

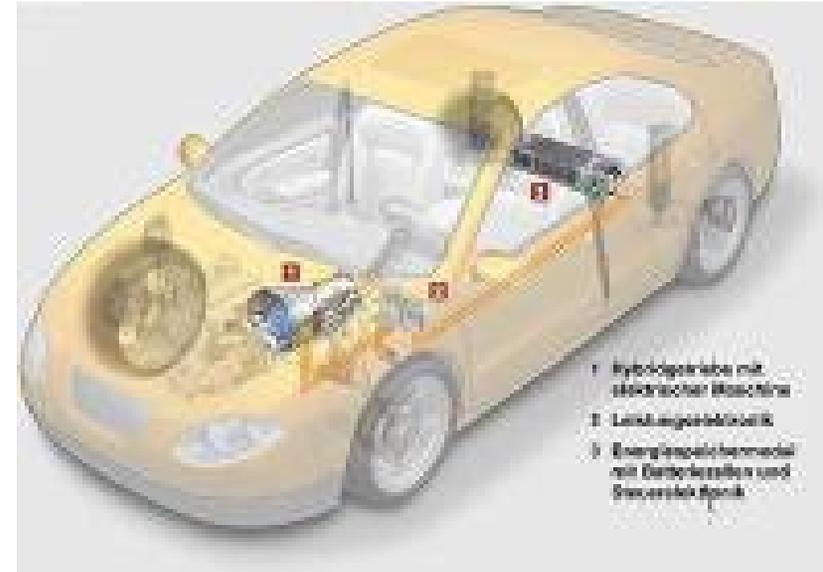


Batterien für Elektromobilität gestern - heute - morgen

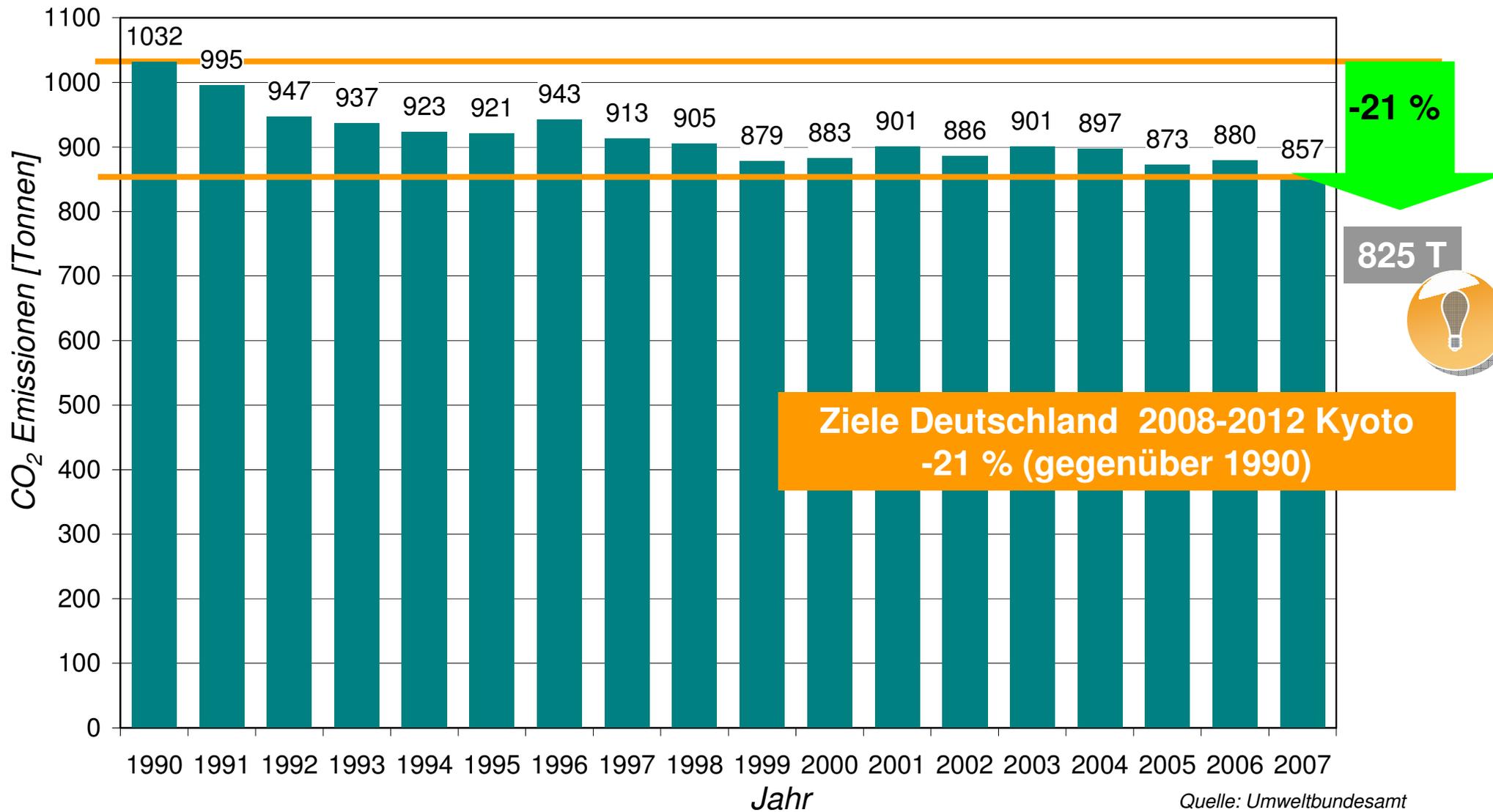
Wolfgang Braun

Continental AG, Division Powertrain

M. Schiemann, P. Birke

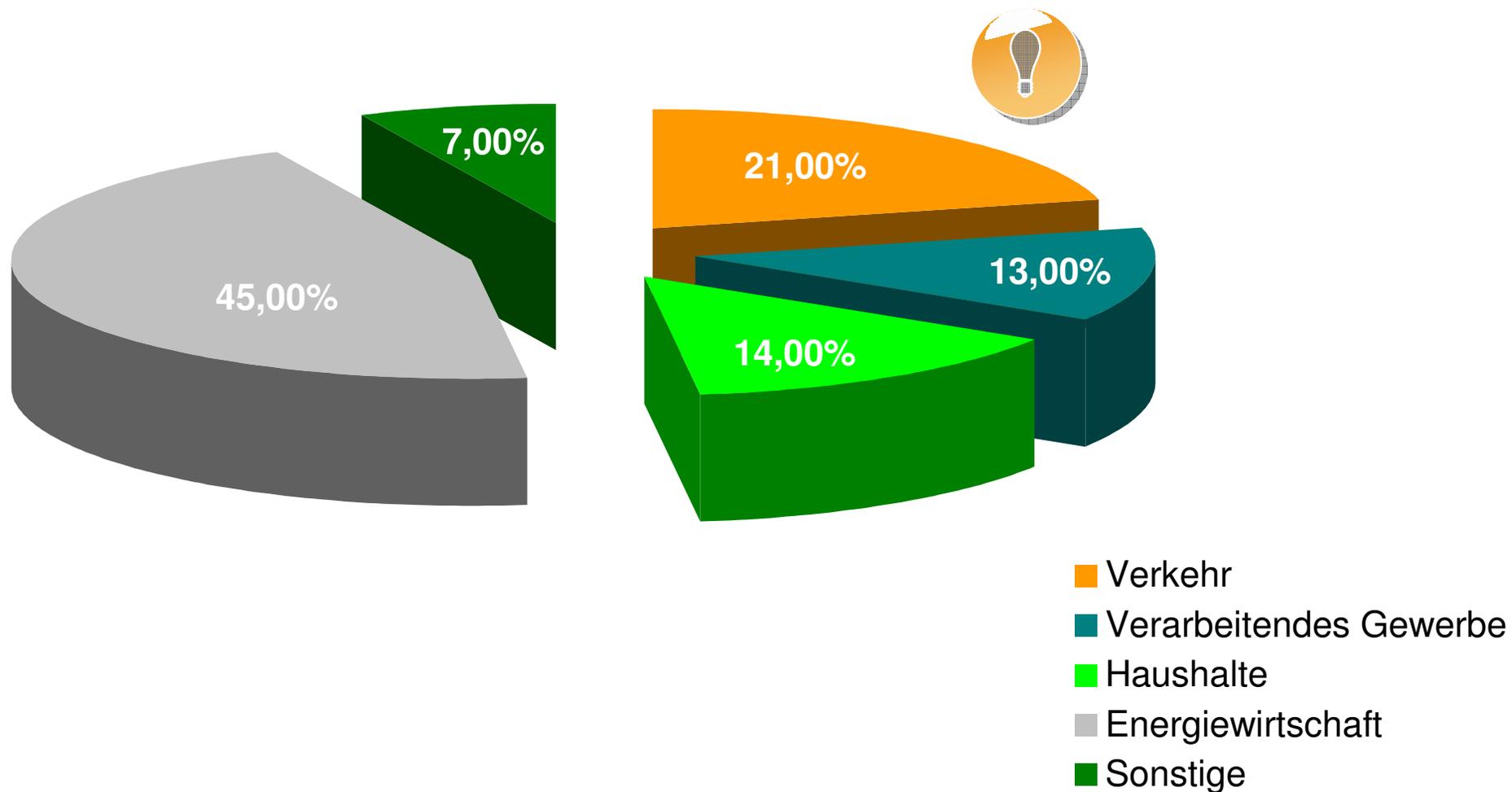


Energie – und Klimaschutz aktuelle Entwicklungstrends



Energie – und Klimaschutz

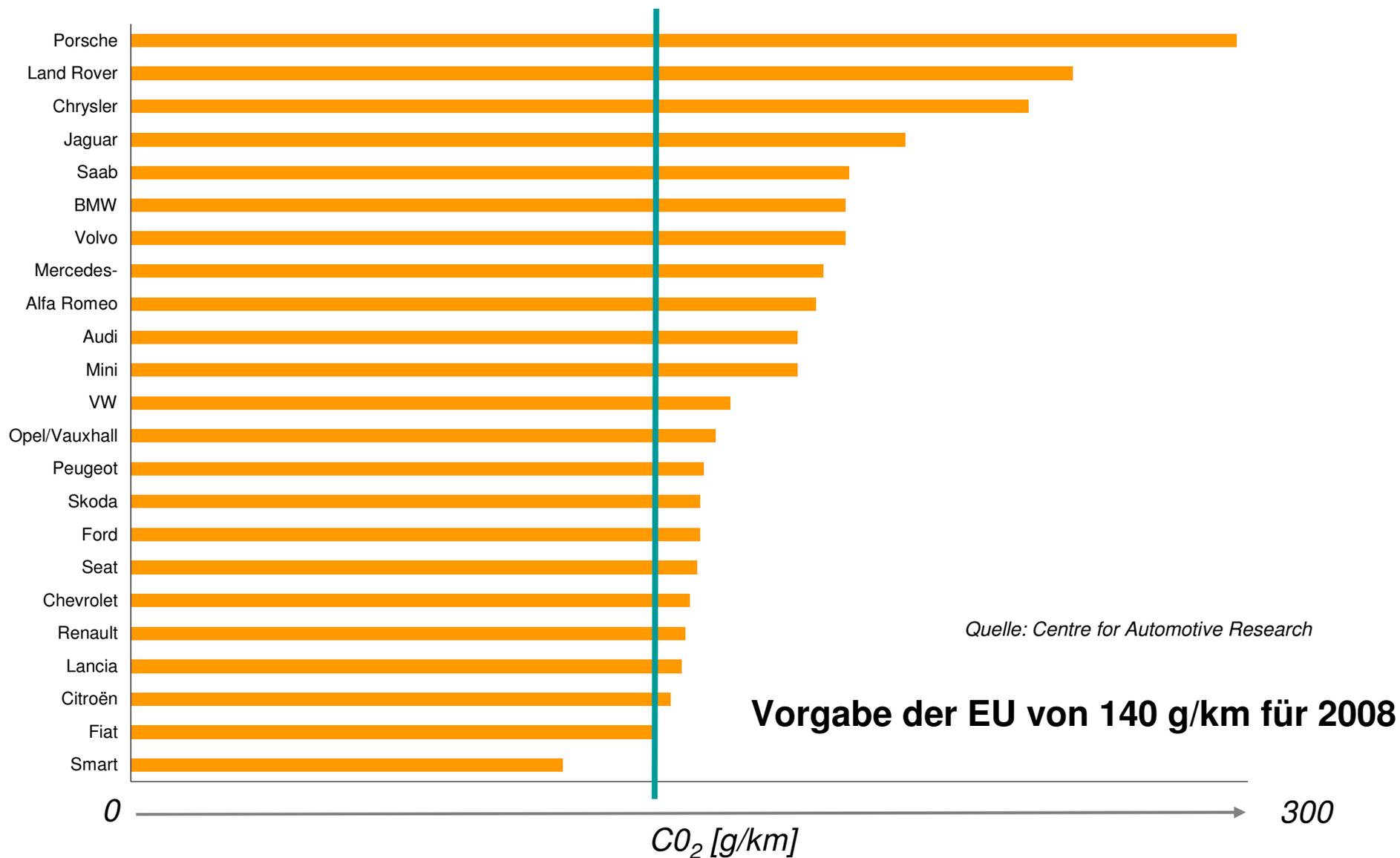
Prozentuale Verteilung der CO₂-Emissionen in Deutschland



Quelle: Stand 2007. BMWi 2008

Energie – und Klimaschutz

Durchschnittlicher CO₂-Ausstoß der Neuwagen 2006 in Europa



Energie – und Klimaschutz

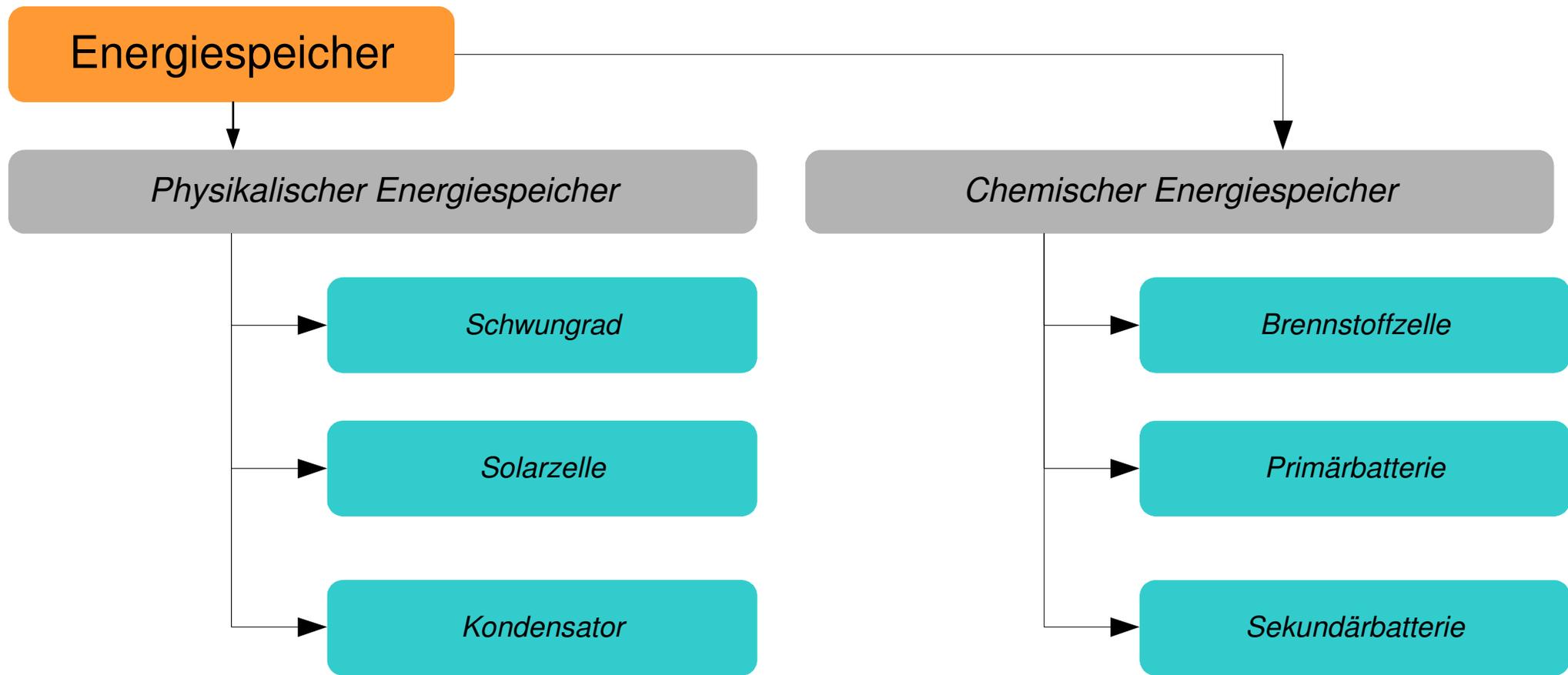
Einleitung

„Die Zeit des unbedenklichen Wirtschaftens mit den Energiequellen und Stofflagern, die uns die Natur zur Verfügung gestellt hat, wird wahrscheinlich schon für unsere Kinder nur noch die Bedeutung einer vergangenen Wirtschaftsepoche haben. [...] Kostbare Rohstoffe kann man, wie wir erfahren haben, für fast jeden Verwendungszweck durch ein als Rohstoff mehr oder weniger wertloses Material ersetzen; Energie ist unersetzbar. Arbeitsfähige Energie ist absolutes Gut. [...]“

(Walter Schottky, aus dem Vorwort des Lehrbuchs *Thermodynamik*, Springer, Berlin 1929)

Energie – und Klimaschutz

Einleitung



Energie – und Klimaschutz

Begriffe - Primärzelle / Sekundärzelle / Batterie

Primärzelle

- Nicht wieder aufladbar
- Nach dem Zusammenbau geladen

Sekundärzelle

- Kann wieder aufgeladen werden
- Nach dem Zusammenbau typischerweise nicht geladen
- mindestens 1. Ladung beim Batteriehersteller (Formierung)

Batterie

- Zusammenschaltung mehrerer Zellen
- Batterie ≠ Zelle

Energie – und Klimaschutz

Galvanische Elemente

In galvanischen Elementen wird eine **chemische Energie** direkt in **elektrische Energie** umgewandelt!

Primärelemente (z.B. kleine Einwegbatterien)



Durch eine Oxidation und eine gleichzeitige Reduktion wird Strom erzeugt.
(irreversibel)

Sekundärelemente (z.B. Blei-Säure-Akkumulatoren)



Zellen, bei denen der Lade- und Entladevorgang umkehrbar sind.

Die **Elektrodenreaktionen** vermitteln den Übergang zw. **Elektronenleitung** in Elektroden und Ableitern und der **Ionenleitung** im Elektrolyten

Energie – und Klimaschutz

Grundbegriffe

Typ: 5,5 Ah Lithium-Ionen-Zelle



- Nennkapazität: Strommenge Ah (*Beispiel 5,5 Ah*)
- Nennstrom I1 oder 1C: Strom, für die Entladung während der nominalen Entladezeit (*z.B. $\rightarrow 5,5 \text{ Ah} / 1 \text{ h} = 5,5 \text{ Ampere}$*)
- Nenntemperatur: *z. B. 25 °C, da Kapazität der Batterien abhängig von der Temperatur (Arbeitstemperaturbereich -25 °C bis 50 °C)*
- Ladespannung: Zellenspannung am Ende des Ladevorganges (*z.B. 4,2 V*) abhängig von der Batteriechemie
- Entladeschlussspannung: Zellenspannung am Ende der Entladung ohne eine Tiefentladung zu verursachen, abhängig vom Entladestrom und Umgebungstemperatur (*z.B. 2,5 V V/Zelle bei 1C und 25 °C*)

Energie – und Klimaschutz

Abkürzungen aus der Batteriewelt

SOC – State Of Charge:

Kennzeichnet den Ladezustand einer Batterie in %

DOD – Depth Of Discharge:

Kennzeichnet die Energieentnahme aus der Batterie bezogen auf die Batteriekapazität in %

OCV – Open Collector Voltage: Ruhespannung in V

BOL – Begin Of Life : Anfang der Batteriegebrauchsdauer

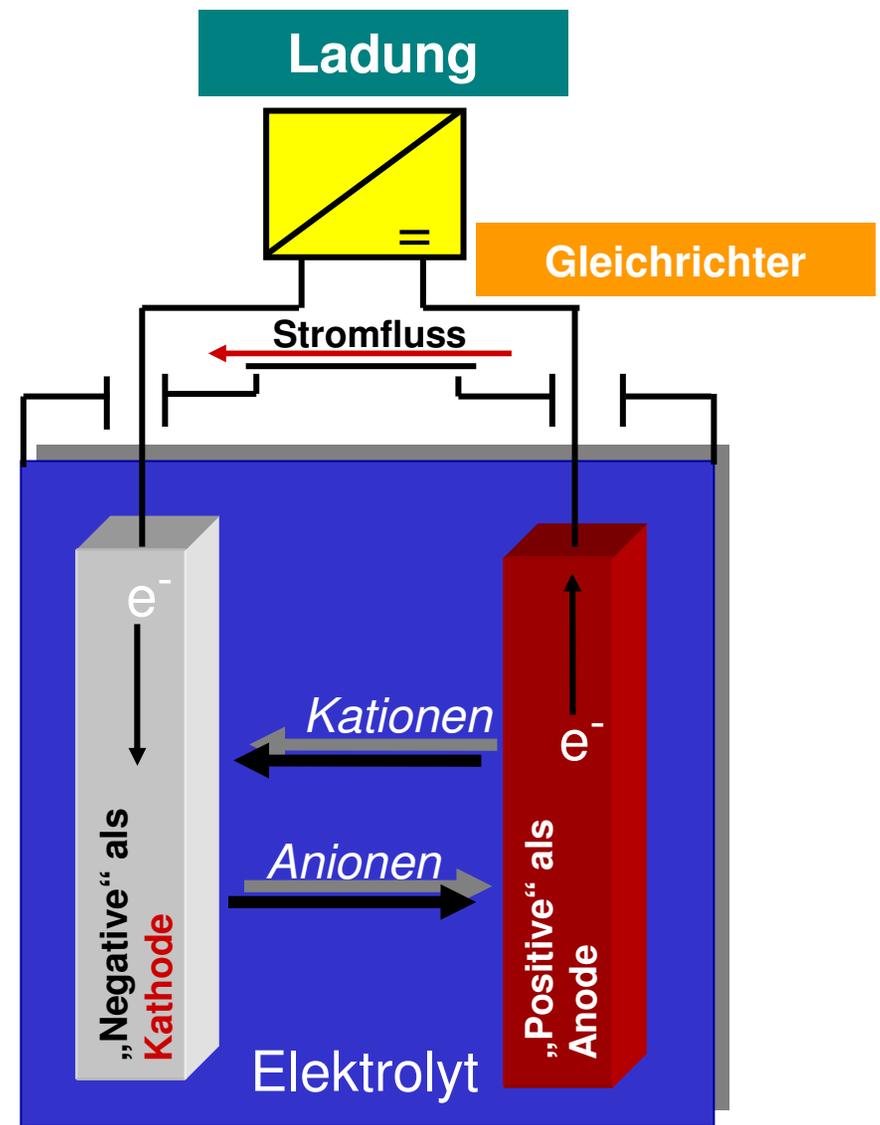
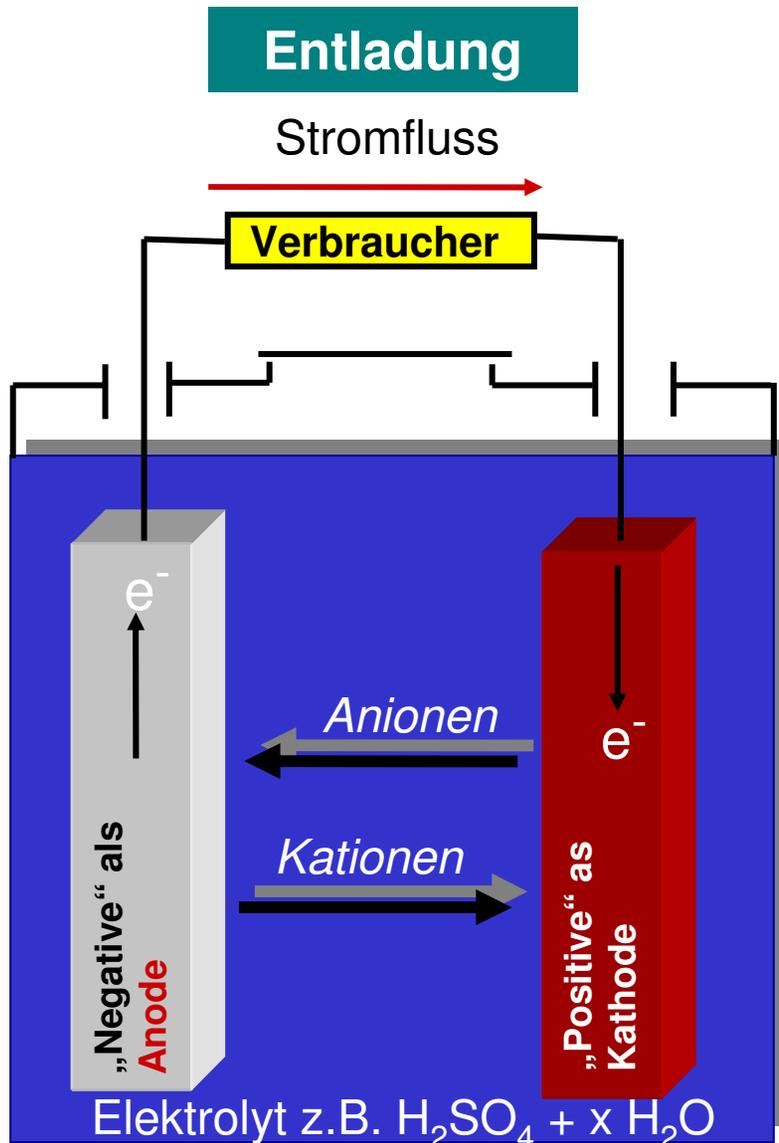
EOL – End Of Life: Ende der Batterielebensdauer

SOH – State Of Health: Stellt den Zustand der Batterie dar als eine Art Alterungsfortschritt

SOF – State Of Function: Stellt die Funktions-/Leistungsfähigkeit der Batterie dar

Energie – und Klimaschutz

Galvanische Elemente



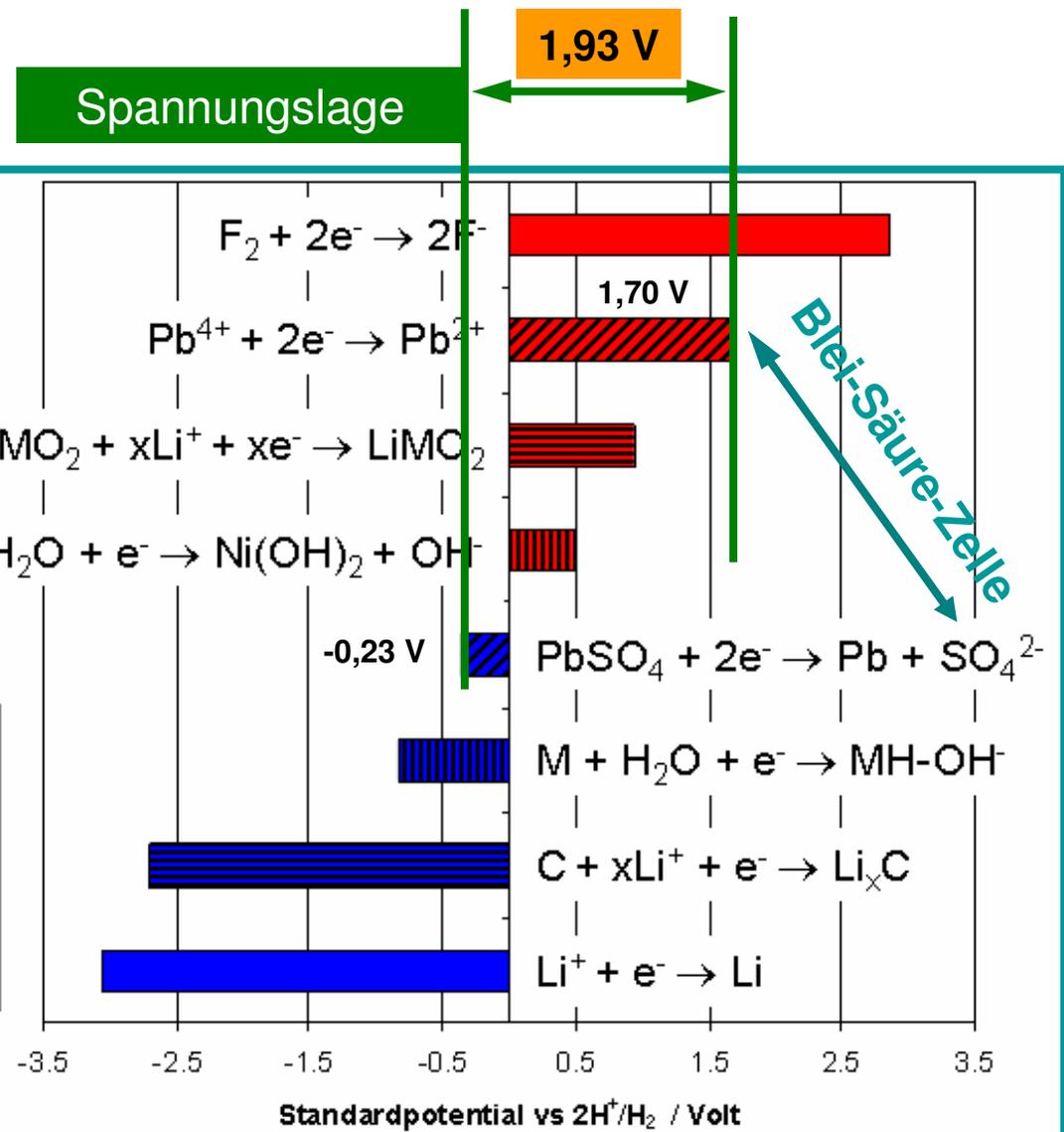
Energie – und Klimaschutz

Elektrochemische Zelle

Die Materialkombinationen der beiden Elektroden und die dabei ablaufenden Reaktionen bestimmen die Spannungslage der Zelle!

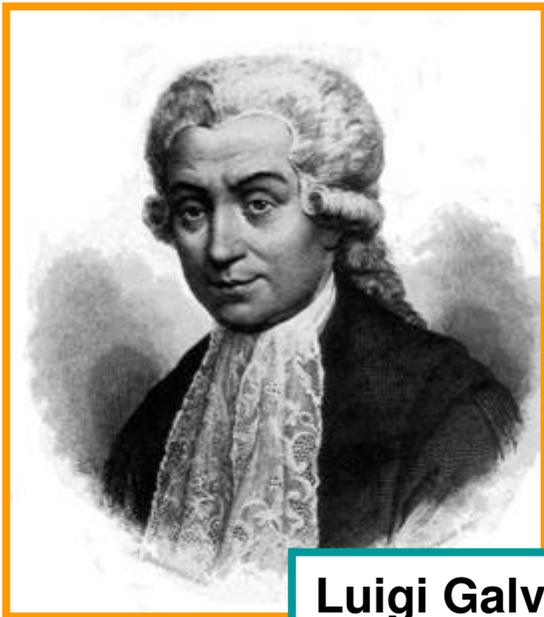
Beispiel Blei-Säure-Batterie:

Positive Elektrode (PbO_2) = 1,70 V
 Negative Elektrode (Pb) = | -0,23 V |
 = 1,93 V

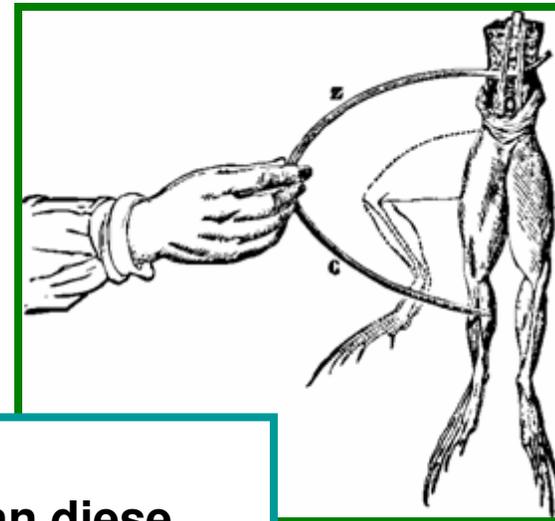


Energie – und Klimaschutz

Galvanische Elemente



1737 - 1798

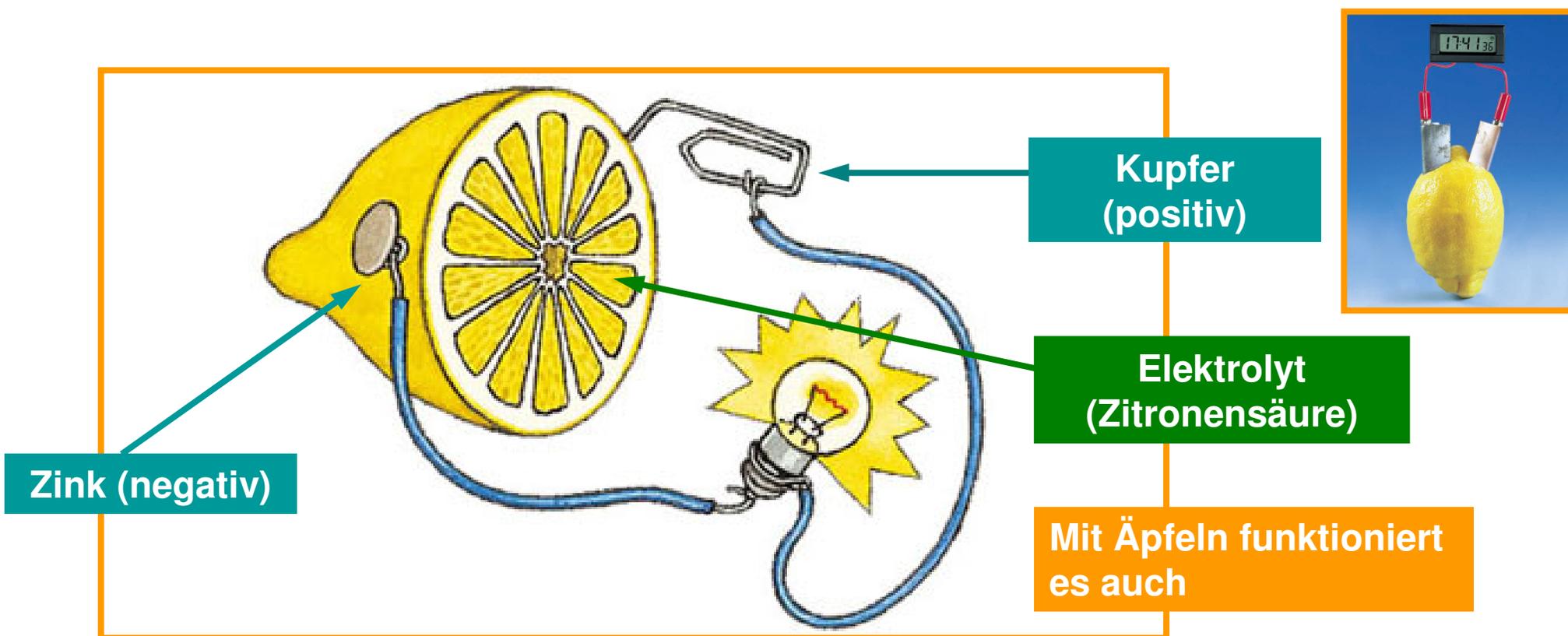


Luigi Galvani: Entdeckte durch Experimente mit Froschschenkeln die Kontraktion von Muskeln, wenn diese mit **Kupfer** und **Eisen** in Berührung kamen, wobei Kupfer und Eisen auch verbunden sein mussten. Galvani stellte also unwissentlich einen Stromkreis her, bestehend aus zwei verschiedenen Metallen, einem Elektrolyten ("Salzwasser" im Froschschenkel) und einem "Stromanzeiger" (Muskel).

Energie – und Klimaschutz

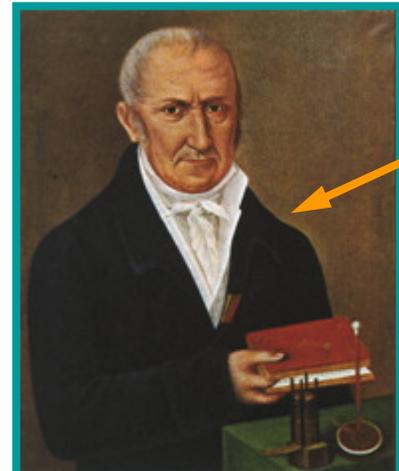
Geschichte der Batterie - Die ersten Schritte

Wenn Voltas Theorie stimmt, dass man zur Erzeugung einer Spannung nur zwei Metalle und eine salzhaltige Flüssigkeit benötigt, müsste eine herkömmliche Zitrone als Elektrolyt ausreichen!



Energie – und Klimaschutz

Geschichte der Batterie - Die ersten Schritte



1789 - Luigi Galvani

Experimente mit Froschenkeln

1801 - Alessandro Volta

Batterie mit wechselweise übereinander geschichteten Kupfer- und Zinkplatten (Cu/Zn).

Die Platten wurden durch Tuchfetzen, die mit Säure getränkt waren, voneinander getrennt.



1802 - Johann Wilhelm Ritter Ritter'sche Säule (erster Akkumulator)

Die Säule bestand aus übereinandergeschichteten und mit Tafelsalz (Natriumchlorid) getränkten Kupfer- und Kartonscheiben. Diese Vorrichtung konnte mit elektrischem Strom geladen werden und gab bei der Entladung den Strom wieder ab. Sie gilt als Urform des Akkumulators, der wieder aufladbaren Batterie.

Energie – und Klimaschutz

Geschichte der Batterie – Der erste Akku und Primärbatterie

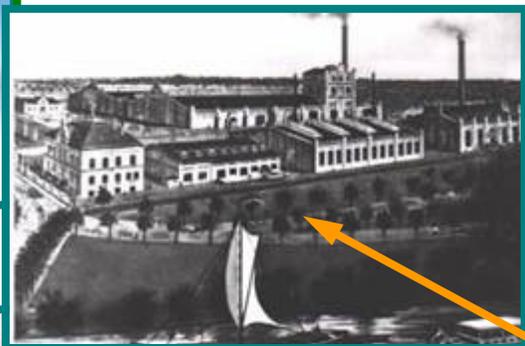


1859 - Gaston Planté

brachte einen brauchbaren Bleiakкумуляtor heraus, bei dem das elektrochemisch aktive Material der Elektroden durch wiederholtes Umladen erzeugt wurde.

1866 - Georges Leclanché

Das Leclanché Element stellt eine Batterie (Primärelement) dar und war in der ursprünglichen Form mit flüssigem Elektrolyt gefüllt. Verbesserungen führten zu einem gelierten Elektrolyten. Dies war eine Vorläufer der modernen Trockenbatterien wie der Zink-Braunstein- und der Alkali-Mangan-Batterie.



1889 Adolph Müller

Gründung der „Accumulatoren Fabrik Aktiengesellschaft“ (Abkürzung AFA) mit Geschäftssitz in Berlin und Hagen (spätere Varta)

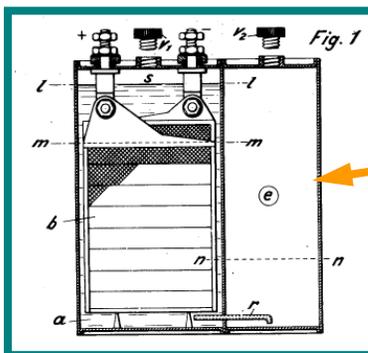


Um 1900

erste Anlasserbatterie (Starterbatterie)

Energie – und Klimaschutz

Geschichte der Batterie – wartungsfreie alkalische Systeme



1933 – Adolf Dassler

Grundpatent zur Entwicklung von gasdichten NiCd Akkumulatoren

1948 - Georg Neumann

Nutzung des Grundlagenpatents von A. Dassler mit der Beschreibung einer gasdichten Gehäuseform für NiCd Akku-Technologie



50er Jahre -

Serienreife gasdichte NiCd Zellen

1990

NiMH Batterien. Das giftige Cadmium wurde hier durch Wasserstoff bindende Metall-Legierungen ersetzt. Eingesetzt werden z.B. Metallhydride wie LaNi_5 (Lanthan) und $\text{Ti}(\text{Zr})\text{Ni}_2$, diese enthalten keine giftigen Komponenten und können große Mengen von Wasserstoff bei kleinen Volumina speichern.



Energie – und Klimaschutz

Geschichte der Batterie – Hochtemperaturbatterien

1967 J.T Kummer und H. Weber

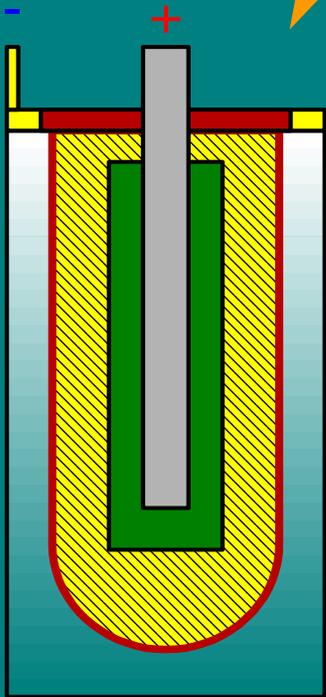
Vorstellung des Konzeptes für Hochtemperaturbatterien (NaS)

1972 Chloride und BBC (ABB)

Entwicklungsbeginn der NaS (Natrium-Schwefel) Hochtemperaturbatterie

Anfang der Anfang 80er CSIR Labor

Entwicklung der NaNiCl (Natrium-Nickelchlorid) Hochtemperaturbatterie, auch bekannt als ZEBRA Batterie



Hochtemperaturbatterien arbeiten mit flüssigen Elektroden. Das bringt den Nachteil mit sich, dass die Betriebstemperatur 290 - 350 °C betragen muss.



Energie – und Klimaschutz

Geschichte der Batterie – Lithium-Ionen-Zellen

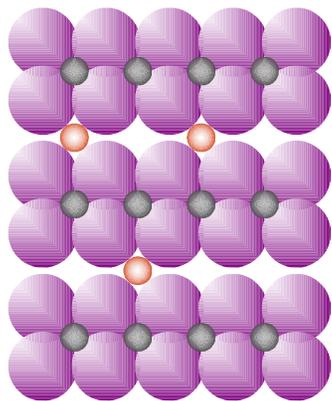
1938

Die Vorzüge von Lithium als Elektrodenmaterial waren schon früh bekannt und bereits 1938 gab es eine Lithium-Schwefeldioxid-Batterie (metallisches Lithium!)

1990

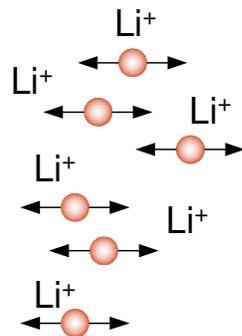
Erste Lithium-Ionen-Batterie wird von Sony auf dem Markt gebracht

+

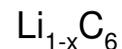
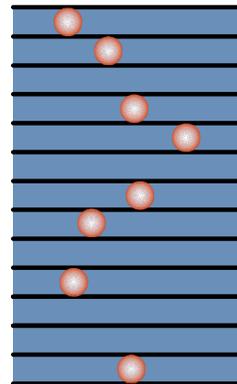


Kathodenmaterial
(spinell)

-



(Leitsalz gelöst im
organischen Elektrolyt
EC, PC, DMC)



(Anodenmaterial
z.B. Graphit, Koks)

Lithium-Ionen-Akkus werden auch Swing-, Shuttle- oder Ionentransfer-Batterien genannt, da die Lithium-Ionen in das Atomgitter des Anoden- und Kathodenmaterials ein- und ausgebaut werden



Energie – und Klimaschutz

Vergleich verschiedener Kathodenmaterialien Lithium-Ionen-Zellen

Entwicklung von Lithium-Ionen-Zellen

Beispiel:

Bewertung verschiedenster Kathodenmaterialien

Evaluierung der Kombination verschiedenster Materialien in Bezug auf Energiedichte, Leistungsdichte, Sicherheit, Stabilität und Kosten erforderlich.



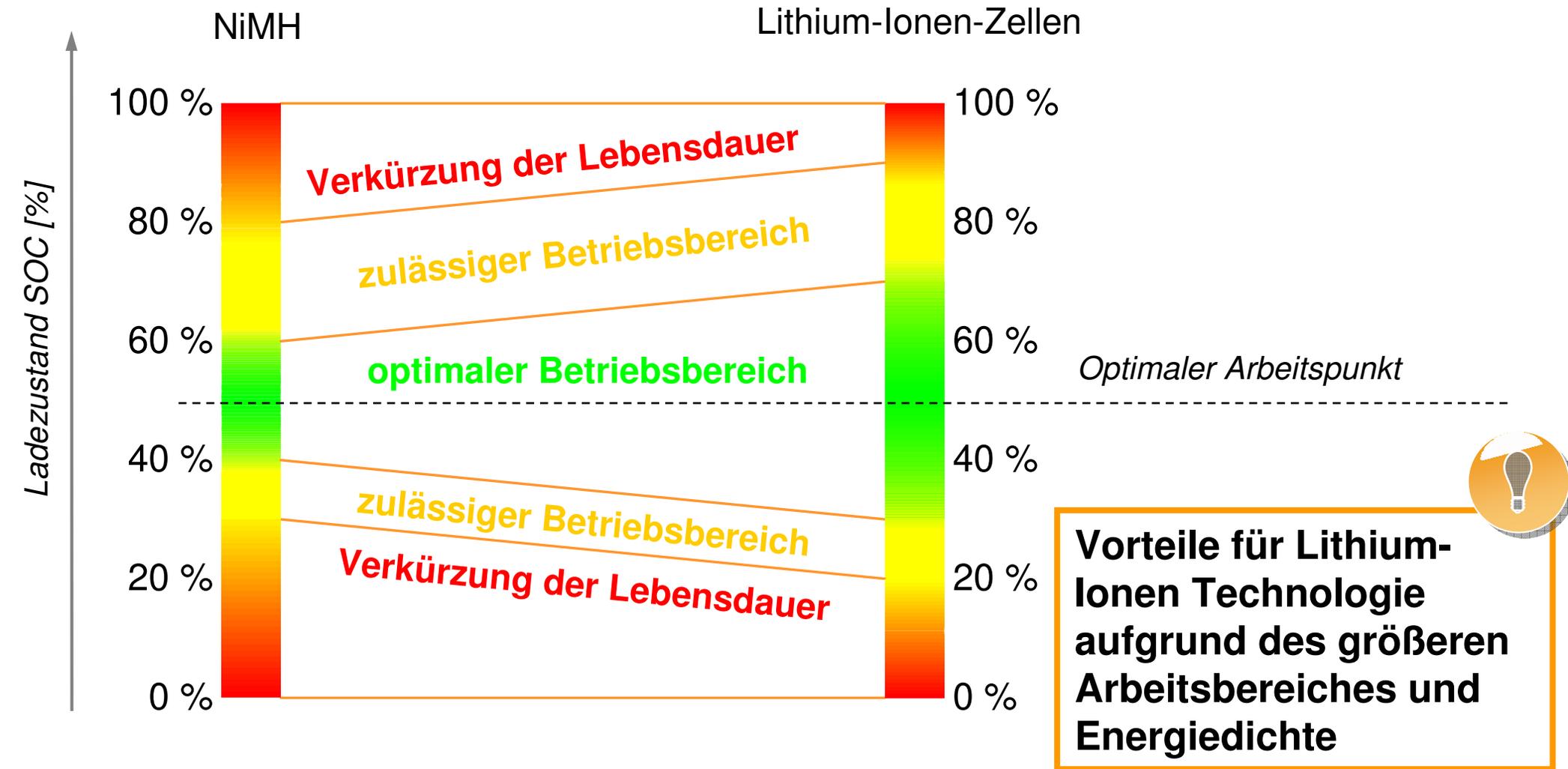
LiFePO₄

Kathodenmaterial	Energiedichte	Leistungsdichte	Sicherheit	Lebensdauer	Kosten
$\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$					
$\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$					
LiFePO ₄					
LiMn ₂ O ₄					

Energie – und Klimaschutz

Vergleich der Eignung verschiedener Batterietechnologien

Eignung für den Hybridantrieb

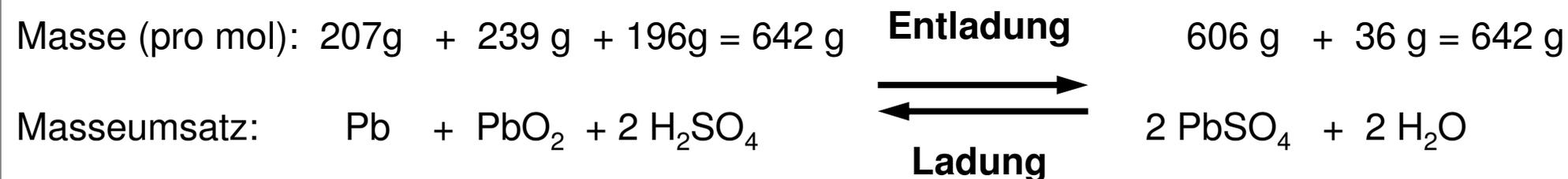


Energie – und Klimaschutz

Vergleich theoretische und praktische Energiedichten

Berechnung der theoretischen Energiedichte (Beispiel Blei-Säure-Batterie):

Gesamtreaktion:



Abgabe und Aufnahme von zwei Elektronen bei der Reaktion:

Elektrizitätsmengenumsatz:

$$2 F = 2 \times 96487 \text{ C} = 53,605 \text{ Ah}$$

Positive Elektrode (PbO ₂)	= 1,70 V
Negative Elektrode (Pb)	= -0,23 V
	= 1,93 V

Energie pro mol:

$$53,6 \text{ Ah} \times 1,93\text{V} = 103,4 \text{ Wh}$$

Energiedichte:

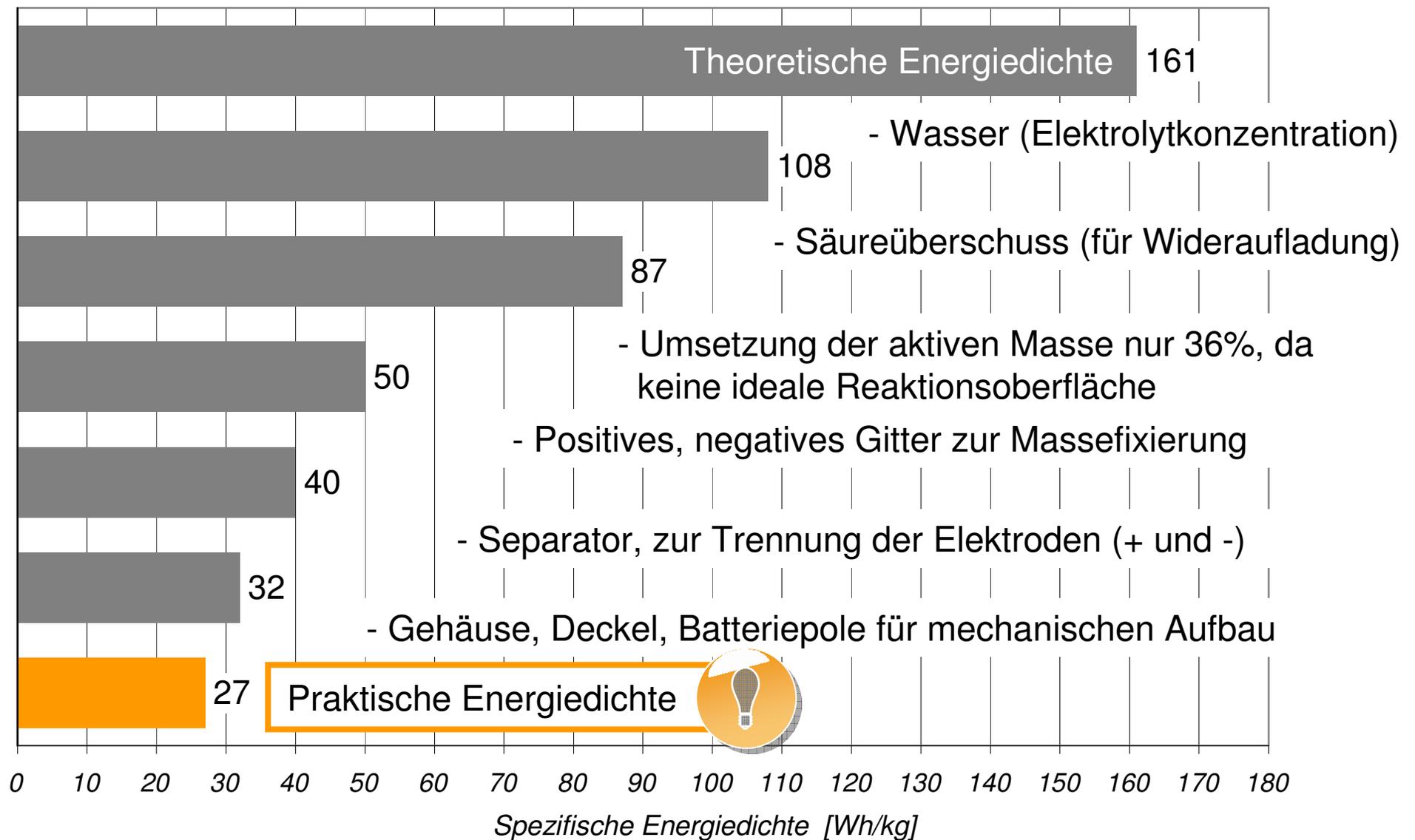
$$103,4 \text{ Wh} / 0,642 \text{ kg} = 161 \text{ Wh/kg}$$

theoretische Energiedichte:
= 161 Wh/kg



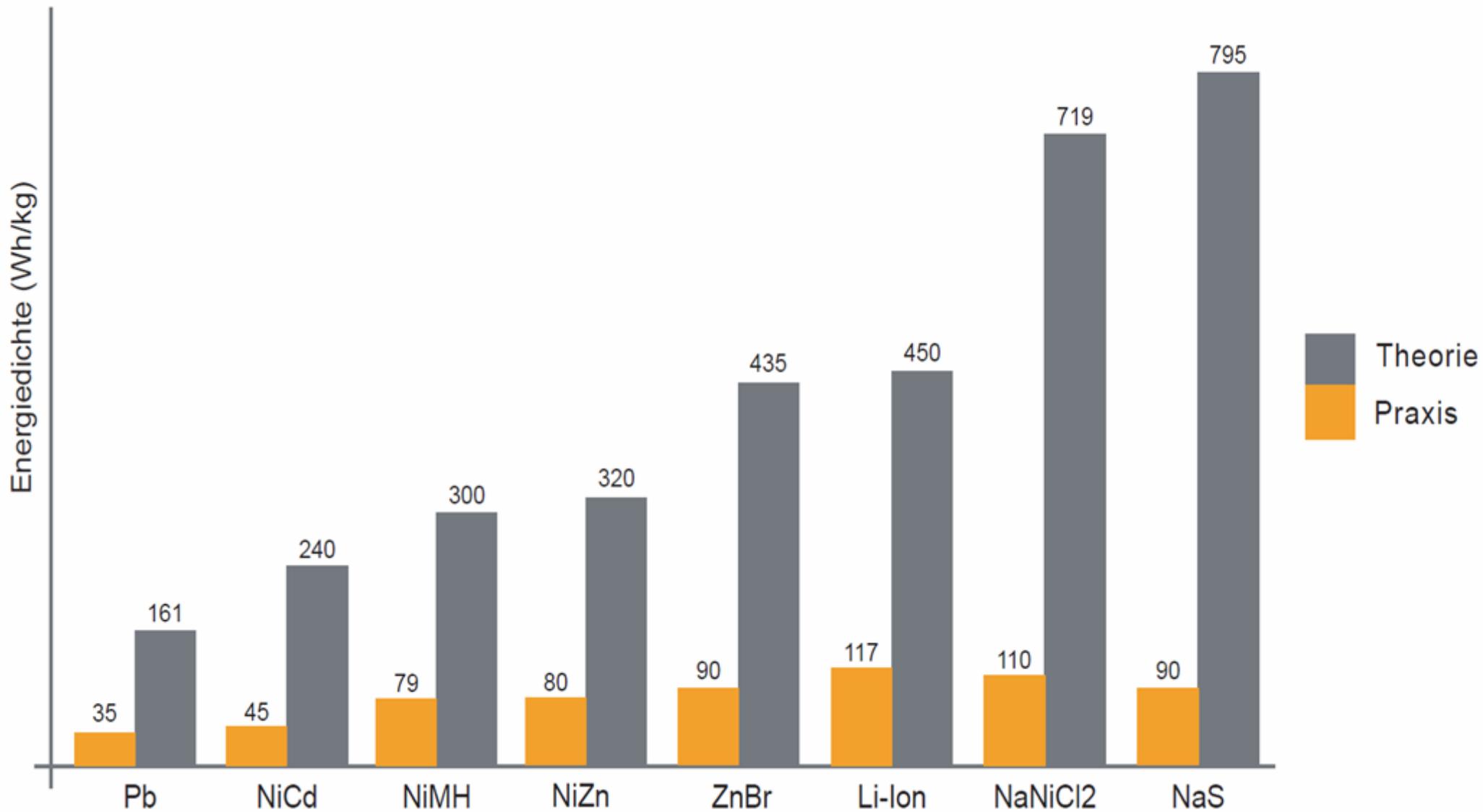
Energie – und Klimaschutz

Vergleich theoretische und praktische Energiedichten



Energie – und Klimaschutz

Vergleich Energiedichten verschiedener Batterietechnologien



Energie – und Klimaschutz

Einsatz elektrischer Speicher im PKW

Nach verschiedenen Quellen wurde das erste Elektrofahrzeug im Jahr 1839 von Robert Anderson in Schottland gebaut.
Damit wäre das Elektroauto 36 Jahre älter als das Automobil mit Verbrennungsmotor (1875).



Camille Jenatton in seinem Elektroauto
La Jamais Contente, 1899
Erster Mensch schneller als 100km/h



Hansa-Lloyd Elektro-Lastwagen
CL5 oder DL5, Bj. 1923

Aufgrund von Problemen in der Speichertechnik, Gewicht und Kosten wurde ab 1905 der Elektroantrieb weitgehend vom Verbrennungsmotor verdrängt.

Ein wichtiger Vorteil des Verbrenners ist bis heute die hohe Energiedichte von und das schnelle Betanken mit flüssigem Kraftstoff!
Benzin: 12kWh/kg bzw. 8kWh/l



Energie – und Klimaschutz

Einsatz elektrischer Speicher im PKW

Eine Renaissance erfuhr das Elektroauto ab 1990 von verschiedenen Herstellern.

Aber auch das Design von so genannten Hybrid-Fahrzeugen wurde vorangetrieben. Toyota brachte mit dem Prius 1 das ersten Serienfahrzeug mit Hybrid-Antrieb 1997 auf den Markt.



EV1 von GM

GM Silverado Mild Hybrid Truck 2003



Prius 2



Tesla Roadster

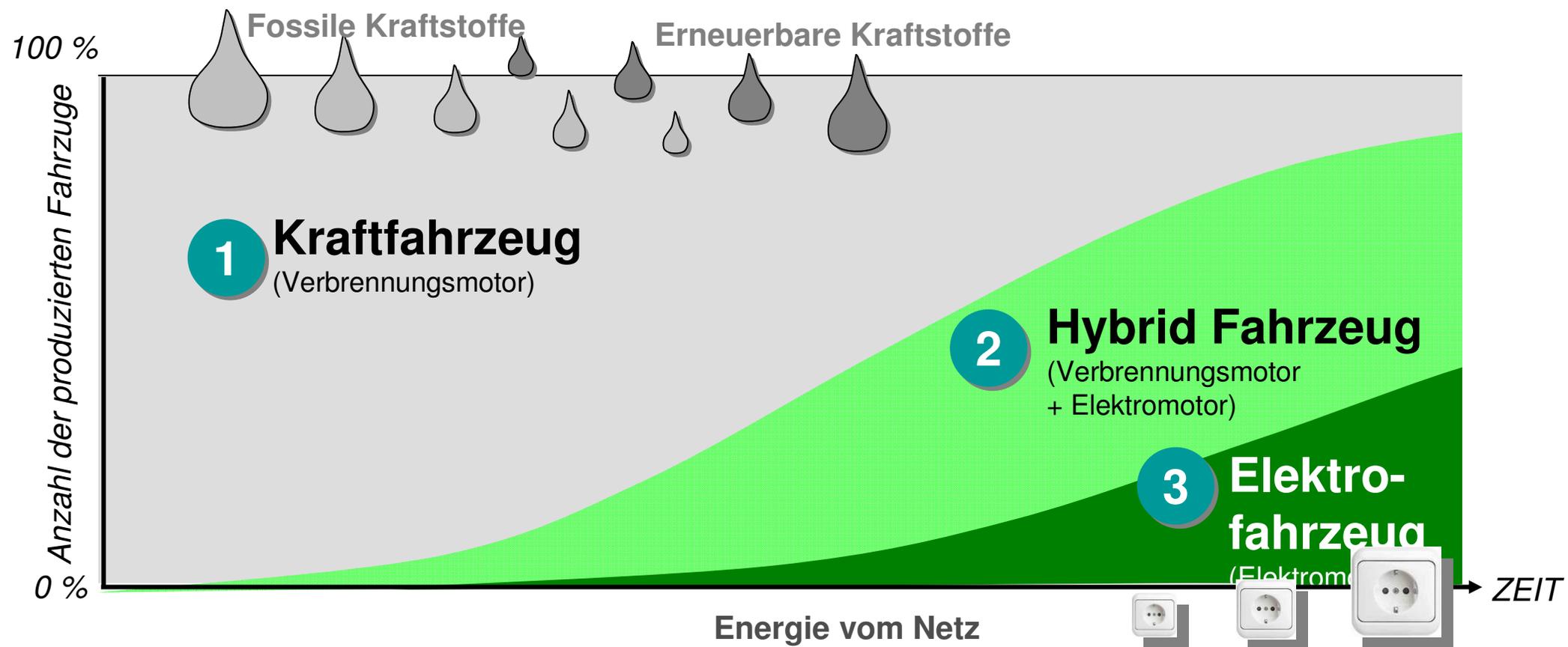
Seitdem haben immer mehr Hersteller Hybrid-Fahrzeuge im Angebot. In den kommenden Jahren wird sich das noch verstärken!



Energie – und Klimaschutz

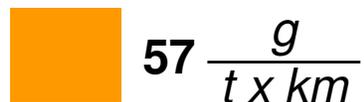
Bedeutung der Elektrifizierung wird deutlich ansteigen

- 1 Steigerung der Effektivität des konventionellen Antriebstranges (kurz- und mittelfristig)
- 2 Unterstützung des Verbrennungsmotors durch Elektromotor (mittelfristig)
- 3 Emissionsfreie Elektrofahrzeuge (EV) (langfristig)



Energie – und Klimaschutz

Vergleich CO₂ Emissionen verschiedene Fahrzeuge



CO₂ Emissionen / Distanz

CO₂ Emissionen / Distanz x Cargo

Energie – und Klimaschutz

Vergleich der Anforderungen für verschiedene Hybridfahrzeuge

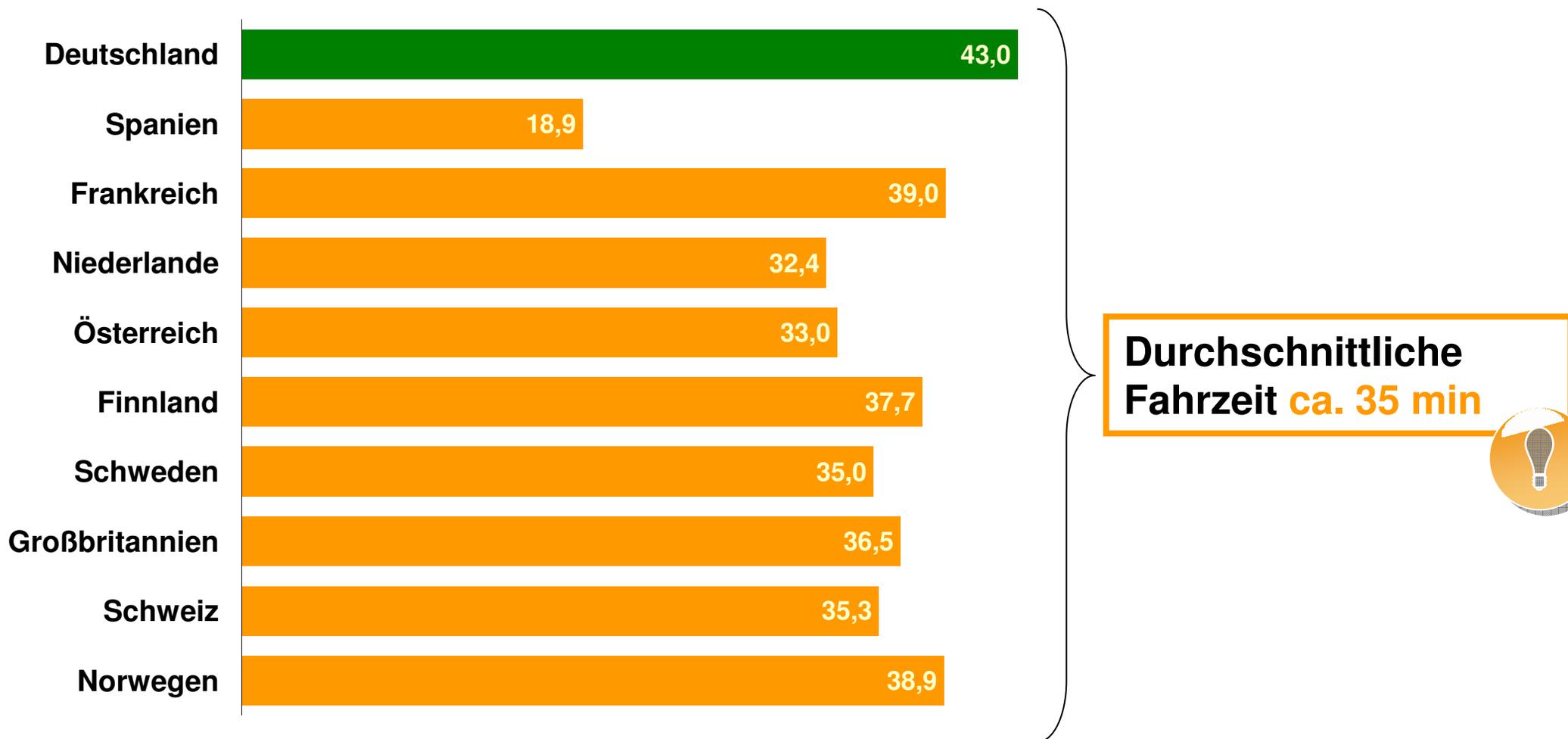


	PKW	LKW	BUS
Anzahl Lade- / Entladezyklen	> 20.000 (2 - 8 % DOD)	40.000 -50.000 (2 - 8 % DOD)	40.000 -50.000 (2 - 8 % DOD)
Typische Energie	0,5 – 2,0 kWh	1,0 – 4,0 kWh	2,0 – 8,0 kWh
Typische Leistung	10 kW - 40 kW	20 kW - 80 kW	40 kW - 120 kW
Typischer Lade- /Entladestrom	1C - 20C	5C - 50C	5C - 50C
Kaltstartleistung	3 - 5 kW	10 kW	20 kW
Beanspruchung	gering	hoch	sehr hoch
Mechanische Anforderungen	moderat	sehr hoch	sehr hoch

Energie – und Klimaschutz

Anforderungen an die Batterie - Tägliche Fahrzeit

Wie lange fahren Sie täglich mit einem PKW im Durchschnitt?

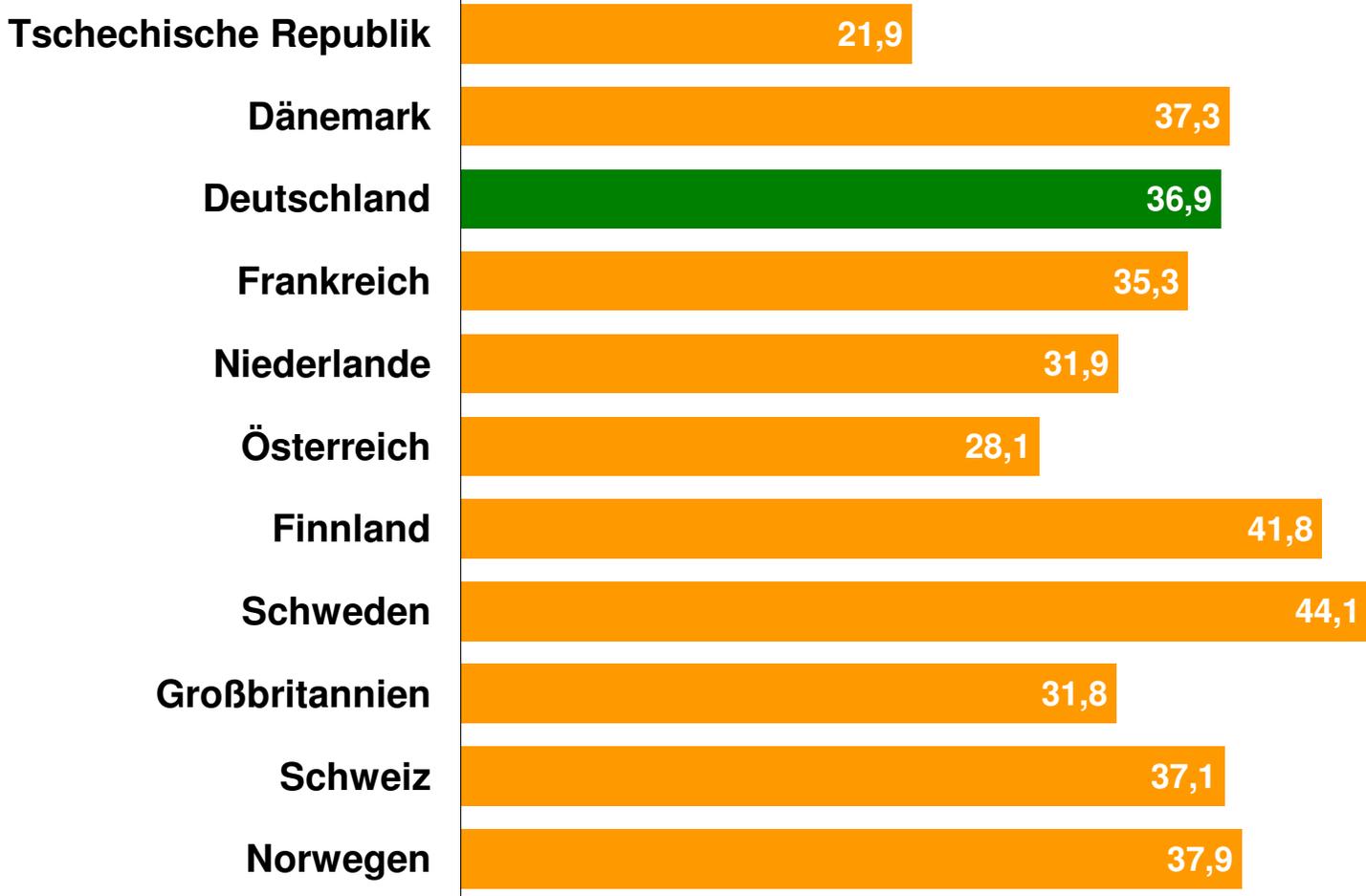


Quelle: Eurostat 87/2007 — Verkehr — Statistik kurz gefasst

Energie – und Klimaschutz

Anforderungen an die Batterie - Tägliche Fahrstrecke

Welche Distanz fahren Sie täglich im Durchschnitt?



Durchschnittliche Fahrstrecke
ca. 35 km



Dennoch wird eine größere Reichweite bei E-Fahrzeugen erwartet



*Quelle: Eurostat 87/2007 — Verkehr — Statistik kurz gefasst

Energie – und Klimaschutz

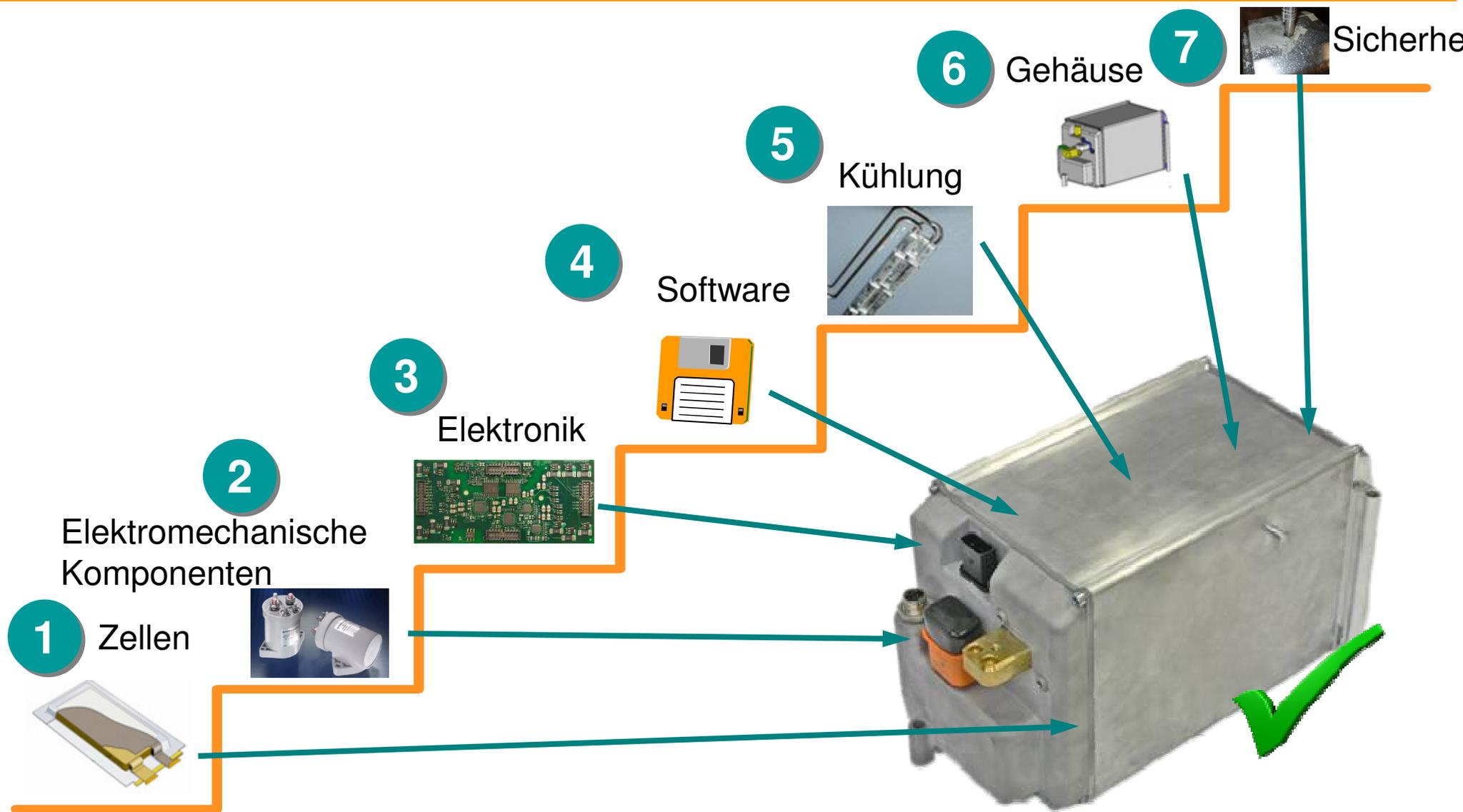
Vergleich der Anforderungen Hybrid- und Elektrofahrzeuge



	Hybridfahrzeug (HEV)	Plug-In -Hybrid (PHEV)	Elektrofahrzeug (EV)
Typ. Zellkapazität	ca. 5 Ah	ca. 20 Ah	ca. 50 Ah
Zyklenzahl	> 20.000 (8 % DOD)	> 2000 Zyklen (80 % DOD)	> 2000 Zyklen (80 % DOD)
typ. Gesamtenergieinhalt	0,5 - 5,0 kWh	5 – 15 kWh	10 – 50 kWh
typ. Leistung	10 kW - 120 kW	10 kW – 100 kW	30 - 180 kW
Lade-/Entladestrom [C Rate]	20C - 50C	3C – 50C	1C - 3C
Effizienz	> 95 %	> 95 %	90 – 95 %

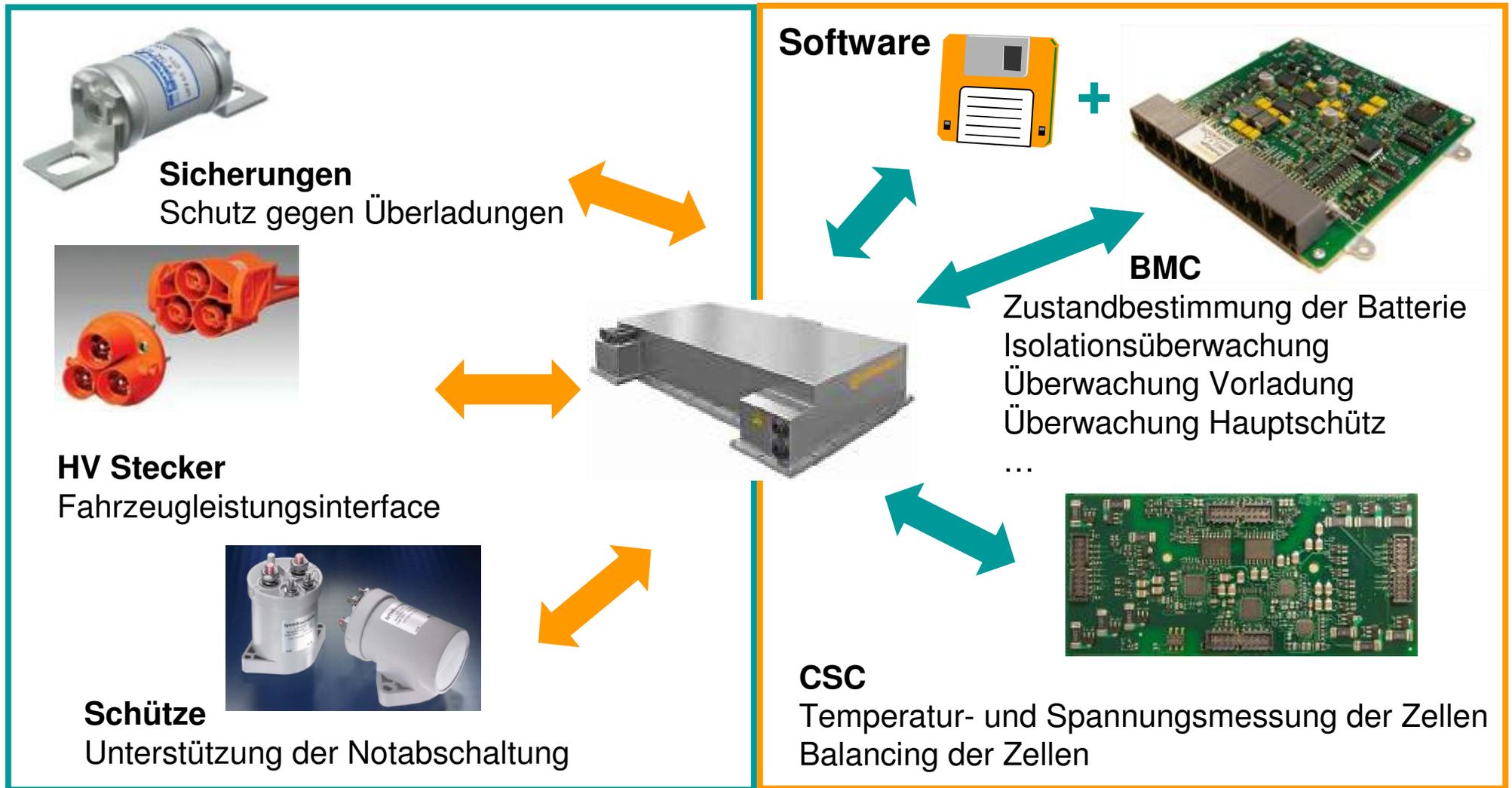
Energie – und Klimaschutz

Herausforderungen Systemintegration



Energie – und Klimaschutz

Elektrische und elektro-mechanische Komponenten



Energie – und Klimaschutz

VDA – Prüfspezifikation

Zusammenfassung

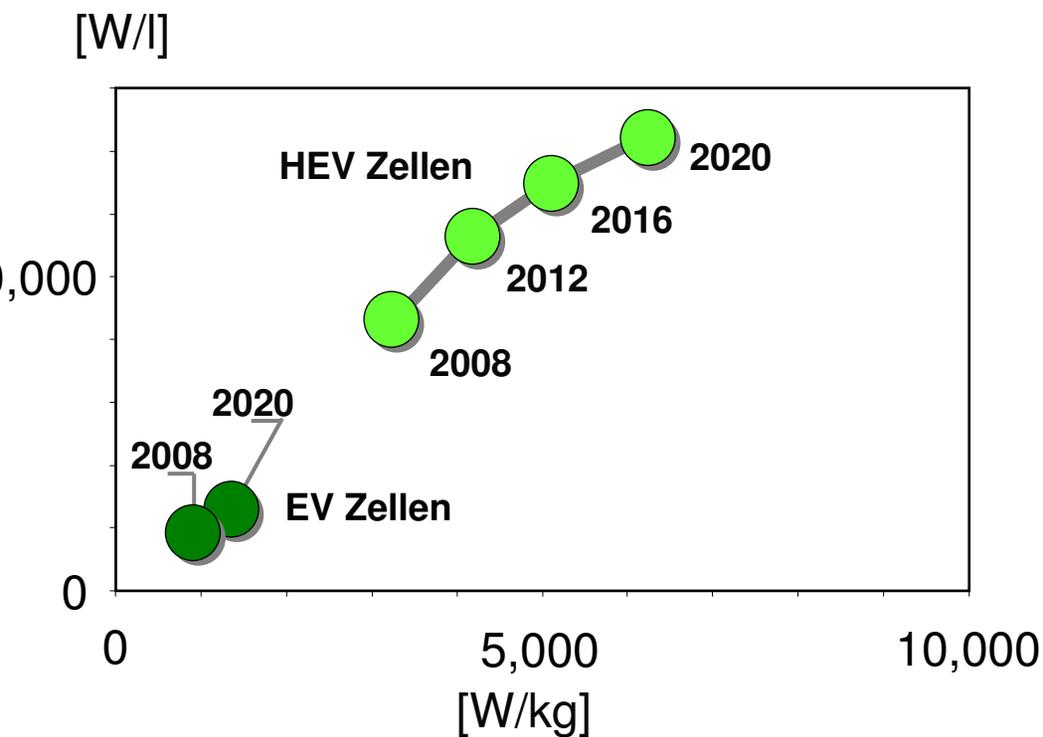
Nr.	Prüfung	Ergebnis
1	Kontrollierter Stoß	✓
2	Penetration	✓
3	Falltest	✓
4	Eintauchen	✓
5	Überschlagssimulation	✓
6	Aufpralltest	✓
7	Thermische Stabilität	✓
8	Simuliertes Kraftstofffeuer	✓
9	Hochtemperaturlagerung	✓
10	schnelle Ladung / Entladung	✓
11	Thermisches Zyklisieren	✓
12	Überladung / Überspannung	✓
13	Kurzschluss	✓
14	Tiefentladung / Verpolung	✓
15	Partieller Kurzschluss	✓



Energie – und Klimaschutz

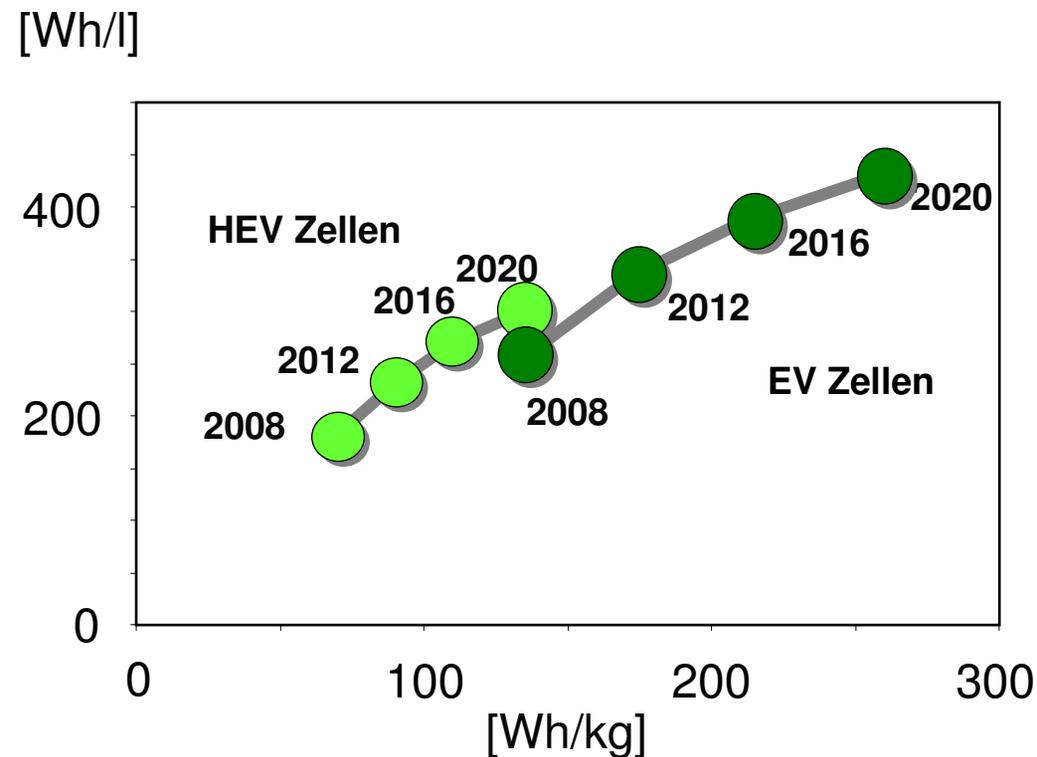
Leistungsdichte- und Energiedichteanstieg wird vorausgesetzt

Leistungsdichte



- @ 100 % SOC @ 10s @ 20 °C
(typischer SOC HEV 50 % - 60 %)
- Zellenvolumen ohne Berücksichtigung der Ableiter

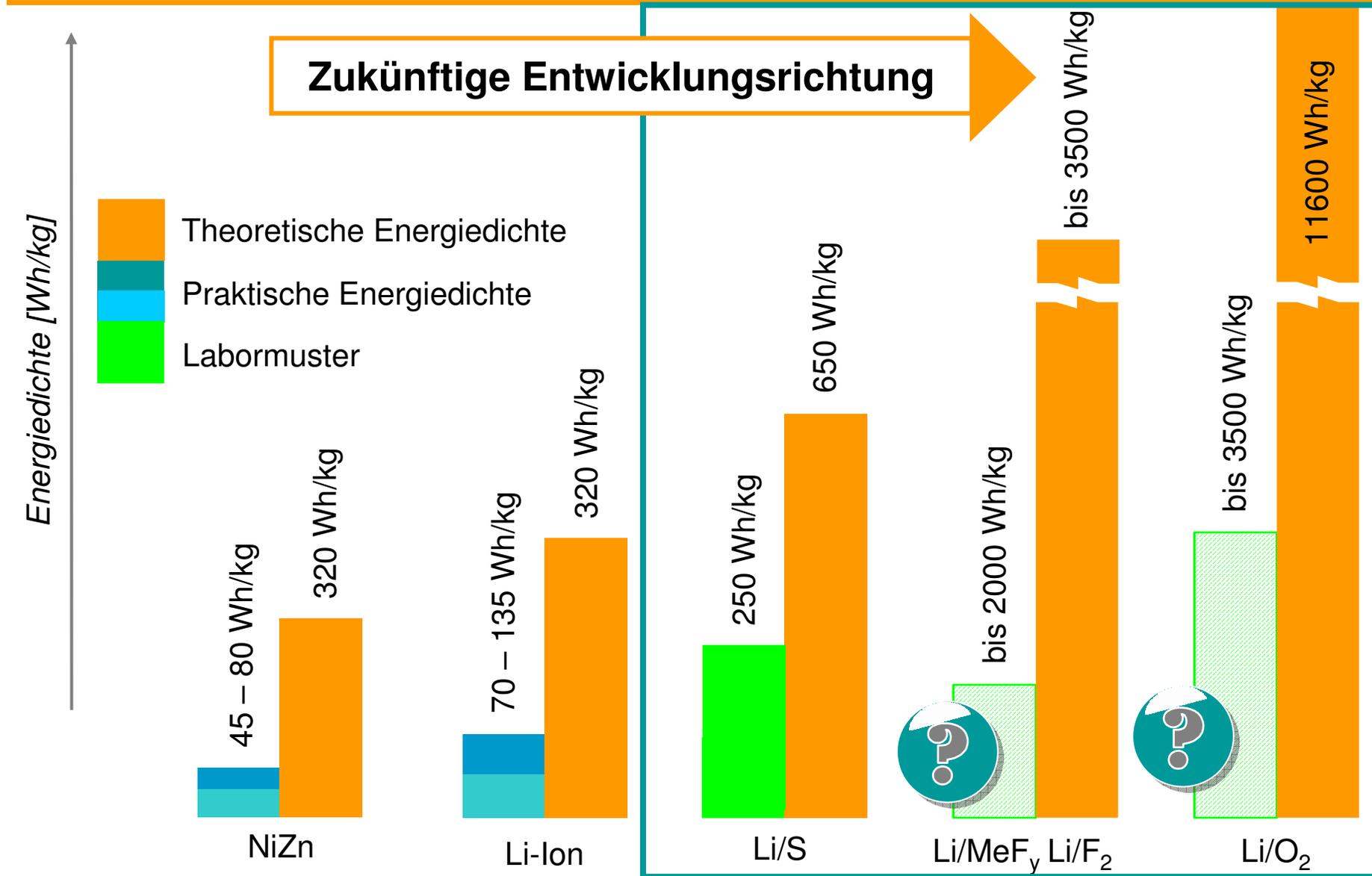
Energiedichte



- Zellenvolumen ohne Berücksichtigung der Ableiter

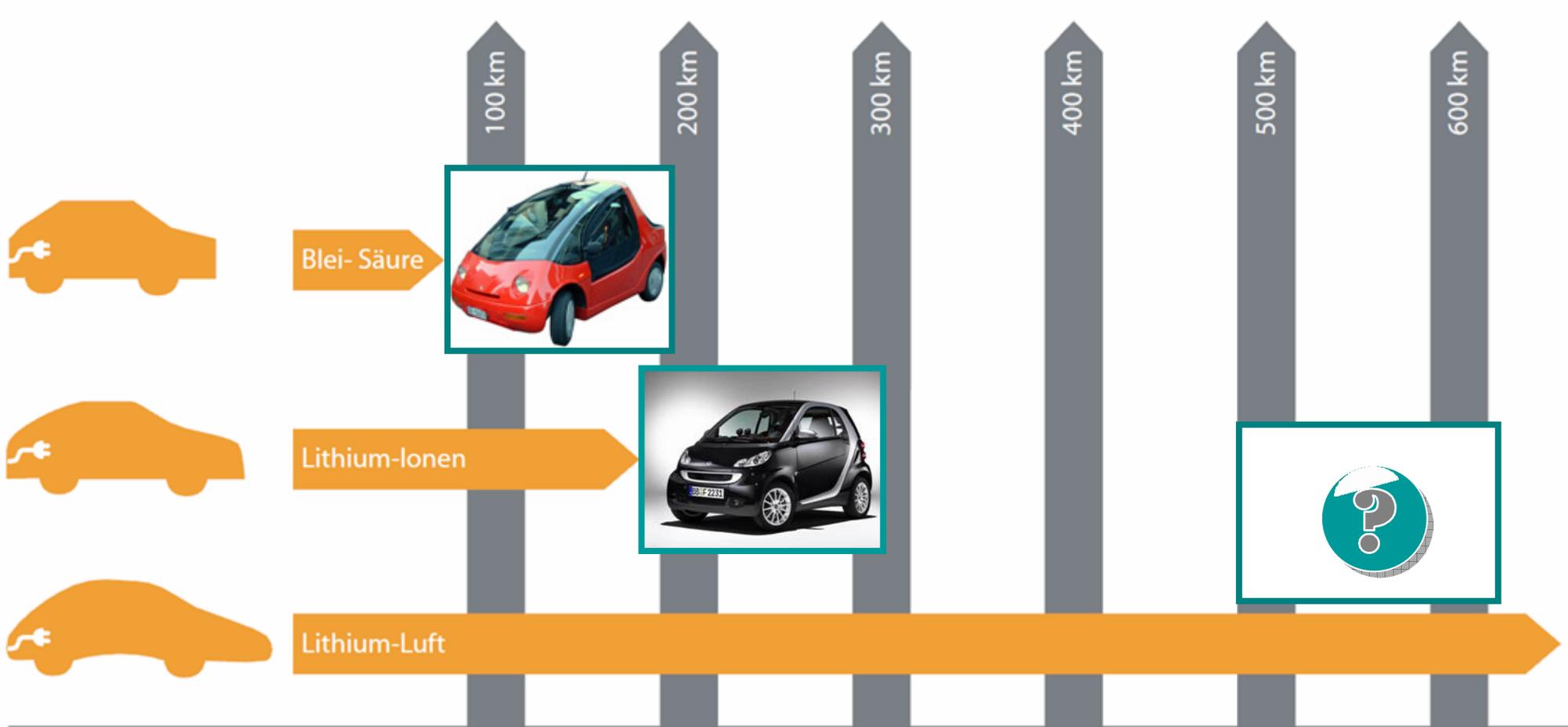
Energie – und Klimaschutz

Vision von Energiespeichersystemen



Energie – und Klimaschutz

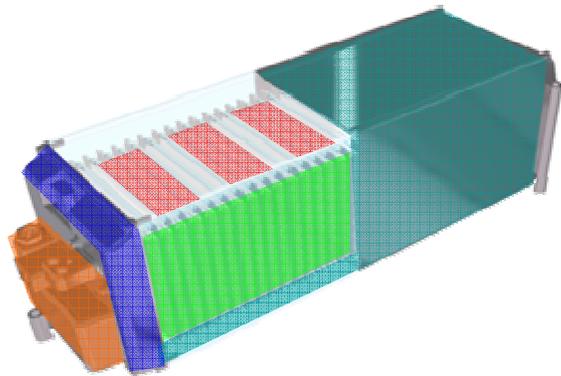
Vision von Energiespeichersystemen



Energie – und Klimaschutz

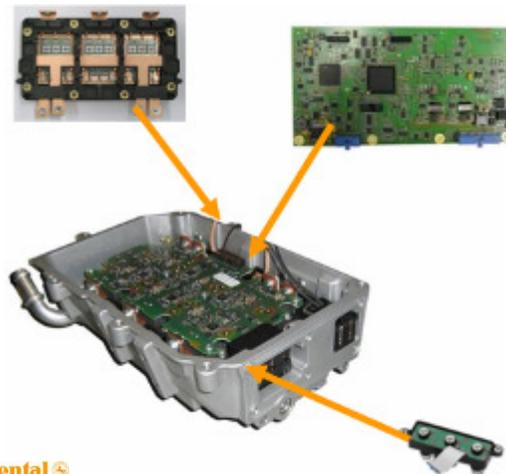
Familienkonzept und modulares Design für Kernkomponenten notwendig

Batteriesystem



Continental

Leistungselektronik



Continental

Antriebsmaschine

Induktionsmaschine
(Kurbelwelle)

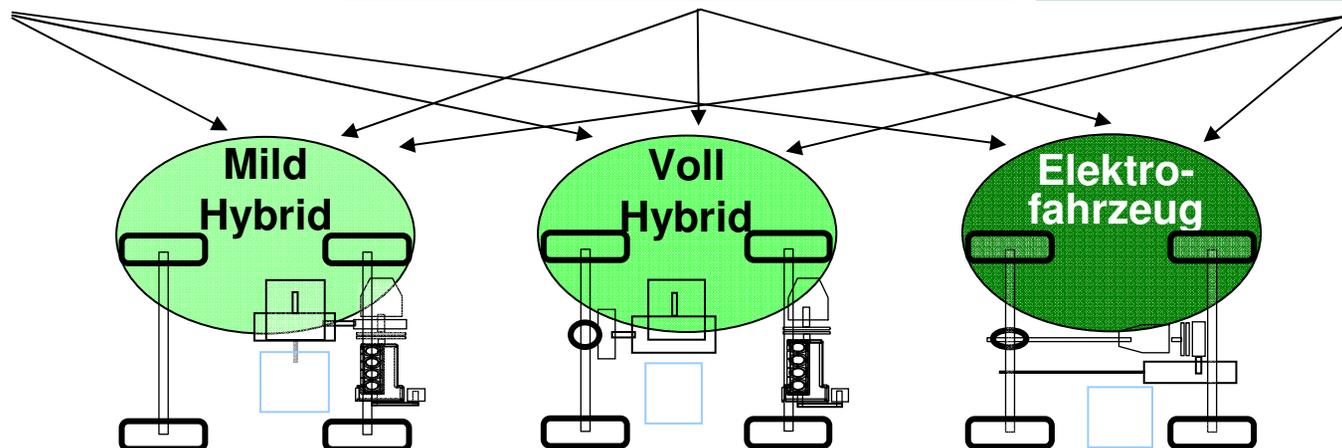


ZF
Continental

[...]



Continental
fremderregte
Synchronmaschine
(Achsenantrieb)



Energie – und Klimaschutz

Erfolg der EVs bedingt geeignete Infrastruktur und Energiespeicherung

Infrastruktur (Netz)

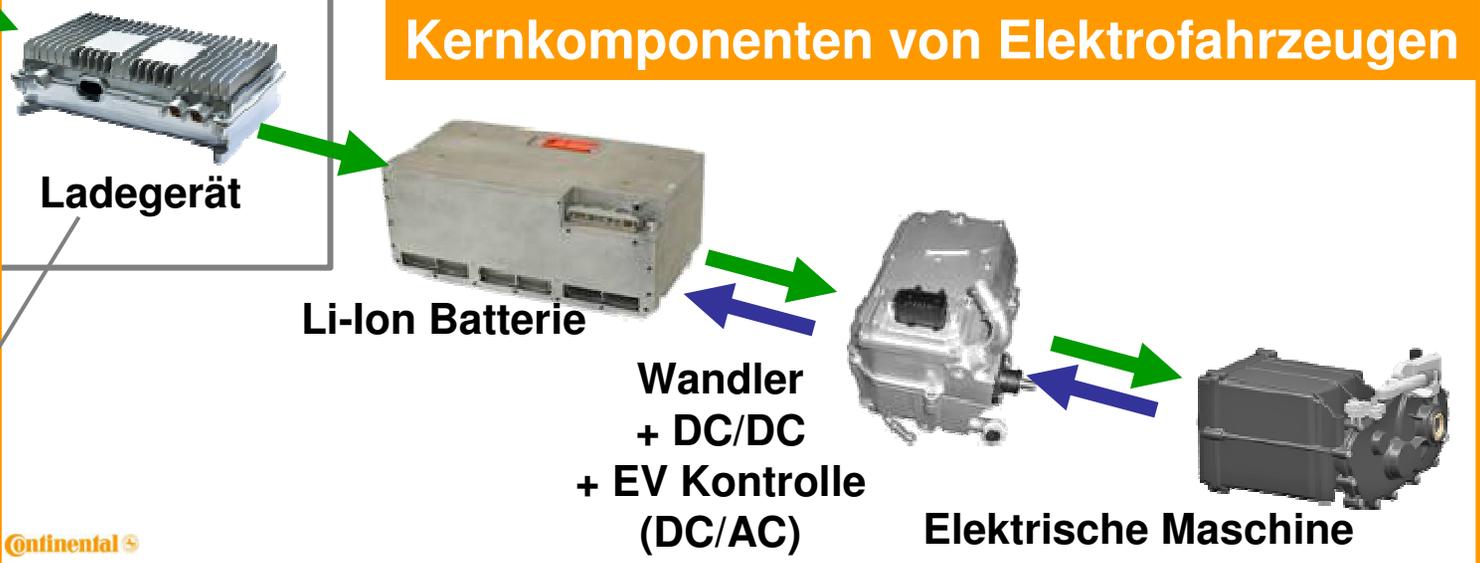


Infrastruktur



Energiespeicherung

Kernkomponenten von Elektrofahrzeugen



Ladegerät Teil des **Fahrzeugs**
oder der **Infrastruktur**

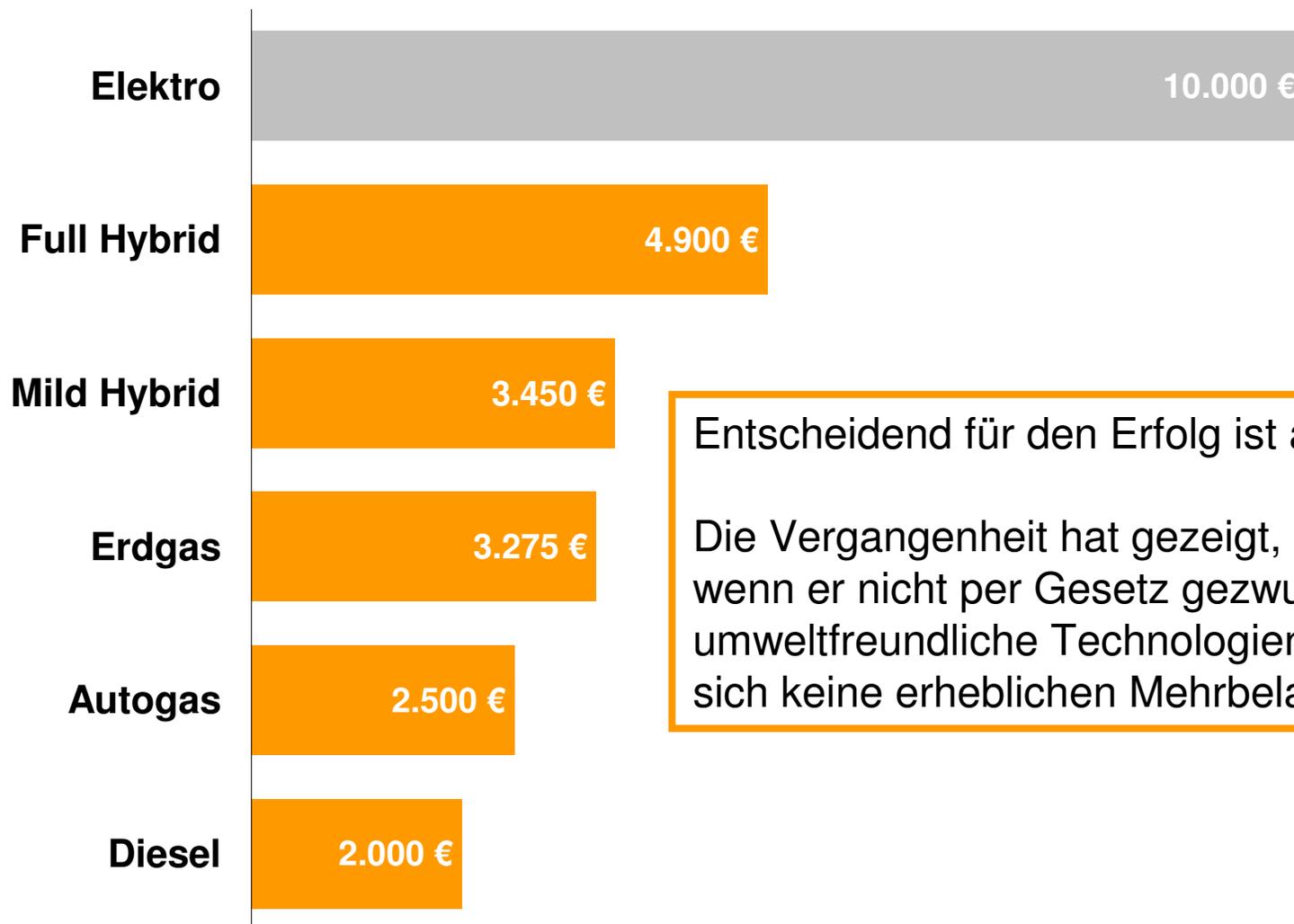


Continental

Energie – und Klimaschutz

Erfolg der EVs bedingt gesetzliche Regulierungen in der EU

Preisdifferenz gegenüber einem Benzinmotor 2008



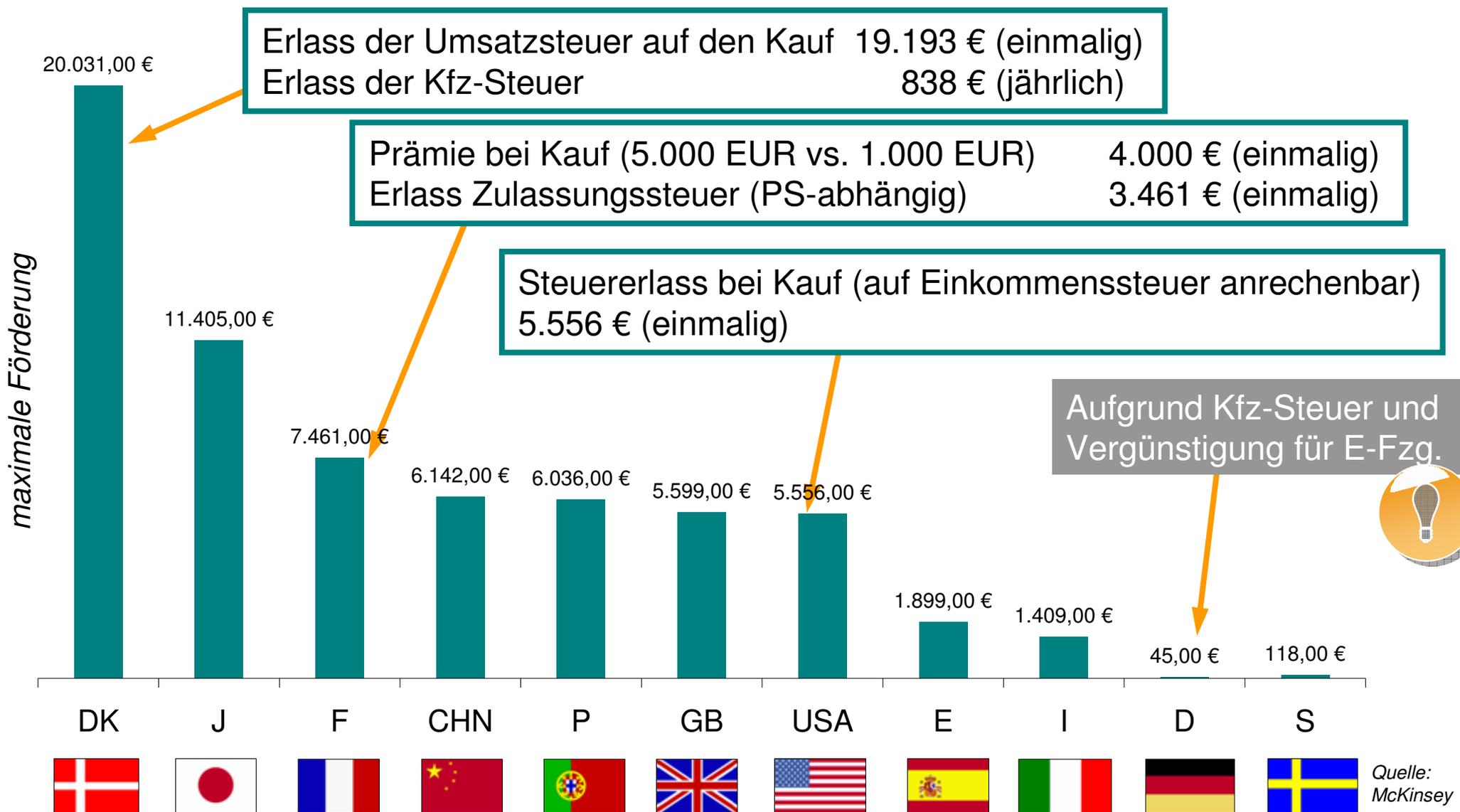
Entscheidend für den Erfolg ist auch der Kostenaspekt

Die Vergangenheit hat gezeigt, dass der Konsument, wenn er nicht per Gesetz gezwungen wird, nur auf umweltfreundliche Technologien umschwenkt, wenn sich keine erheblichen Mehrbelastungen ergeben.



Energie – und Klimaschutz

aktuelle Förderung für Elektrofahrzeuge in der EU 2009

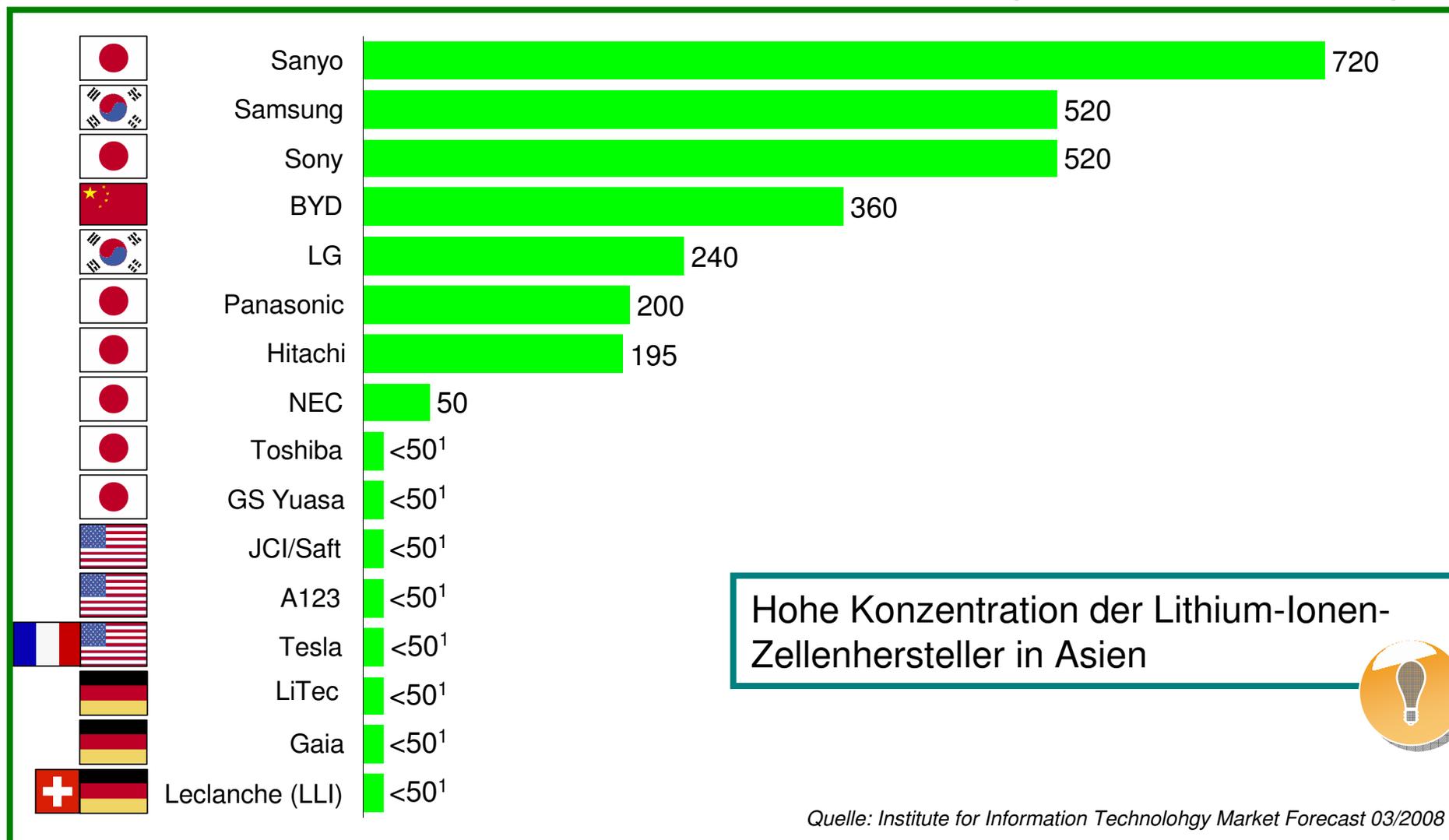


Quelle: McKinsey

Energie – und Klimaschutz

aktuelle Produktionskapazitäten Lithium-Ionen-Zellen

Lithium-Ionen-Zellen Produktion (Millionen Zellen 2006)



Energie – und Klimaschutz

Lithium-Verfügbarkeit

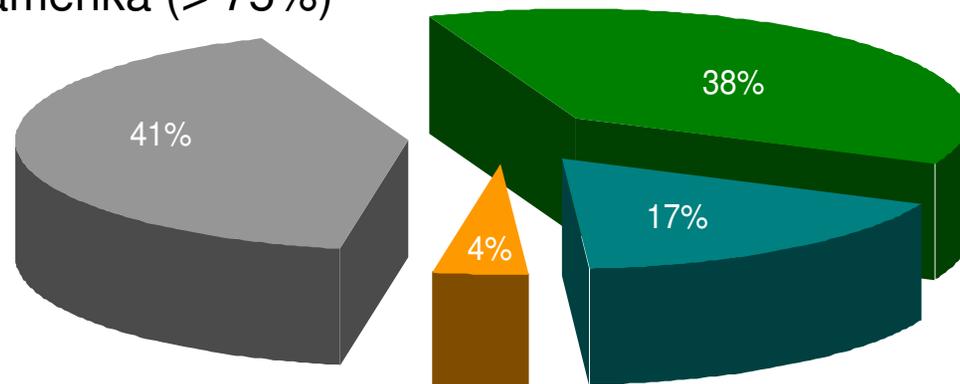
Lithium nicht unbegrenzt verfügbar, wie auch viele andere Rohstoffe

Wirtschaftliche Verfügbarkeit **ca. 6 Mill. Tonnen Lithium** weltweit aktuell geschätzt

Reserven gut doppelt so viel (zusätzlich gelöstes Li in den Weltmeeren)

Reserven stark konzentriert in Südamerika (> 75%)

■ Bolivien
■ Chile
■ China
■ Andere



Quelle: DoE, Evans, FMC, SQM,
Madison Avenue Research, Roland Berger

Bedarf (Beispiel):

Bedarf bei 3,6 V-Technologie ca. 1 g Li für 4-5 Wh (konservativ)

Aktuelle Produktion bei ca. **25.000 Tonnen/ Jahr**,
das entspricht 8 Millionen PHEV mit 10 kWh

Steigerung der Produktion schwierig, muss aber mittelfristig geplant werden.

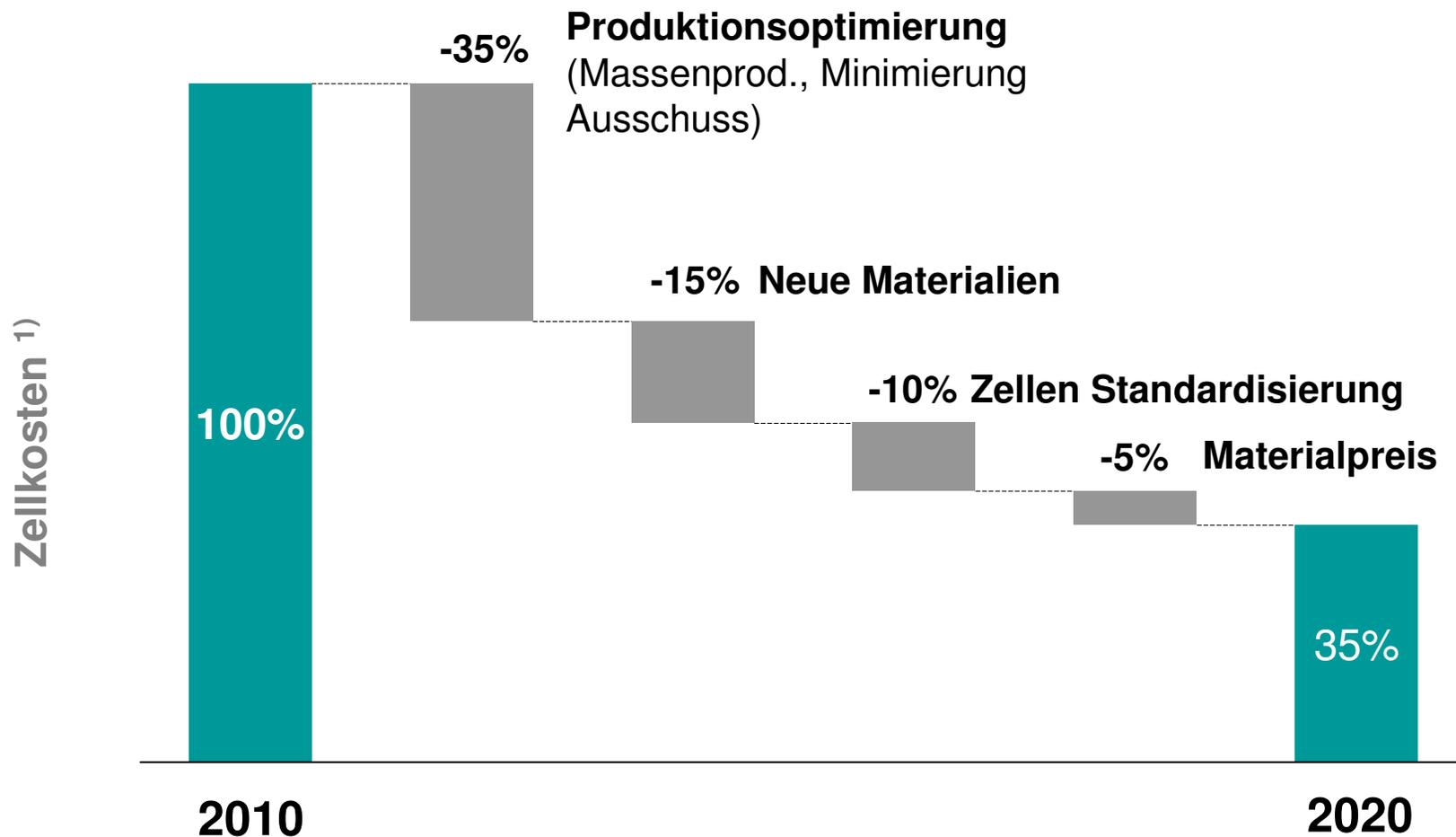
Vollständiges Recycling von Beginn an erforderlich und stärkste Bemühungen notwendig.



Energie – und Klimaschutz

Herausforderung: Kostenentwicklung

1) 5.5 Ah UHP-Zelle
für HEV, Softpack



Energie – und Klimaschutz

Zusammenfassung

- Große Herausforderungen/Potentiale stecken auch im Bereich der Systemintegration, nicht nur im Bereich der Batterietechnologien.
- Das Systemkonzept muss in der Lage sein, unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden.
- Eine große Anzahl von elektrischen und elektromechanischen Komponenten ist für Hybrid(HEV)- und Elektrofahrzeuganwendungen möglichst identisch zu gestalten.
- Unterstützung im Rahmen des Konjunkturpakets für die weitere Entwicklung der Elektromobilität ist bereitgestellt, womit vor allem die Batterieforschung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen gefördert wird.



Von der erfolgreichen Markteinführung der Hybridfahrzeuge (HEV) profitieren die Elektrofahrzeuge (EV) und eröffnen langfristig die Möglichkeit der Nutzung von erneuerbaren Energien und der dezentralen Energieversorgung für den Fahrzeugantrieb.



Thank you for your Attention

