Rohstoff- und Energiemanagement

Hochschule **Rosenheim**
University of Applied Sciences

Potentiale und Auswirkungen der Elektromobilität auf den Stromsektor in Bayern

Energiedialog Bayern – München, 24. Januar 2015

Prof. Dr.-Ing. Sandra Krommes

Entwicklung der Elektromobilität.
Schlüsselrolle?

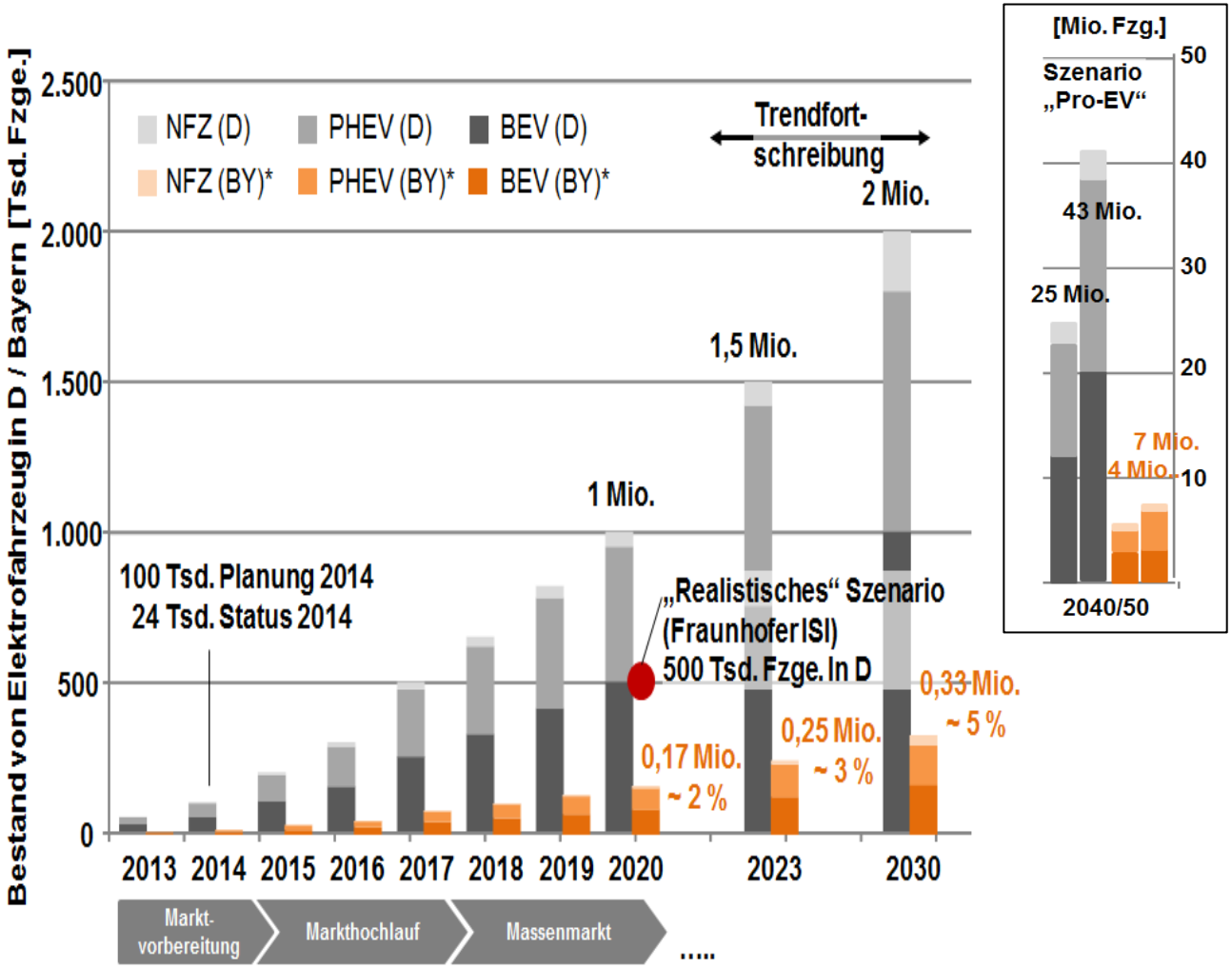
„Der Elektromobilität kommt eine Schlüsselrolle bei der Energiewende zu.“

?

Quelle: Pregger, T. u.a., Optimierte Integration der Elektromobilität in das Stromversorgungssystem bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien, 2013

Entwicklung der Elektromobilität.

Prognose des Bestands an Elektrofahrzeugen in Deutschland und Bayern.



- Marktentwicklung der Elektrofahrzeuge bleibt in Deutschland derzeit hinter den Erwartungen zurück.
- Gründe:
  - hohe Anschaffungskosten („TCO Lücke“)
  - Nutzerbedürfnisse (z.B. Reichweite)
  - Unsicherheit ggü. dem Produkt (z.B. Batterie)
  - geringe Marktanreize ggü. anderen Märkten
  - (semi-) öffentliche Lade-infrastruktur im Aufbau
  - Produktangebot weitet sich erst sukzessiv aus

Quelle: eigene Berechnung, Zahlen 2013 - 2020 in Anlehnung an NPE, Fortschrittsbericht 2014
* Ableitung entsprechend dem Anteil von Bayern (BY) am Pkw-Bestand in D
BEV – Battery Electric Vehicle, PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle, NFZ – leichte Nutzfahrzeuge, TCO – Total Cost of Ownership

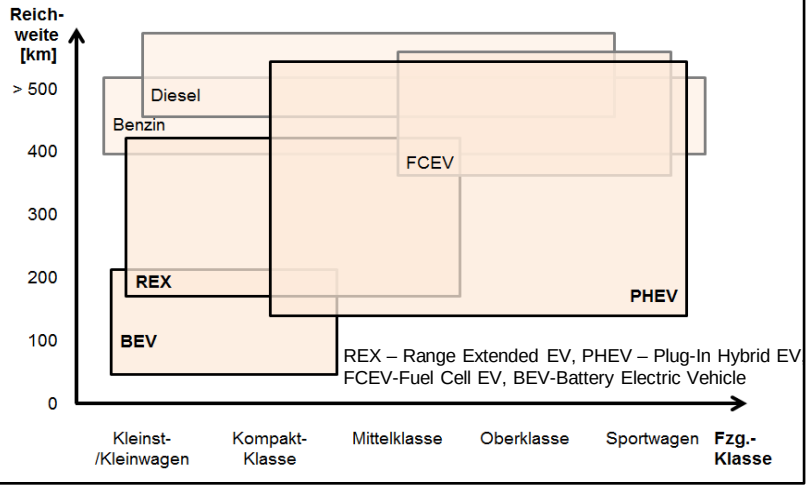
Entwicklung der Elektromobilität.
Relevante Technologien und Nutzerverhalten.

1 Relevante Antriebskonzepte

	Erdöl				Strom		H2 / Erd-gas
	Hybrid				xEV		
	Micro	Mild	Full	Plug-In	BEV	REX	FCEV
Batteriegröße [kWh]			2-3	5-10	~ 30	~ 30	3-5
Elektr. Reichweite [km]			≤ 5	20-30	±200	±400	≥ 500
Externe Aufladung				x	x	x	
Ausschl. elektr. Fahren					x		x

BEV: Battery Electric Vehicle,REX: BEV mit RangeExtender, FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle

2 Fahrzeug- und Antriebskonzepte



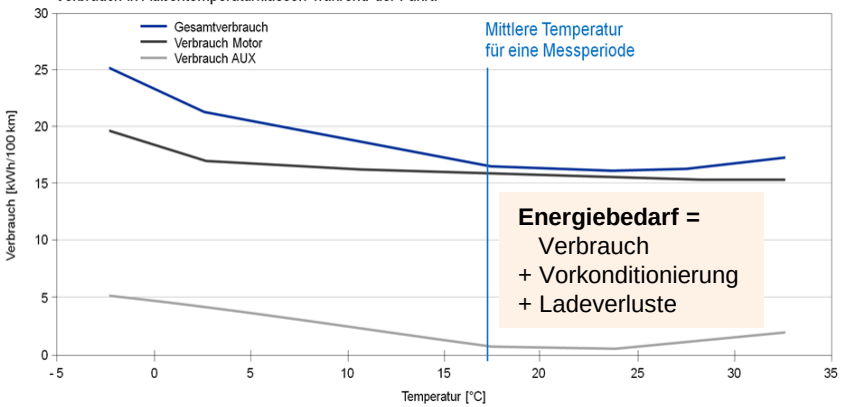
3 Ladetechnologien

	Zuhause / Privat	Arbeitgeber	(Semi-) Öffentlich
Ladeart/-leistung • AC • DC	AC als Standard 3,7 kW (vereinzelt höhere Leistung, z.B. Flotten)		
	10-20 kW	bis 20 kW Flotten	bis 50 kW
Anforderungen an die Ladeinfrastruktur • Zugang / Verfügbarkeit • Leistung • Netz- und Lastmanagement • Abrechnungssysteme	Steigende Anforderungen		

AC - Wechselstrom, DC - Gleichstrom

4 Verbrauch$_{elektr.}$ (→ Energiebedarf)

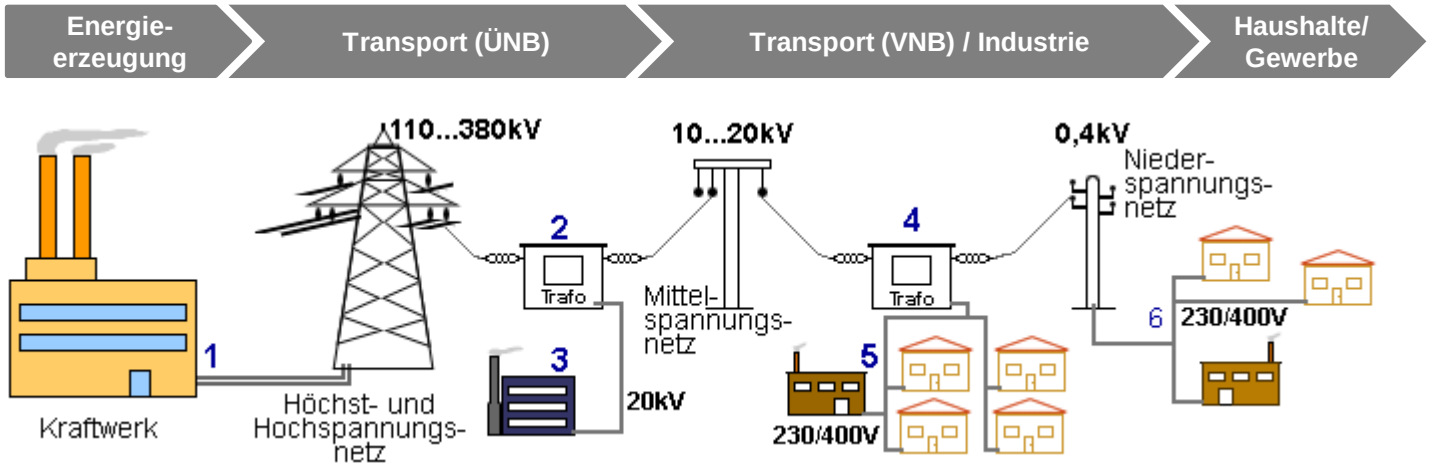
Verbrauch in Außentemperaturklassen während der Fahrt.

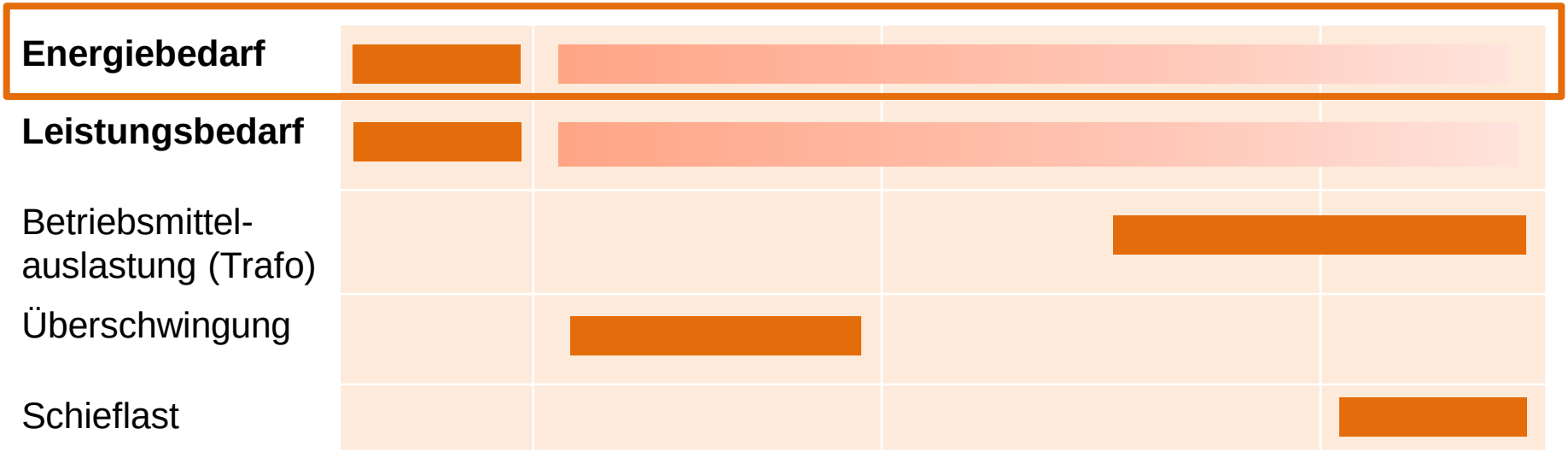


Quelle: BMW AG, MINI E Feldversuche.

Einflussfaktoren der Elektromobilität auf den Stromsektor.

Potentielle Herausforderungen der Stromversorgung durch Elektromobilität.





Einflussfaktoren der Elektromobilität auf den Stromsektor.

Durchschnittlicher Energiebedarf. Energiebedarf und daraus resultierende Ladehäufigkeit von BEV und PHEV.

BEV				PHEV			
Verbrauch (elektr.) [kWh/100 km] [1]				**Verbrauch (elektr.) [kWh/100 km]** [1]			
Zyklus		15	kWh/100 km	Zyklus		15	kWh/100 km
Praxis		20	kWh/100 km	Praxis		20	kWh/100 km
Energiebedarf pro Jahr [kWh/Jahr]				**Energiebedarf pro Jahr**			
Fahrleistung pro Jahr [km]				elektr. Fahrleistung pro Jahr [km] [2]			
10.000	km	2.000	kWh/Jahr				
20.000	km	4.000	kWh/Jahr	6.250	km	1.250	kWh/Jahr
30.000	km	6.000	kWh/Jahr				
Ladehäufigkeit [Ladungen/Woche] [3]				**Ladehäufigkeit [Ladungen/Woche]** [4]			
tägliche Fahrleistung				tägliche Fahrleistung (elektr.)			
40	km	2,24	Ladungen/Woche				
80	km	4,48	Ladungen/Woche	25	km	7	Landungen/Woche
120	km	6,72	Ladungen/Woche				
Ladeleistung [kW]				**Ladeleistung [kW]**			
Standard		3,7	kW	Standard		3,7	kW
Gleichzeitigkeitsfaktor		0,4		Gleichzeitigkeitsfaktor		1	

Annahmen:

[1] keine Berücksichtigung von Verbrauchsreduktionspotentialen bei Elektrofahrzeugen über die Zeit

[2] elektr. Reichweite 25 km, 250 Tage

[3] nutzbare Batteriekapazität BEV: 25 kWh i.V. mit Gleichzeitigkeitsfaktor

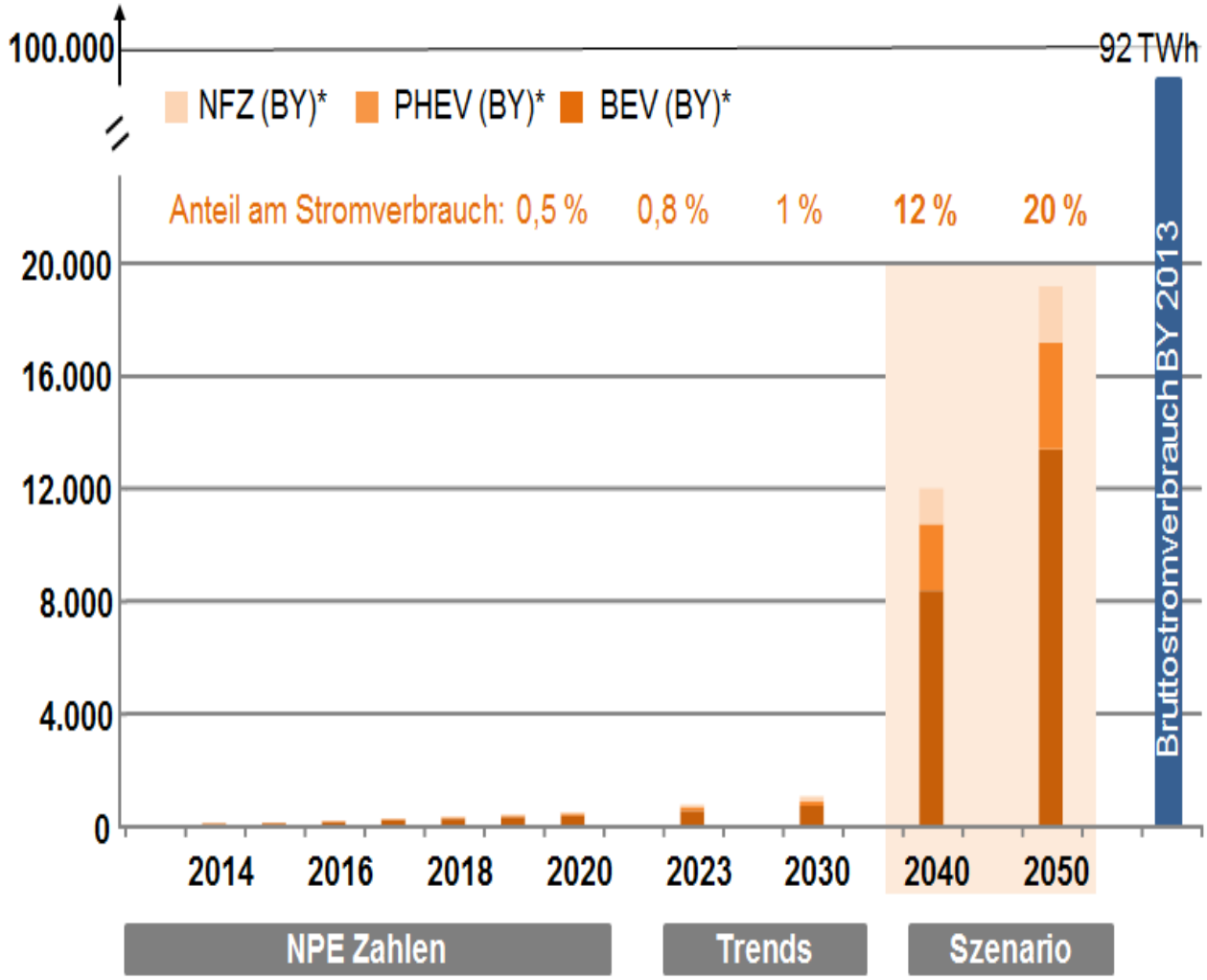
[4] nutzbare Batteriekapazität PHEV: 8 kWh i.V. mit Gleichzeitigkeitsfaktor

→ Elektrofahrzeug führt in einem einzelnen <u>Haushalt</u> zu einem signifikanten Mehrverbrauch.

BEV – Battery Electric Vehicle, PHEV – Plug-In Hybrid Vehicle

Einflussfaktoren der Elektromobilität auf den Stromsektor.

Durchschnittlicher Energiebedarf. Abschätzung des Energiebedarfs von Elektrofahrzeugen in Bayern.

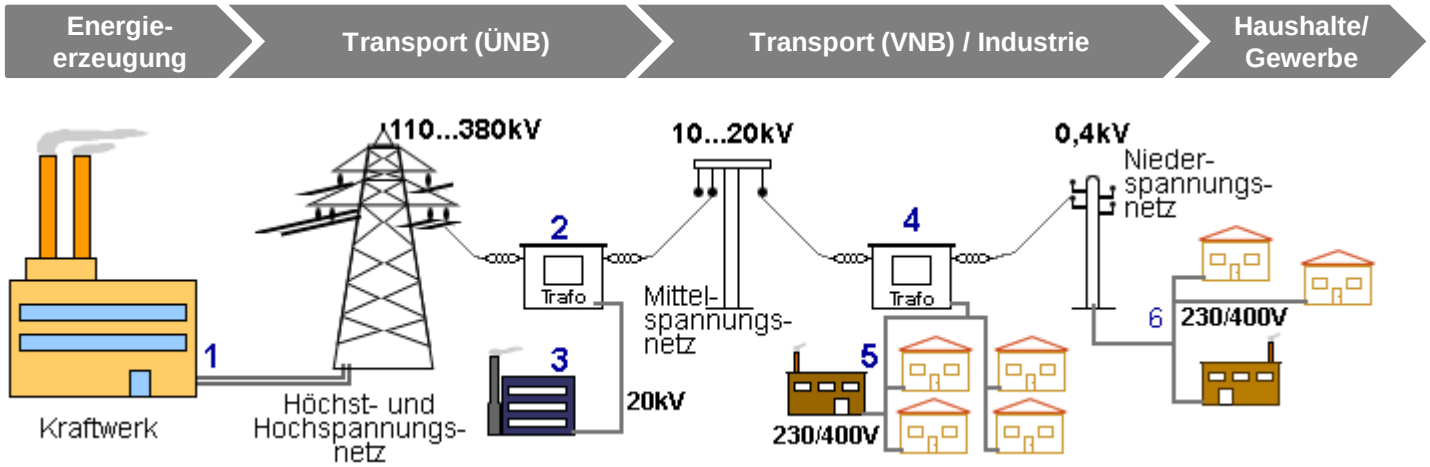


- Energiebedarf für Elektrofahrzeuge ist <u>kurz- bis mittelfristig</u> (bis 2030) sehr gering. Er liegt vorauss. bei ≤ 1 %.
- Mit steigender Elektrifizierung des Bestands nimmt der Energiebedarf langfristig signifikant zu.
- <u>Langfristig</u> (2050) kann der Energiebedarf für Elektrofahrzeuge auf Basis des heutigen Stromverbrauchs etwa 20 % ausmachen.
- Elektrifizierung des Individual-Verkehrs führt zur Reduktion des fossilen Primärenergieverbrauchs.

Quelle: eigene Berechnung BEV – Battery Electric Vehicle, PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle, NFZ – leichte Nutzfahrzeuge

Einflussfaktoren der Elektromobilität auf den Stromsektor.

Potentielle Herausforderungen der Stromversorgung durch Elektromobilität.



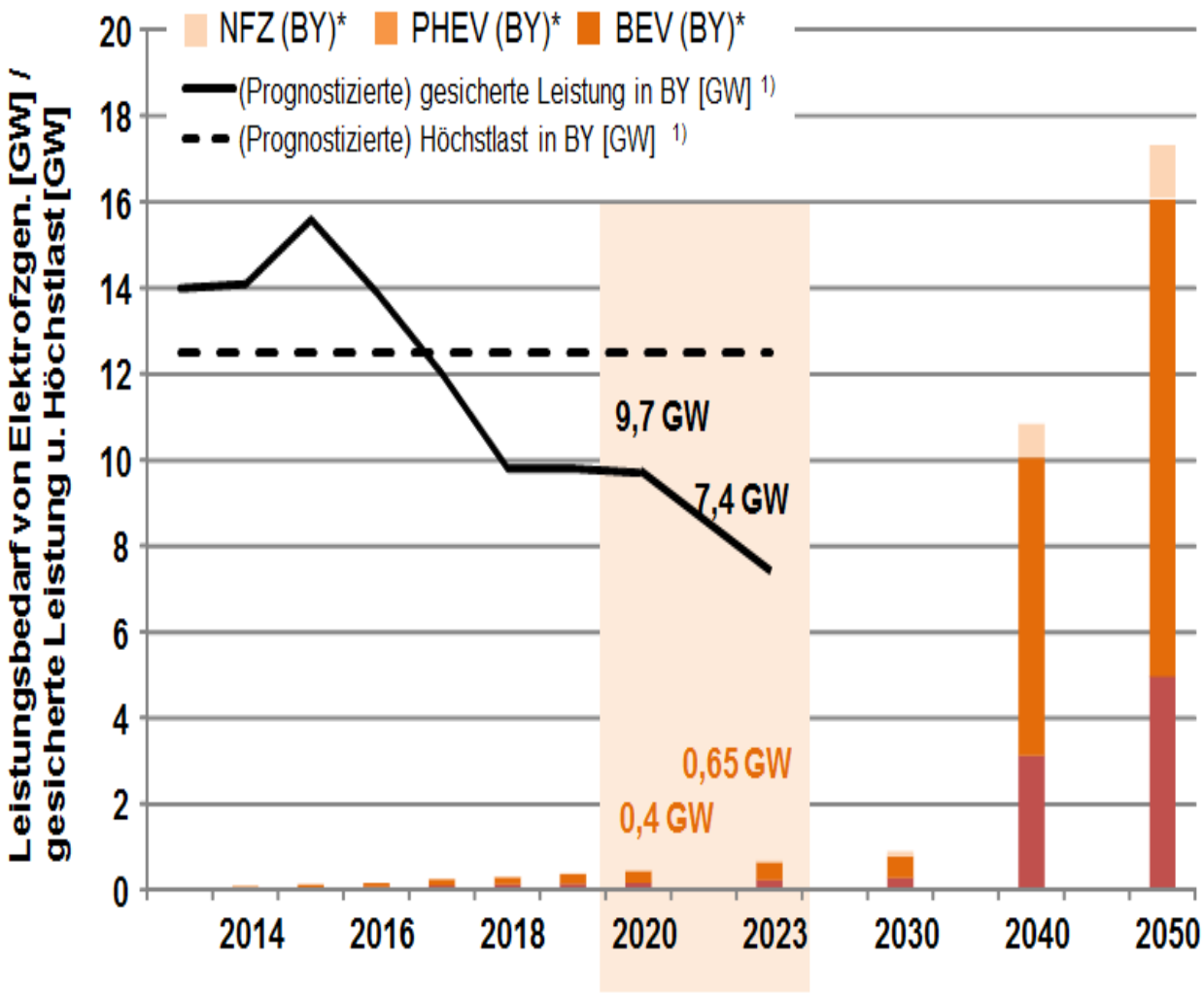
Energiebedarf	■	■		
Leistungsbedarf	■	■		
Trafoauslastung				■
Überschwingung		■		
Schieflast				■

Relevante Parameter

- **Ladeleistung**
- **Ladezeitpunkt**
- **Ladedauer (→ Energiebedarf)**
- **Gleichzeitigkeitsfaktor**
- (Anteil Eigenverbrauch)

Einflussfaktoren der Elektromobilität auf den Stromsektor.

Leistungsbedarf von Elektrofahrzeugen bei „ungesteuertem Laden“ in Bayern.



- Ein „ungesteuertes“ Laden (→ hoher Gleichzeitigkeits-faktor) von Elektrofahr-zeugen führt kurz- bis mittelfristig zu erhöhten Leistungsbedarfen.
- Potentiale liegen in
  - der Aufnahme von Netz-Überschüssen (z.B. EE) und
  - der Verschiebung von (Spitzen-) Lasten im Netz

  → **„gesteuertes“ Laden**

Quelle: eigene Berechnung 1) Prognos, Überprüfung der Stromlücke in Bayern, Energiedialog, München, 2015

Handlungsoptionen.

Lösungsansätze zur Reduktion des Leistungsbedarfs und zur Aufnahme von Überschüssen im Netz durch Elektrofahrzeuge.

heute

Nutzer (!) entscheidet über die Attraktivität des Lösungsansatzes.

~ 2030-40

Roadmap „Gesteuertes Laden“

„Nutzergesteuertes“ Laden	**„Nutzer- und netzlastgesteuertes“ Laden**	**„Netzlast- und erzeugungsgesteuertes“ Laden**	**EV als „Netz-Dienstleister“**
Nutzer (Flotte / Privat) startet Ladevorgang mit Ankunft „Basis“ (→ keine Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors)	• Ladevorgang startet in Abhängigkeit der Netzlast • Sicherstellung eines definierten Ladezustands mit Abfahrt	• Ladevorgang startet in Abhängigkeit der Netzlast <u>und</u> Überschüsse EE • Sicherstellung eines definierten Ladezustands bei Abfahrt	• V2G ist ab-hängig von Batterie-degradation ? • Bi-direktionales Ladegerät im Fzg. und Rückspeisung fürs Netz erforderl.

Ansätze

- **Steigerung des Eigenverbrauchs von EE bei Elektrofahrzeugen (→ Anreizinstrumente)**
- **Option der regelbaren Verbraucher (→ EnWG)**
- **Preis-/Tarifgestaltung: eigenverbrauchs-, tarif-, EE- oder netzlastoptimiert**
- **Teilnahme am Regelenergiemarkt/virtuelle KW: negativer (√) und positiver (?) Regelenergiemarkt**

V2G – Vehicle-to-Grid

Kommt der Elektromobilität eine Schlüsselrolle bei der Energiewende zu?

Bewertung der Auswirkungen und Potentiale der Elektromobilität auf den Stromsektor.

- Kurz- bis mittelfristig ist der Anteil des Energiebedarfs von Elektrofahrzeugen an der Stromversorgung in Bayern gering. Langfristig nimmt der Energiebedarf jedoch aufgrund der steigenden Elektrifizierung des Bestands signifikant zu.

- Elektromobilität hat kurz- bis mittelfristig einen signifikanten Einfluss auf den Leistungsbedarf in Bayern. Eine nutzerattraktive Steuerung des Ladeverhaltens („gesteuertes Laden“) kann den Leistungsbedarfs deutlich reduzieren und zudem EE-Spitzen aufnehmen (→ Wind).

- Lösungsansätze für diese Herausforderungen können „nutzerabhängige“ attraktive Preis-/Tarifsysteme sein. Darüber hinaus kann ein „zentral-gesteuertes“ Lademanagement Potential für neue Geschäftsmodelle bieten (Teilnahme am Regelenergie-markt/„virtuelles Kraftwerk“).

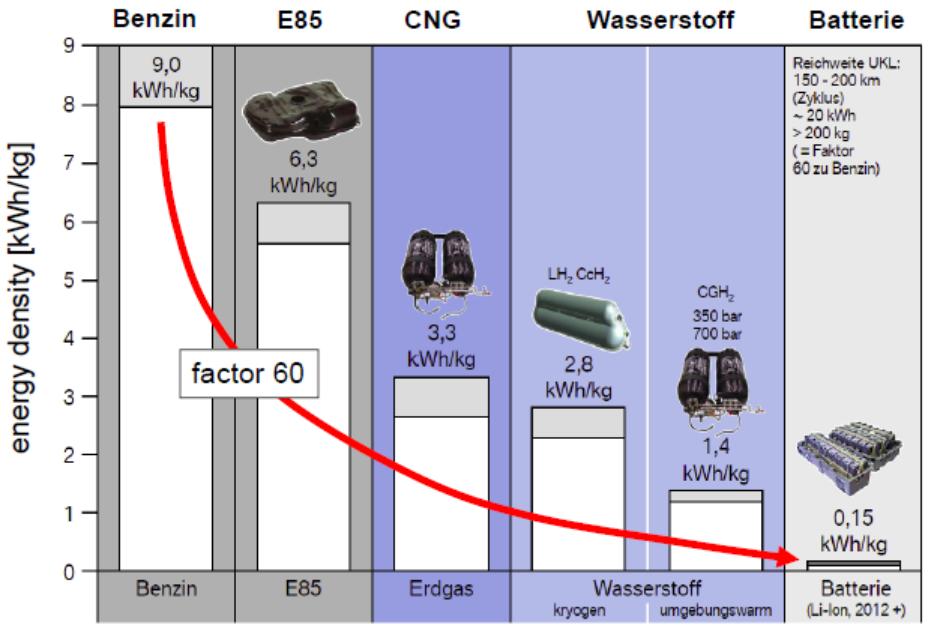
- In einem „konstanten“ Fahrzeug-Absatzmarkt wie Deutschland führt die steigende Elektrifizierung des Bestands zur Entlastung des fossilen Primärenergieverbrauchs. D.h. der Ölbedarf des Verkehrssektors kann durch die Verwendung von EE und/oder „gesteuertes“ Laden (EE-optimiert) substituiert werden.

Backup.

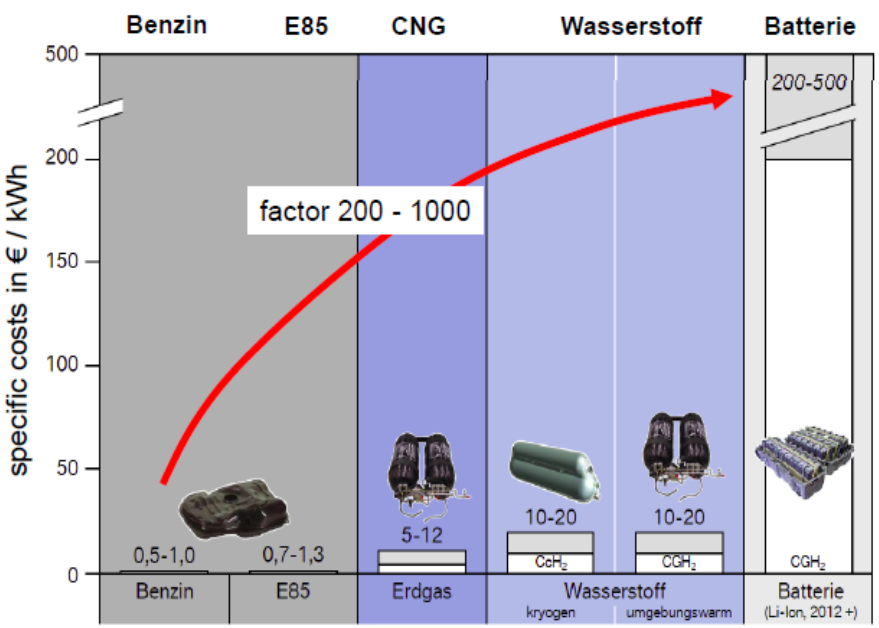
Energiespeicher / Batteriespeichertechnologie.

Vergleich des Energieinhalts und der Speicherkosten eines Batteriespeichers.

Energiedichte verschiedener Energieträger/ -speicher



Spezifische Speicherkosten von Energie-speichern



Quelle: Spicher, U. u.a. (KIT), Beitrag zur Versachlichung der Diskussion: Verbrennungsmotor gegen Elektromotor, 2010

Faustformel: 1 km Reichweite ~ 1 kg Batterie

Annahmen: Energiedichte 0,15 kWh/kg, durchschn. Verbrauch ~ 15 kWh/100 (NEFZ)

Energiespeicher / Batteriespeichertechnologie.
Lithiumbedarfe sowie Lithiumreserven und -ressourcen.

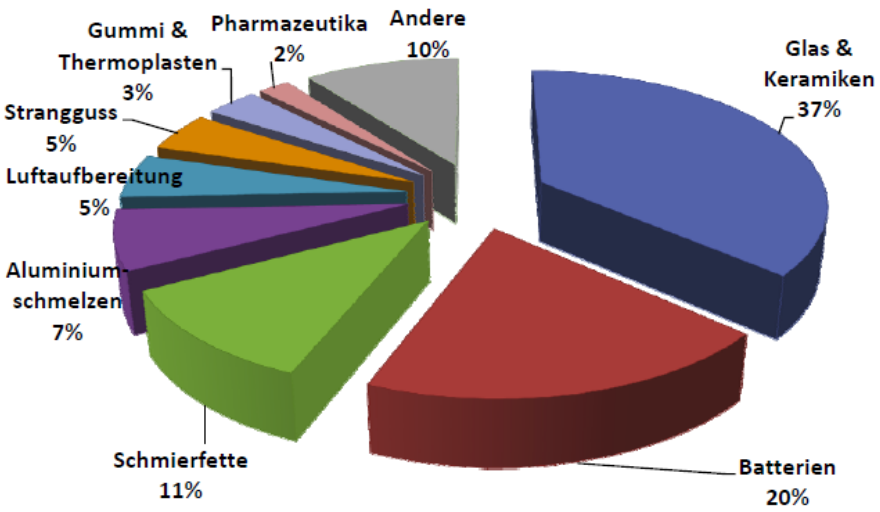


Abb.: Lithium-Verwendungen in 2008
Quelle: Angerer, G. u.a., Lithium für Zukunftstechnologien

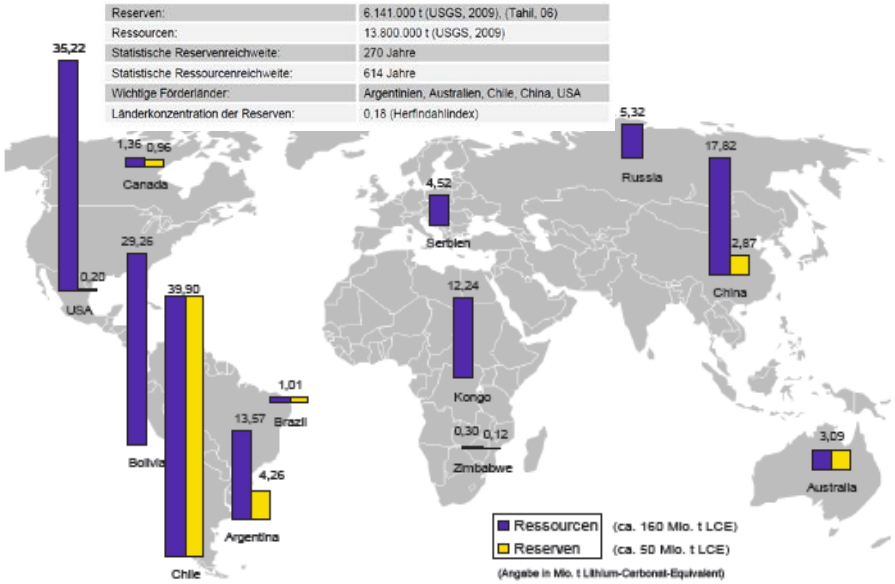


Abb.: Regionale Verteilung der Lithium-Reserven und Ressourcen
Quelle: ZSW, Begehrter Rohstoff der Zukunft, 2010

		HEV	PHEV	BEV
Batteriegröße	[kWh]	1-3	5-10	20-30
Lithium-Anteil	[kg/kWh]	0,150		
Lithium-Menge / Batterie	[kg]	0,15-0,45	0,75 - 1,5	3 - 4

Abb.: Batteriegröße xEV und Lithium-Anteil
Quelle: eigene Angaben, Angerer, G. u.a., Lithium für Zukunftstechnologien

Energiespeicher / Batteriespeichertechnologie.

Energie- und Leistungscharakteristika unterschiedlicher Zell-Chemien.

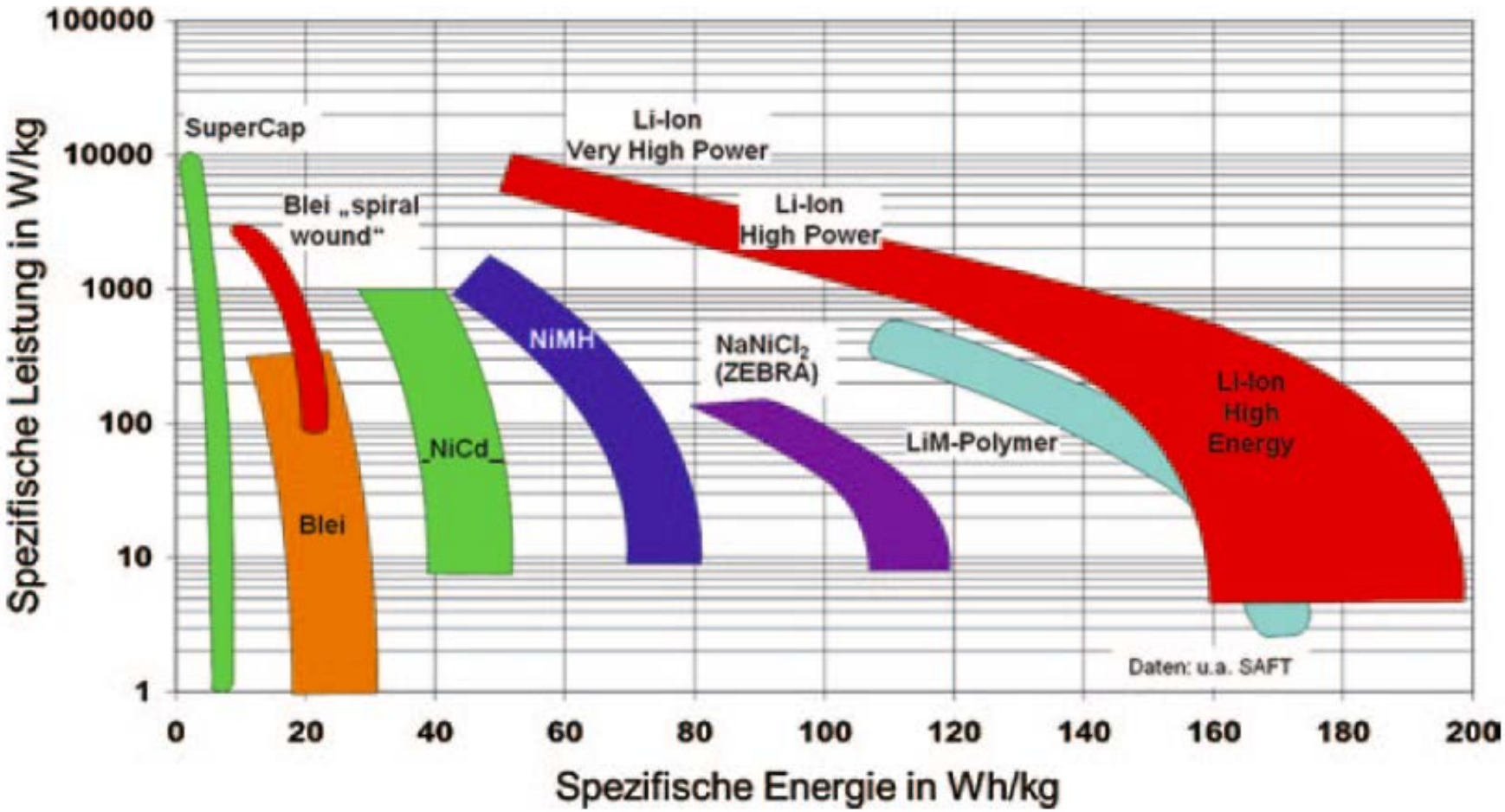


Abb.: Energie- und Leistungsdichte von Energiespeichern
Quelle: Wallentowitz, H. u.a., Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges, 2011

Energiespeicher / Batteriespeichertechnologie.
Anforderungen an den Batteriespeicher im Fahrzeug.

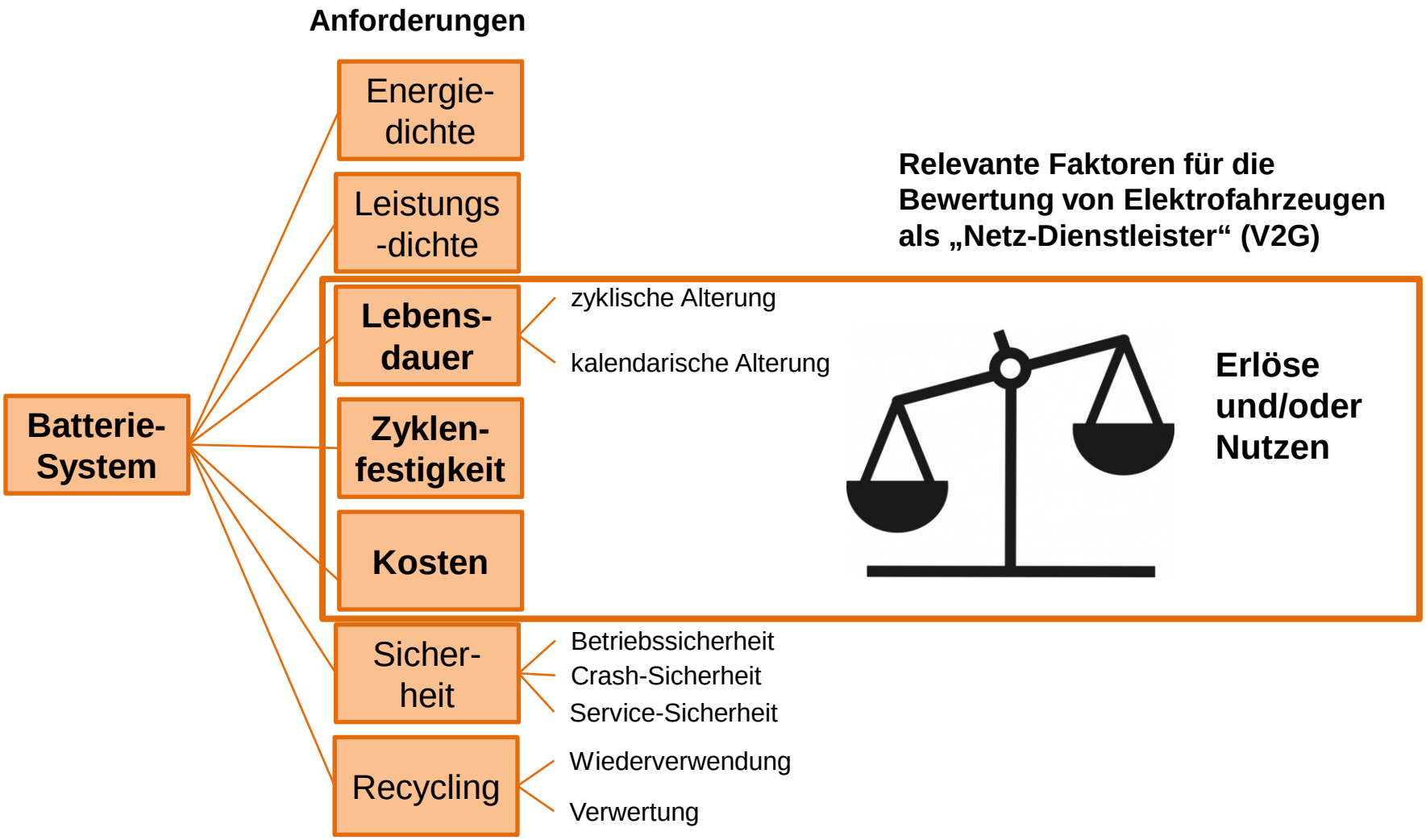
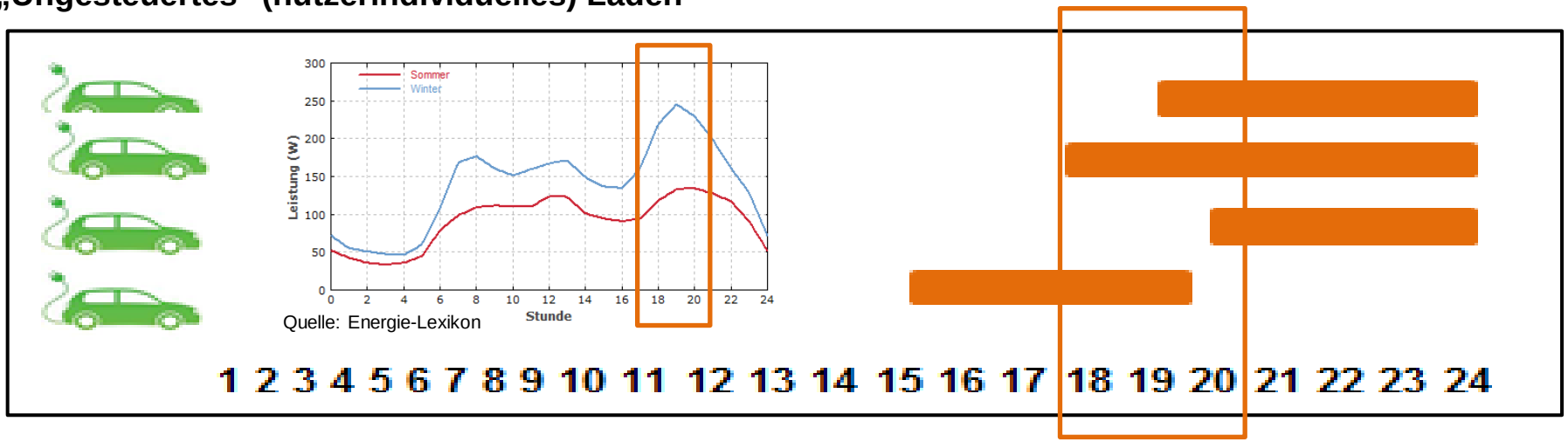


Abb.: Anforderungen und zukünftige Herausforderungen
Quelle: eigene Darstellung

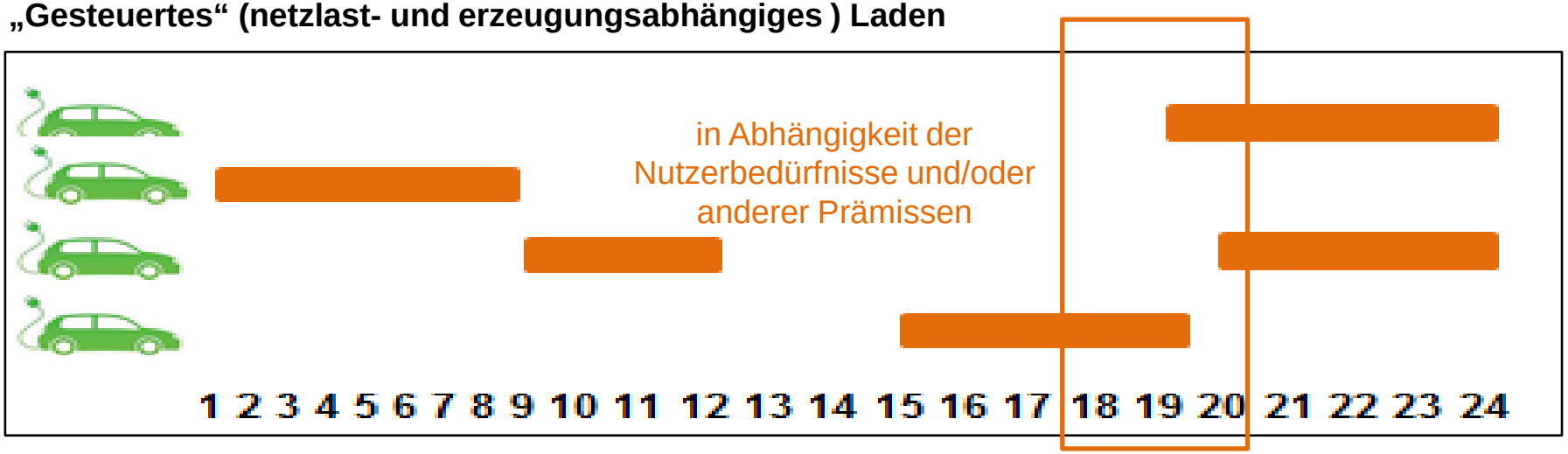
Handlungsoptionen.

Lösungsansätze zur Reduktion des Leistungsbedarfs von Elektrofahrzeugen.

„Ungesteuertes“ (nutzerindividuelles) Laden



„Gesteuertes“ (netzlast- und erzeugungsabhängiges) Laden



Energiespeicher / Batteriespeichertechnologie.

Vergleich des kumulierten Energieaufwands eines Verbrenners vs. Elektrofahrzeug.

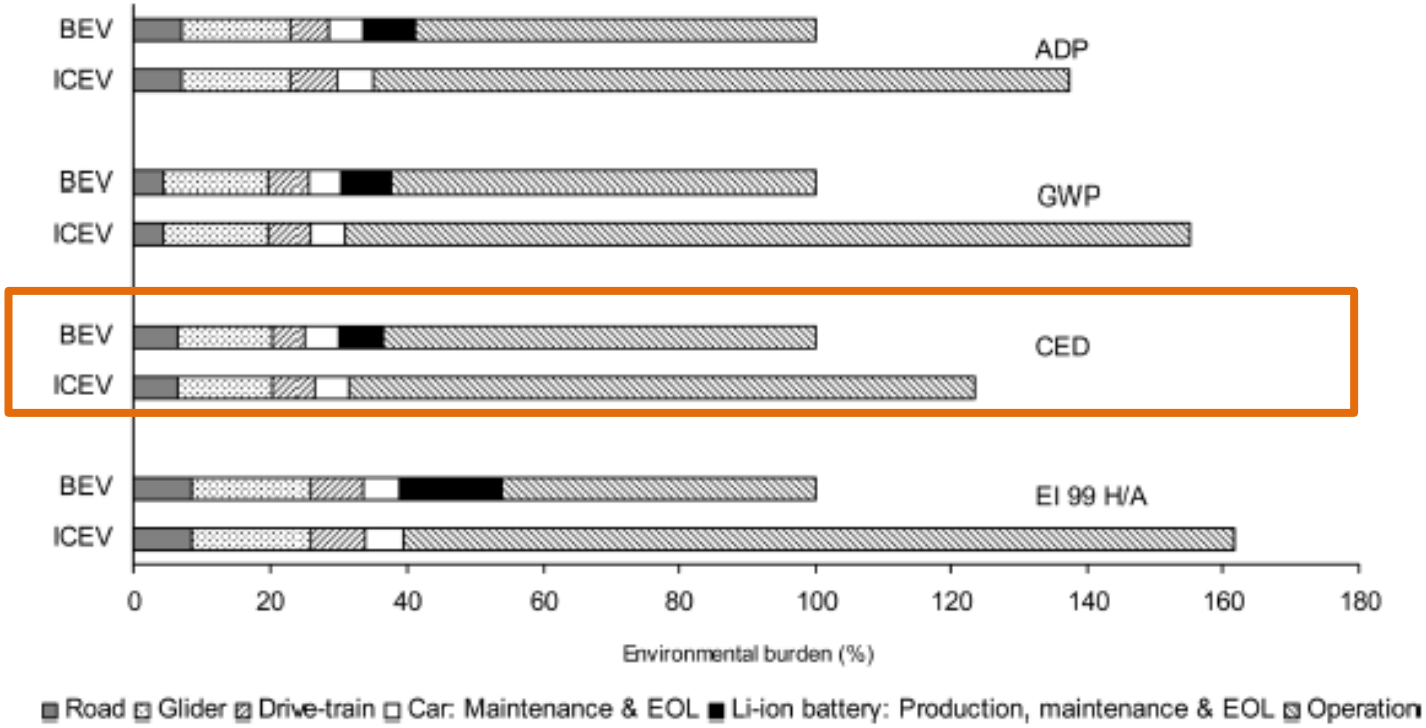


FIGURE 2. Shares correlating with the components of an internal combustion engine car (ICEV, value in % of the BEV) and an electric battery powered car (BEV, the BEV is set as 100%) assessed with four impact assessment methods: abiotic depletion potential (ADP), nonrenewable cumulated energy demand (CED), global warming potential (GWP), and Ecoindicator 99 H/A (EI99 H/A). Road includes construction, maintenance, and end of life treatment (EOL). The absolute values of the components are provided in the Supporting Information.

Vergleich verschiedener Antriebskonzepte.

Elektrische Antriebskonzepte und elektrischer Antriebsstrang.
Well-to-Wheel-Analsyse der Wirkungsgrade.

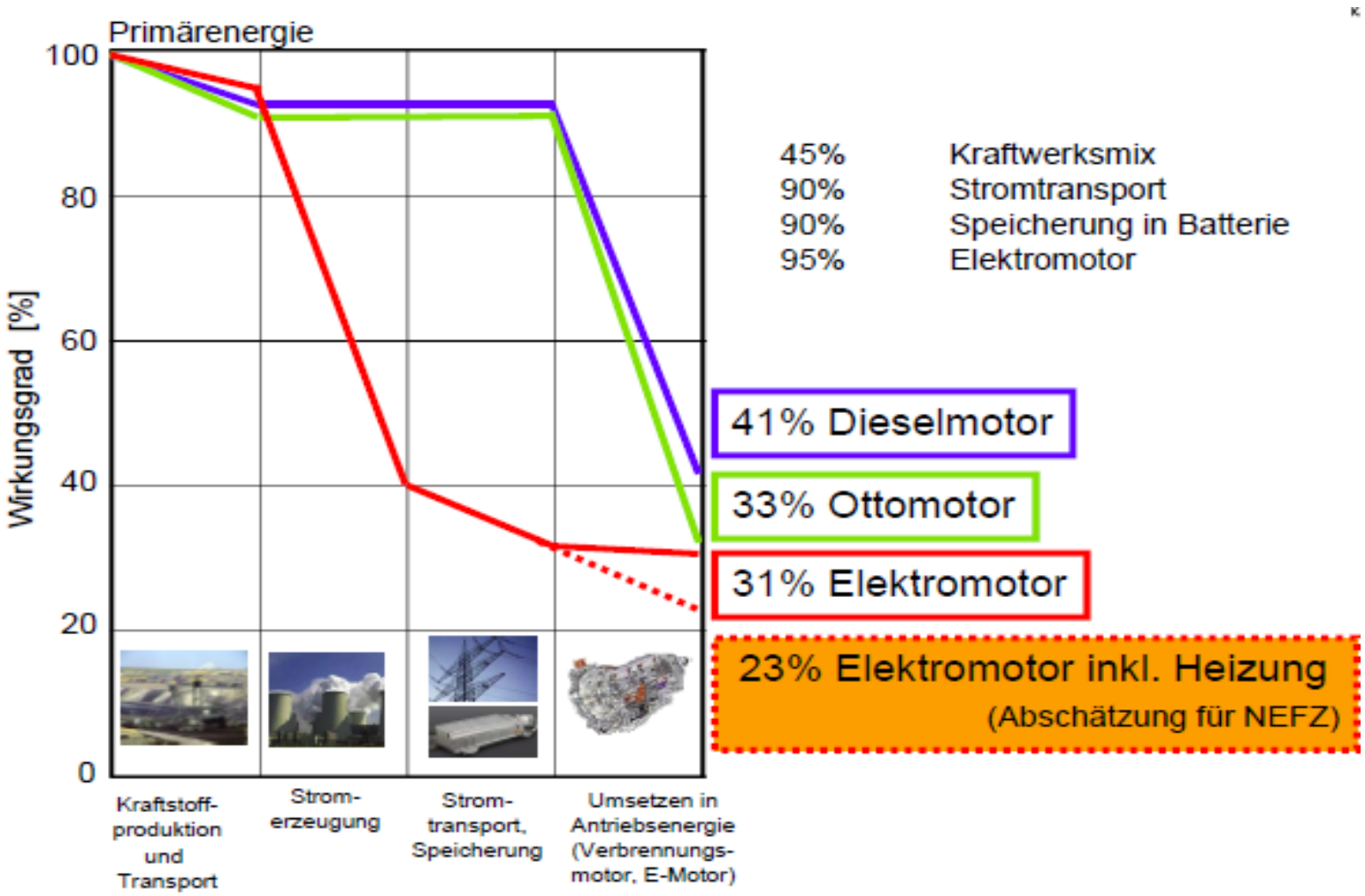
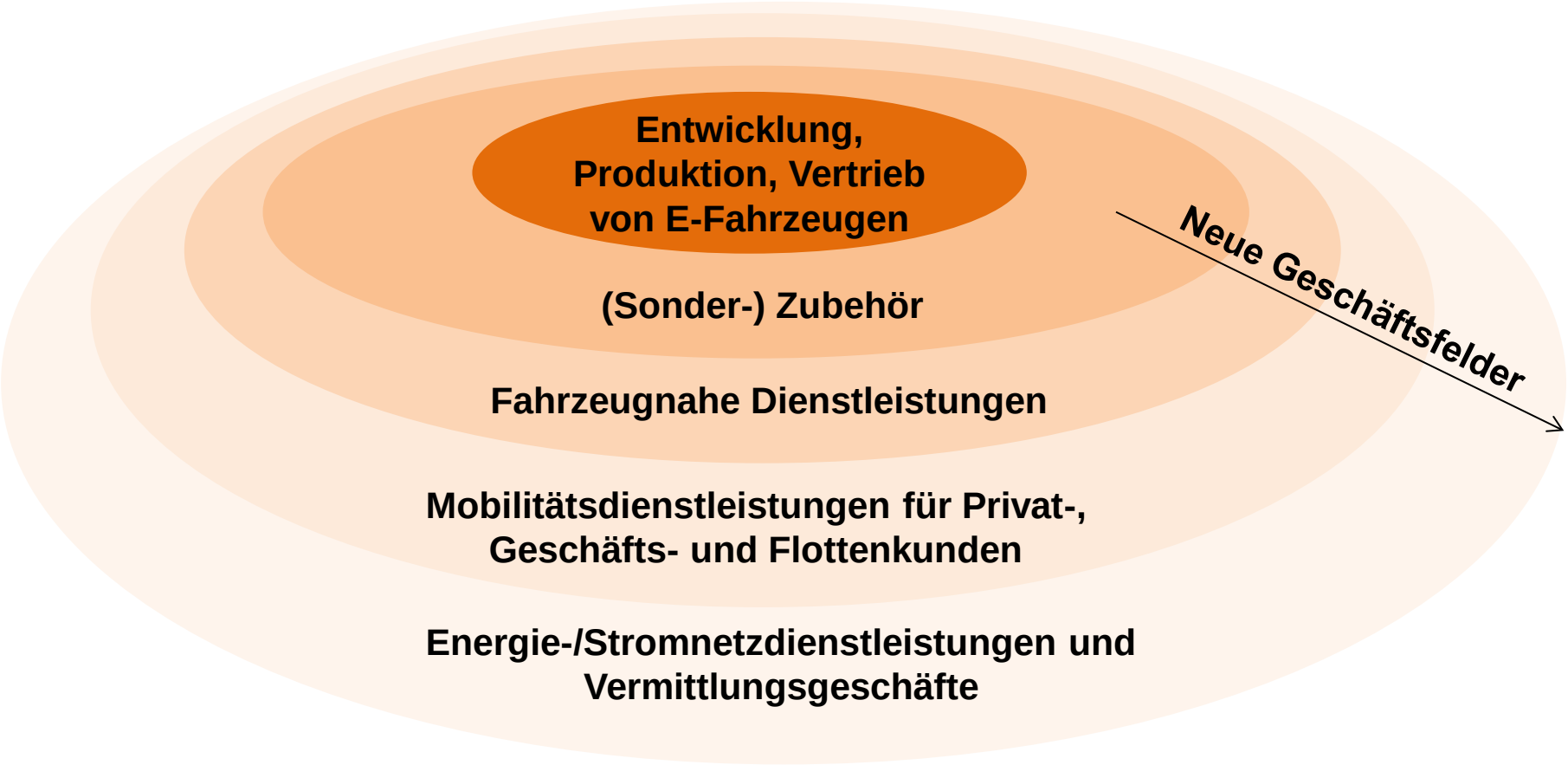


Abb.: Vergleich der Wirkungsgrade unterschiedlicher Antriebskonzepte (Well-to-Wheel-Analyse)
Quelle: Spicher, U. u.a. (KIT), Beitrag zur Versachlichung der Diskussion: Verbrennungsmotor gegen Elektromotor, 2010

Neue Geschäftsmodelle der Elektromobilität.
Neue Geschäftsfelder rund um Elektromobilität.



Fahrzeugkonzepte und Marktentwicklung.
Wettbewerbsanalyse.

● BEV / REX
▲ PHEV

	Kleinst-/ Kleinwagen	Kompaktklasse	Mittel-/Oberklasse	Sportwagen
Audi		▲ A3 e-tron	▲ ? ▲	
BMW		● i3 ▲ 3er?	▲ 5 / 7er / X?	▲ i8 / 2014
Daimler	● E-Smart	▲ C-Klasse ? ● B-Klasse / 2014	▲ E/S-Klasse?	● SLS E-Cell
Ford		● Focus		
Nissan / Renault	● Zoe	● Fluence ● Leaf		
Tesla			● Tesla S ● Tesla X/2015 ff.	
Toyota		▲ Prius		
VW	● E-Up/2014	● E-Golf / 2015		
Sonstige	● iMEV/C-Zero/Ion	● Ampera		
	2013 – 2018 ff.	2013 – 2018 ff.	2013 – 2018 ff.	2013 –

BEV – Battery Electric Vehicle, REX – Range Extended Electric Vehicle, PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle