

Umweltauswirkungen und Rohstoffaspekte von Elektroautos

Energietreff SG - Elektromobilität und Schnittstellen zum Gebäude
20.02.2019 @ Einstein Congress SG

1. **Umweltauswirkungen der Mobilität**

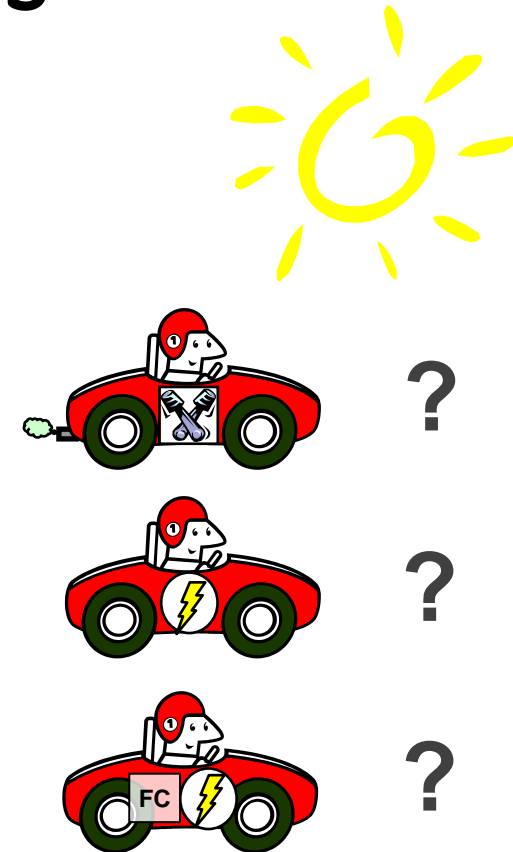
TA-Swiss Studie

2. **Optionen für Energie und Mobilität**

Welche Energieform und Antriebsart 'gewinnt'?

3. **Rohstoffe, Ressourcen**

Batterien (Li, Co, Recycling...)



Marcel Gauch marcel.gauch@empa.ch

TSL Technology and Society Lab @ EMPA

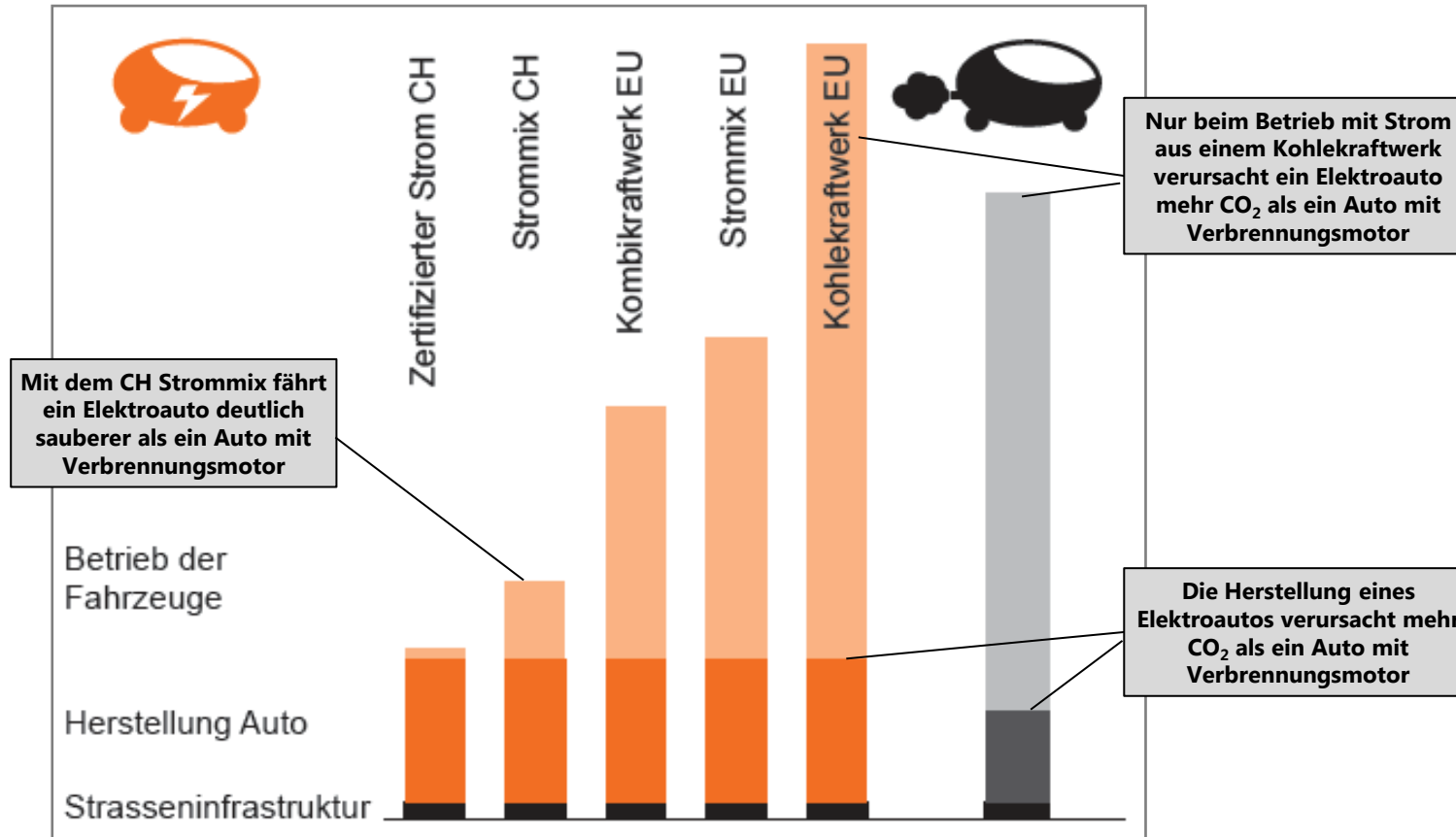
CARE Critical Materials and Resource Efficiency

Schweizerische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology

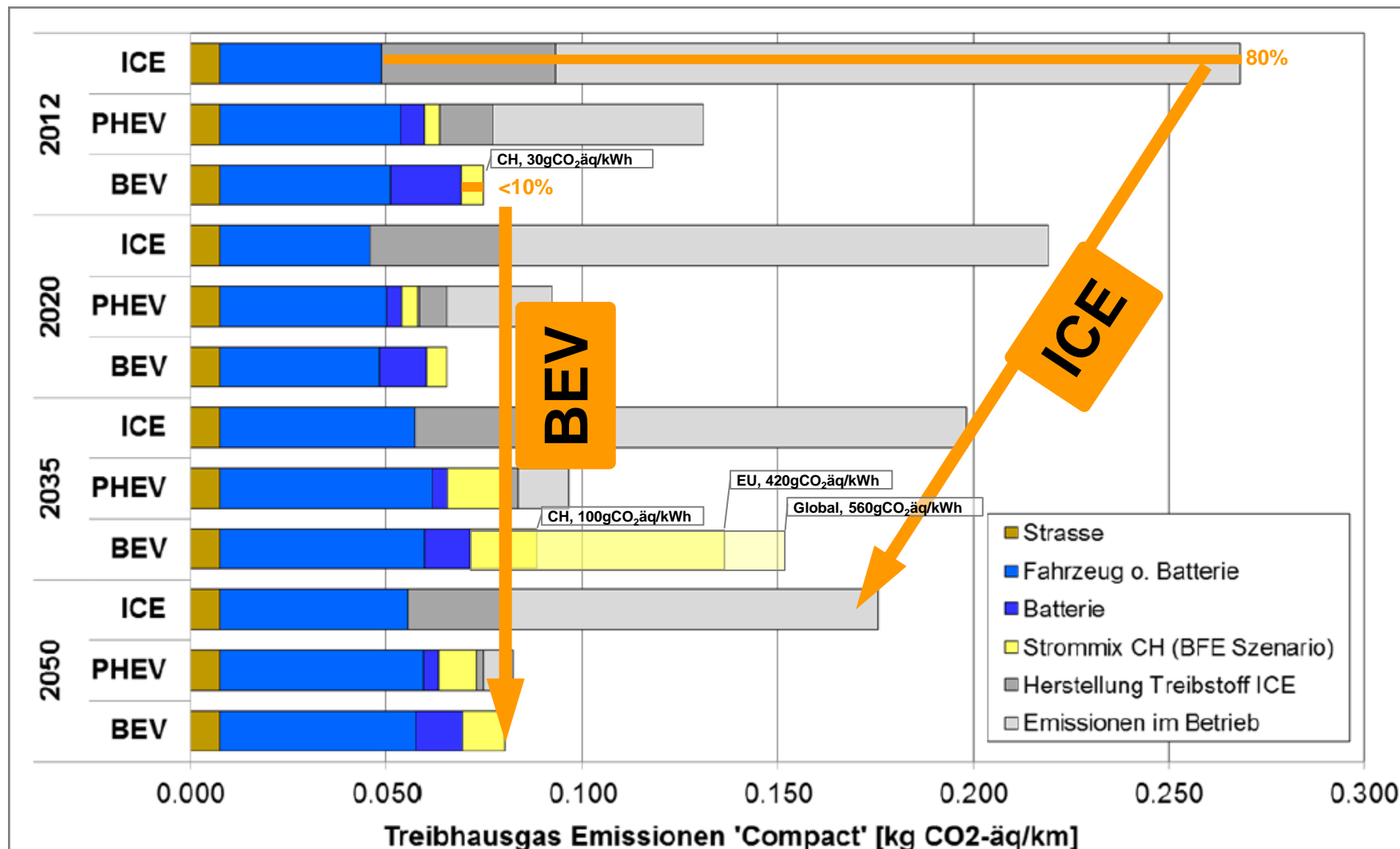
TA-SWISS - Treibhausgas-Emissionen

■ Vergleich verschiedener Antriebsarten



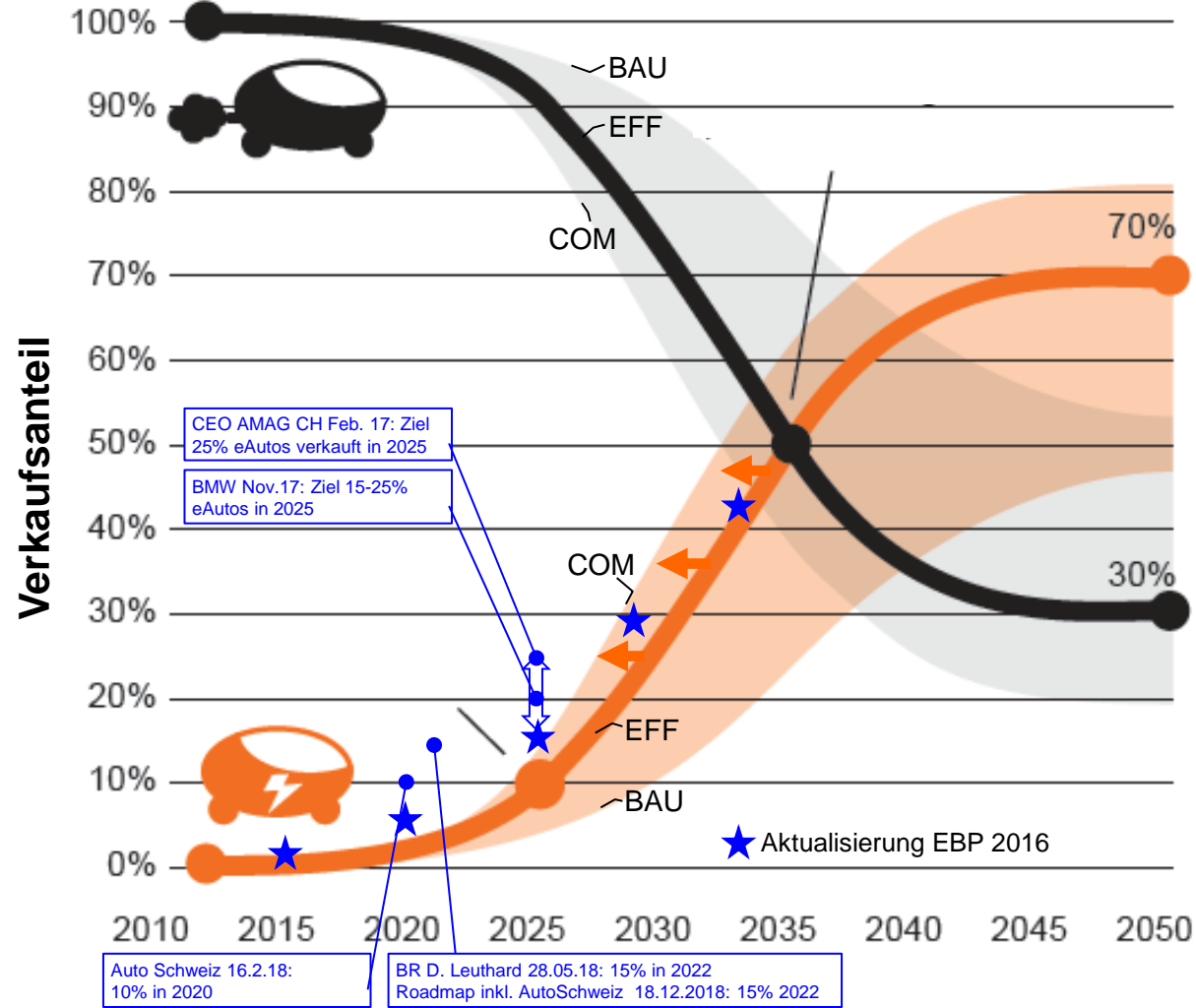
TA-SWISS - Treibhausgas-Emissionen

- 'Golfklasse', Entwicklung über die Zeit



Entwicklung der Verkaufsanteile

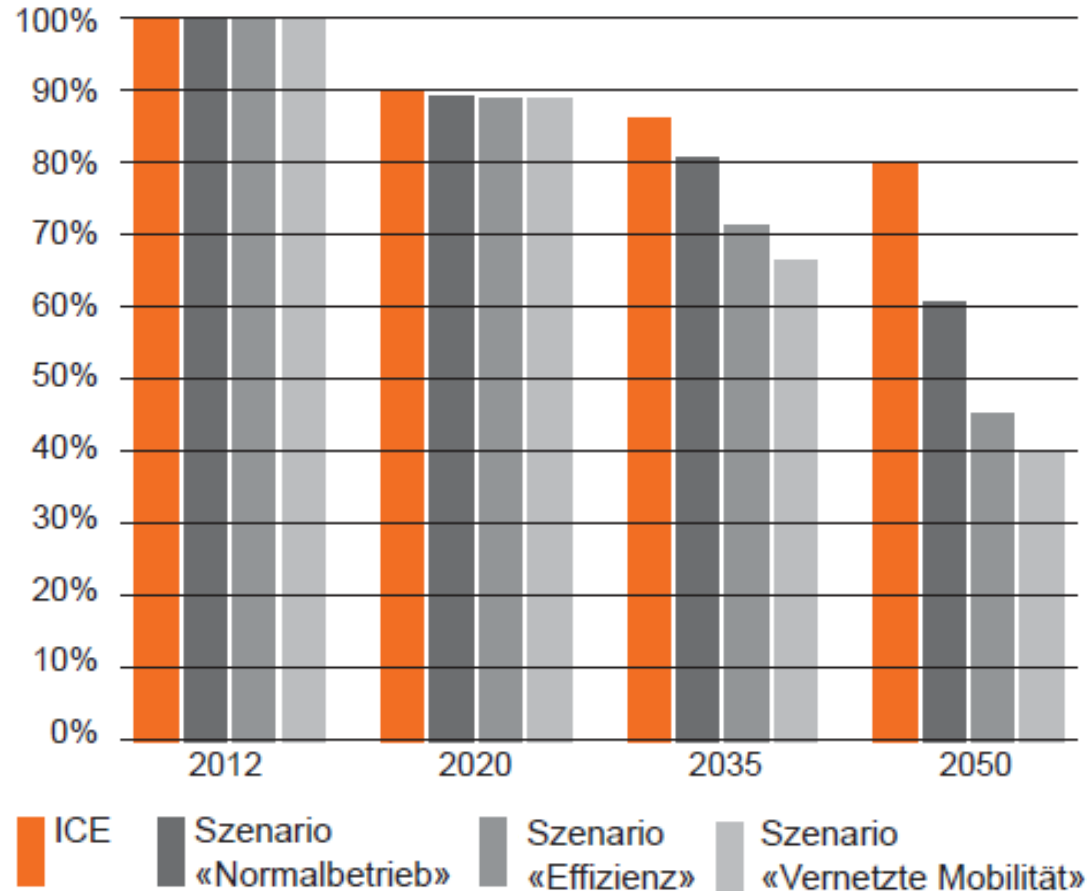
- Anteile konventionell/elektrisch in drei Szenarien BAU, EFF, COM



Emissionen der CH-Fahrzeugflotte

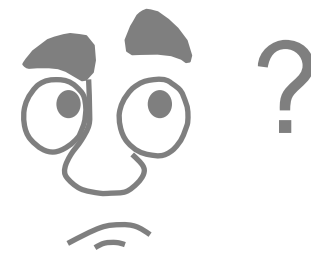
- Wie entwickeln sich die Treibhausgas-Emissionen?

CO₂-Emissionen (Flotte), Vergleich mit 2012



Erkenntnisse

- Es geschieht nicht über Nacht...
- Bereits der normale technische Fortschritt führt zu einem Rückgang der CO₂-Emissionen.
- Ein zunehmender Anteil an Elektrofahrzeugen führt zu deutlichen Reduktionen des Ausstosses von Treibhausgas.
- **Das ist jedoch nicht genug, um die <2°C -Ziele gemäss Kyoto/Paris zu erfüllen.**
(-50% CO₂ bis 2030, null CO₂ bis 2050)



Widersprüchliche Aussagen führen zu Verwirrung...

- Widersprüche kommen (leider) auch aus der Forschung. Es gibt KEINE gemeinsame Meinung, insbesondere über **realistische Zeithorizonte** für mögliche Veränderungen.
- Je nach Perspektive resultieren verschiedene Ansichten. Wer hat Recht? Wem soll man glauben?
- Diese Präsentation zeigt Ergebnisse aus einer langfristig orientierten Nachhaltigkeitsperspektive des Technology & Society Lab der Empa.



Optionen für Energie



Die Sonne, what else?...

Energiereserven

Photosynthese,
>100 Mio. Jahre



Kohle, Erdöl, Erdgas

Photosynthese
Fläche und Zeit



Ersatzstoff für fossile
Energieträger

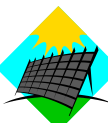
Fossile und biogene Treibstoffe



**gewohnte Systeme
einfach speicherbar**

Energieflüsse

Sonnenlicht
(Photonen)



Strom

Strom aus diversen Quellen

Verdunstung,
Niederschlag



Strom

Temperatur
Druckdifferenz



Strom



Synthetische Kohlenwasserstoffe
"Power-to-Gas"
"Syn/Sunfuel"
"Erneuerbarer Diesel"

**Herausforderung:
Abstimmen von
Angebot/Nachfrage**

**Herausforderung:
Stromspeicherung**

Egal welcher Pfad, die grossen Fragen...

- ... Verfügbarkeit im eigenen Einflussbereich?
- ... Flächenbedarf (Energie vs. Nahrung)?
- ... Konsequenz für zukünftige Generationen und Umwelt?
- ... Potenzial für Energiemengen und Kosten?

Optionen für Mobilität

Energie 'am Rad'

■ Grundprinzip (unabhängig von Antriebsart/Motor): **Effizienz**

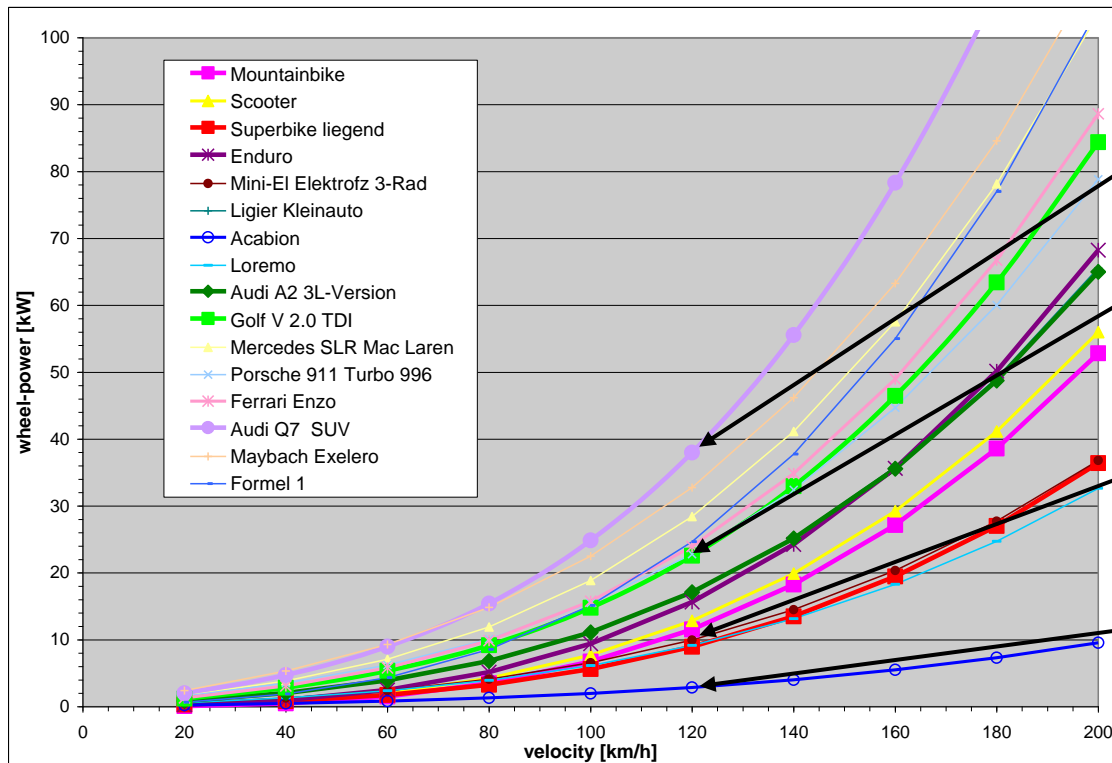
Der Energiebedarf eines Fahrzeugs ist von nur 4 Faktoren abhängig:

1. Masse
2. Frontfläche
3. Luftwiderstand
4. Rollwiderstand

kg ↓
m² ↓
C_w ↓
μ ↓



Isaac Newton's laws of motion and gravity 1687



graphics: Empa



38kW@120km/h
52PS an den Rädern



23kW@120km/h
31PS an den Rädern

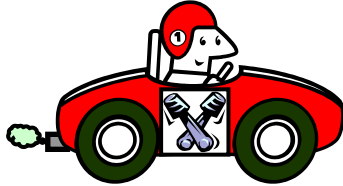


12kW@120km/h
16PS an den Rädern



3kW@120km/h
4PS an den Rädern

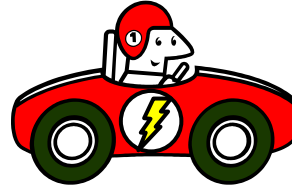
Fossile und biogene Treibstoffe



Verbrennungsmotor (ICE)

- Fossile Treibstoffe:
 - Erdgas
 - Benzin
 - Diesel
- Biogas (Methan) aus:
 - Bioabfall (CH)
- Bioethanol (Alkohol) aus:
 - Zuckerrohr (BR)
 - Holzabfälle (CH)
- Biodiesel (Methylester) aus:
 - Palmöl (MY)

Strom aus diversen Quellen



Elektroantrieb mit Batterie (BEV)

- Ökostrom CH (15 g/kWh (Dose))
- Nuklear CH (28 g/kWh (Dose))
- PV-Dach CH (82 g/kWh)
- Steckdosen-Mix CH (99 g/kWh)
- Strom aus modernem Gas-Kombikraftwerk (444 g/kWh)
- Steckdosen-Mix EU (ENTSO, 479 g/kWh)
- Kohlekraftwerk DE (1081 g/kWh)

Mischformen, Hybridantriebe



Hybrid (HEV) 'Prius'

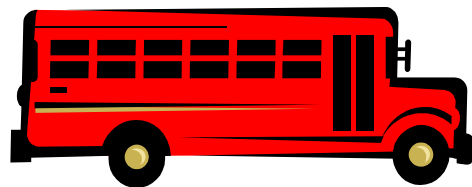
- Benzin
- Erdgas (Empa CLEVER)

Plug-In Hybrid (PHEV) 'Ampera'

- Steckdosen-Mix CH (99 g/kWh)
- Benzin

Brennstoffzelle (FC)

- Wasserstoff H₂

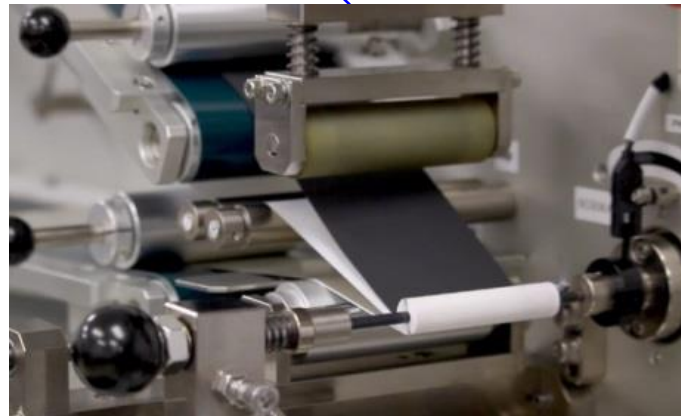
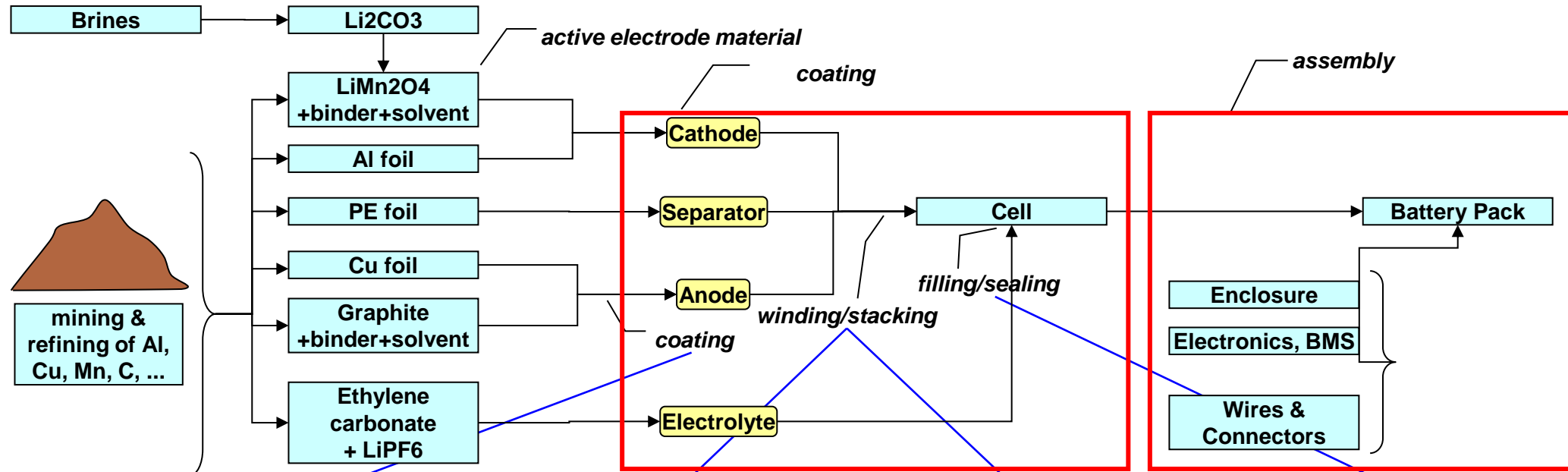


- Umstieg auf andere Verkehrsmittel, z.B. **öffentlicher Verkehr** oder **Zweiräder**

Egal welcher Pfad, die grossen Fragen...

- ... schmal, leicht, windschlüpfrig, ...
- ... erneuerbare Energieträger
- ... verträgliche Materialien (elements of hope)
- ... hohe Recyclingtauglichkeit

Fokus: Li-Ionen Batterie - Herstellung



Rohstoffe - Li

■ Ist Lithium wirklich knapp?

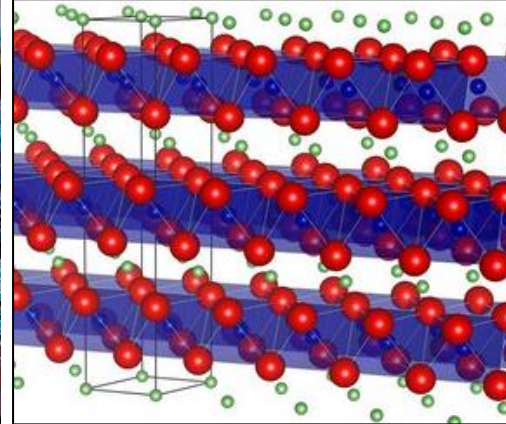


1	1	IA	2	IIA
1	1	H hydrogen 1.0079	2	
2	3	Li lithium 6.941	4	Be beryllium 9.0122
3	11	Na sodium 22.990	12	Mg magnesium 24.305
			20	

- Li ist das leichteste Metall (Dichte = 0.543 kg/l)
- Höchstes elektrochemische Potenzial ($E^0 = -3,04 \text{ V}$)
- Reagiert in metallischer Form heftig mit O_2 (brennt!)
- Relativ häufig (in der Erdkruste häufiger als Cu), ca. USD 20.-/kg
- Wird aus Salzseen und aus Minen gewonnen (Ozean!?)
- Ungiftig (wird als Medikament verwendet)
- **nur ca. 2% der Batteriemasse ist Lithium**

Rohstoffe - Co

■ Ist Cobalt wirklich schlimm?



<https://www.thestar.com/business/2018/12/18/osc-approves-30m-settlement-with-katanga-over-failed-drc-risk-disclosure.html>

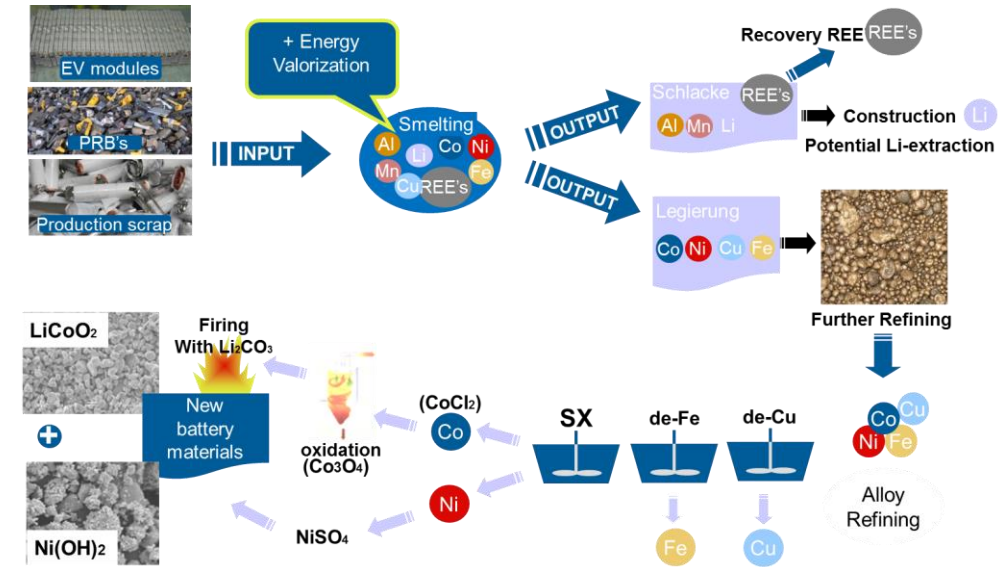


- Co liegt im Periodensystem zwischen Fe und Ni (± 1 Proton, Cu +2)
- Häufig gebraucht als Legierungsbestandteil, z.B. in Flugzeugturbinen
- Förderung meist als Nebenprodukt von Cu oder Ni, ca. USD 50.-/kg
- etwas seltener in der Erdkruste als Cu, Ni, Cr
- Bestandteil von Vitamin B12 (Cobalamin), sehr wichtig für Wiederkäuer
- Ca. 75% stammt aus grossen Minen (Congo), 13% aus Artisanal- und Kleinbergbau* mit nachweislich enormen sozialen Problemen
- **Anteil Cobalt in Batterie: ~ 8% bei NMC 1:1:1, ~ 3% bei NMC 8:1:1**

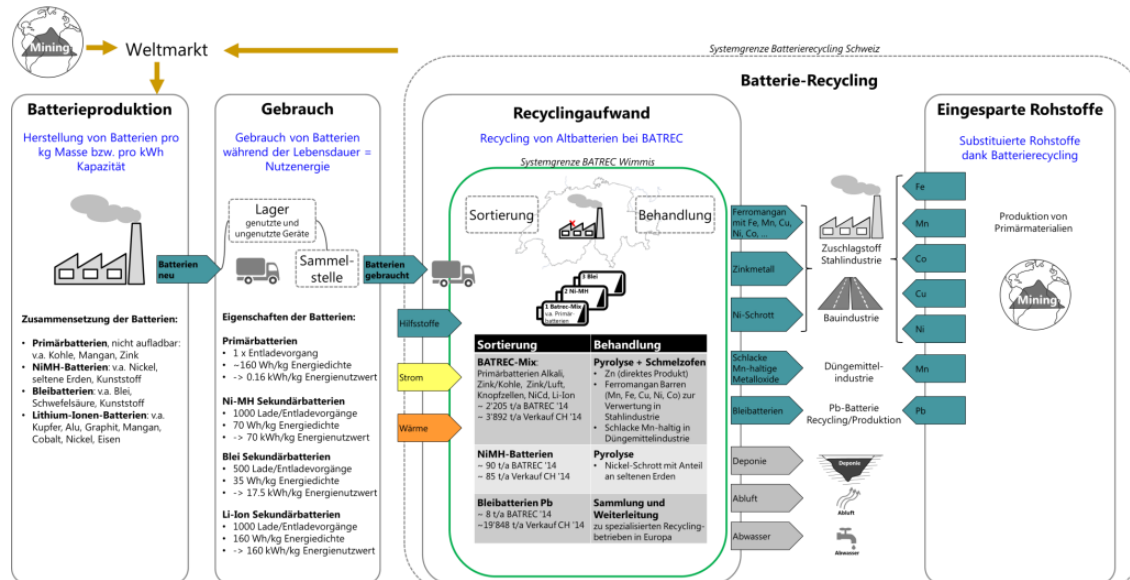
Rohstoffe - Recycling von Li-Ionen-Batterien

- Etabliert sind pyro- und hydro- metallurgische Verfahren.
- Andere Verfahren, die strukturerhaltend sind, gibt es in Pilotanlagen oder im Labormassstab.
- Zwar könnte Li zurückgewonnen werden, aber das heutige Hauptziel sind Co, Cu, Ni.
- Wirtschaftlichkeit vs. Nachhaltigkeit: Zentrales Thema.
- Anreize/Auflagen könnten erforderlich sein, um eine weitergehende Rückgewinnung (Li, Al, Graphit) zu erzielen.

pyro -metallurgical LIB recycling process of Umicore (Hoboken BE)



Prospective Environmental Assessment of Lithium Recovery in Battery Recycling, Carl Vadenbo, master thesis, ETHZ/Empa 2009



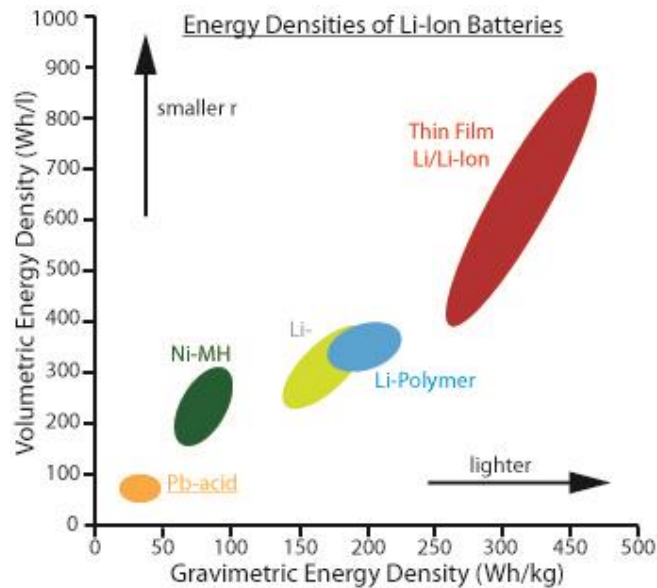
Grafik Empa, Recyclingsystem CH

Batterie-Recycling in der Schweiz und in der EU ist gesetzlich vorgeschrieben

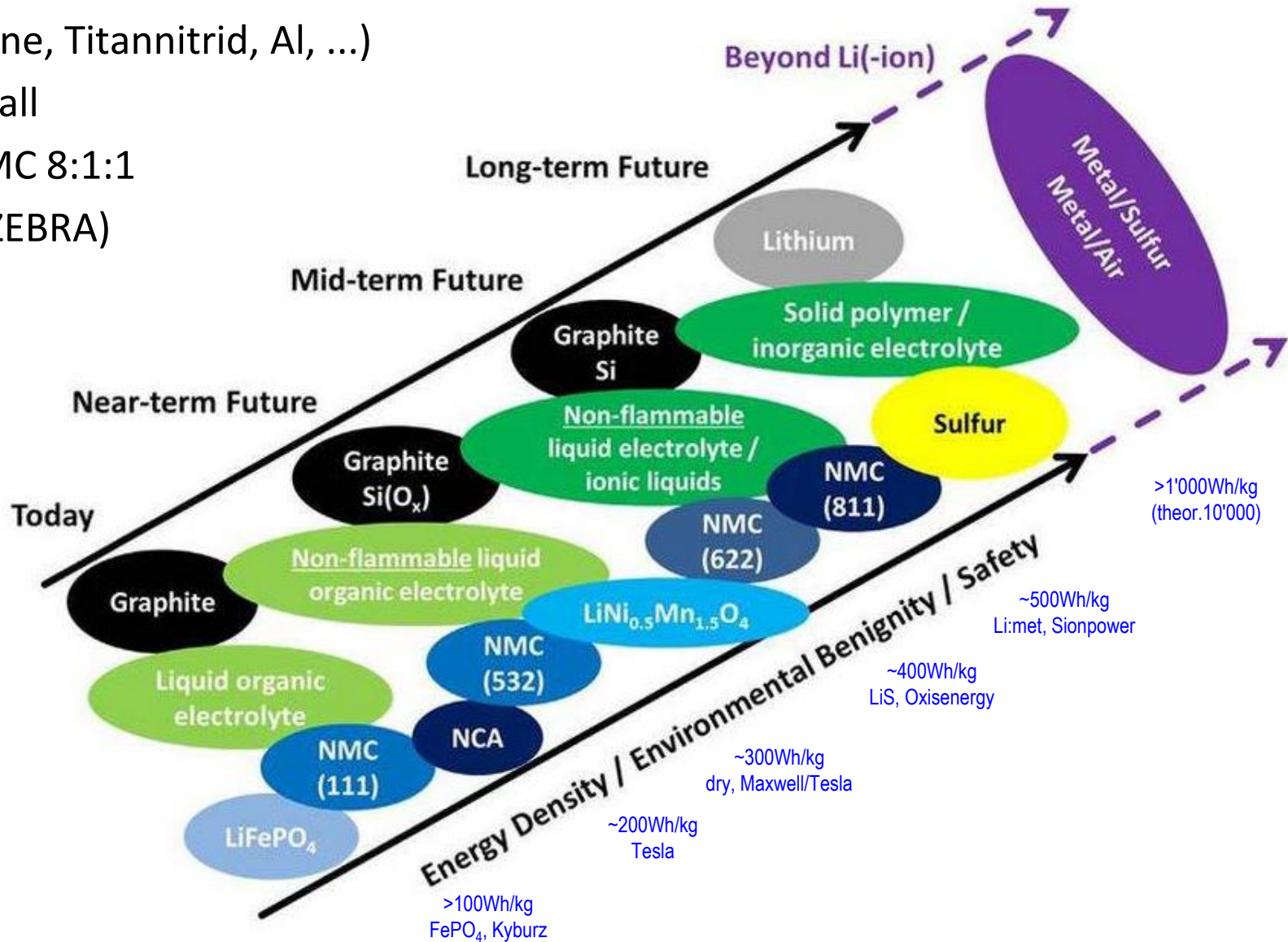
- Sammelsystem Inobat
- Recyclinganlage: Batrec in Wimmis mit Pyrolyse und Schmelzofen

Batterietrends...

- Schwefel, Natrium, Magnesium, Aluminium, ...
- Solid-state Elektrolyten (closo-borane, Titannitrid, Al, ...)
- Anode: Graphit mit Silizium, Li-Metall
- Kathode: Reduktion von Cobalt, NMC 8:1:1
- Alternativ: Natrium Nickelchlorid (ZEBRA) und Redox-Flow Batterien
- 'Luft - Metall' Batterien z.B. Li-Air



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ragone_Plot_for_diff_Li_batteries.jpg



[Bresser, D. et al. 2018]; Batterieforum Deutschland Berlin, Jan. 2019 Marcel Weil, M et al., Helmholtz Institute Ulm (HIU)

Take home...

- **Energie** -> **Erneuerbar**
- **Rohstoffe** -> **Elements of hope, schlanke Autos, gutes Recycling**
- **Treibstoffe** -> **verschiedene, aber:**
 - * Kürzere und mittlere Strecken (100km?):
 - *Vorwiegend Strom, je mehr erneuerbar desto besser*
 - * Langstrecken (100'e km?):
 - *Fossile Treibstoffe und 'gute' Biotreibstoffe (aus Reststoffen)*
 - *Ev. aus Wasserstoff abgeleitete Treibstoffe ("Stromüberschuss"?)*
 - *Strom! 2035: 600km mit 300kg-Batterie*
 - * Flugzeuge (1000'e km):
 - *Fossile Treibstoffe und 'gute' Biotreibstoffe (aus Reststoffen)*

Der Strombedarf der Elektrifizierung der gesamten CH-Mobilität würde ca. **20% des heutigen Strombedarfs** (~65 TWh) betragen. Dafür spart man 100% des heutigen Benzin/Dieserverbrauchs.

- > Der Strom **muss und kann** aus **erneuerbaren Quellen** stammen.
- > Herausfordernd ist die **Speicherung** über längere Zeit.

Merci

marcel.gauch@empa.ch
Technology & Society Lab @ Empa