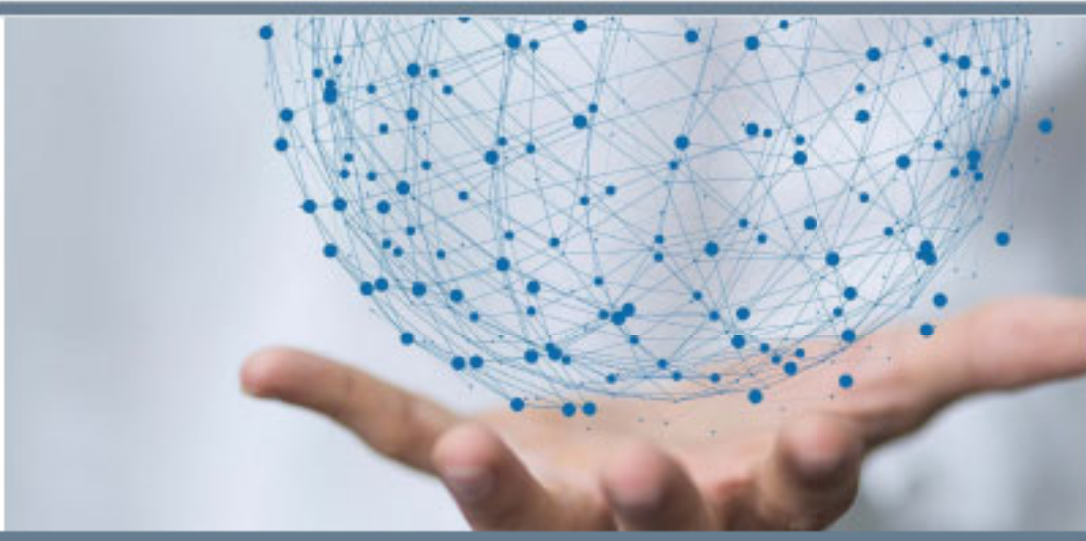




Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



Die Lithium-Ionen-Batterie – Grundlagen, Anwendungen und Zukunftsperspektiven

BFH-Zentrum Energiespeicherung, Steffen Wienands
researchXchange – Freitag 06. Dezember 2020

BFH-Zentrum Energiespeicherung, www.bfh.ch/energy

BFH-Zentrum Energiespeicherung



Die Berner Fachhochschule konzentriert ihre Forschungsgruppen zum Thema elektrochemische Speichertechnologien und Stromnetze im Gebäude des Switzerland Innovation Park Biel/Bienne.



BFH-Zentrum Energiespeicherung (www.bfh.ch/energy)

- Ein unabhängiges, akademisches Energiespeicherforschungszentrum für die Schweiz im Dienste von Wissenschaft und Industrie



Testen und Charakterisieren von elektrochemischen Energiespeichersystemen



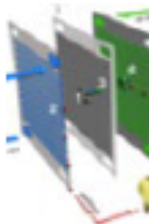
Batterie- und Energie-Management-Systeme sowie Einsatz von Energiespeichern in der Mobilität



Entwicklung von Herstellungstechnologien für Batteriezellen und Batteriesysteme



Einsatz von elektrischen Energiespeichern im Stromnetz zwecks Integration erneuerbarer Energiequellen



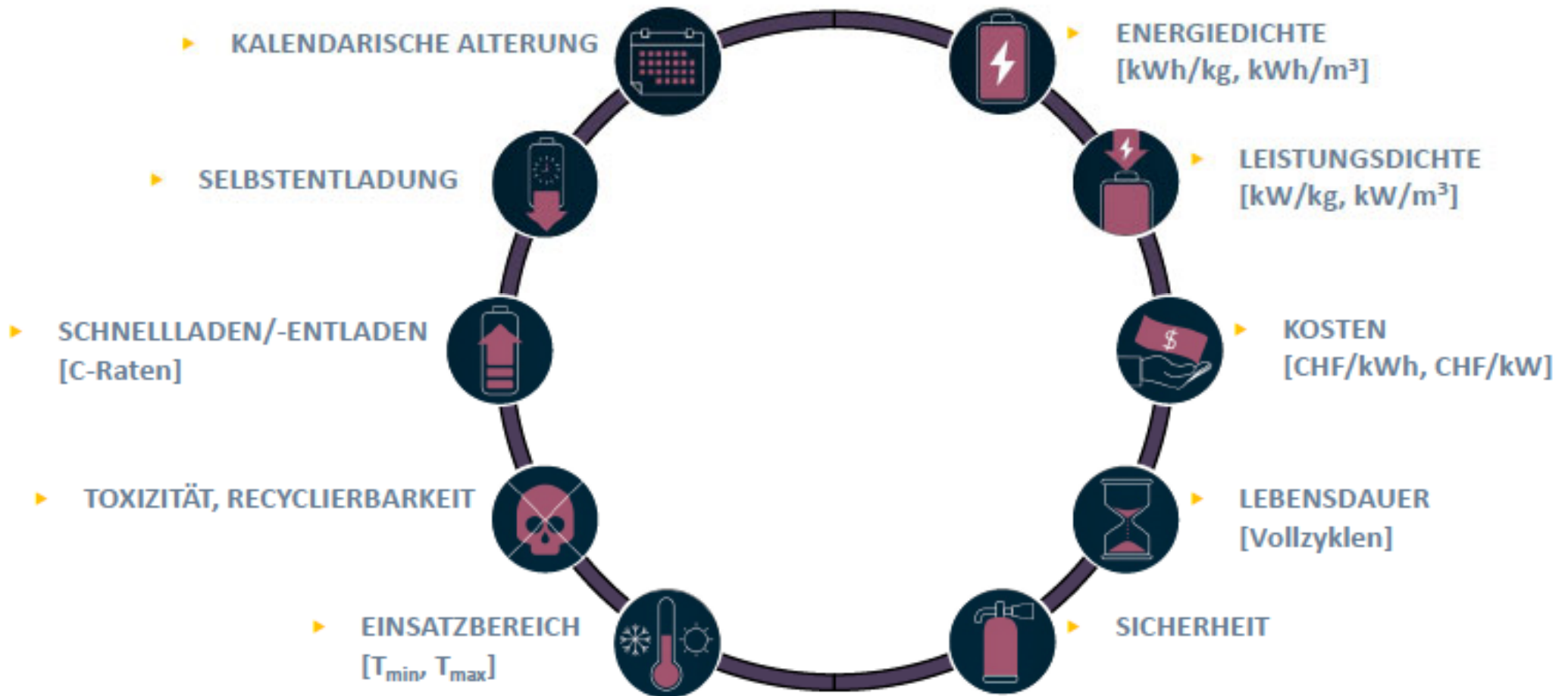
Anwendung und Integration von dezentralen und mobilen Brennstoffzellensystemen



Analyse von Innovations-Ökosystemen zur Diffusion von Batteriespeichertechnologien, um die Energiewende zu ermöglichen

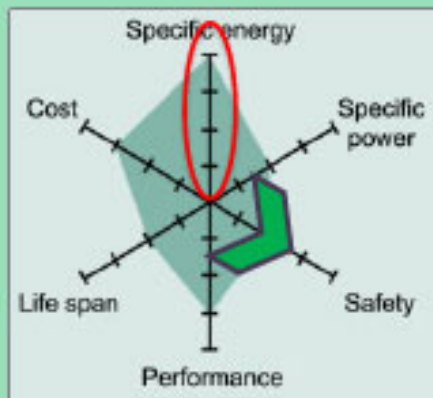
Grundlagen

Wichtige Batterie-Beurteilungskriterien

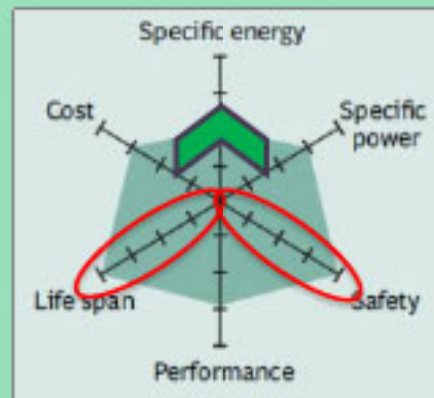


Vielseitigkeit der Lithium-Ionen-Technologie

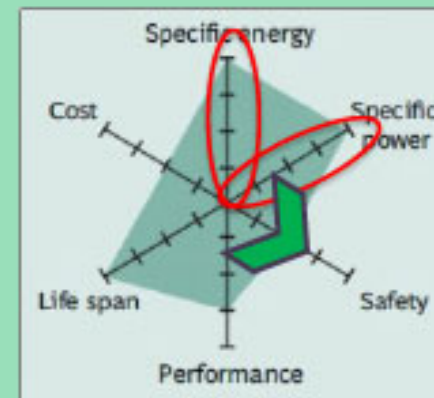
Positive Elektrode
(Kathode)



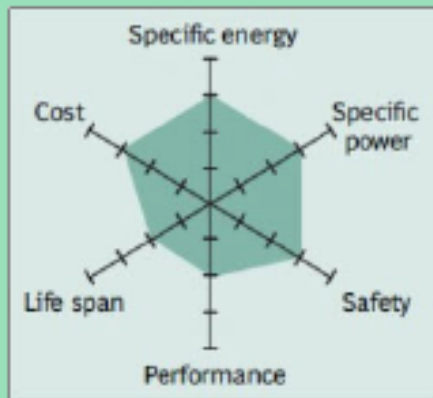
Lithium-Kobalt-Oxid
LCO (LiCoO_2)



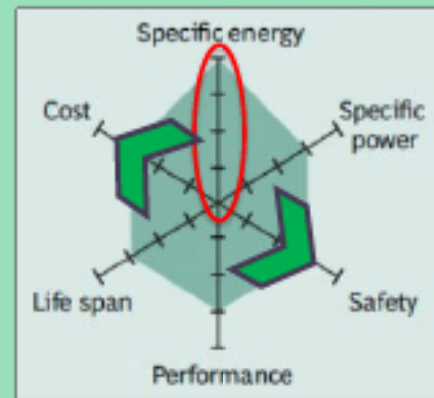
Lithium-Eisenphosphat
LFP (LiFePO_4)



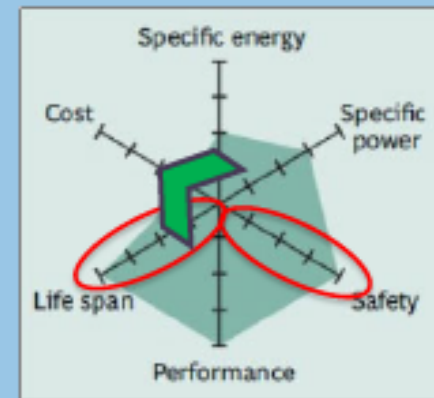
Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid
NCA ($\text{LiNi}_{1-x-y-z}\text{Co}_x\text{Al}_z\text{O}_2$)



Lithium-Mangan-Oxid
LMO (LiMn_2O_4)



Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid
NMC ($\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$)

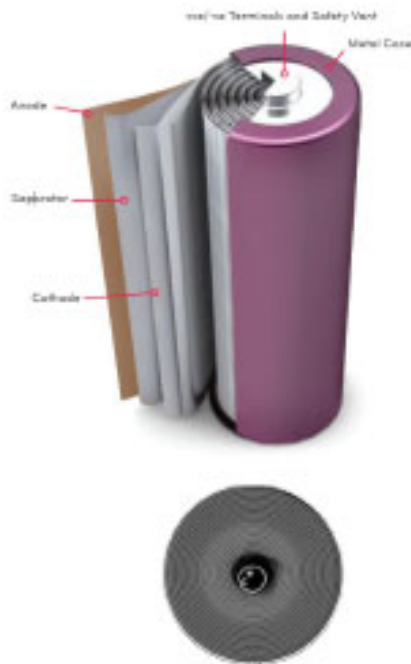


Lithium-Titan-Oxid oder Lithium-Titanat
LTO ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

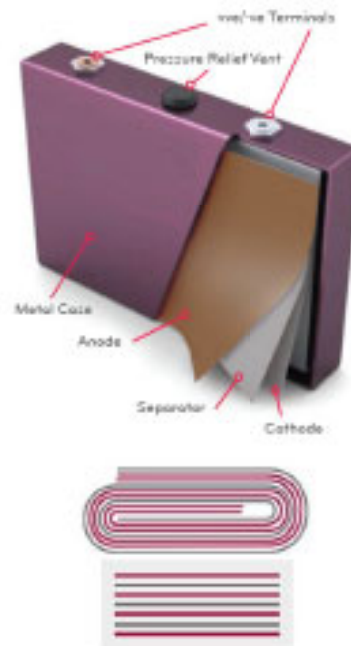
Negative Elektrode
(Anode)

Unterschiedliche Zellformate

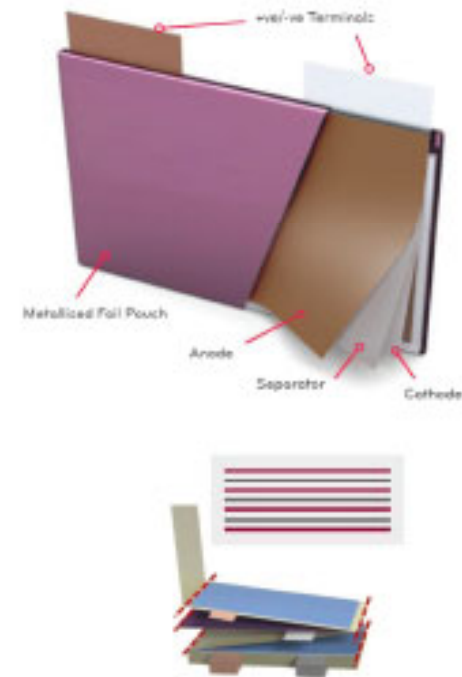
Zylindrisch



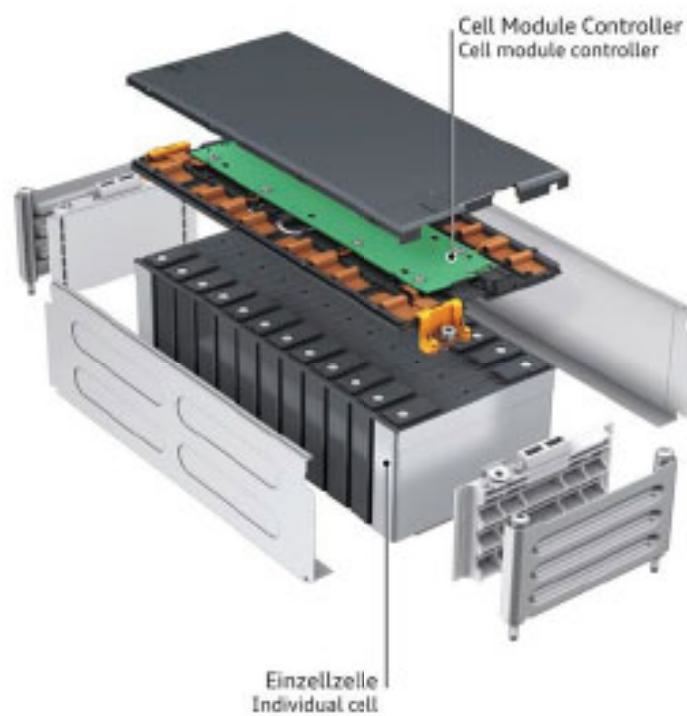
Prismatisch



“Pouch”

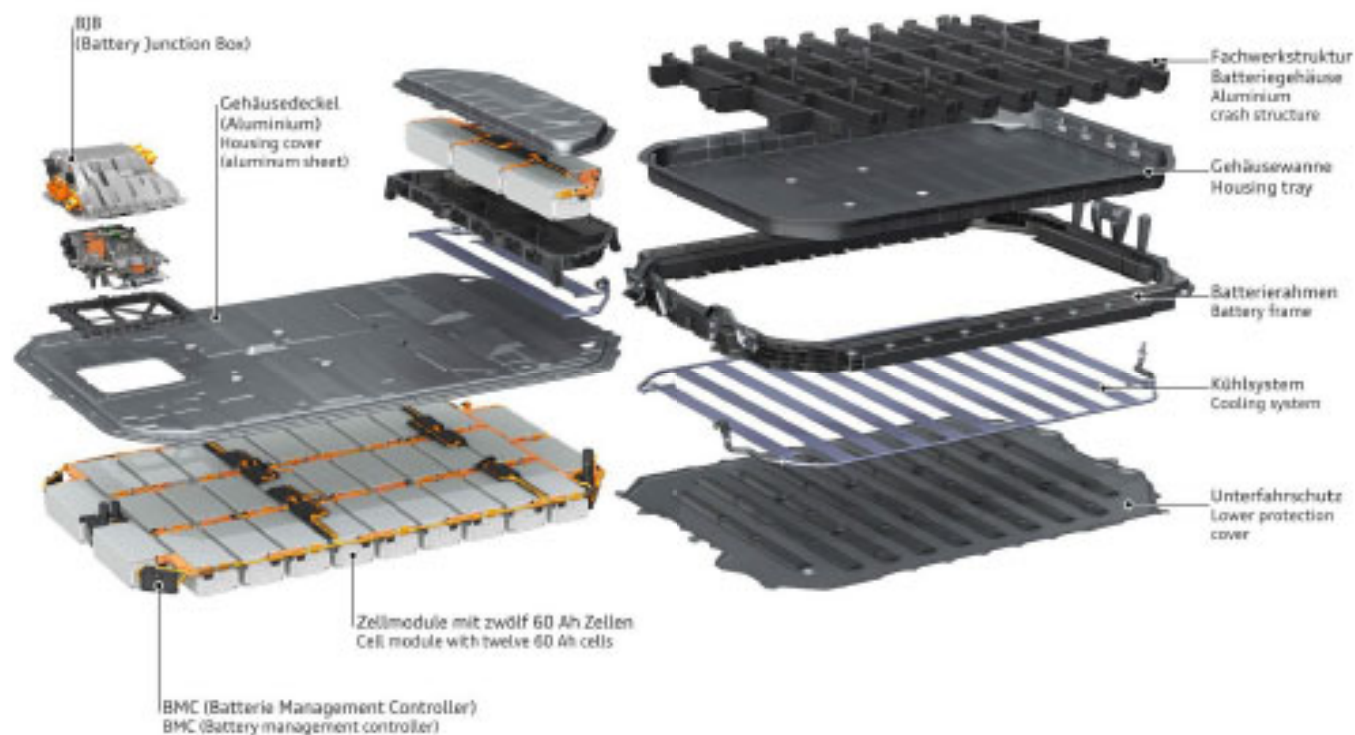


Batteriemodul



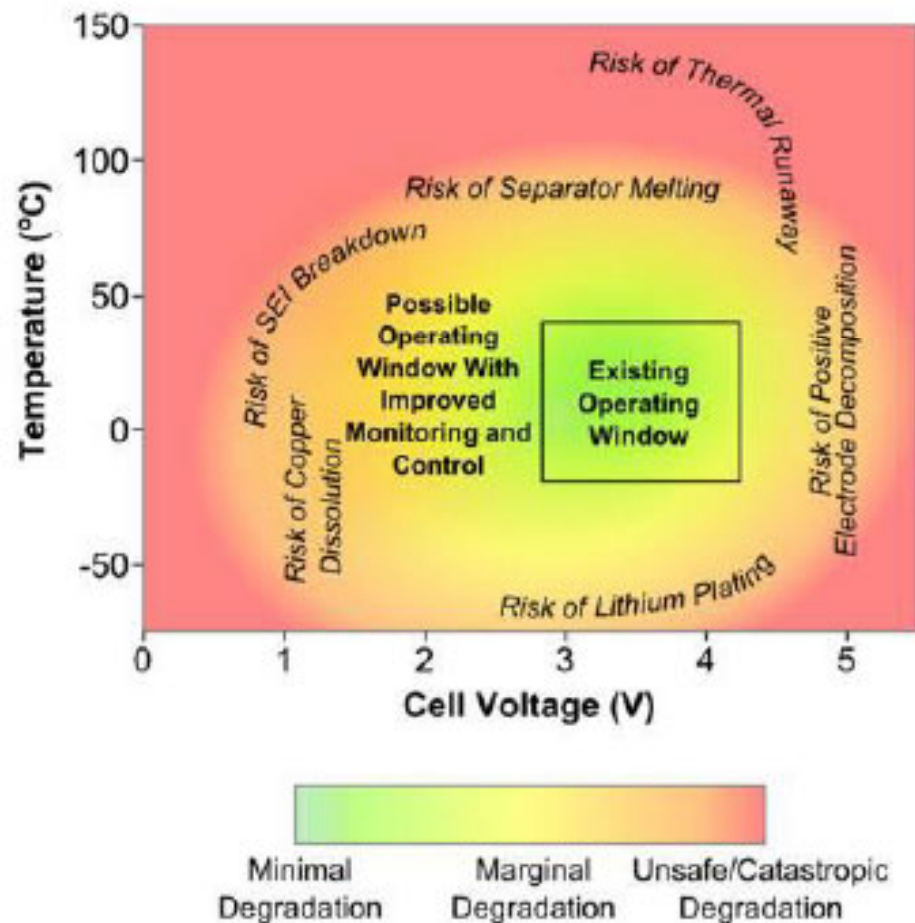
40 – 60 V

Batteriepack



300 – 800 V

Sicherer Betriebsbereich – Batteriemanagementsystem (BMS)

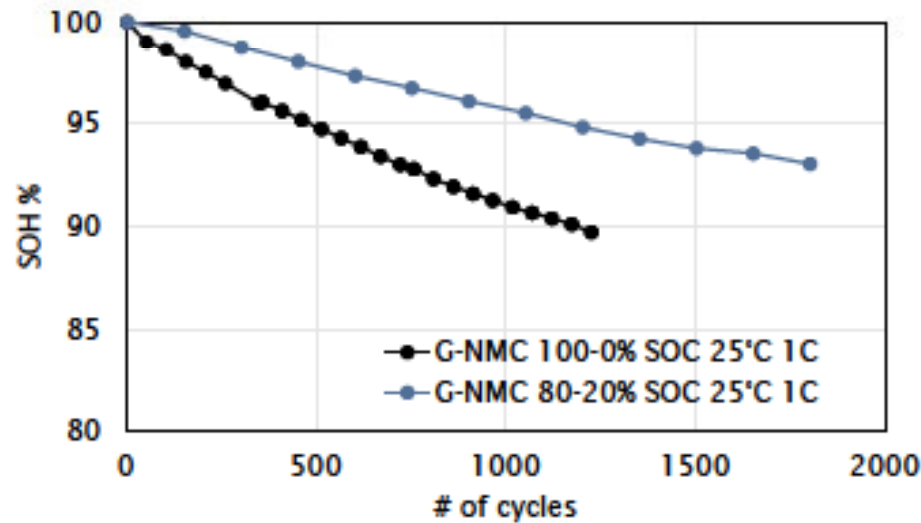


- ▶ Der Lieferant gibt einen sicheren Betriebsbereich in Zellspannung, -strom und -temperatur zum Laden und Entladen an und definiert darüber das Batteriemanagementsystem (BMS).
- ▶ Für die meisten Anwendungen ist es sinnvoll, den Betriebsbereich weiter einzuschränken, um die Lebensdauer der Batterie zu maximieren.

Alterung

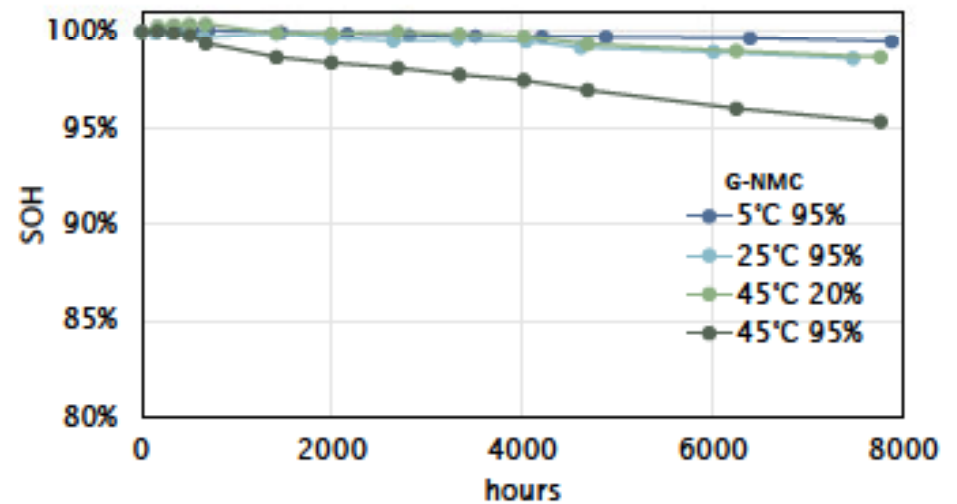
Zyklische Alterung

- ▶ Abnahme der verfügbaren Kapazität durch die Benutzung (Laden/Entladen)



Kalendarische Alterung

- ▶ Unabhängig von der Benutzung
- ▶ Bei Lagerung/Nichtbenutzung relevant
- ▶ Chemische Zerfallsprozesse



Quelle: Lebensdauerests im Auftrag der Industrie am BHK-Zentrum Energieeicherung

Alterungsparameter

Zyklische Alterung

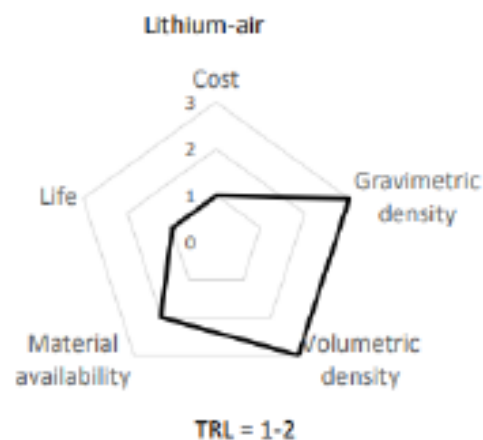
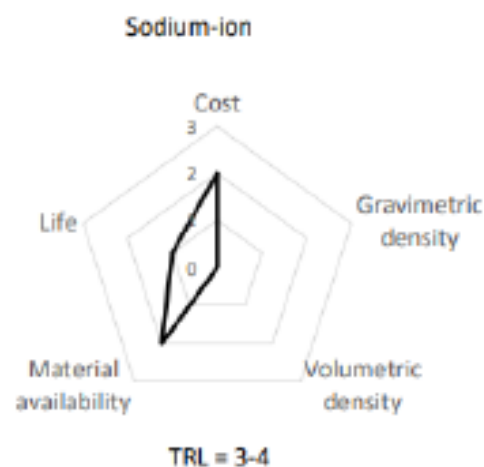
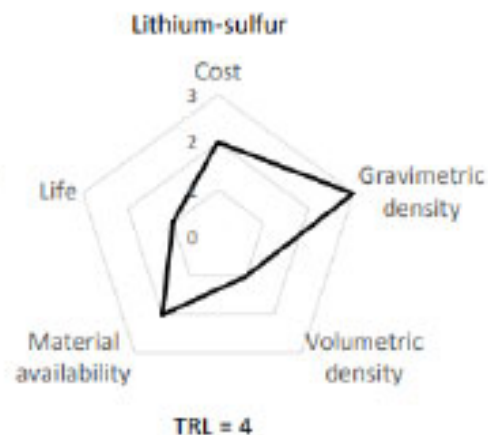
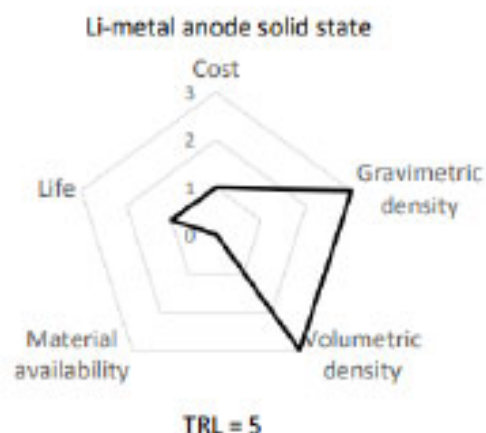
- ▶ Zellchemie
- ▶ Hohe Temperatur
- ▶ Entladetiefe (DOD)
- ▶ Genutzter Ladezustandsbereich (SOC)
- ▶ Hohe Ladeleistungen
- ▶ Hohe Entladeleistungen
- ▶ Ungleichgewicht der einzelnen Zellen
- ▶ Mechanischer Aufbau
- ▶ ...

Kalendarische Alterung

- ▶ Zellchemie
- ▶ Lagertemperatur
- ▶ Ladezustand (SOC)
- ▶ ...



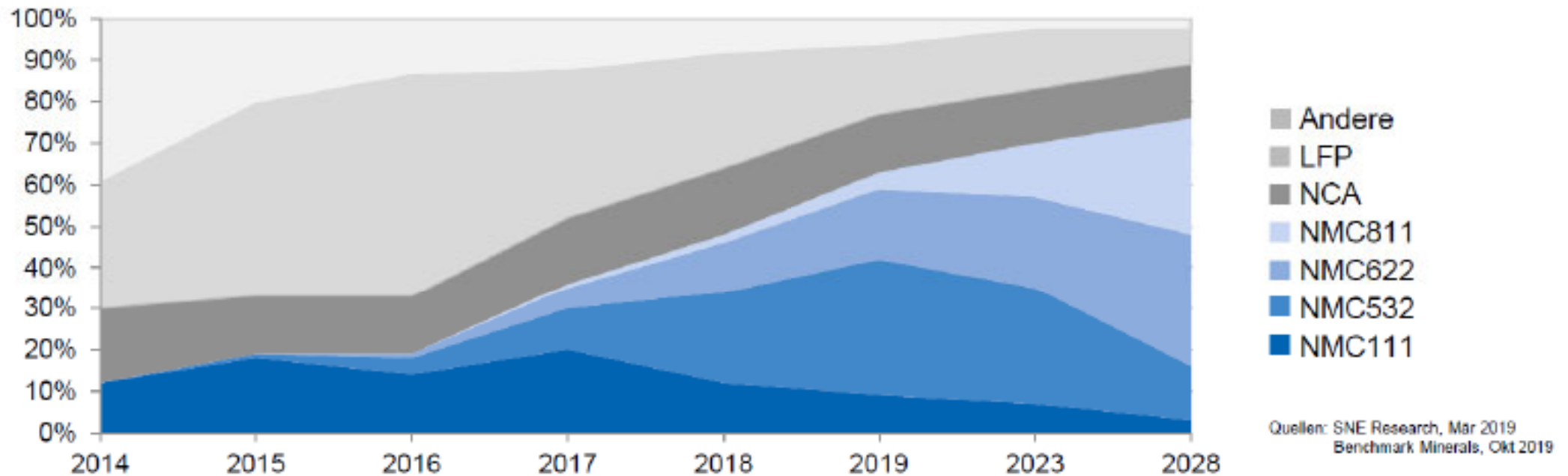
Next generation



Technology Readiness Level (TRL)

1. **Initial idea:** basic principles have been defined
2. **Application formulated:** concept and application of solution have been formulated
3. **Concept needs validation:** solution needs to be prototyped and applied
4. **Early prototype:** prototype proven in test conditions
5. **Large prototype:** components proven in conditions to be deployed
6. **Full prototype at scale:** prototype proven at scale in conditions to be deployed
7. **Pre-commercial demonstration:** solution working in expected conditions
8. **First-of-a-kind commercial:** commercial demonstration, full-scale deployment in final form
9. **Commercial operation in relevant environment:** solution is commercially available, needs evolutionary improvement to stay competitive
10. **Integration at scale:** solution is commercial but needs further integration efforts
11. **Proof of stability:** predictable growth

Marktanteil einzelner Lithium-Ionen-Technologien

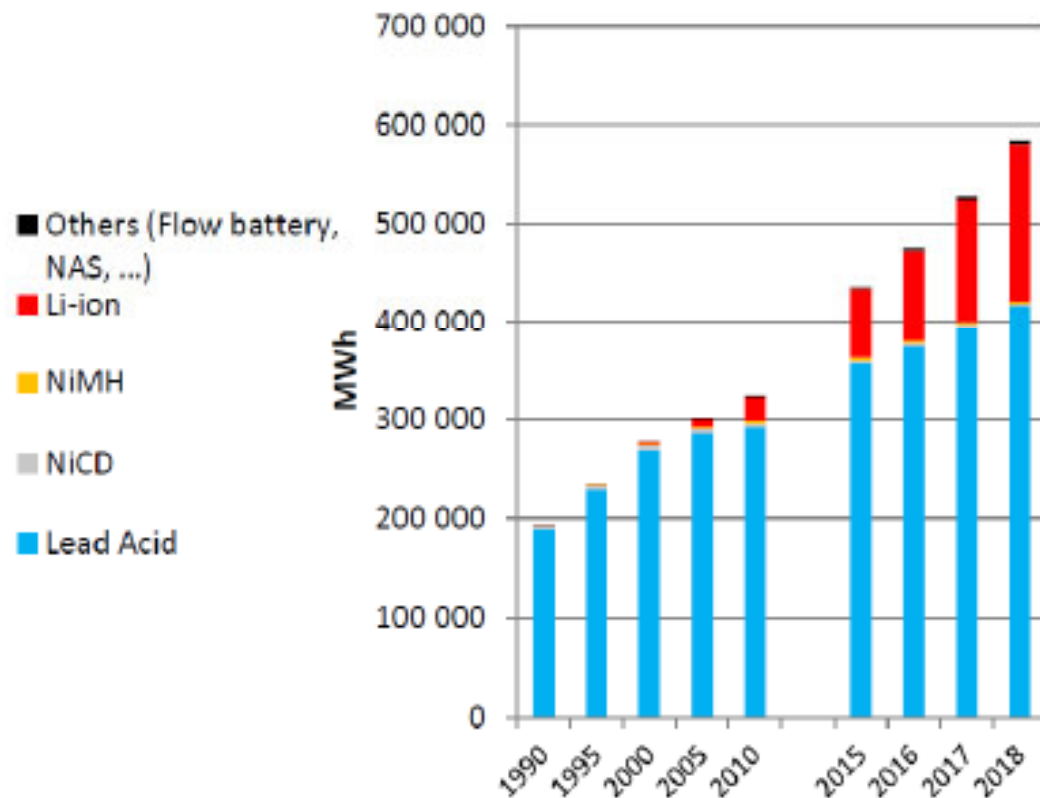


- ▶ Die Lithium-Ionen Technologie wird uns noch eine Weile begleiten
- ▶ Reduzierung des Kobalts in der Batterie
- ▶ $\text{Li N}_1\text{M}_1\text{C}_1 \rightarrow \text{Li N}_5\text{M}_3\text{C}_2 \rightarrow \text{Li N}_7\text{M}_2\text{C}_1 \rightarrow \text{Li N}_9\text{M}_{0.5}\text{C}_{0.5} \rightarrow \text{next ?}$

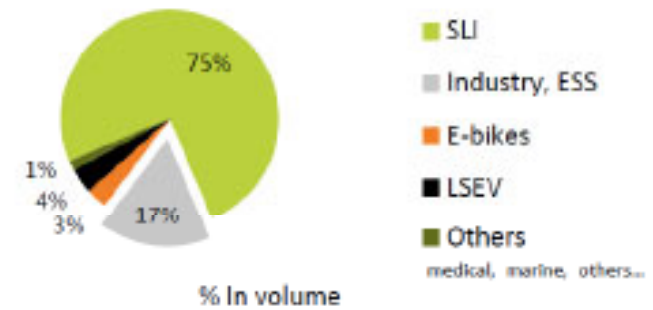
Marktentwicklung

Weltweiter Markt sekundärer Batterien 1990-2018

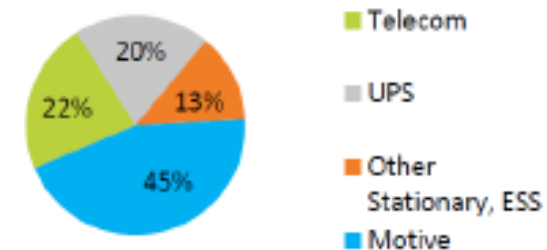
▶ Nach Volumen; 9% durchschnittliches Wachstum pro Jahr seit 2010



Lead Acid Batteries 2018
420 GWh for > US \$ 37 Billion

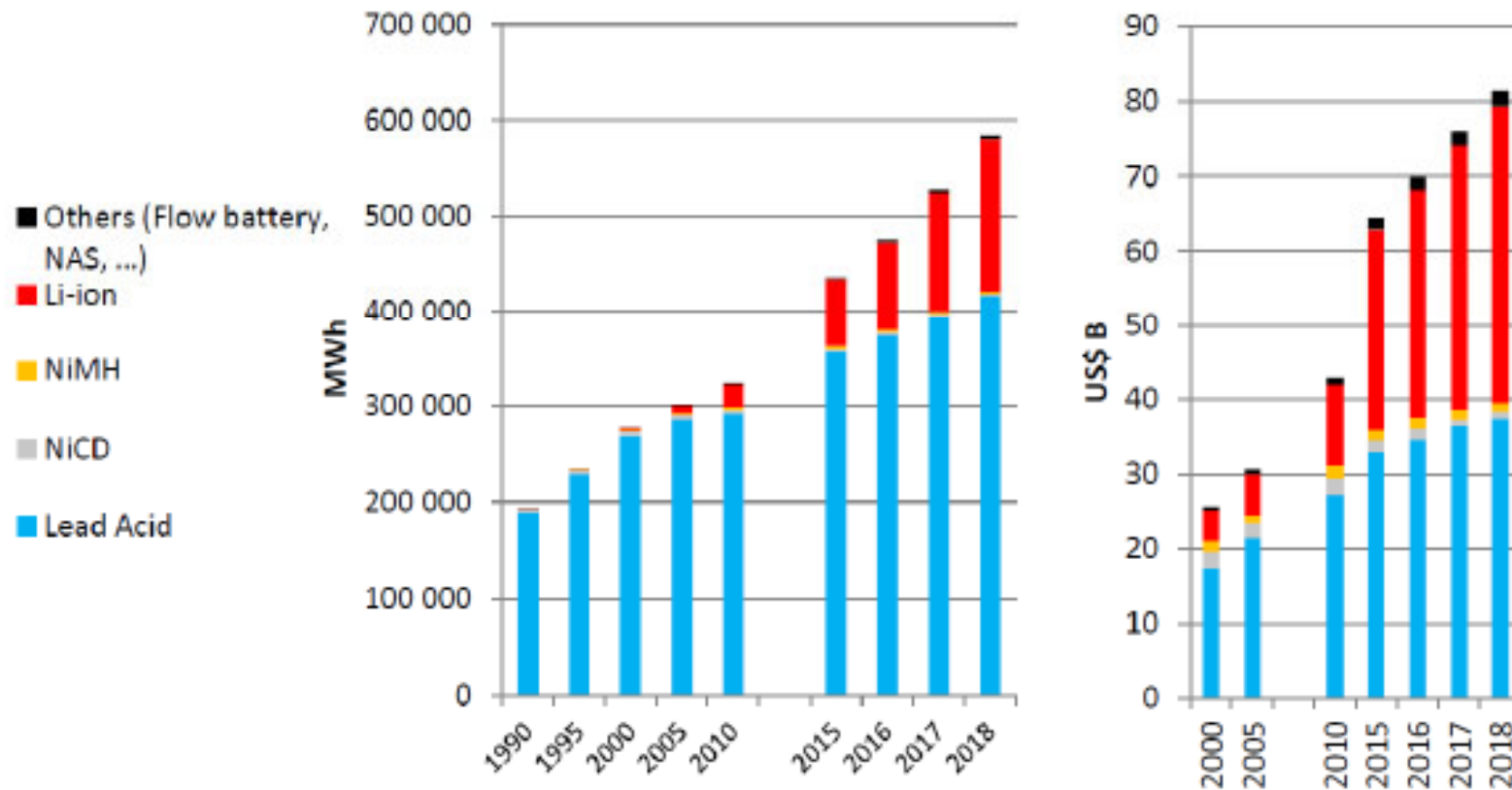


Industrial Batteries – Lead acid batteries
69 GWh for US \$ 11 Billion



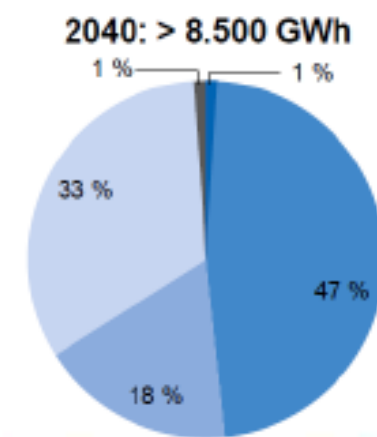
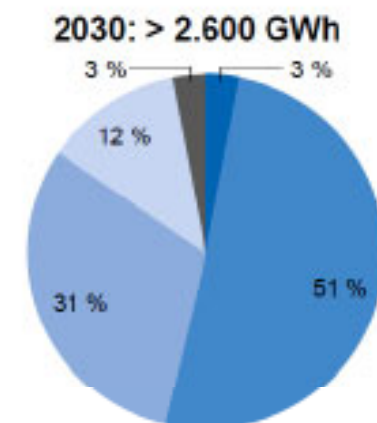
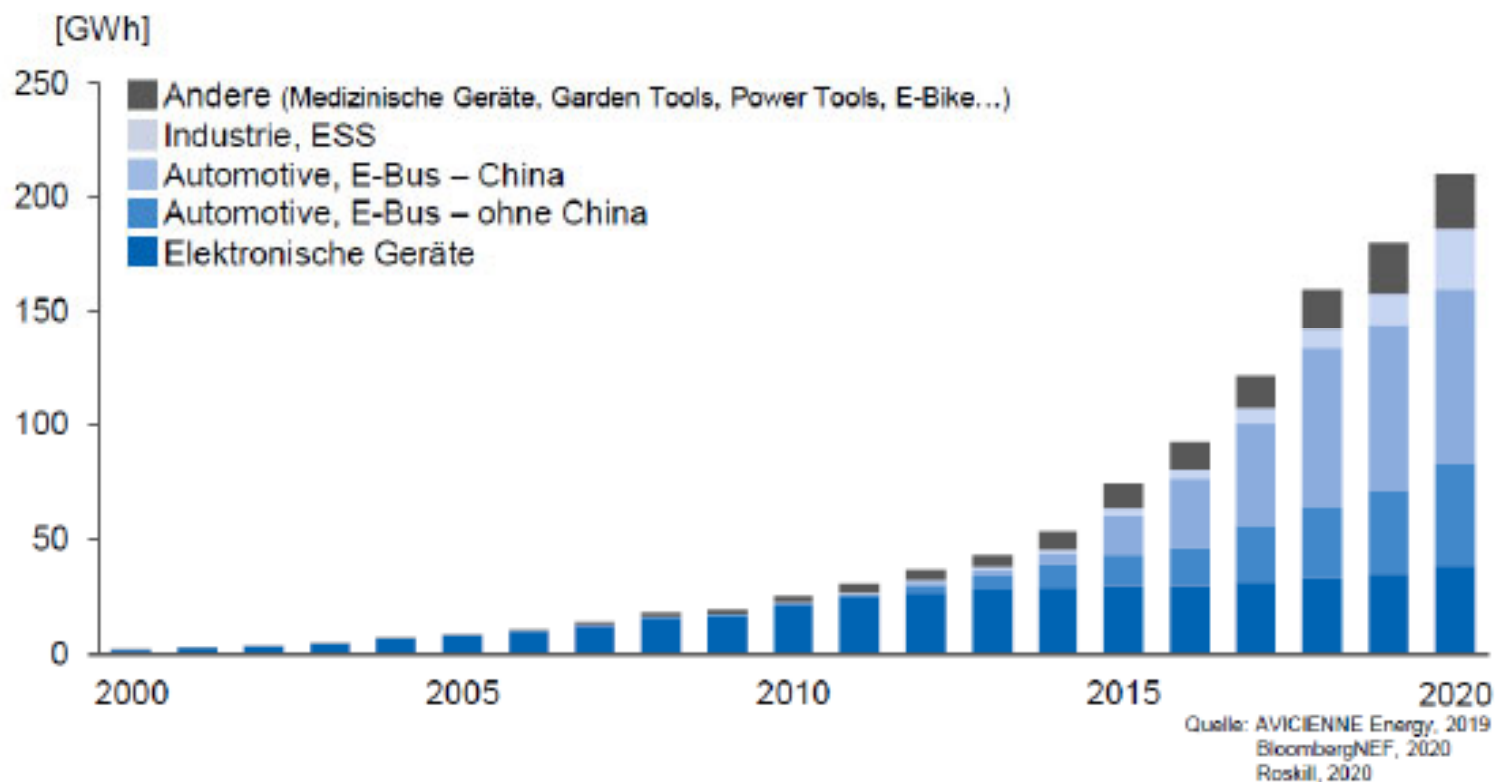
Weltweiter Markt sekundärer Batterien 1990-2018

► Nach Marktwert

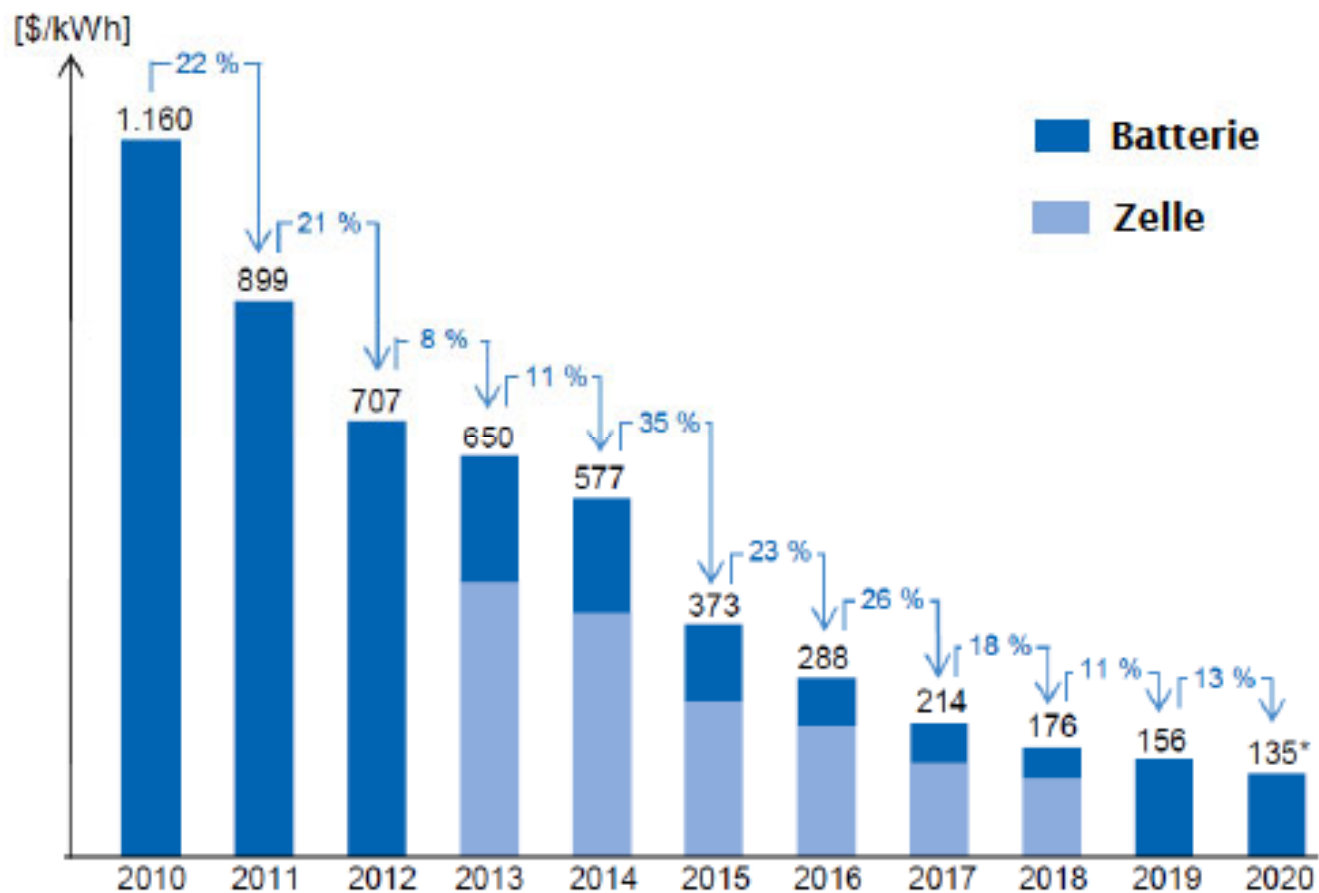


Marktentwicklung Lithium-Ionen-Batterie - Applikationen

- über 20% durchschnittliches Wachstum pro Jahr seit 2008



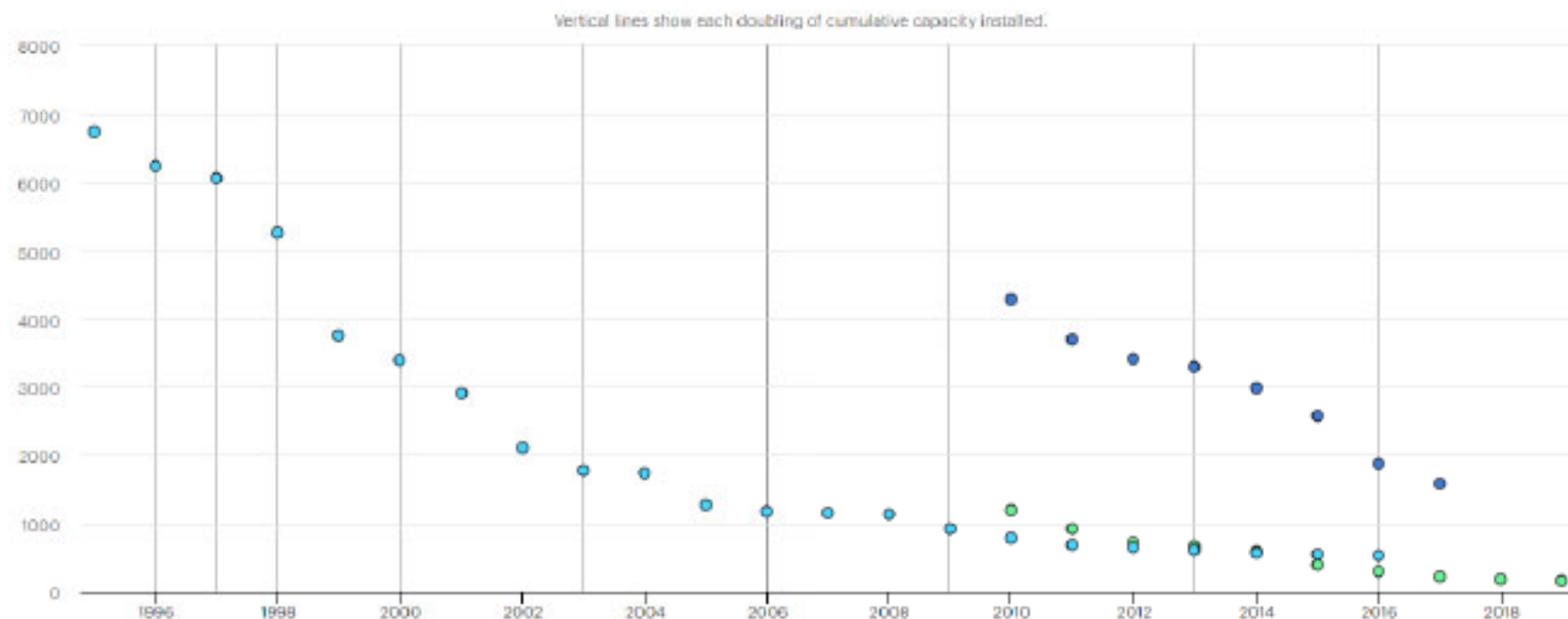
Preisentwicklung Lithium-Ionen-Batterie, 2010-2020



Quelle: Bloomberg NEF, Sep 2020

Preisentwicklung Lithium-Ionen-System, 1995-2019

USD/kWh

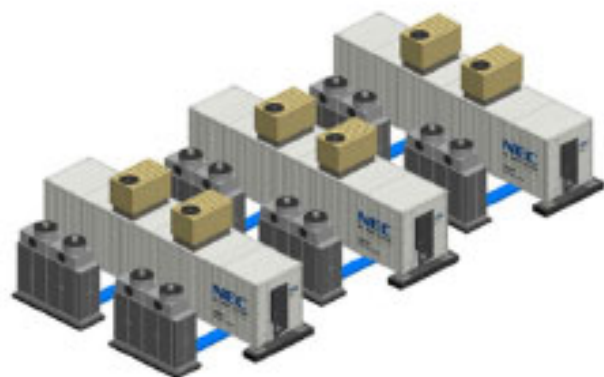


IEA. All Rights Reserved

● Consumer electronics (cells) ● Utility scale (projects) ● Automotive (packs)

Batterie-Speicherkraftwerke

EKZ BESS



– Zahlen & Fakten zur Batterie

Maximale Leistung	18 MW (Megawatt)
Speicherkapazität	7.5 MWh (Megawattstunden)
Einsatzgebiet	Regelenergie
Anzahl Batteriemodule	1428
Batterietechnologie	Lithium-Ionen
Batterielieferant	LG Chem, Südkorea
Systemlieferant	NEC, USA/Japan
Anzahl Batteriecontainer	3
Gewicht pro Container	50 Tonnen
Feuerlöschmedium	NOVEC
Verbaute Fläche	450 Quadratmeter
Standort	Unterwerk Volketswil
Inbetriebnahme	15. Mai 2018
Kosten (Gesamtprojekt)	Rund 6'000'000 Franken
Lebensdauer Li-Ion-Batterie	10 Jahre (garantiert)
Betrieb des Batteriespeichers	Vollständig automatisiert
Anzahl Stromrichtertransformatoren	6
Anzahl Stromrichter	6
Transformationsebenen	16 / 0,4 / 0,44kV
Mittelspannungsschaltanlage	11-feldrig luftisoliert
Kabellänge	12'800 Meter

WEMAG – Fluktuationsausgleich von Wind und Sonne



► **PV: 23.14 Mio. kWh/Jahr**

► **Wind: 55.94 Mio. kWh/Jahr**



- Zahlen und Fakten

Inbetriebnahme	2017
Kapazität	14.5 MWh
Installierte Leistung	14 MW
Präqualifizierte Leistung	10 MW
Zellchemie	LiMn ₂ O ₄ / C
Zell-Lieferant	Samsung SDI
Lebensdauer	20 Jahre Garantie
Systemkosten	€ 11.9M
Anzahl Akkus	53'444
Wechselrichter	18
Trafos	9 je 1600 kVA

Daimler – Batterie-Ersatzteillager (Herrenhausen, DE)

- ▶ Batterie-Ersatzteillager für Autobatterien des smart electric drive 3rd generation
- ▶ Primärregelleistung



- Zahlen und Fakten

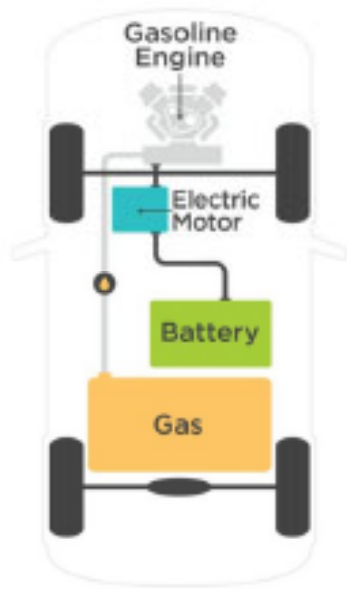
Inbetriebnahme	Oktober 2017
Kapazität	17.4 MWh
Installierte Leistung	ca. 10 MW
Präqualifizierte Leistung	5 MW
Zell-Lieferant	Li-Tec /Accumotive
Anzahl Module	3'240
smart ED3 Batterien	1'080

Elektromobilität

Unterschiedliche Arten von Electric Vehicles (EVs)



Fuel:
Gasoline

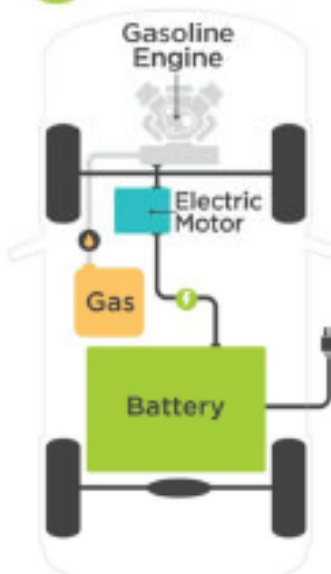


HEV
HYBRID
ELECTRIC VEHICLE

- ▶ Verbrennungsmotor
- ▶ Unterstützt durch Elektromotor
- ▶ Batterie wird nicht geladen
- ▶ Beschleunigungsreserve, Rekuperation
- ▶ Grössere Distanzen elektromotorisch nicht möglich



Fuel:
Gasoline and/or
electricity from grid

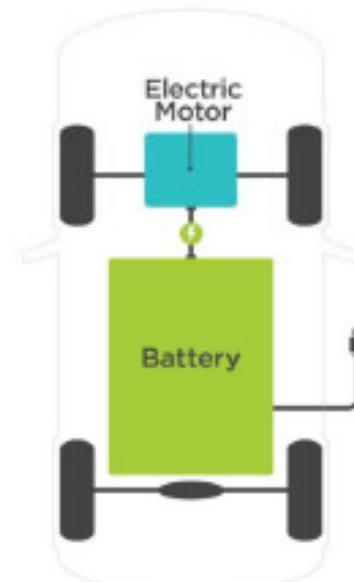


PHEV
PLUG-IN HYBRID
ELECTRIC VEHICLE

- ▶ Verbrennungsmotor
- ▶ Unterstützt durch Elektromotor
- ▶ Batterie kann aufgeladen werden



Fuel:
100% electricity
from grid

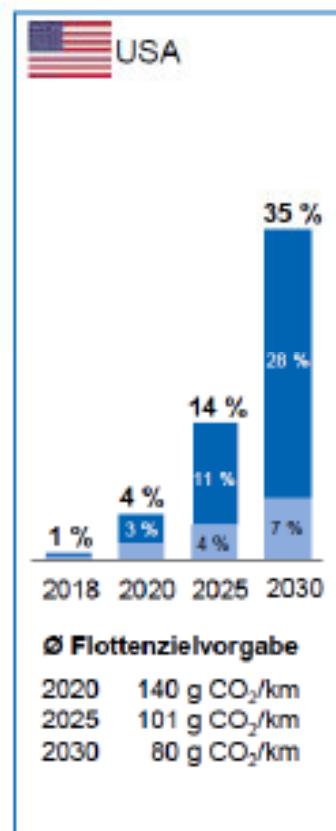
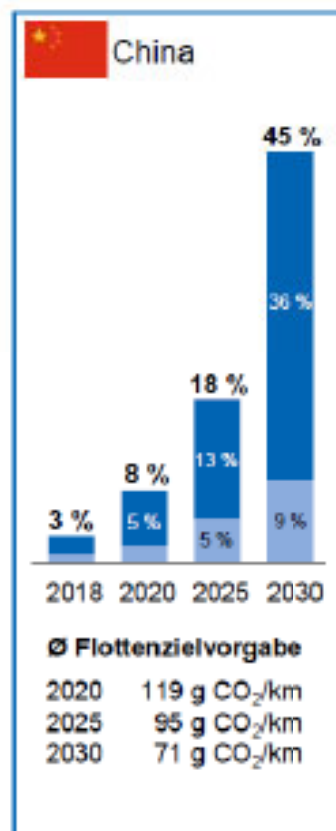
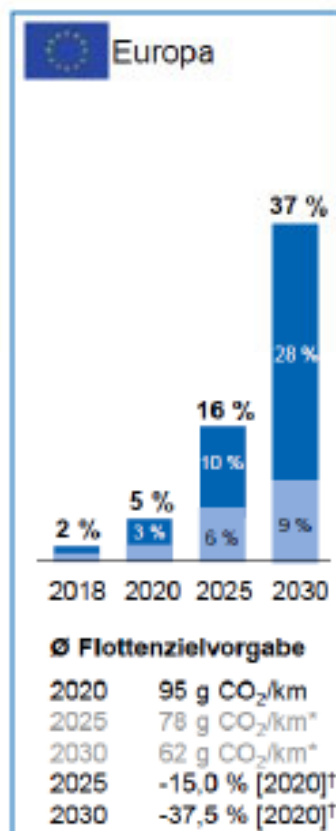
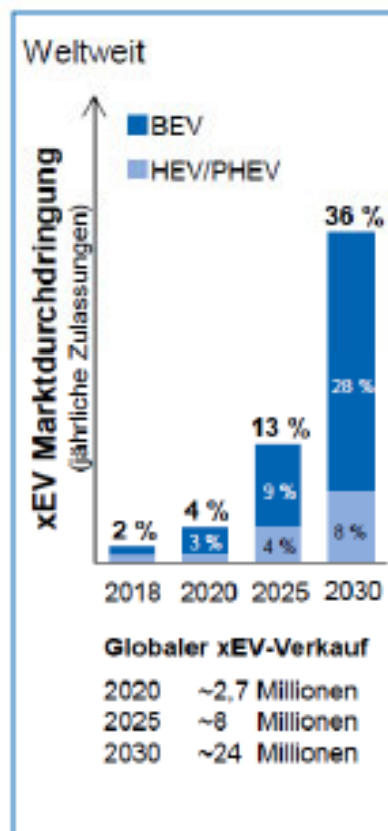


BEV
BATTERY ELECTRIC
VEHICLE

- ▶ Elektromotor
- ▶ Angetrieben durch Batterie
- ▶ Ladekabel

Treiber der Elektromobilität

CO₂ Compliance-Vorgaben



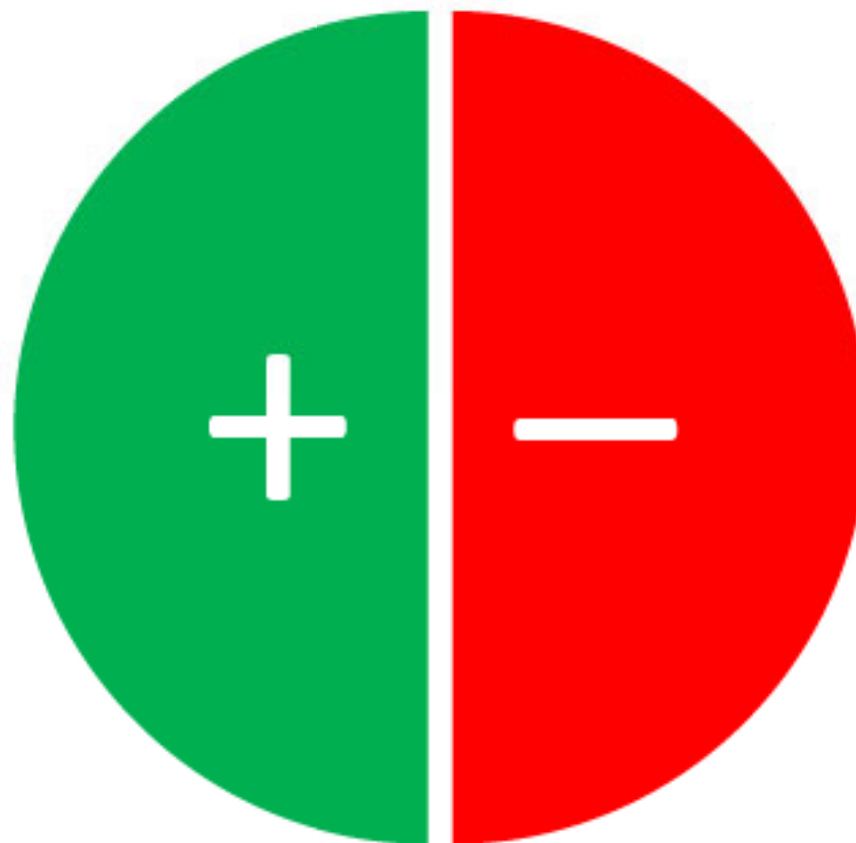
Zulassungsverbote von Benzin- und Diesel-Neufahrzeugen

Land/Stadt	Angekündigt	In Kraft treten
Frankreich	2017	2040
GB*	2020*	2030*
Schottland	2017	2032
Deutschland*	2020*	2030*
Irland	2019	2030
Niederlande	2017	2030
Norwegen	2017	2025
Dänemark	2018	2030
Schweden	2018	2030
Island	2018	2030
Israel	2018	2030
China	2017	tba
Indien	2017	2030
Kalifornien	2020	2035
Heidelberg	2017	2030
Madrid	2016	2025
London	2017	2030
Hainan	2018	2030
Los Angeles	2017	2030

Quelle: Phase-out of fossil fuel vehicles, Wikipedia, Sep 2020

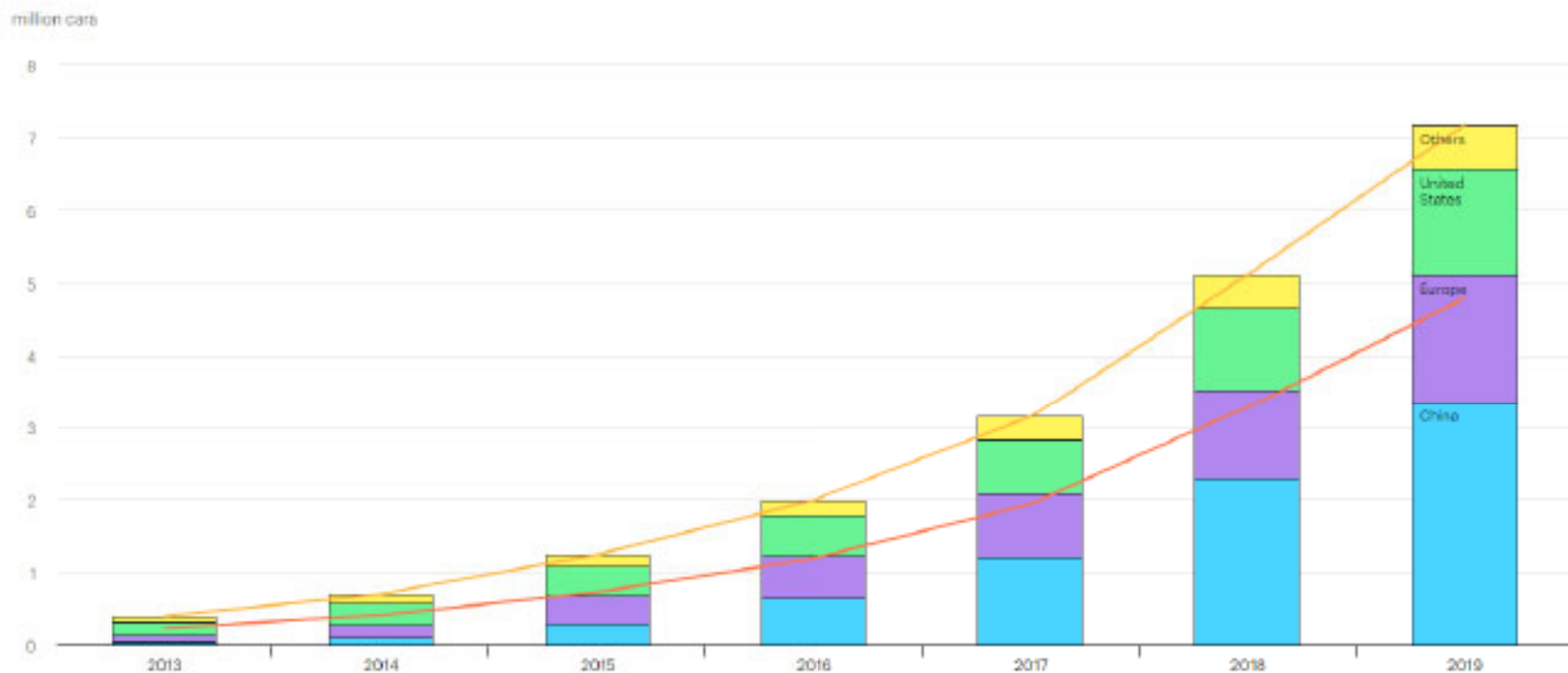
Batterieelektrische Mobilität

- ▶ Hohe System-Energieeffizienz (BEV 70-90%, ICE 25-35%)
- ▶ Weniger umweltschädlich (THG Well-to-Wheel)
- ▶ Lebensdauer
- ▶ Keine lokalen Emissionen
- ▶ Rekuperation
- ▶ Weniger Bauteile
- ▶ Weniger wartungsintensiv
- ▶ Insgesamt weniger Verschleiss
- ▶ ...



- ▶ Energiedichte
- ▶ Toxikologie
- ▶ Ladezeiten
- ▶ Recycling
- ▶ Langstrecken
- ▶ ...

Weltweiter Bestand an Elektroautos (EV), 2013-2019



IEA, All Rights Reserved

● China ● Europe ● United States ● Others ● BEV+PHEV ● BEV

PSI Life Cycle Assessment (LCA): Ergebnisse CO₂-Äquivalente



Alle Zahlen in Gramm CO₂-Äquivalent pro gefahrenem Kilometer

2018
283,7

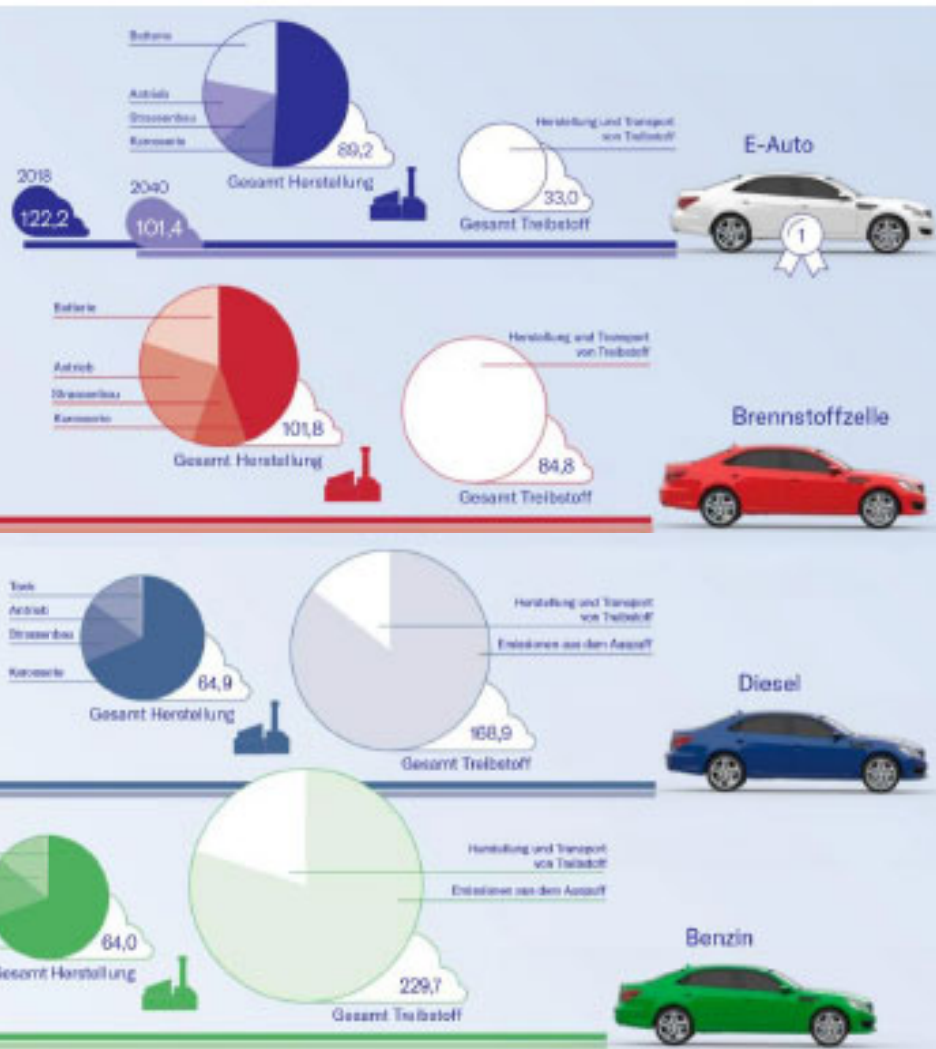
2040
194,8

2018
233,8

2040
166,7

2018
186,6

2040
156,3



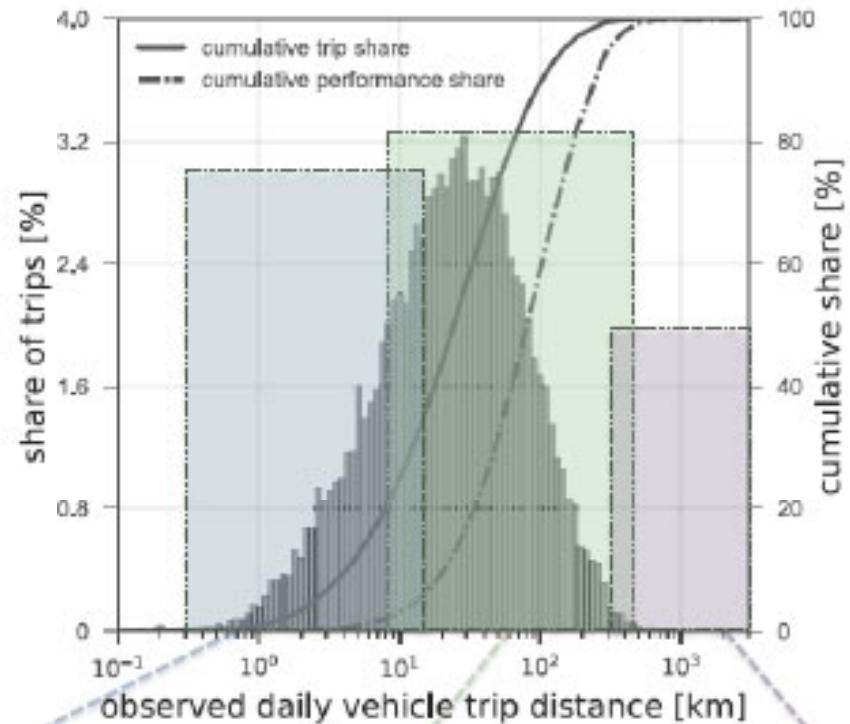
Suffizienz

- ▶ Individual-Mobilitätsbedarf analysieren
- ▶ Nutzungsverhalten anpassen (ÖV/Carpooling/Motorrad)
- ▶ Kaufverhalten anpassen (Dimensionierung)

Häufige Kurzstrecken:

- ▶ E-Bike/E-Scooter
- ▶ E-Motorrad
- ▶ City-BEV (kleine Batterie)

Schweiz (Basis MZMV)



(a) daily vehicle trip length distribution

Normalbedarf:

BEV decken fast den gesamten Streckenbedarf

Regelmässige lange Distanzen:

PHEV CNG/PFCEV

Recycling

Recycling am Beispiel Kyburz

**Einsatz Neufahrzeug
(Post AG)**



**Einsatz
2nd-Life-Fahrzeug**



**Einsatz in anderen
Anwendungen**



Recycling



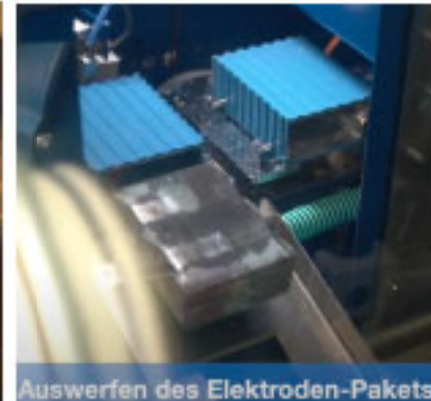
- ▶ Kyburz hat bereits eigene Recyclingverfahren erprobt und plant eine erste Pilotanlage als Ausgangslage für die Prüfung der Wirtschaftlichkeit.
- ▶ Ziel ist, mit etwa 10 Minuten Arbeitsaufwand pro Zelle die Rohstoffe zu extrahieren.

Kyburz-Batterie-Recycling-Anlage seit 4.9.2020 in Betrieb

 **KYBURZ**

Batterie Recycling Anlage

Kyburz-Batterie-Recycling-Anlage seit 4.9.2020 in Betrieb



Die halbautomatischen Recycling-Schritte:

- ▶ Langsames Entladen auf 2.5V/Zelle
- ▶ Zelle aufsägen und Zellenwickel austossen
- ▶ Trennen von Anoden und Kathoden ab Separator-Folie
- ▶ Lösen der Elektroden-Materialien ab dem Trägermaterial in Wasser
- ▶ Rückführung in den Materialkreislauf
→ aktuell 91% Recycling-Rate



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



- ▶ Steffen Wienands, Project Manager
- ▶ steffen.wienands@bfh.ch, +41 31 8483194
- ▶ BFH-Zentrum Energiespeicherung - www.bfh.ch/energy

Für Interessierte:

Podcasts:

- ▶ omega tau Podcast
#222 – Batterien ([Link zum Podcast](#))
- ▶ Blindstrom – Der Energiepodcast
#28 – Diesel-Update: Porsche, Prius, Tesla – wer ist effizienter? ([Link zum Podcast](#))
- ▶ omega tau Podcast
#105 – Mobilität und Verkehr ([Link zum Podcast](#))

Videos:

- ▶ How good can a Li-Ion battery be and what are the consequences? – Prof. Jeff Dahn, 2020 ([Link](#))
- ▶ Why do Li-Ion batteries die? And how to improve the situation – Prof. Jeff Dahn, 2013 ([Link](#))
- ▶ Overview of Lithium Battery Safety – Matthew Larkin, TÜV SÜD Product Service, 2017 ([Link](#))
- ▶ Elektromobilität: Hype oder Revolution – Prof. Markus Lienkamp, 2017 ([Link](#))

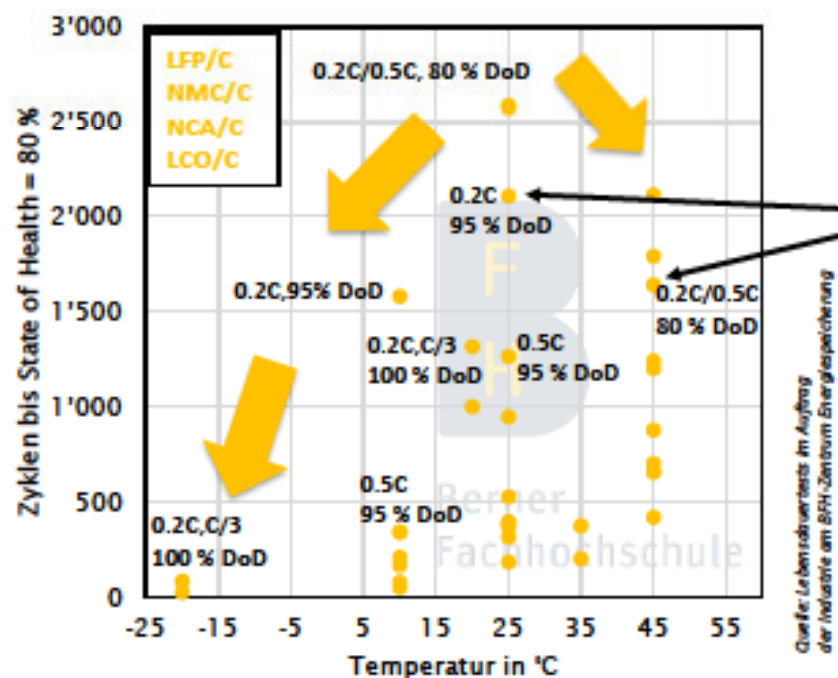
Alterung

Zyklische Alterung

- ▶ Abnahme der verfügbaren Kapazität durch die Benutzung (Laden/Entladen)

Kalendarische Alterung

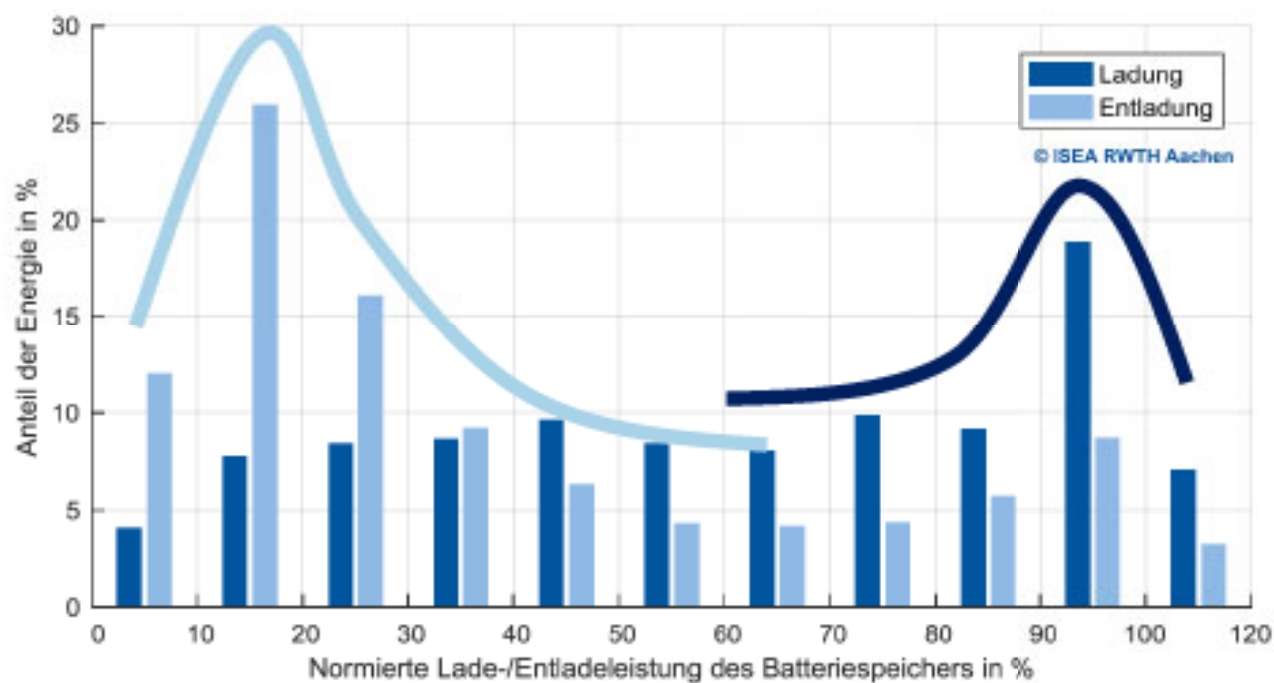
- ▶ Unabhängig von der Benutzung
- ▶ Bei Lagerung/Nichtbenutzung relevant
- ▶ Chemische Zerfallsprozesse



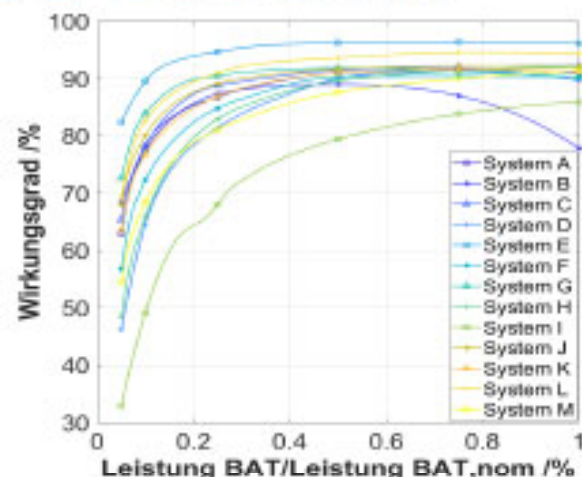
Beispiel Opel Ampera-e mit 60-kWh-Batterie:

- ▶ Realistische WLTP-Reichweite: 380 km (100 %)
- ▶ 1'500 Zyklen (5 h Fahrt, 5 h Aufladen bei 25–45 °C)
→ 300 km/Fahrt → 450'000 km Lebensdauer
- ▶ Offiziell sind 8 Jahre und 160'000 km garantiert

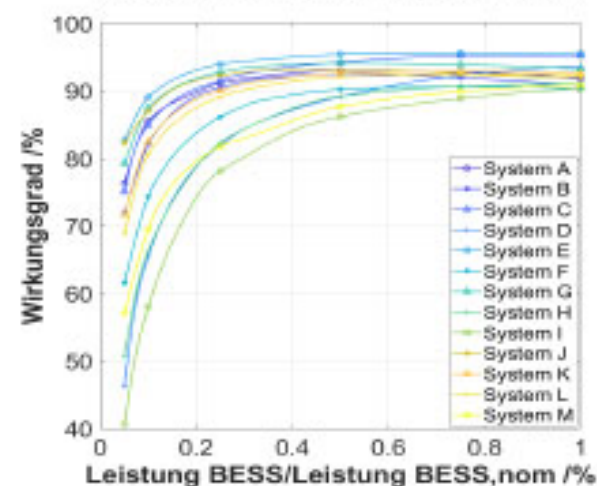
Leistungsbedarf: Belastungshäufigkeit der Batterien



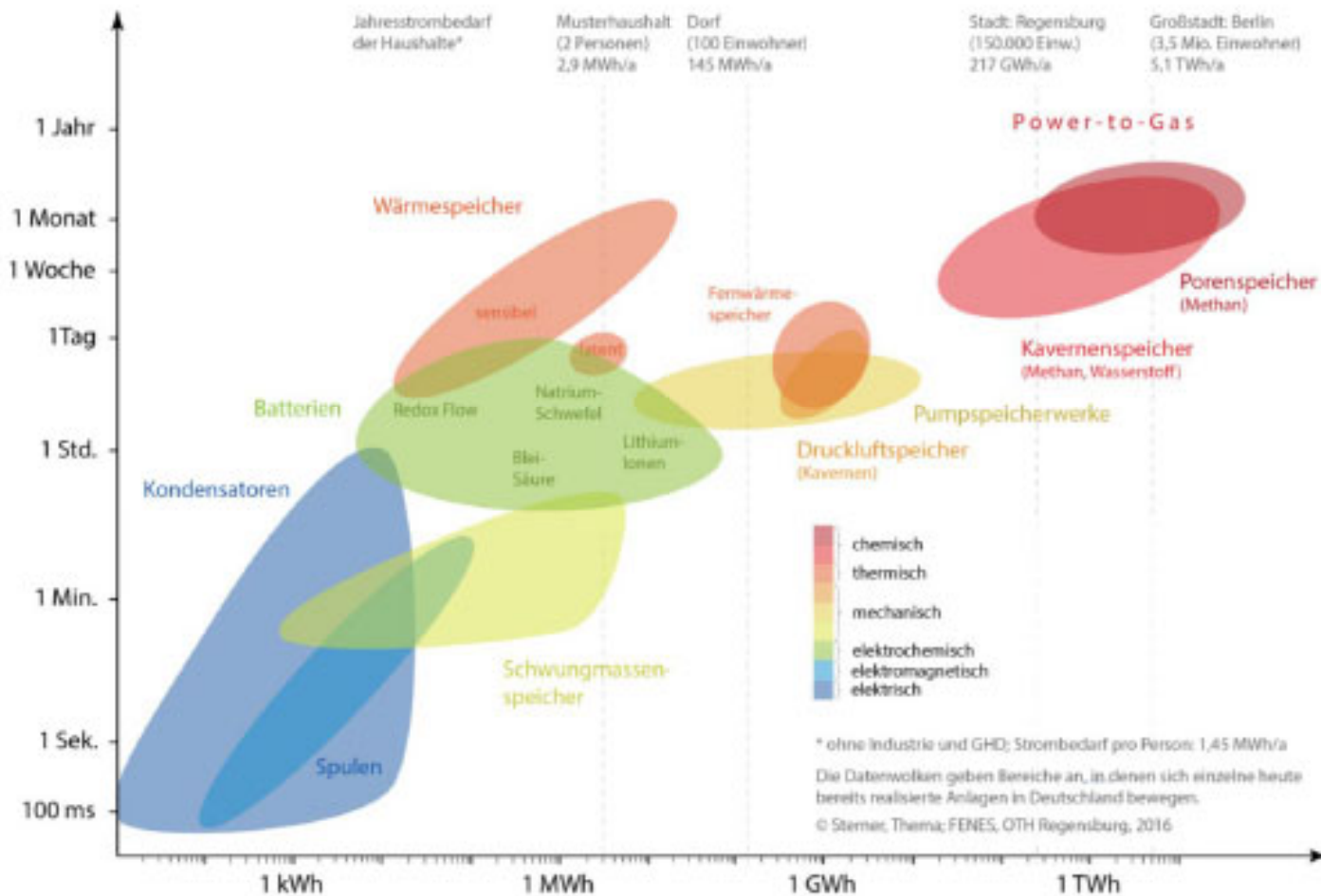
Ladevorgang



Entladevorgang



Überlick Speicherdauer von Energiespeichern



Von der Zelle zur Batterie

$$E = U \times Q$$

$$[\text{Wh}] = [\text{V}] \times [\text{Ah}]$$

- ▶ Batteriezelle: Grundbaustein eines Batteriepacks und -systems. Eine Zelle hat in etwa 2.5 - 4.2 V.

Spannung: 3.5V
Kapazität: 3.0 Ah } Energie: 10.5 Wh



Spannung: 3.5V
Kapazität: 20 Ah } Energie: 70 Wh

- ▶ Batteriepack: Parallel oder/und in Serie geschaltete Zellen

Parallele Schaltung

Spannung: 3.5V
Kapazität: 4×3.0
= 12 Ah } Energie: 42 Wh



Serielle Schaltung

Spannung: $3.5V \times 8 =$ 28 V
Kapazität: 3.0 Ah } Energie: 84 Wh



- ▶ Batterie (Batteriesystem): zusammengeschaltete Batteriepacks inkl. Batteriemanagementsystem.



Weiterentwicklung NMC-Technologie

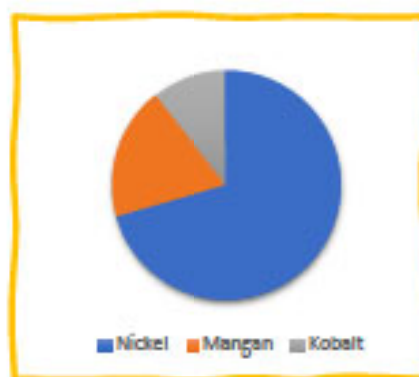
- ▶ Reduzierung des Kobalts in der Batterie
- ▶ $\text{Li N}_1\text{M}_1\text{C}_1 \rightarrow \text{Li N}_5\text{M}_3\text{C}_2 \rightarrow \text{Li N}_7\text{M}_2\text{C}_1 \rightarrow \text{Li N}_9\text{M}_{0.5}\text{C}_{0.5} \rightarrow \text{next ?}$



■ Nickel ■ Mangan ■ Kobalt



■ Nickel ■ Mangan ■ Kobalt



■ Nickel ■ Mangan ■ Kobalt



■ Nickel ■ Mangan ■ Kobalt

Johan Cruyff ArenA Amsterdam, NL

- ▶ Nissan leaf Batterien: 63 2nd Life und 85 neue Batterien
- ▶ Ersetzt dieselbetriebene USV-Generatoren
- ▶ USV, Peak-Shaving, Eigenverbrauchsoptimierung, Netzdienstleistungen
- ▶ 4'200 PV-Module, 930 MWh/Jahr (10% des Jahresverbrauchs)
- ▶ Bis 2020 200 Elektro-Ladestationen, teilweise bidirektional



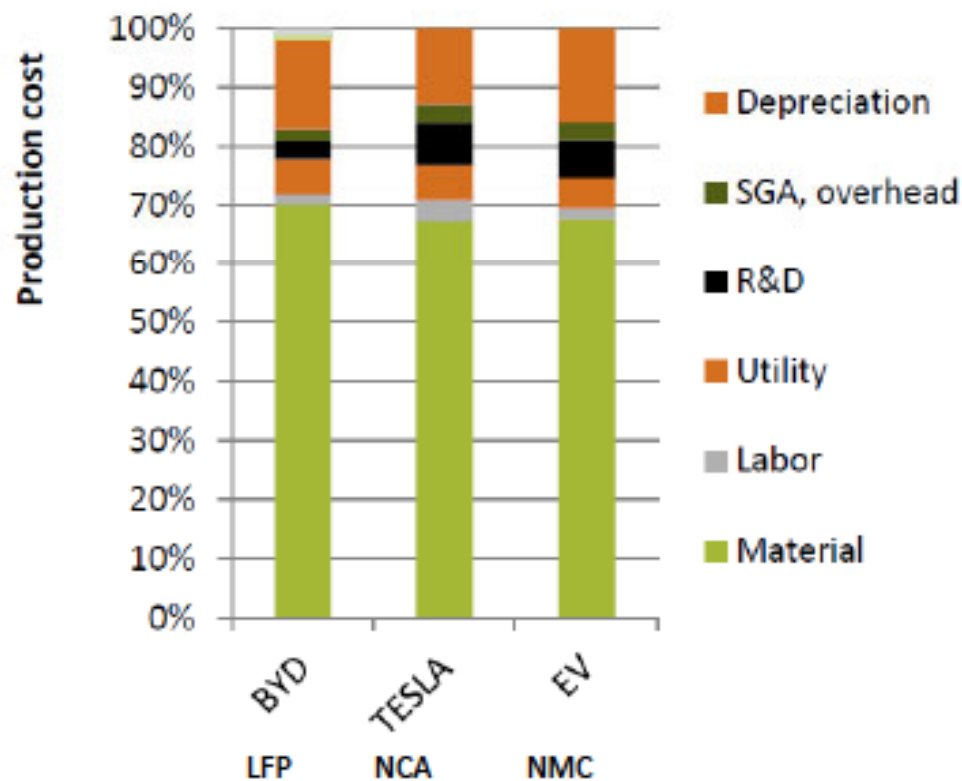
- Zahlen und Fakten

Inbetriebnahme	Juni 2018
Kapazität	2.8 MWh
Installierte Leistung	3 MW
Zellchemie	LiMn ₂ O ₄ / C
Zell-Lieferant	AESC
Zykluslebensdauer geschätzt	10 Jahre garantiert
Nissan leaf Batterien	148

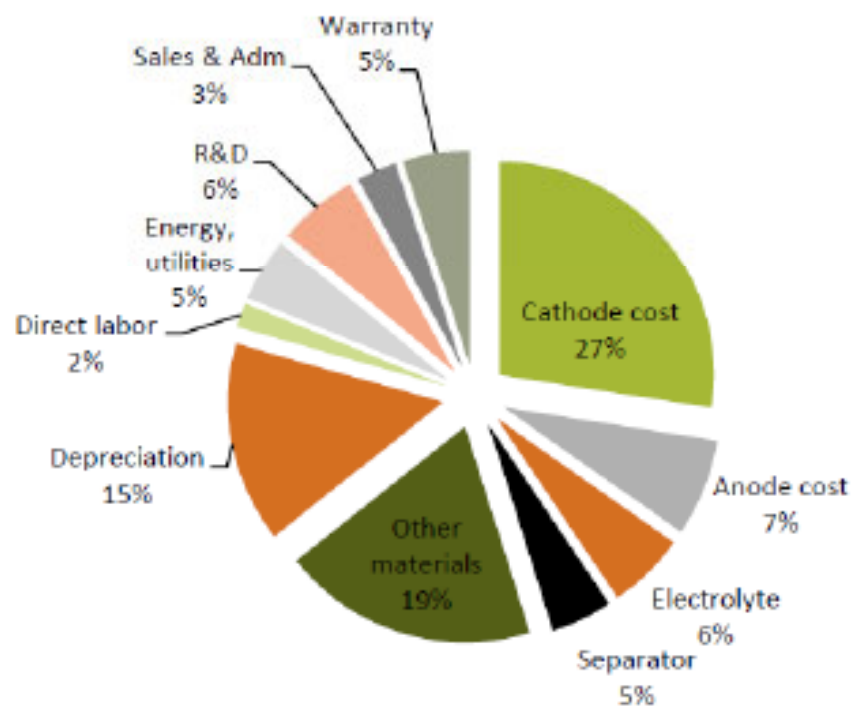
Lithium-Ion - Kostenstruktur

- ▶ 50-70% Materialkosten

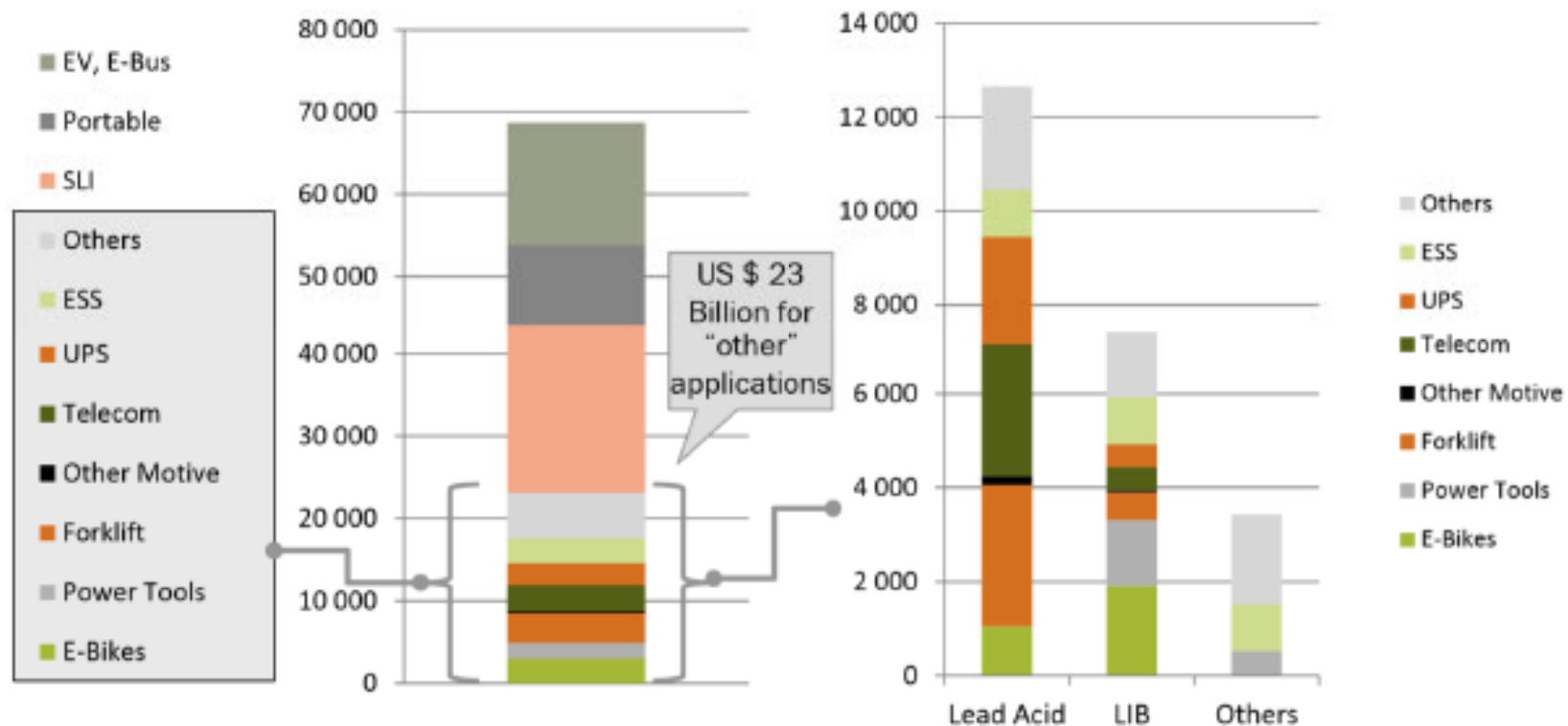
LIB Cost structure for TESLA & 40 Ah EV pouch cell NMC



Average cost structure of Li-ion cell



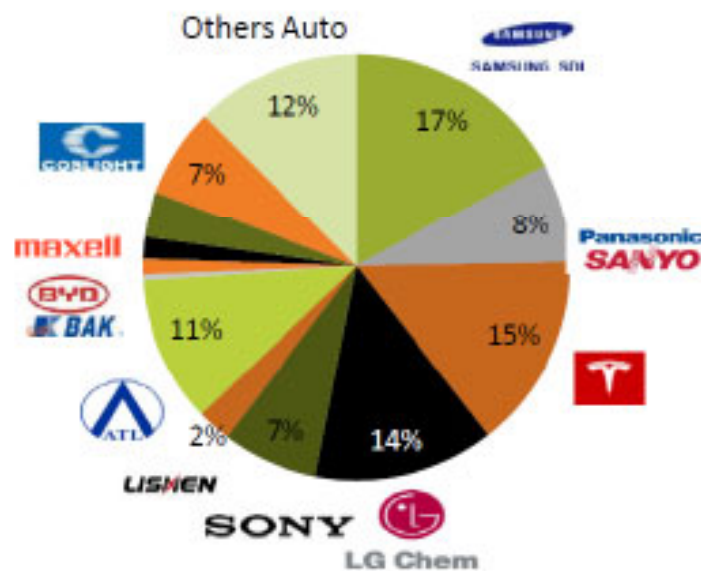
Weltweiter Markt sekundärer Batterien 2016: US \$69B



1- Pack level: Pack including cells, cells assembly, BMS, connectors – Power electronics (DC DC converters, invertors...) not included

Hersteller Li-Ionen Batterien weltweit 2018

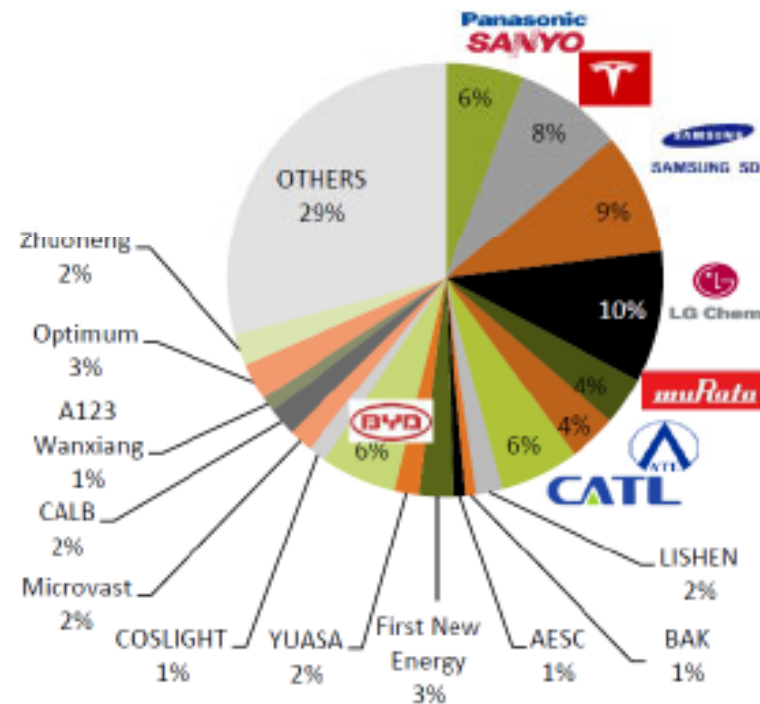
The worldwide Li-ion battery market
Company market share in 2018 in volume
(small cells only) 8,2 B cells



Others for Small cells: Chinese suppliers like Tenpower, DLG...

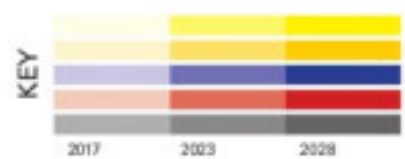
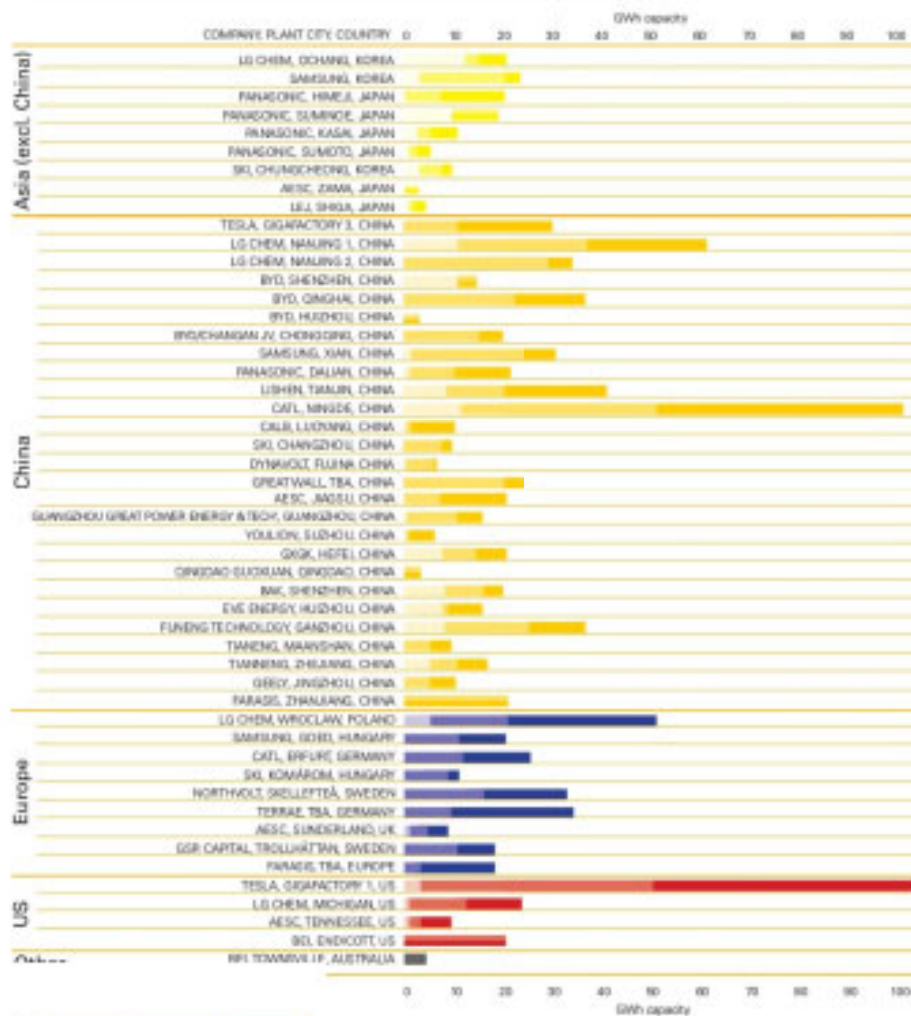
(1) LIB battery pack market

The worldwide Li-ion battery market
Company market share in 2018 in value⁽¹⁾
Estimated at B\$ 40 in 2018



Realisierte und geplante Lithium-Ionen Gigafactories

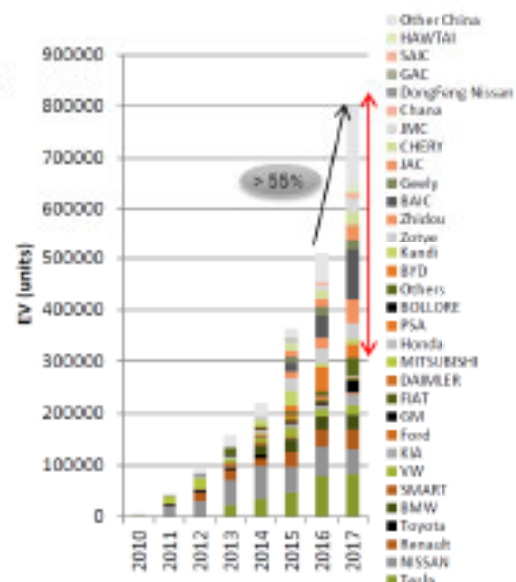
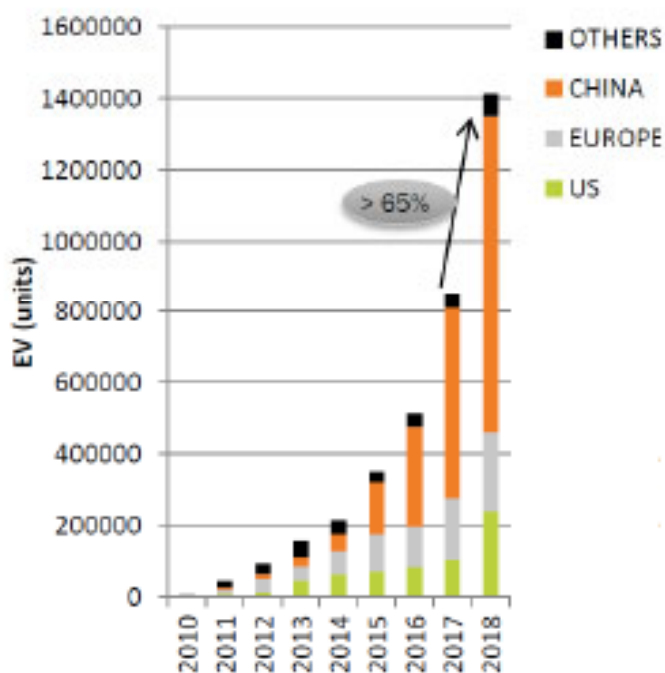
■ LITHIUM ION BATTERY CELL CAPACITY ESTIMATES BY 2017, 2023 & 2028



TOTAL CAPACITY PIPELINE BY 2028: **1102.5 GWh**
*Data accurate up to September 30, 2019. Source: Benchmark Mineral Intelligence

BEV-Verkäufe weltweit

- ▶ 2018 mehr als 1'400'000 Verkäufe weltweit; Wachstum China >65%

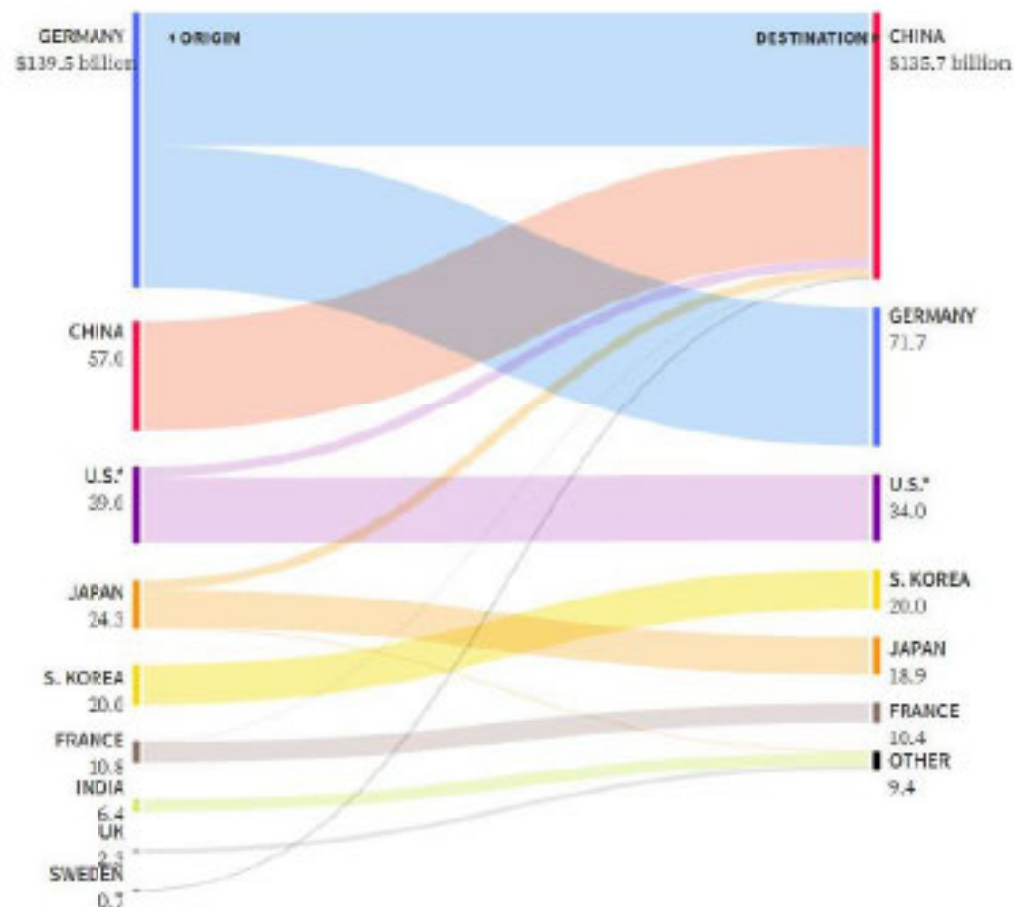
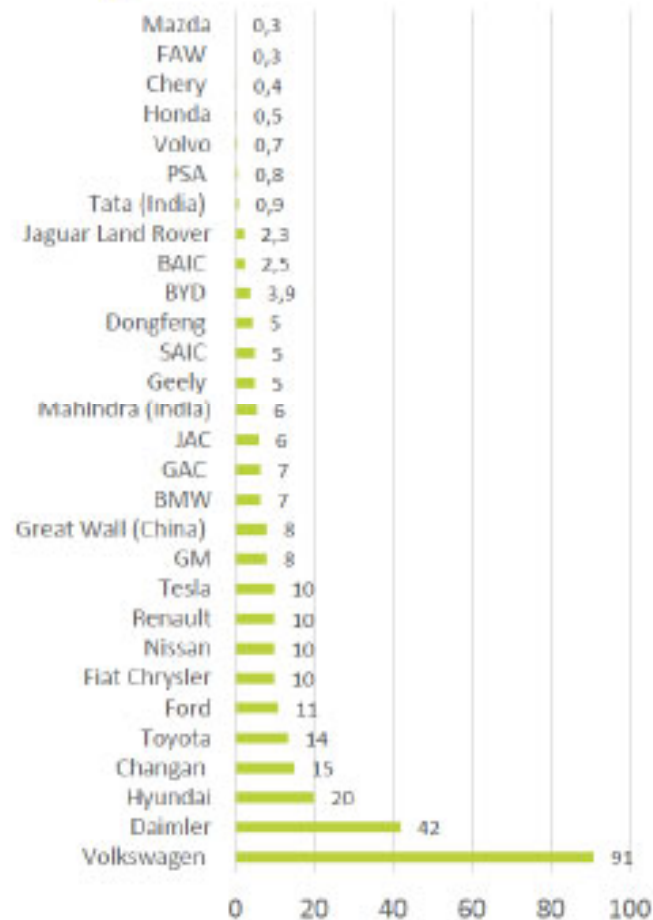


Top 10 BEV Markets by Volume H1 2019		
	Sales (k)	Δ 18 vs 19
1 China	430.7	+111%
2 USA	116.2	+87%
3 Norway	36.3	+74%
4 Germany	33.0	+72%
5 France	24.3	+38%
6 Netherlands	17.8	+118%
7 Korea	17.7	+63%
8 Canada	13.1	+37%
9 UK	12.7	+62%
10 Japan	11.0	-27%
Schweiz	5.9	+147%

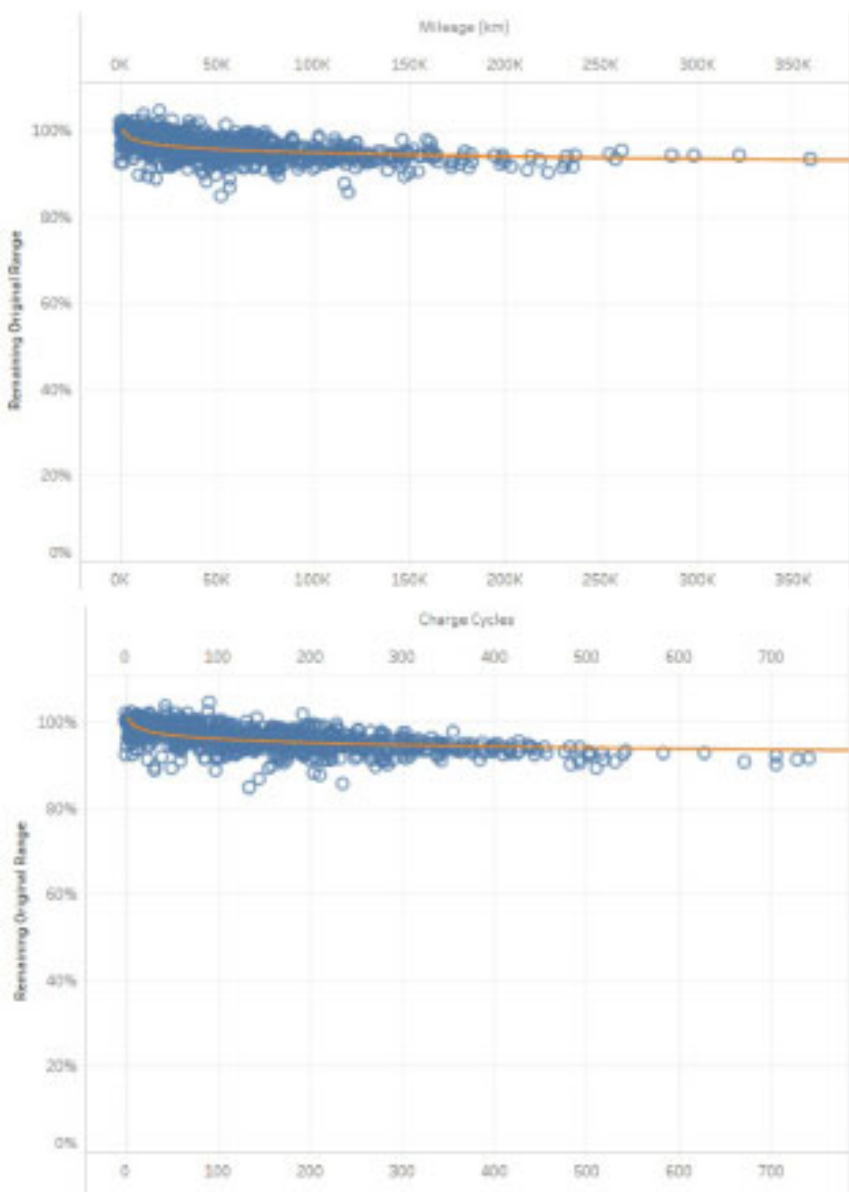


EV-Markt - angekündigte Investitionen, Stand Jan 2019

- ▶ **Angekündigte Investitionen von mehr als 300 Milliarden US\$**



TESLA Battery Degradation Analysis

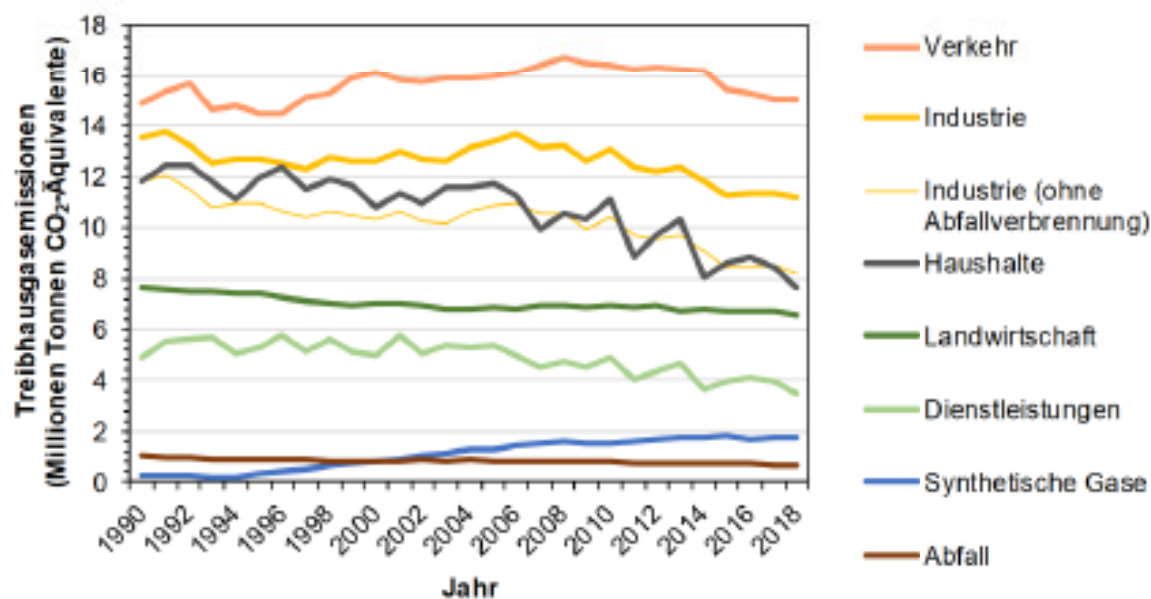


Perspektiven der Mobilität 2010-2040: Entwicklung zentraler Kenngrössen

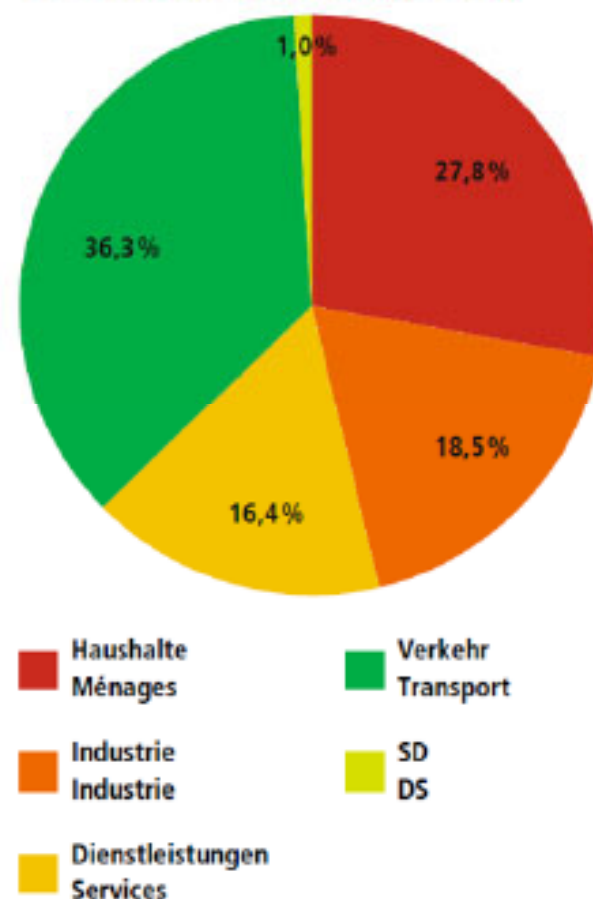


Verkehrssektor Schweiz

- ▶ 2017 (BAS): 42.8% der nationalen THG-Emissionen (inkl. Luftfahrt; 31.5% ohne Luftfahrt)
- ▶ Grösster Endenergieverbraucher
- ▶ 2015 (BFS): 95.1% des Verkehrs-Energiebedarfs aus Erdölprodukten

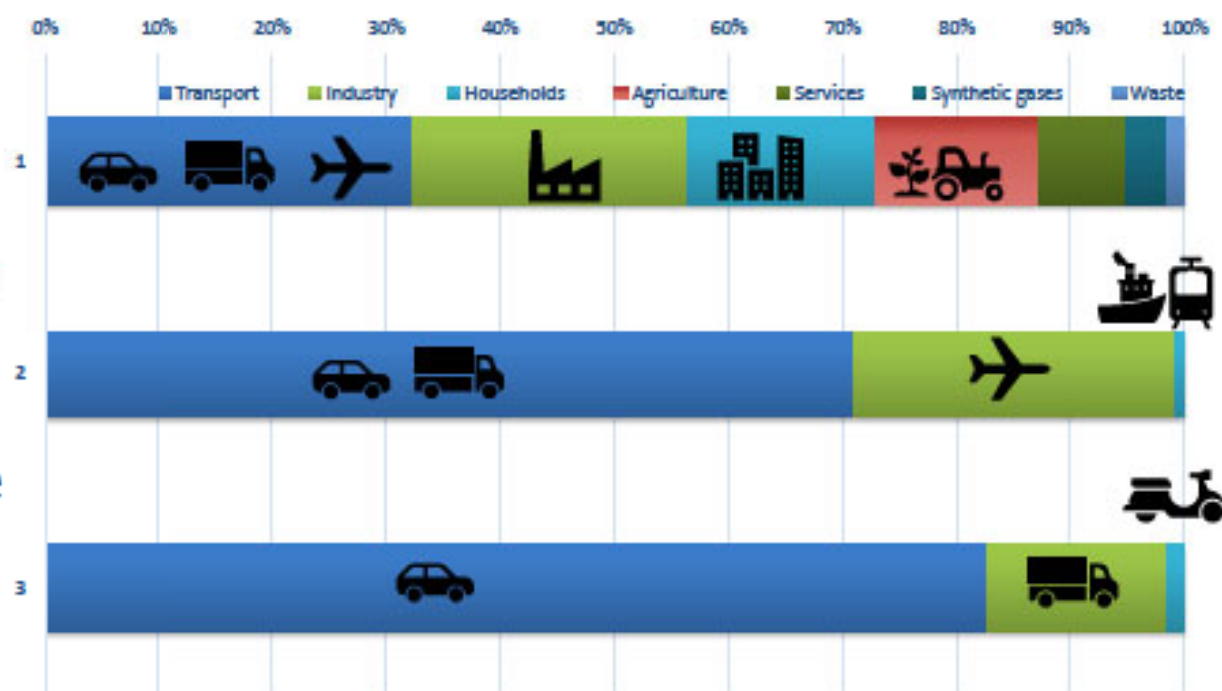


Energie-Endverbrauch in % nach Sektoren (2017)



CO₂ emissions from Transport sector

- ▶ Transport produces 32.5% of total Swiss GHG emissions
- ▶ 71% of transport GHG emissions are produced on roads
- ▶ Of these, cars and LDVs produce 82%, while HDVs and busses produce 16%

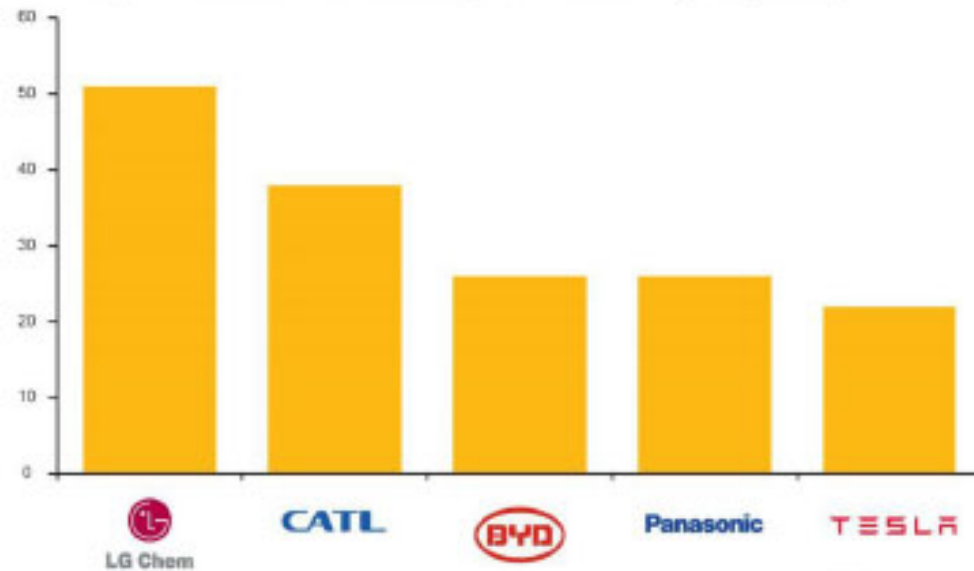


Source: OFEV 2020

Adapted from - Decarbonization of transport: options and challenges. Konstantinos Boulouchias, ETH Zurich Head SCCER Mobility Zürich, 6. September 2019

Batterie-Hersteller und ihre Kunden

Top 5 Lithium ion Battery Producers by Capacity



Source: Benchmark Mineral Intelligence

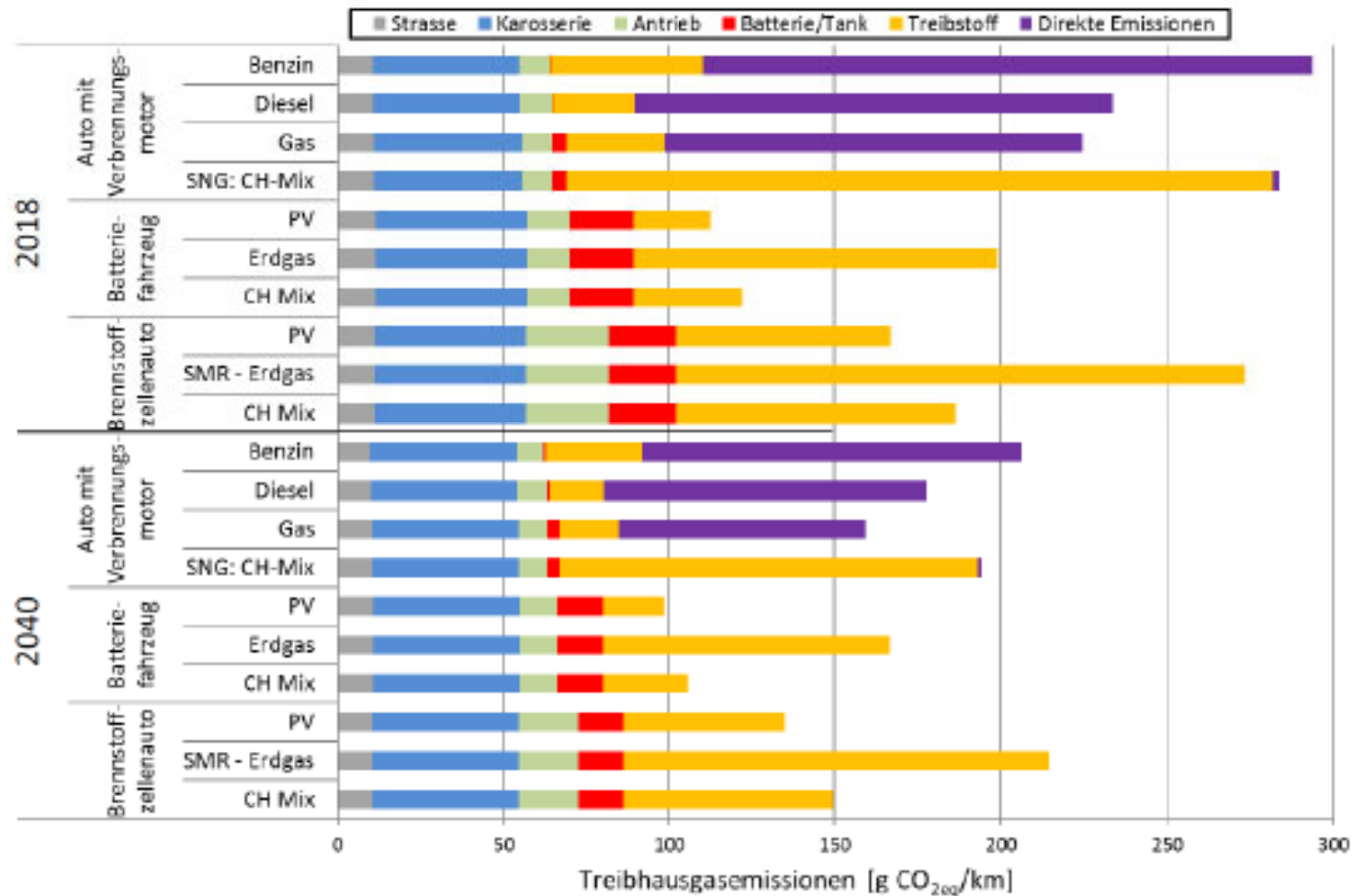


Who powers who: Battery makers and the automakers they supply

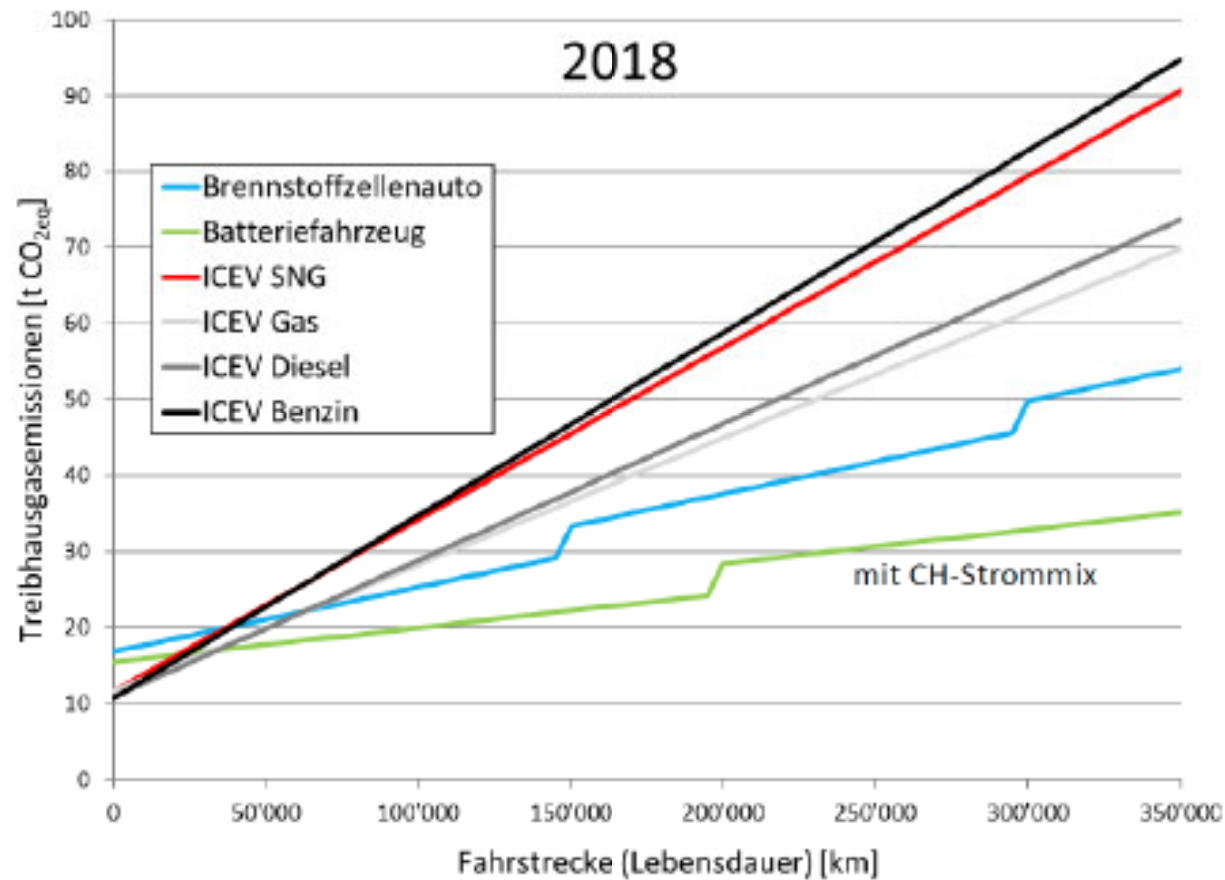
Panasonic	Tesla	Toyota	Honda	Ford
CATL	BMW	Volkswagen	Daimler	Hyundai
	Toyota	PSA		
LG Chem	Hyundai	Kia	General Motors	Ford
	Chrysler	Audi	Daimler	Renault
	Volvo	Jaguar	Volkswagen	
Samsung SDI	Volkswagen	BMW	Fiat	
SK Innovation	Daimler	Hyundai/Kia	BAIC	

Quelle: <https://www.benchmarkmineralintelligence.com/articles/2019/06/26-look-deep-into-the-lithium-ions-of-the-automotive-market-in-2019>,
<https://asia.nikkei.com/Spotlight/China-Supply/But-battery-makers-are-not-seeing-the-same-amount-of-charge-as-before>,
 The Impact of EV Market Growth on Lithium-ion Batteries and Raw Materials Supply 2018 - 2030, C. Pflüger, Jan. 2019

PSI Life Cycle Assessment (LCA): Ergebnisse THG

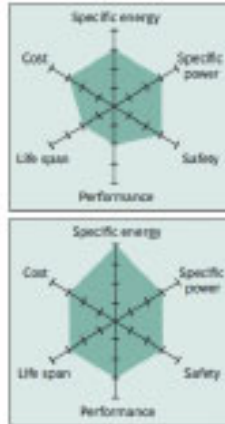


THG-Emissionen in Abhängigkeit der Lebensdauer



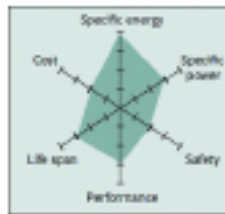
Nissan Leaf, Chevy Volt, BMW i3, ...

- ▶ Kathode: LiMn_2O_4 (LMO)
 LiNiMnCoO_2 (NMC)
- ▶ Anode: Graphit



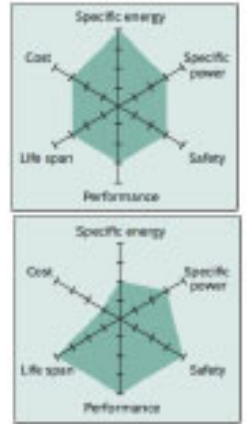
Tesla

- ▶ Kathode: LiNiCoAlO_2 (NCA)
- ▶ NCA/C ~200 CHF/kWh

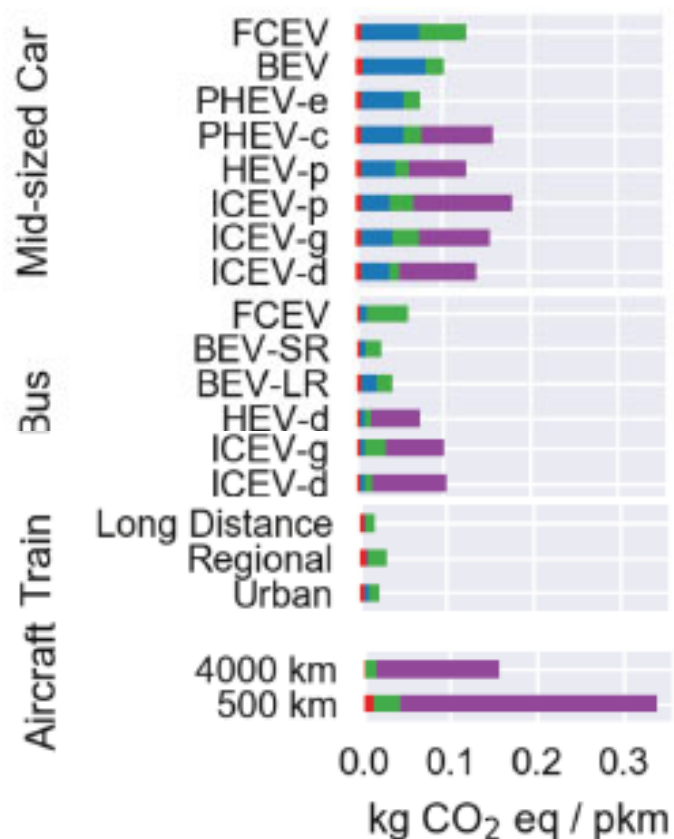


Elektrobusse, Trolleybusse, ...

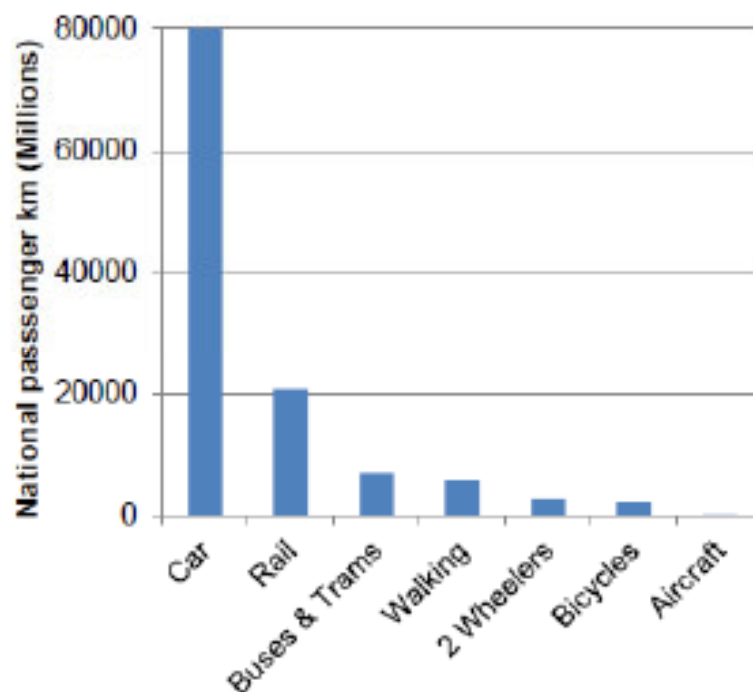
- ▶ Kathode: LiNiMnCoO_2 (NMC)
- ▶ Anode: $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO)
- ▶ NMC/LTO ~1000 CHF/kWh



Suffizienz



■ Road, Tracks, Airport
 ■ Vehicle
 ■ Energy Chain
 ■ Direct Emissions



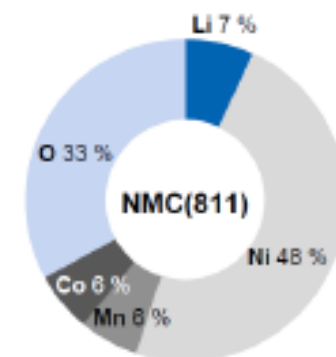
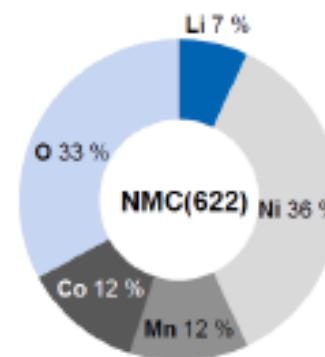
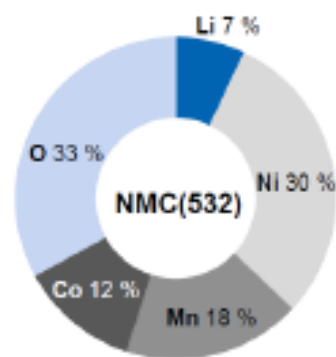
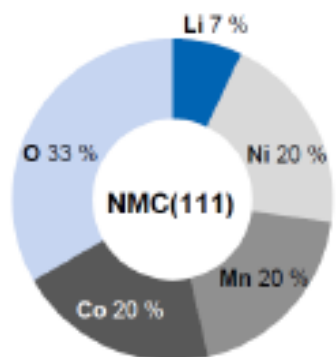
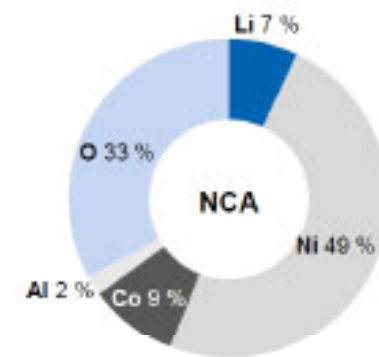
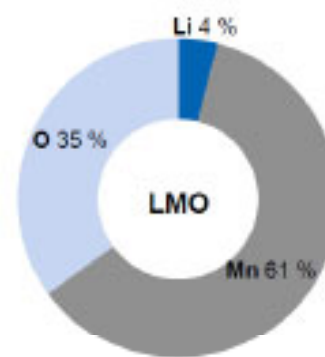
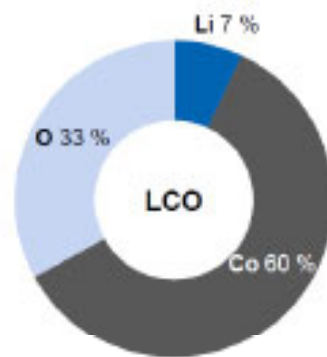
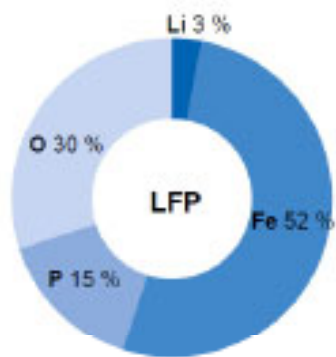
Umweltbilanz von Elektroautos in der Öffentlichkeit

- ▶ Einige Studien zur Umweltbilanz von Elektroautos errechnen andere Ergebnisse (Hans-Werner Sinn, ADAC-Studie, Fraunhofer ISE & H2 Mobility, ...)
- ▶ Diese Studien werden z.T. auch gross in den Medien aufgegriffen, doch nur vereinzelt kritisch hinterfragt/widerlegt.

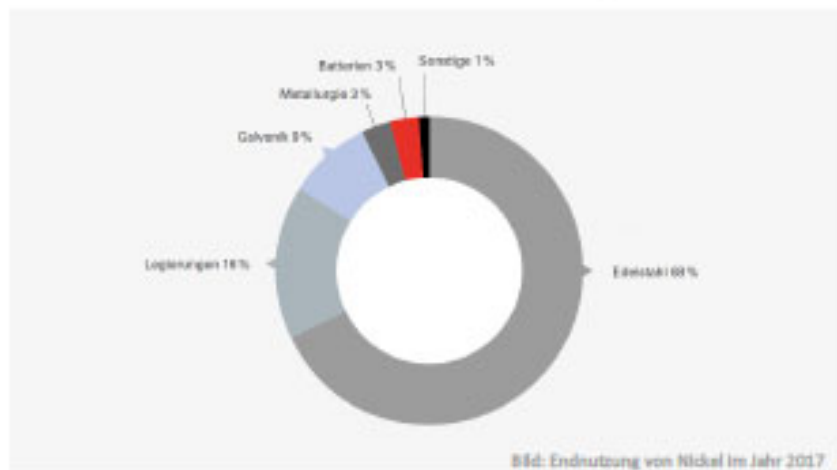
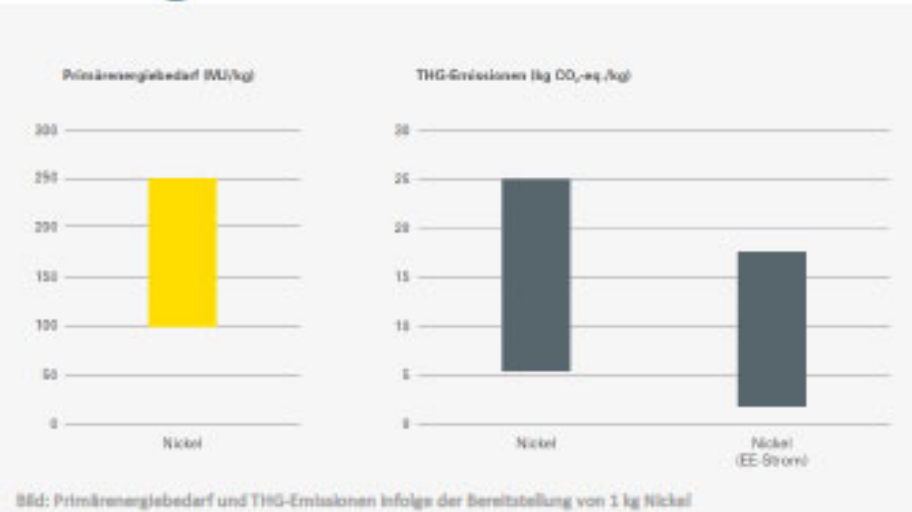
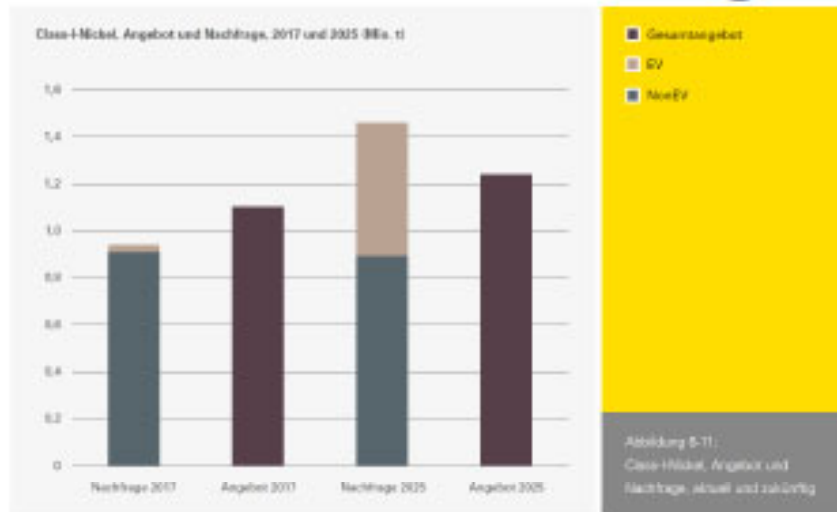
- ▶ Überschätzen des Energiebedarfs für die Batterieherstellung (*65 kg THG-Emissionen/kWh Durchschnittswert für unterschiedliche Standorte und Zelltechnologien*)
- ▶ Unterschätzen der Batterielebensdauer (*1'500 bis 3'000 Zyklen * Reichweite bis SOH 80%*)
- ▶ Die Annahme eines unveränderlichen Strommixes über die Lebensdauer des BEV
- ▶ Verwendung unrealistischer Fahrtests/-zyklen für den Spritbedarf/Energieverbrauch
- ▶ Emissionen aus der Kraftstoffherstellung nicht einberechnen
- ▶ Mangelndes Systemdenken (*V2G, Grid stabilization, ...*)

- ▶ Umfassende Studien von Empa, PSI, Uni Brüssel, International Energy Agency, Joanneum Forschungsgesellschaft Graz, usw. zeigen deutlich niedrigere THG-Emissions bei BEVs vs ICEV.

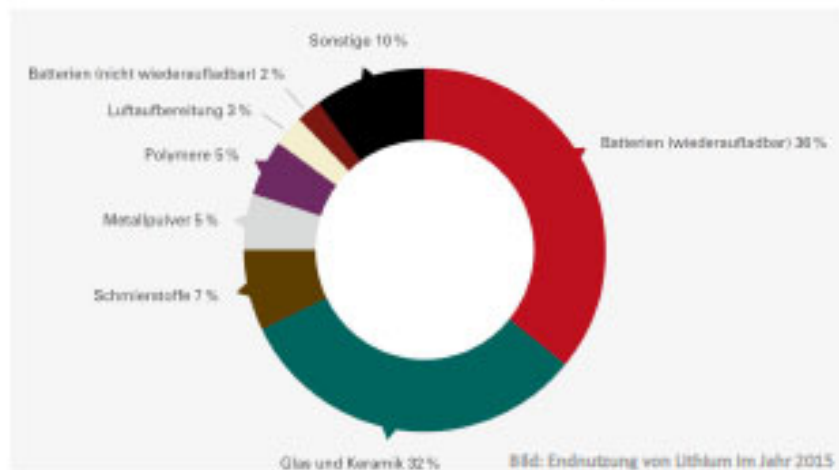
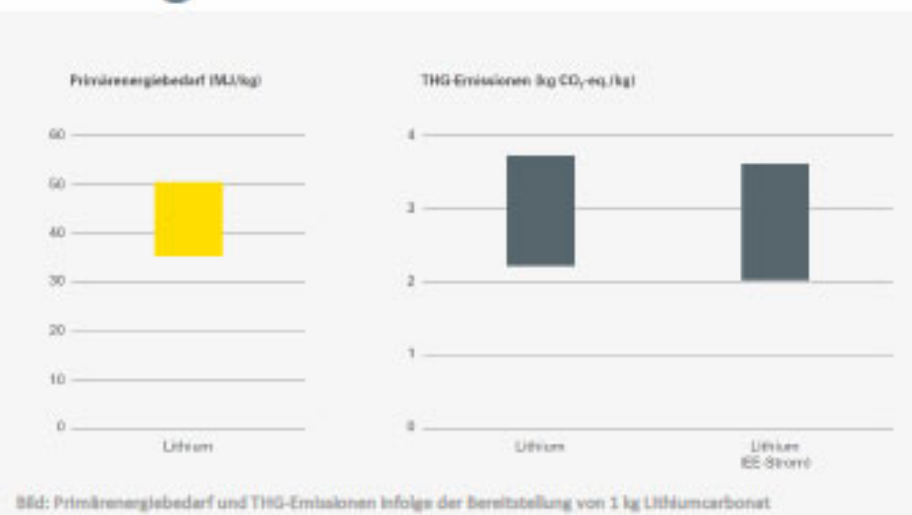
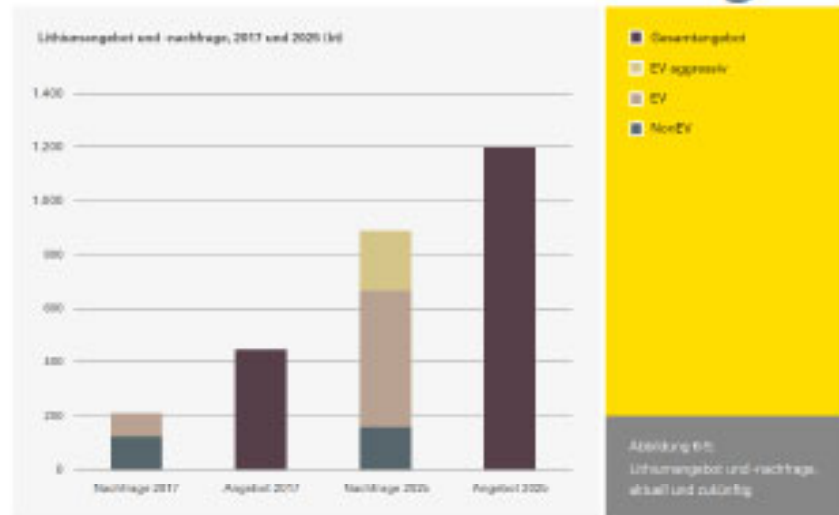
Materialanteile gegenwärtiger Lithium-Ionen-Zellen



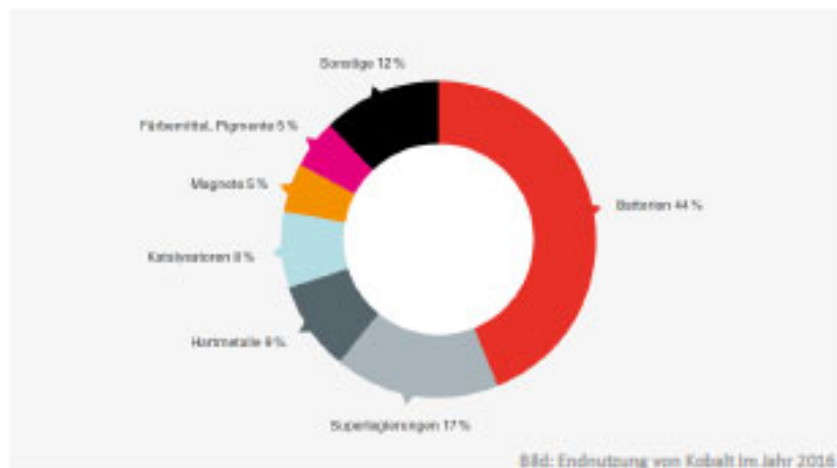
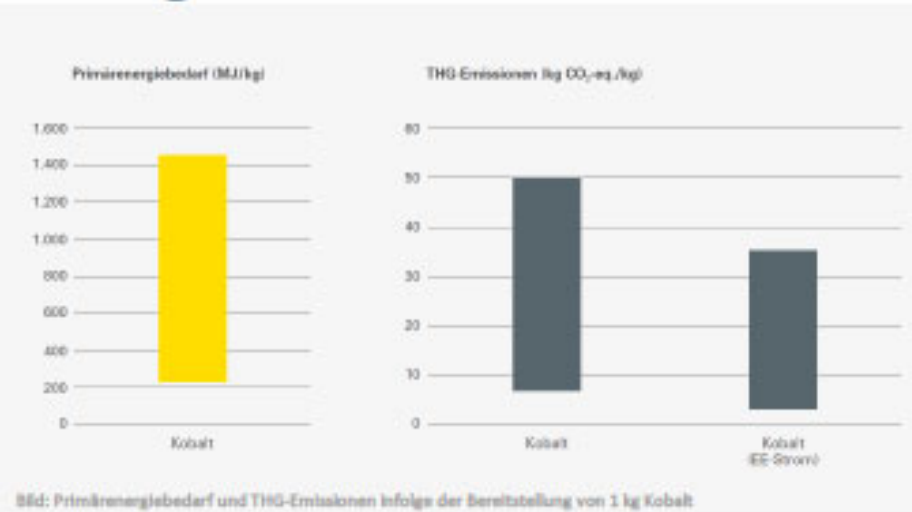
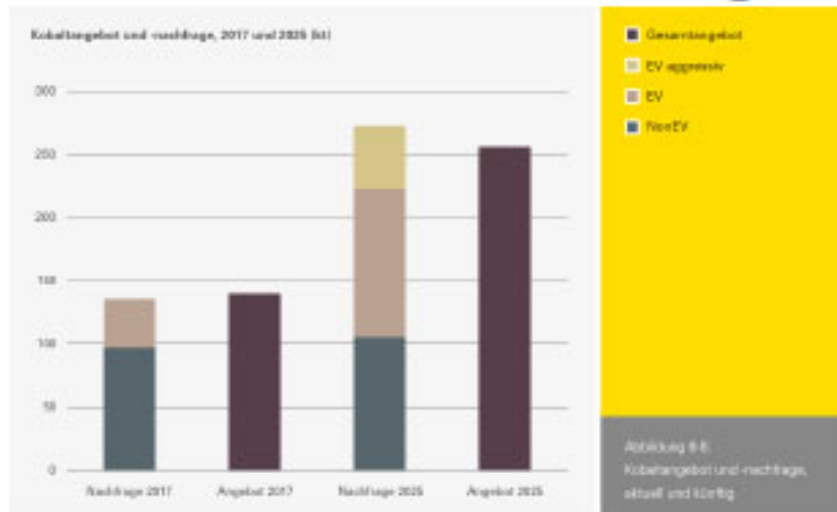
Potential der Rohmaterialgewinnung - Nickel



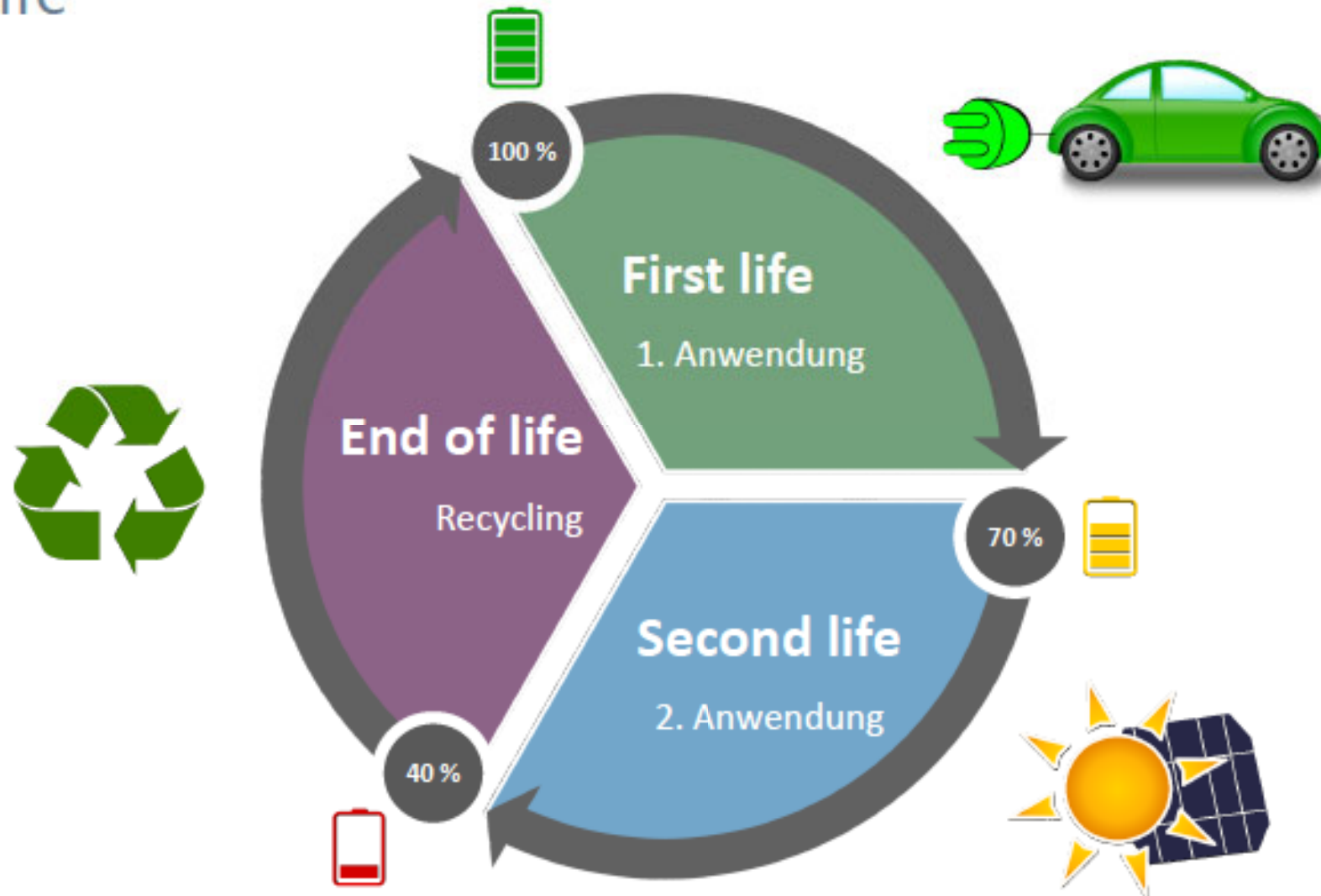
Potential der Rohmaterialgewinnung - Lithium



Potential der Rohmaterialgewinnung - Kobalt



2nd Life



Hydrometallurgisch Verfahren sind am effektivsten zur Wertstoffrückgewinnung und werden von führenden asiatischen Unternehmen eingesetzt

Recovery rates by approach¹

Chemical component	Li	Ni	Co	Cu	C
Pyrolysis	0%	40 – 60%	40 – 60%	n.c.	0%
Pyrolysis - Hydrometallurgical	50 – 60%	> 95%	> 95%	> 95%	0%
Mechanical - Pyrolysis (slag)	0%	40 – 60%	40 – 60%	n.c.	0%
Mechanical - Hydrometallurgical (black-mass)	> 90%	> 99%	> 99%	> 99%	0%

Source Roland Berger research; selected companies

¹All recovery rates measured at end of recycling process