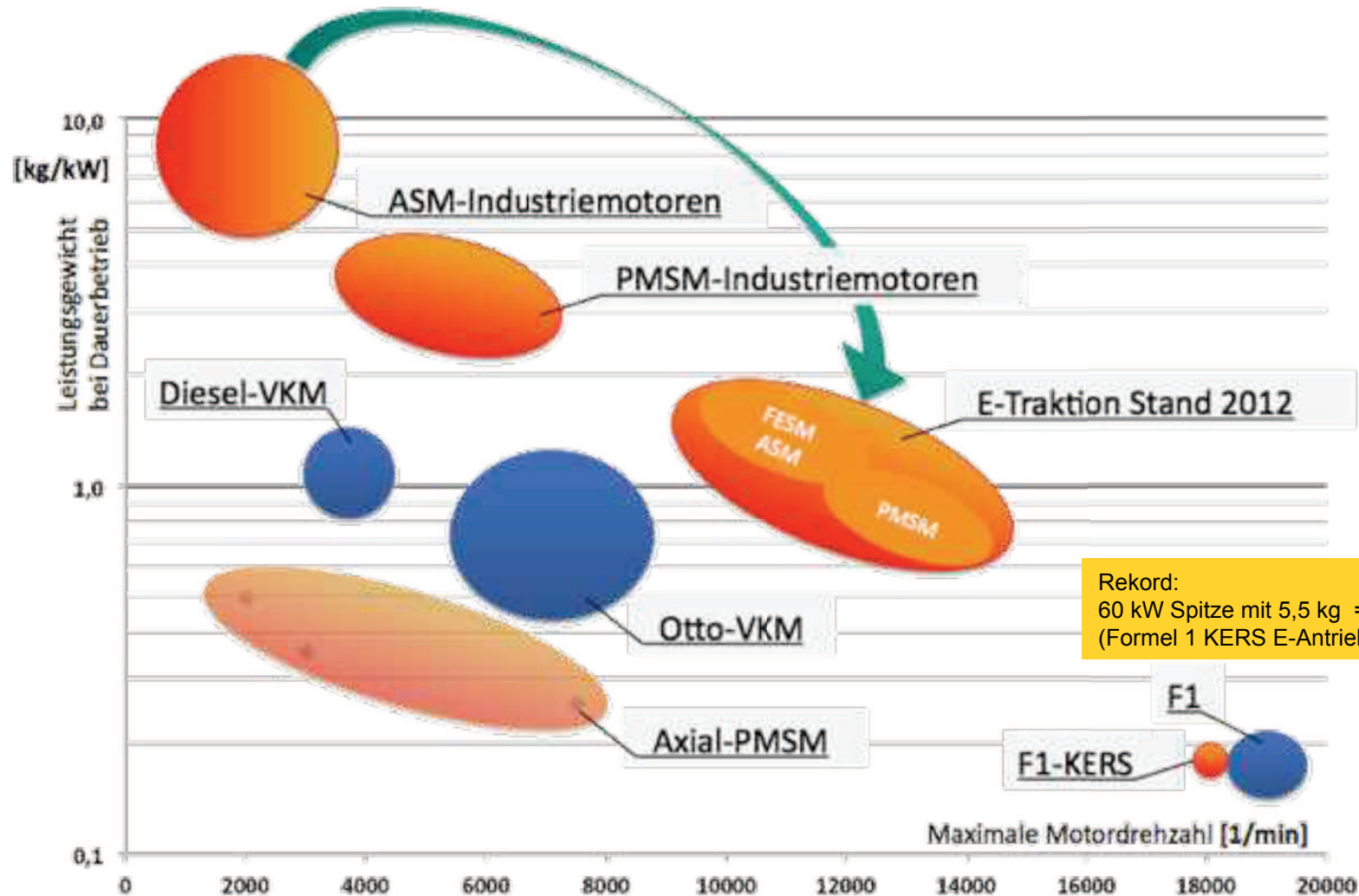
SRM

Geschaltete
Reluktanzmaschine



Leistungsgewicht

VKM und E-Motoren

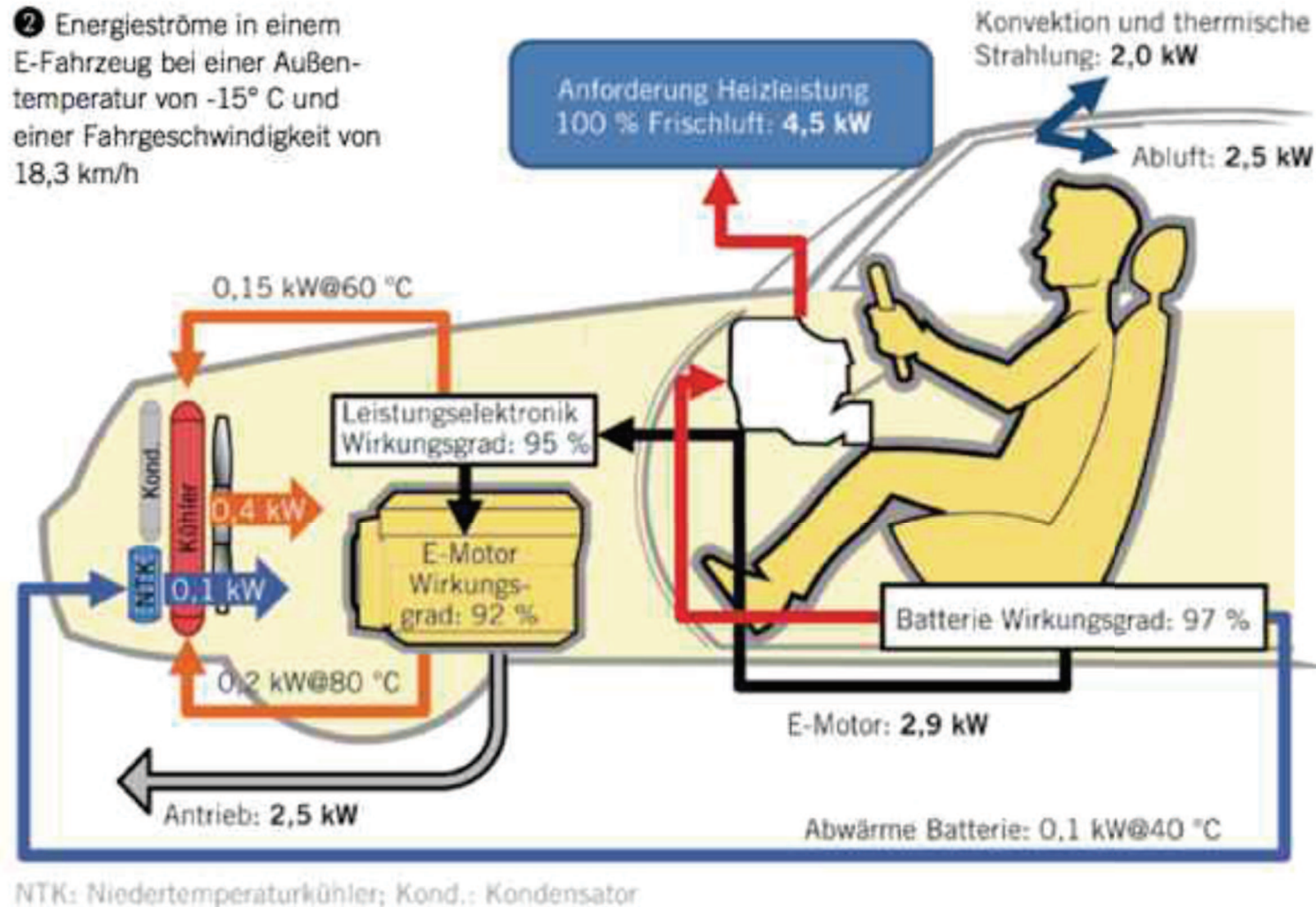


Alle Angaben für Dauerbetrieb / Dauerleistung; Spitzenleistung je nach Leistungselektronik ca. 1,5 ... 3-fach höher

Klimatisierung

Winter / Stadtfahrt

② Energieströme in einem E-Fahrzeug bei einer Außentemperatur von -15°C und einer Fahrgeschwindigkeit von $18,3\text{ km/h}$

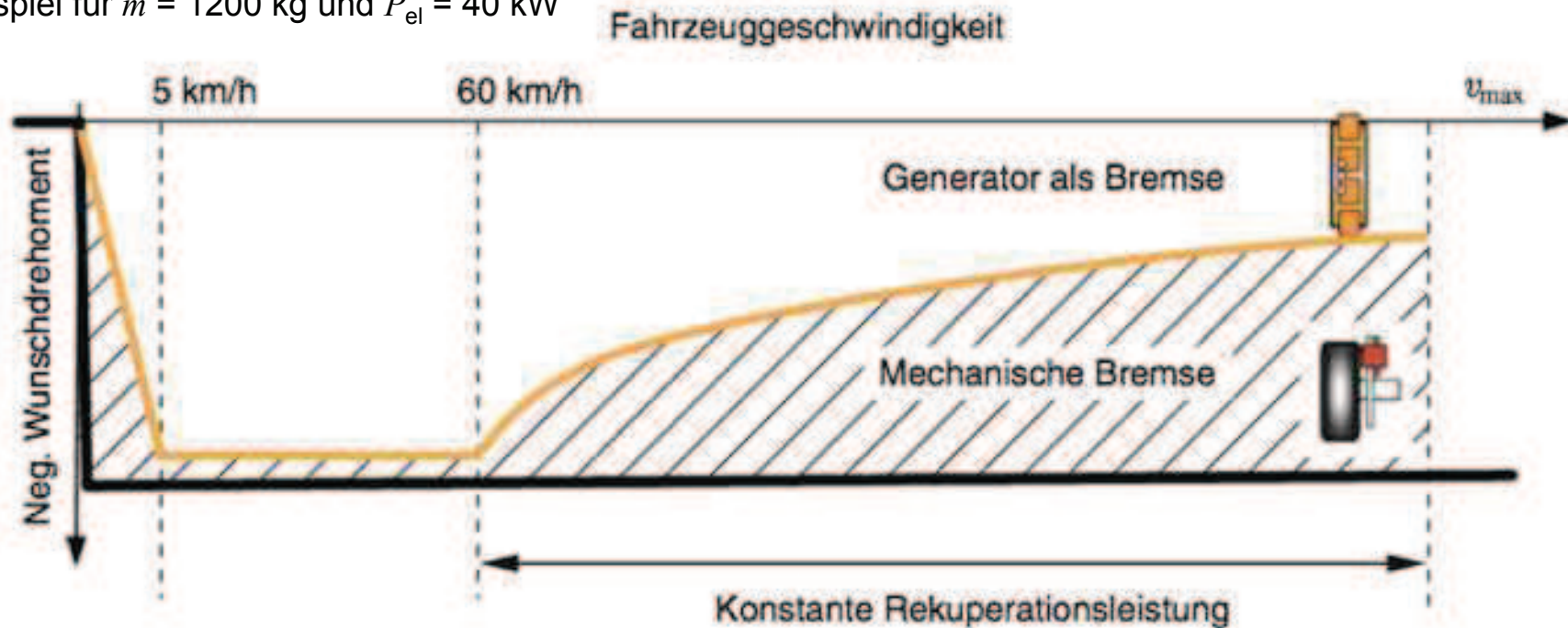


Quelle: Jung, Kemle, Strauss, Wawzyniak, *Innenraumheizung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen*, ATZ 05/2011, S. 397-401

Energierückgewinnung / Rekuperation

Beim Bremsen / Bergabfahrt

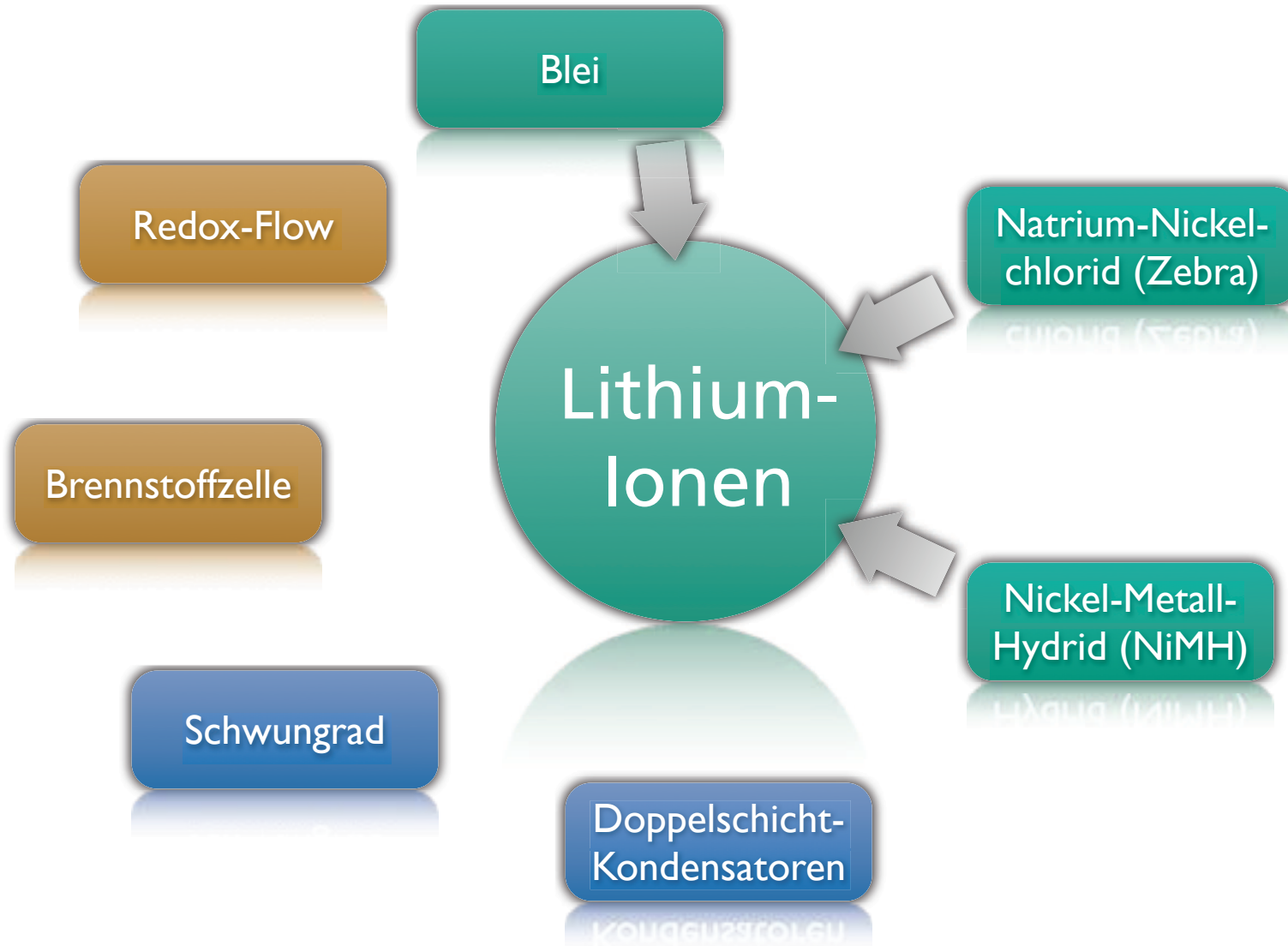
Beispiel für $m = 1200 \text{ kg}$ und $P_{\text{el}} = 40 \text{ kW}$



- **> 60 km/h:**
Mechanische Bremse zusätzlich zum Generator, da Generator durch maximale Leistung begrenzt
- **5 ... 60 km/h:**
Bremsmoment vollständig vom Generator aufgebracht und rekuperiert.
- **< 5 km/h:**
Mechanische Leistung zu gering, um Verluste des Generators zu decken.

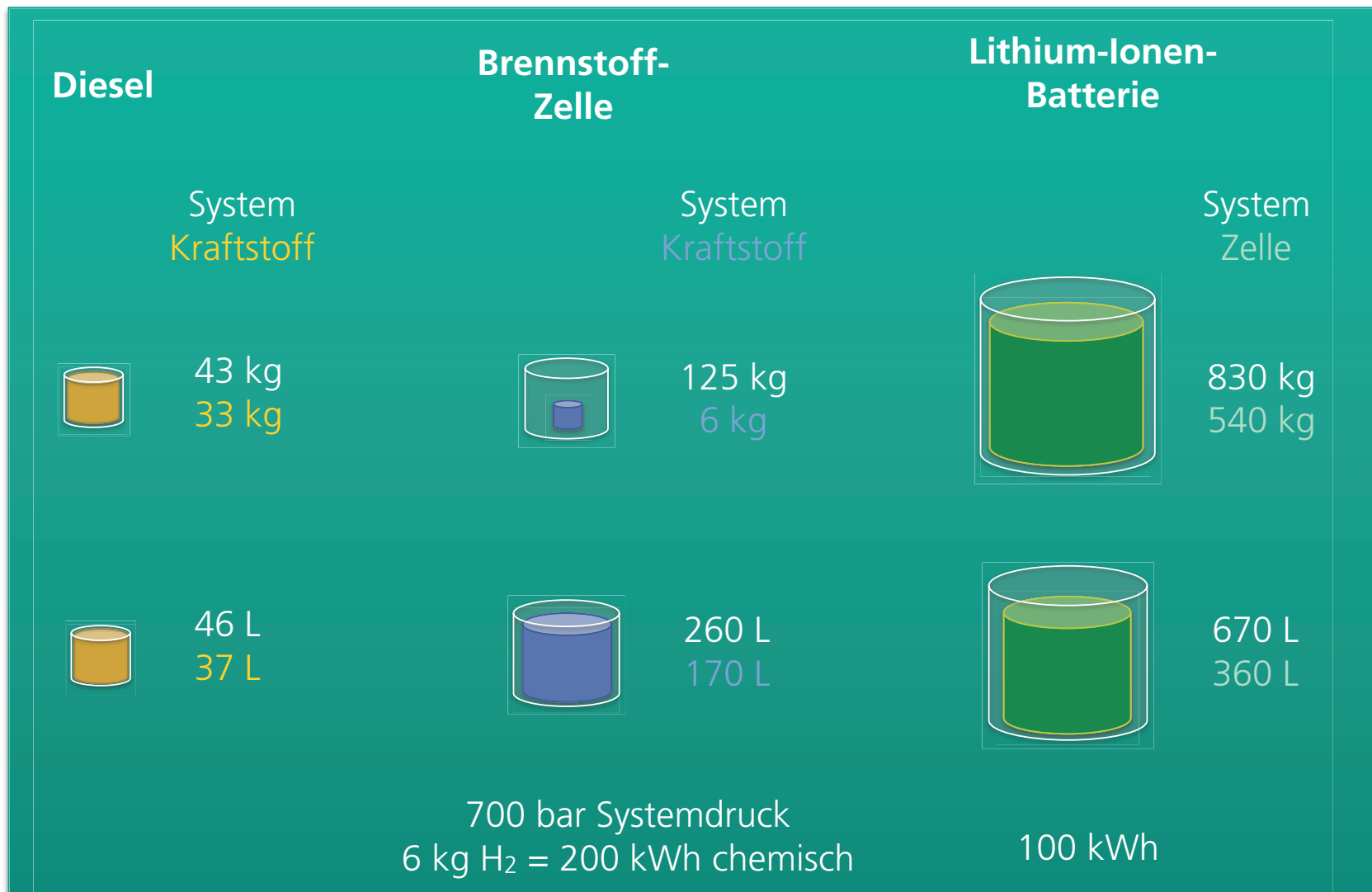
Im Realbetrieb kann man ca. **5 ... 10% der Energie durch Rekuperation zurückgewinnen.**

Quelle: K. Reif, Kraftfahrzeug-Hybridantriebe, Springer Vieweg, 2012

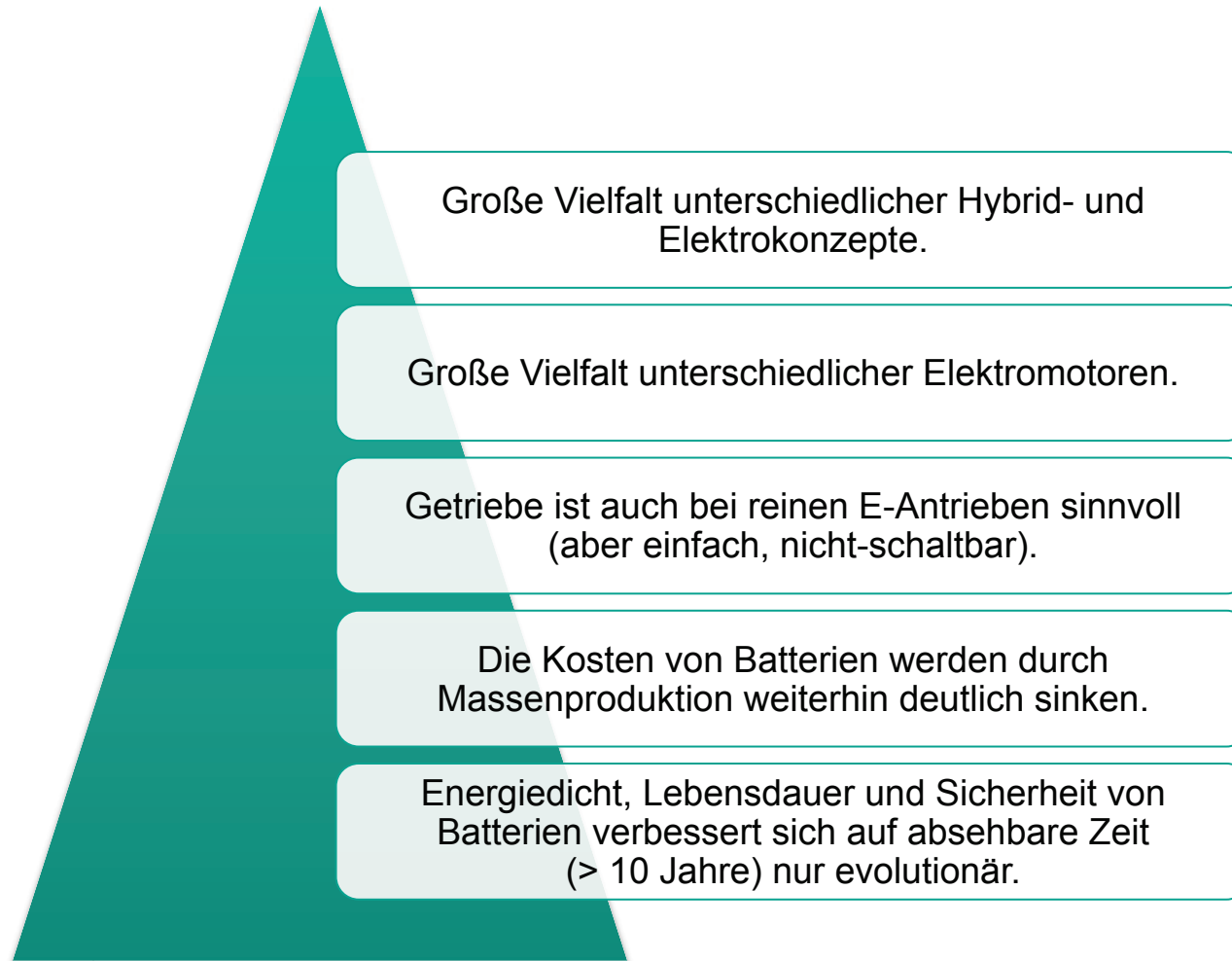


Vergleich Speichersysteme

500 km Reichweite



Quelle: Opel AG



Fünf Fragen

1 Technik – Wie funktioniert ein Elektroauto ?

2 Praxis – Wie gehen wir damit um ?

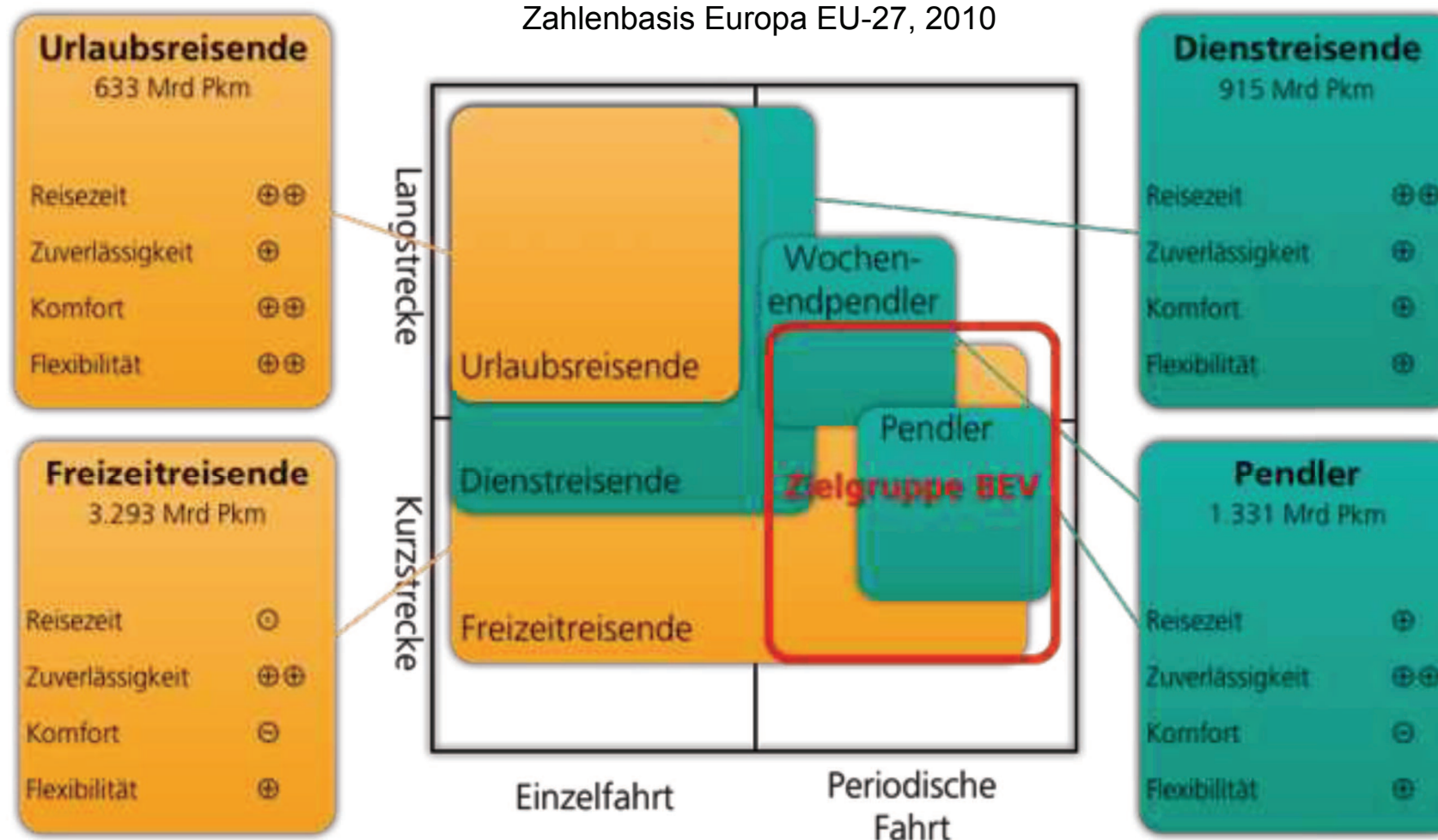
3 Energie – Woher kommt der ganze Strom ?

4 Ökonomie – Was kostet uns das ?

5 Ökologie – Was bringt das für die Umwelt ?

Segmentierung der Mobilität

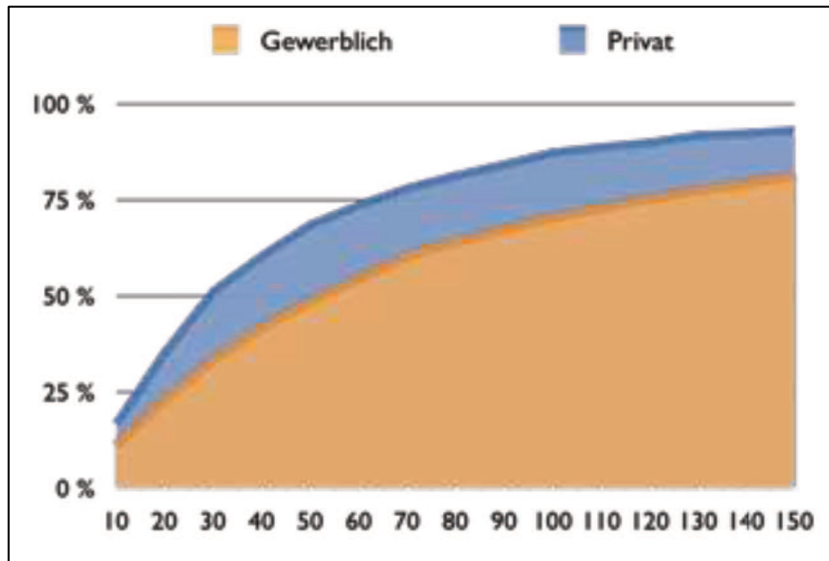
Zahlenbasis Europa EU-27, 2010



Quelle: PriceWaterhouseCooper 2010

Anforderungen an die Mobilität Heute und in Zukunft

Kumulierte tägliche Fahrzeugleistung in km in DL



100 km Reichweite

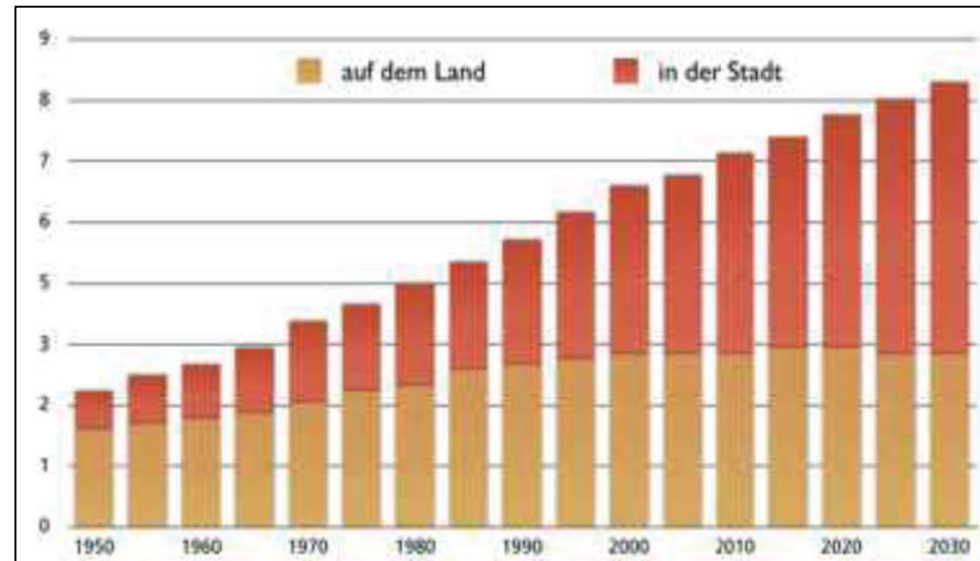
... reichen für **87%** aller privaten und
... **70%** aller gewerblichen Fahrleistungen

150 km Reichweite

... reichen für **93%** aller privaten und
... **81%** aller gewerblichen Fahrleistungen

Wenn über den Tag zusätzlich geladen werden kann
(Firmenparkplatz, Taxi-Stand, ...), sind mit **150 km Reichweite** sogar über **98% aller Fahrten** abgedeckt.

Weltbevölkerung in Mrd. Einwohner



Megacities (Ballungsräume)

Heute schon **30 Ballungsräume** mit über **10 Mio. Einwohnern**.
An der Spitze Tokio mit fast 40 Mio. Einwohnern.
In DL „Rhein-Ruhr“ mit 10 Mio. Einwohnern.

Immer mehr Menschen werden in Megacities leben.
Seit 2007 leben weltweit mehr Menschen in Städten als auf dem Land.

Elektroauto ist ideales Stadtfahrzeug
(soweit nicht öffentliche Verkehrsmittel genutzt werden).

Quelle: VDE Studie Elektrofahrzeuge 2010, Wikipedia, UN 2009

Range Extender ?

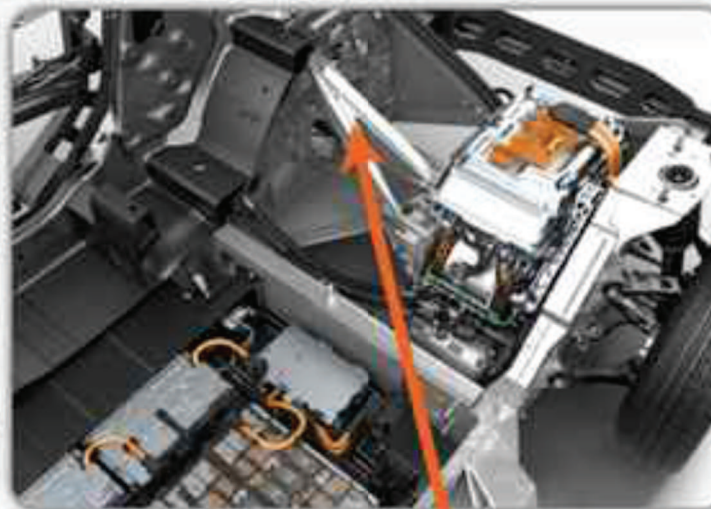


Quelle: AC Propulsion / Genset Trailer

Range Extender !



GAS ENGINE



NO GAS ENGINE

Quelle: BMW AG

Induktives Laden auf der Autobahn



Vision:

Nachladen während der Fahrt auf einer separaten Fahrspur.
Speisung durch Wind- und Sonnenkraftwerke entlang der Autobahn.

Quellen: Institution of Mechanical Engineers; Conductix Wampfler; Schraven, *Techno-ökonomische Bewertung induktiver Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge*, Fraunhofer ISI, 2010

Induktives Laden

schon heute

Vorteile

- Hoher Komfort (Anstecken des Kabels entfällt, kein Eingriff des Fahrzeugnutzers; Laden erfolgt bedarfsgesteuert automatisch).
- Kein Ladekabel, kein Ladegerät.
- Ermöglicht häufiges „flaches“ Laden (Ampeln, Taxistopps).
- Hohe Sicherheit (Schutz vor Vandalismus und Witterungseinflüssen) und Ästhetik (keine Säulen und Kabel).








Nachteile

- Übertragungsverluste zwischen 10 bis 20%.
- Keine Rückspeisung von Energie in das Netz (zur Stabilisierung).
- Systemkosten höher als mit konventionellen Lösungen.



Quelle: Conductix-Wampfler GmbH

Konduktives Laden an der Steckdose

Zu Hause			Tankstelle		
Privat			Öffentlich Deutschlandweit 1741 Ladestationen mit 4649 Anschlüssen (Oktober 2013, de.chargemap.com)		
Separates Ladegerät im Auto oder Dual-Use der vorhandenen Leistungselektronik				Ladegerät in der Zapfsäule	
AC 230 V / 13 A	AC 400 V / 16 A	AC 400 V / 32 A	AC 400 V / 63 A	DC Laden (Mid)	DC Laden (High)
3 kW	11 kW	22 kW	43 kW	50 kW	72 kW
2,6 kW netto (0,22 km/min)	9,5 kW netto (0,8 km/min)	19 kW netto (1,6 km/min)	37,5 kW netto (3,1 km/min)	45 kW netto (3,8 km/min)	65 kW netto (5,4 km/min)
					

Ladezeit für 20 kWh (rund 100 km Reichweite, Annahme $\cos \phi = 1.0$, Ladewirkungsgrad = 0.86):

8 h	2 h	1 h	> 30 min	< 30 min	< 20 min
-----	-----	-----	----------	----------	----------

Konduktives Laden an der Steckdose

	Langsam-Laden (unter 8 kW; über Nacht)			Normal-Laden (11 oder 22 kW; 1 - 2 h)		Schnell-Laden (ab 40 kW; ½ h)		
	zu Hause (Schuko)	zu Hause (Wallbox)	EU-Norm AC-Säule	zu Hause (Wallbox)	EU-Norm AC-Säule	EU-Norm AC-Säule	EU-Norm DC-Säule*	CHAdeMO DC-Säule**
Ladepunkte EU	-	-	> 18.000	-	> 18.000	22	36	> 1.000
Ladepunkte DL	-	-	> 2.200	-	> 2.200	6	20	47
Nissan Leaf	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Opel Ampera	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Tesla Model S	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
Renault Zoe	~	✓	✓	~	✓	✓	✗	✗
Smart ED	✓	~	~	~	~	✗	✗	✗
VW e-up!	✓	~	~	✗	✗	✗	~	✗
VW e-Golf	✓	~	~	✗	✗	✗	~	✗
BMW i3	✓	~	~	✗	✗	✗	~	✗

Quellen: <http://www.goingelectric.de/stromtankstellen/Deutschland/> <http://plugfinder.de> <http://de.chargemap.com>

Stand: 03/2014

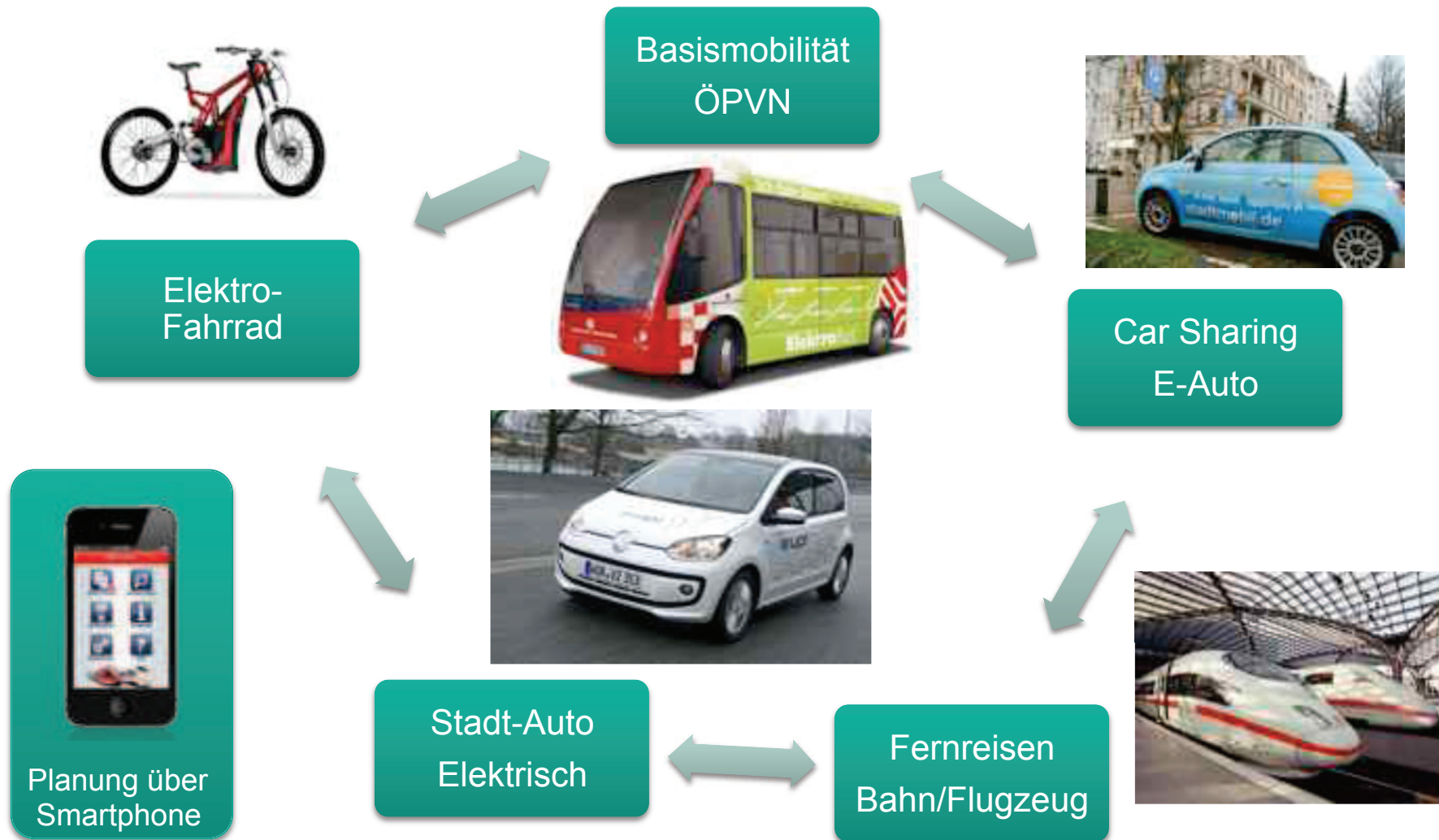
✓ Serie

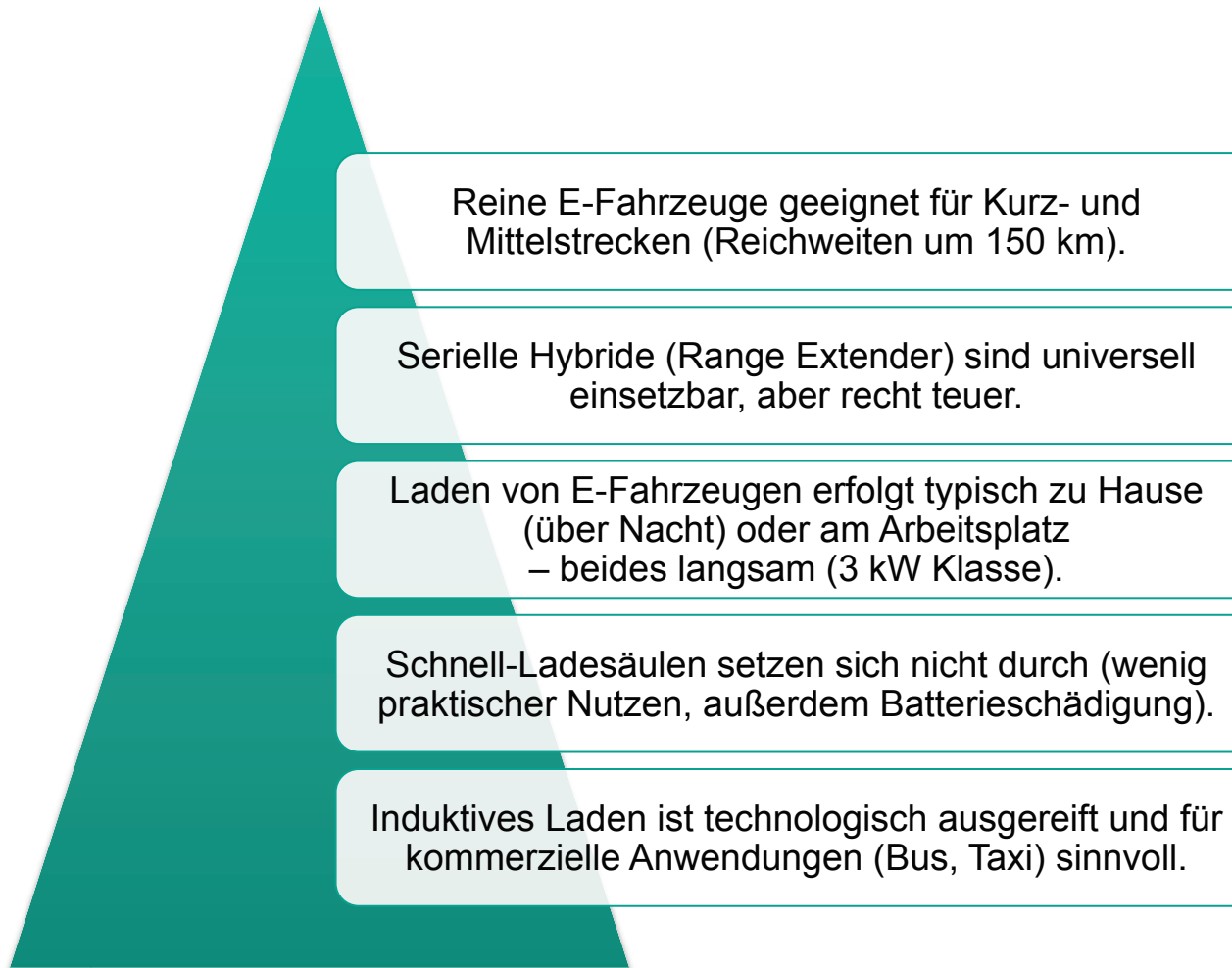
* CCS; ** CHAdeMO-Säulen bisher in DL wenig verbreitet und teuer; Zukunft in EU ungewiss (kein EU-Standard)

~ Zubehör / Extra

Multimodale Mobilität

Langfristig müssen wir uns vom Konzept „Ein Auto für alle Fälle“ verabschieden!





Fünf Fragen

1 Technik – Wie funktioniert ein Elektroauto ?

2 Praxis – Wie gehen wir damit um ?

3 Energie – Woher kommt der ganze Strom ?

4 Ökonomie – Was kostet uns das ?

5 Ökologie – Was bringt das für die Umwelt ?

Stromverbrauch Elektroautos

Zahlenspiel

Ziel der Bundesregierung: Eine Million E-Autos bis 2020

	Realistisch-optimistisches Szenario (Basis Shell Studie)		Grenzbetrachtung (alle PKW elektrisch)
	2020	2030	2011
Anzahl BEVs	615 Tsd	2,1 Mio	42 Mio
Fahrstrecke pro BEV pro Jahr	5.000 km	7.000 km	13.500 km
Anzahl HEVs	2,7 Mio	11 Mio	-
Fahrstrecke pro PHEV pro Jahr	9.000 km	11.000 km	-
Energiebedarf	3 TWh	15 TWh	113 TWh

Angenommener mittlerer Energieverbrauch: 20 kWh/100 km (Grid to Wheel).
HEVs fahren angenommen die Hälfte der Fahrstrecke rein elektrisch.