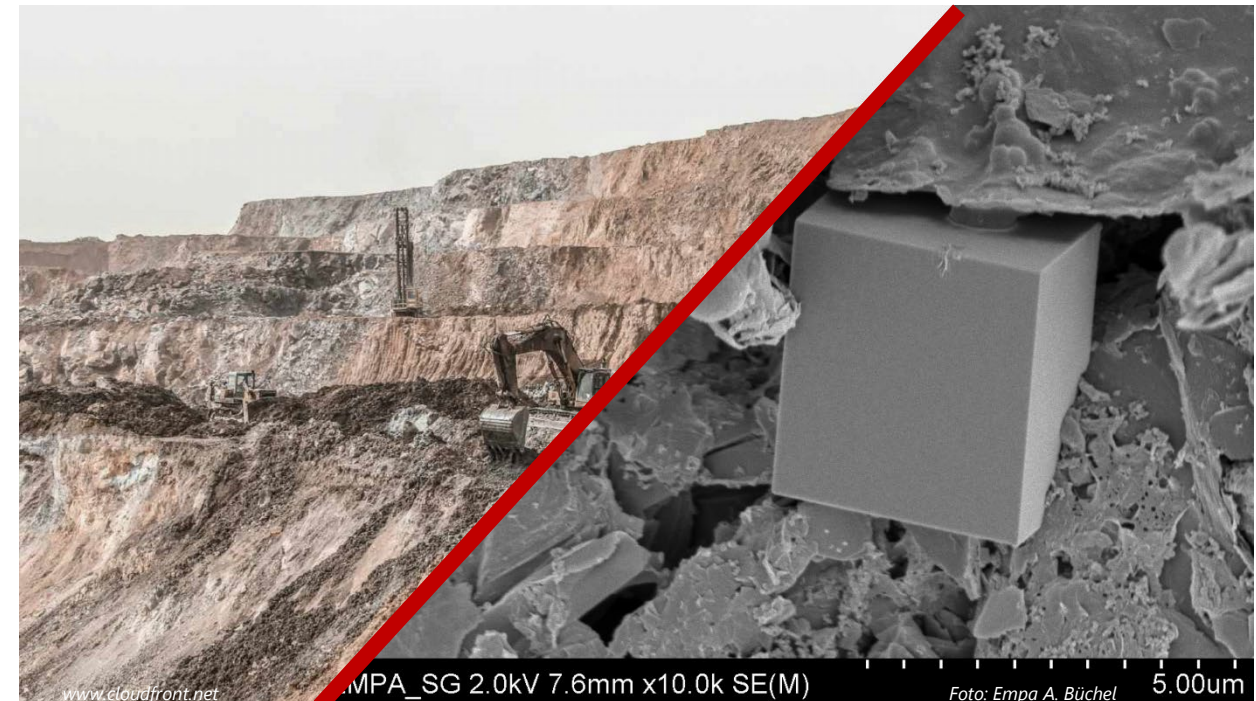


wissen2go, 29. Oktober 2024, Empa Dübendorf

Batterien – Vom Rohstoff bis zum Recycling

- Batterien/Energiespeicher
- Vom Grossen zum Kleinen
- Aufbau
- Umwelt? Recycling?
- Trends?



Batterien

Einige heutige Entwicklungslinien



Was macht die Empa? viel ;-)

Ein Tropfen Wasser genügt Eine Papierbatterie mit Wasserschalter

28.07.2022 | MICHAEL HAGMANN

Ein Empa-Forscherteam hat eine durch Wasser aktivierbare Einweg-Batterie aus Papier entwickelt. Damit liesse sich eine breite Palette von kleinen Einweg-Elektronikgeräten mit geringem Stromverbrauch betreiben, etwa intelligente Etiketten zum Tracking von Objekten, Umweltsensoren oder medizinische Diagnosegeräte – und erst noch deren Umweltauswirkungen minimieren. Die «Proof-of-Concept»-Studie wurde soeben in «Scientific Reports» veröffentlicht.



Empa spin-off BTRY

Die Akku-Revolutionäre

29.08.2023 | ANNA ETTLIN

Das Empa-Spin-off «BTRY» will Batterien neu denken: seine Dünnschichtbatterien sind nicht nur sicherer und langlebiger als herkömmliche Lithium-Ionen-Akkus, sie sind auch wesentlich umweltfreundlicher in der Herstellung und lassen sich in nur einer Minute auf- und entladen. Noch ist die Batterie klein, aber die Gründer haben grosse Pläne.



Internet of Things Die biologisch abbaubare Batterie

03.06.2021 | RAINER KLOSE

Die Anzahl der Daten sendenden Mikrogeräte, etwa bei Verpackungen und Transportlogistik, wird in Zukunft stark zunehmen. All diese Geräte brauchen Energie, doch die dafür notwendige Menge an Batterien würde die Umwelt enorm belasten. Empa-Forscher haben einen kompostierbaren Mini-Kondensator entwickelt, der das Problem lösen kann. Er besteht lediglich aus Kohlenstoff, Zellulose, Glycerin und Kochsalz – und er funktioniert zuverlässig.



10.01.2018 | 15:01 | VERSCHIEDENES

Empa-Forscher verbessern Batterie auf Wasserbasis

TREND

Twitter Facebook X LinkedIn Email

Teaserbild-Quelle: PTNorbert, pixabay, gemeinfrei
Wasser könnte künftig die Basis für besonders preisgünstige aufladbare Batterien bilden. Empa-Forscher ist es mit einer speziellen Salzlösung gelungen, die elektrochemische Stabilität von Wasser zu verdoppeln.



Was kommt nach der Lithium-Ionen-Batterie? Gesucht: Die nächste Superbatterie

13.07.2020 | RAINER KLOSE

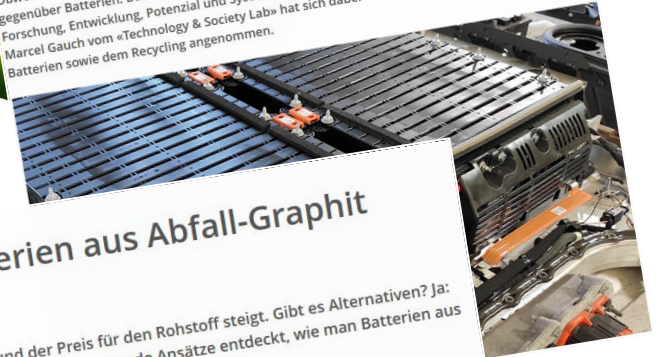
Der Bedarf an Batteriespeichern für erneuerbare Energien wird in Zukunft massiv steigen. Könnten wir neben den bekannten Lithium-Ionen-Batterien auch umweltfreundlichere Modelle bauen, um wertvolle Ressourcen zu sparen?



Neues Kompendium: Alles Wissenswerte zu Batteriespeichern Batterien: «Game Changer» der Energiewende

16.11.2022 | STEPHAN KÄLIN

Obwohl sie heute nicht mehr wegzudenken sind, herrscht häufig noch Unwissenheit und Skepsis gegenüber Batterien. Das «Forum Energiespeicher Schweiz» erstellte deshalb ein Kompendium zu Forschung, Entwicklung, Potenzial und Systemintegration von Batteriespeichern. Empa-Forscher Marcel Gauch vom «Technology & Society Lab» hat sich dabei den umstrittenen Ökobilanzen von Batterien sowie dem Recycling angenommen.

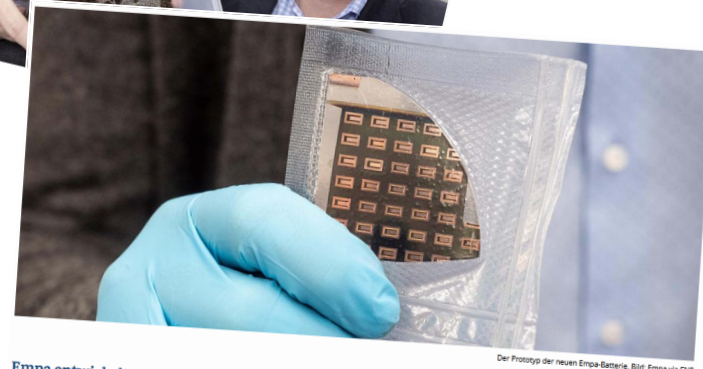


Batterien der Zukunft:

Preisgünstige Batterien aus Abfall-Graphit

11.10.2017 | RAINER KLOSE

Lithium-Ionen-Akkus sind brennbar, und der Preis für den Rohstoff steigt. Gibt es Alternativen? Ja: Forscher der Empa und der ETH haben vielversprechende Ansätze entdeckt, wie man Batterien aus Abfall-Graphit und Schrott-Metallen herstellen könnte.



Der Prototyp der neuen Empa-Batterie. Bild: Empa via SNF

Empa entwickelt neuartige Batterie

08. AUGUST 2023 12:08

Dübendorf ZH/Bern - Die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) hat die erste Batterie entwickelt, die eine hohe Speicherkapazität mit schnellem Aufladen und hoher Sicherheit kombiniert. Die Feststoffbatterie mit gestapelten Dünnschichten ist zunächst für Flugzeuge und Drohnen interessant.

Die Empa gelangt durch Schichten zu leistungsfähigeren Batterien. Für ihren Prototypen einer gestapelten Dünnschichtfeststoffbatterie (SNF) die Expertise des Photovoltaiklabors der Empa. Das Team baut auf dessen Dünnschichttechnologie auf und trägt im Vakuum feine Materialfilme auf ein Substrat auf. Um eine höhere Energiedichte zu erreichen, „mussten wir den Gewichtsanteil des Substrats verringern“, erklärt der Erstarter dieser Studie, Moritz Futscher.

Die Lösung besteht darin, zwei Dünnschichtzellen (Akkus) übereinanderzustapeln. Die grösste Hürde habe die Verbindung zwischen zwei Zellen dargestellt: „Hier hat sich die Vakuumbeschichtung als zentral erwiesen: Wir konnten eine stabile Verbindung herstellen, die hundertmal dünner als ein menschliches Haar ist, und die Zellen genau übereinanderstapeln.“

Energiespeicher - Generell

Nicht nur Batterien!!



https://aeesuisse.ch/wp-content/uploads/2022/11/34_KOMPENDIUM_ENERGIESPEICHER_A4_DE_HE_WE_B_221102.pdf

Arbeitsgruppe 'Elektrische Speicher' Herbst 2022

Vom Grossen zum Kleinen

... und umgekehrt. Der Aufbau im Kleinen ist (fast) immer gleich

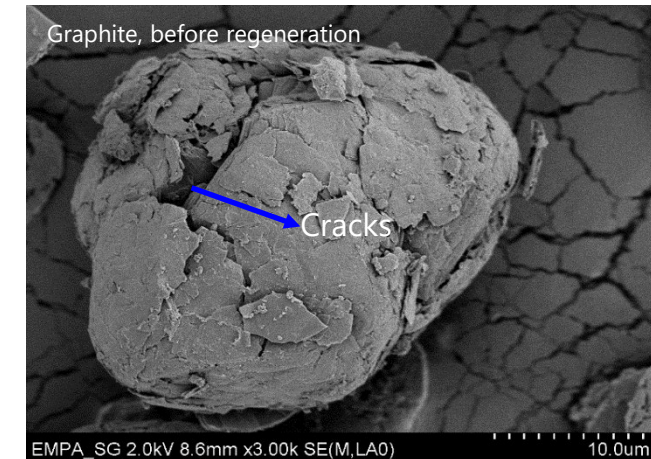
- Von der Mine bis zum Element \leftrightarrow das Element bestimmt den Abbau
- Vom der Container-Speicheranlage bis zum Handy \leftrightarrow die Zelle bestimmt den Speicher



<https://d2n41s0wa71yjf.cloudfront.net/wp-content/uploads/2023/07/26130119/graphite-1.jpg>



picture: Empa



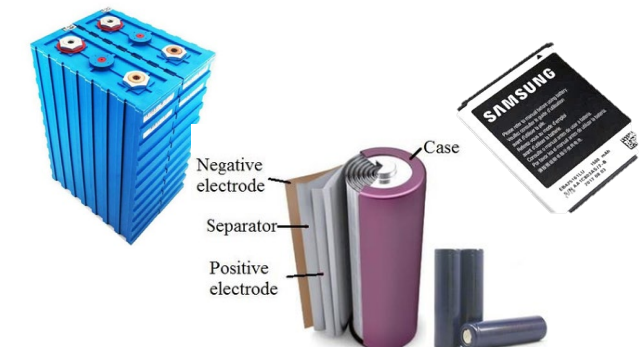
Scanning Electron Microscopy (SEM) Anode / Graphite picture: Empa A. Büchel



<https://www.tesla.com/cn/videos/moss-landing-megapack>
<https://www.mwstorage.ch/anlagen-und-partner>

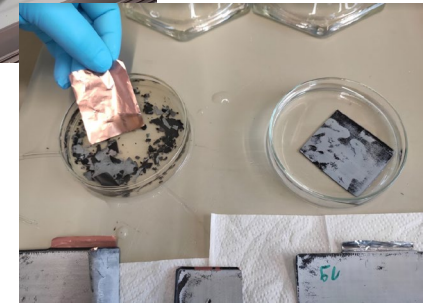
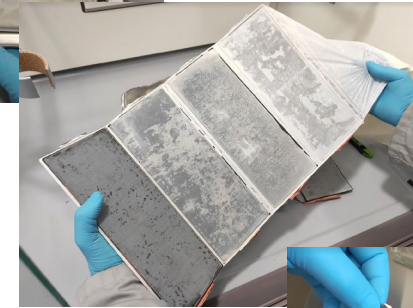
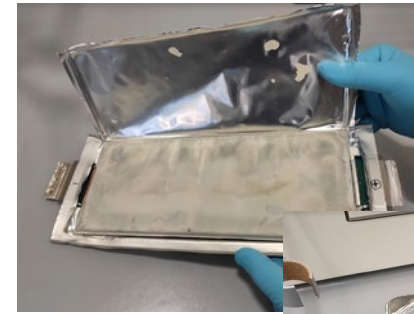


Energiespeicher mit 6.25 MWh im Standard 20" Container (TENER energy storage system, CATL) <https://www.pv-magazine.com/2024/04/12/catl-unveils-first-mass-producible-battery-storage-with-zero-degradation/>



Vom Grossen zum Kleinen

Vom Auto bis zum Batteriezellen-Material

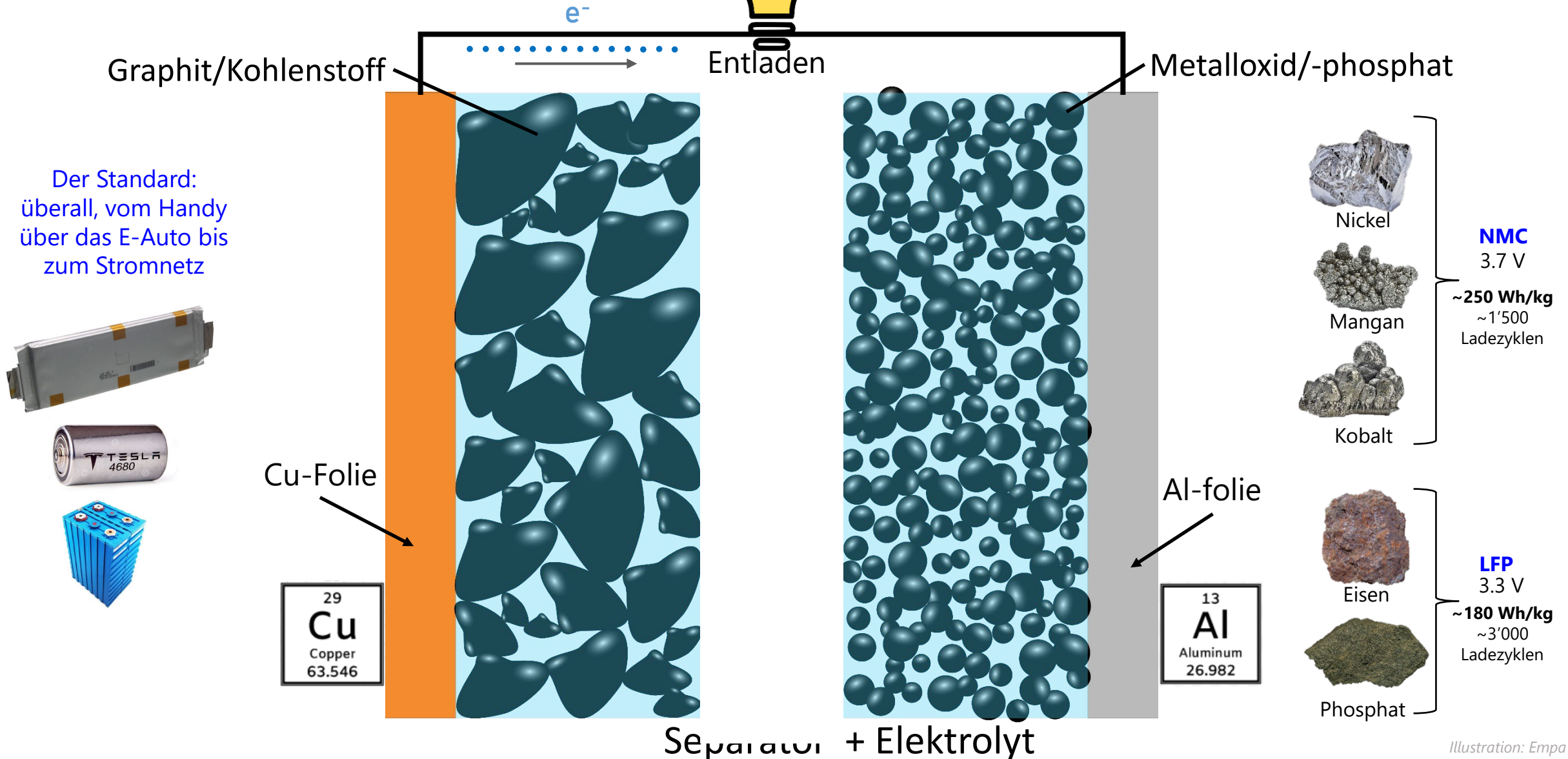


Herstellung von Batteriezellen:
Im Prinzip simple Buchdruck-Technologie
Aber: Anspruchsvolle Massenproduktion

Hersteller verwenden Zellen mit verschiedenen Formaten

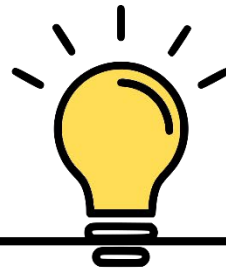
Li-Ionen Batterie: Aufbau

>90% der heutigen Batterien



Na-Ionen Batterie: Aufbau

Erste Batterien auf dem Markt



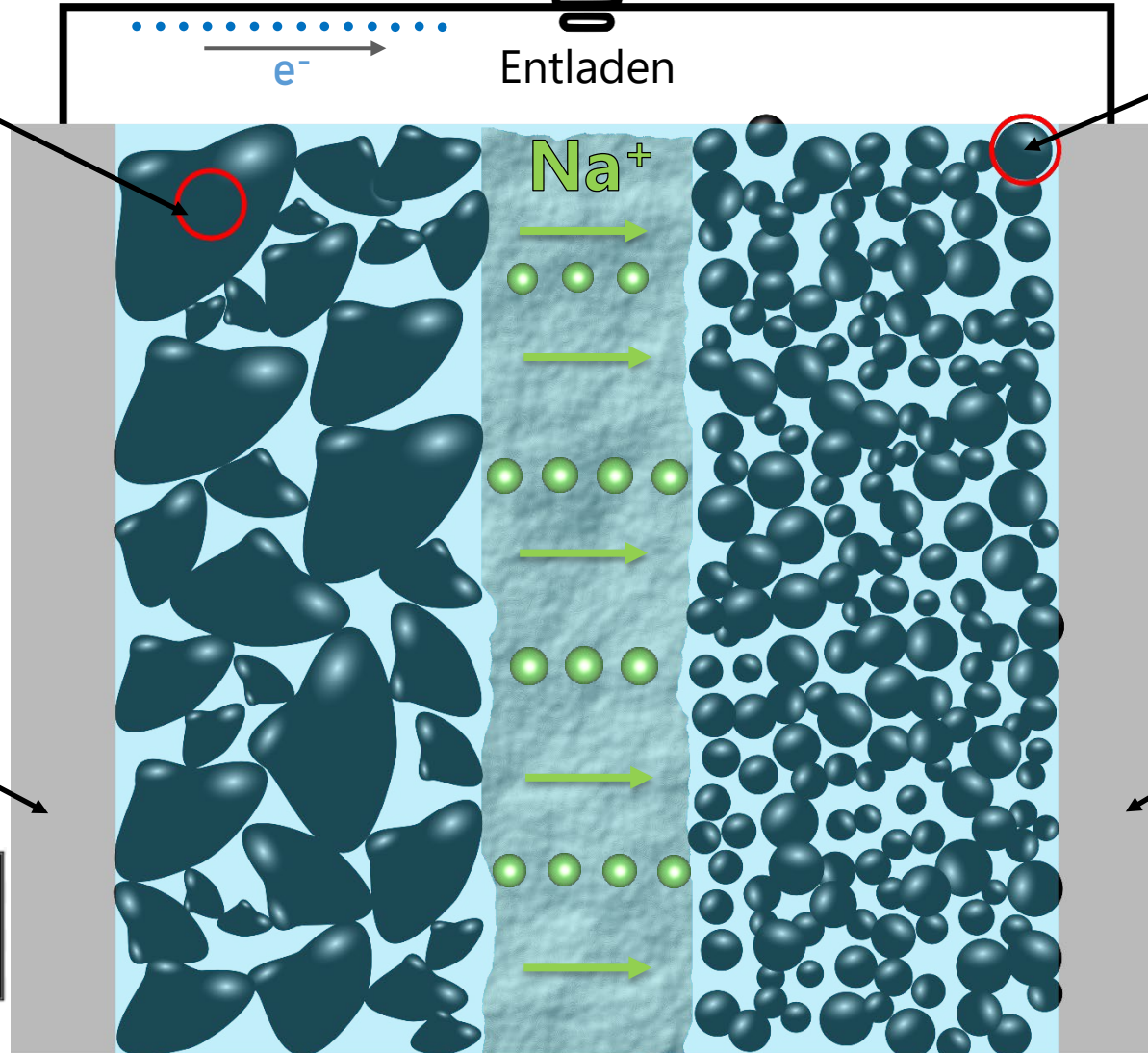
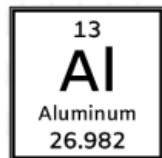
Ein Hoffnungsträger:
Die 'Salzwasser' Batterie



*günstiger
umweltfreundlicher*

Hartkohlenstoff

Al-Folie



Entladen

Na⁺

Preussisch Blau

Fe-Komplex, N, C
Iron(II,III) hexacyanoferrate(II,III)

oder Preussisch Weiss

Fe-Komplex mit Na, Mn, N, C
 $\text{Na}_x\text{Fe}_y[\text{Fe}(\text{CN})_6]_z$

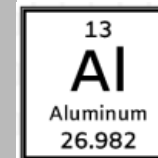
oder LiFePO_4

Sodium Ion Battery
SIB

~3.2 V (2.5-4.1V)

~160 Wh/kg (200 Wh/kg)
>3'000 Ladezyklen?

Al-folie



Separator + Elektrolyt

Rohstoffe - Li

Ist Lithium knapp? Gibt es grosse Umweltschäden?



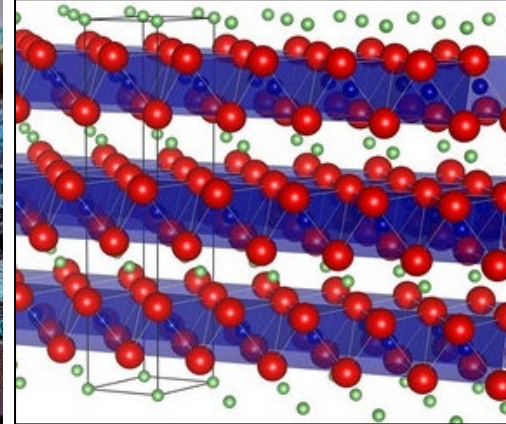
1	1	IA	
	1	H hydrogen 1.0079	2
	2		IIA
2	3	Li lithium 6.941	4
			Be beryllium 9.0122
3	11	Na sodium 22.990	12
			Mg magnesium 24.305
	20		

- 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 vor allem aus Minen (AU) gewonnen (Ozean!?)
- Ungiftig (wird als Medikament verwendet)
- **nur ca. 2% der Batteriemasse ist Lithium**



Rohstoffe - Co

Ist Cobalt 'schlimm'?



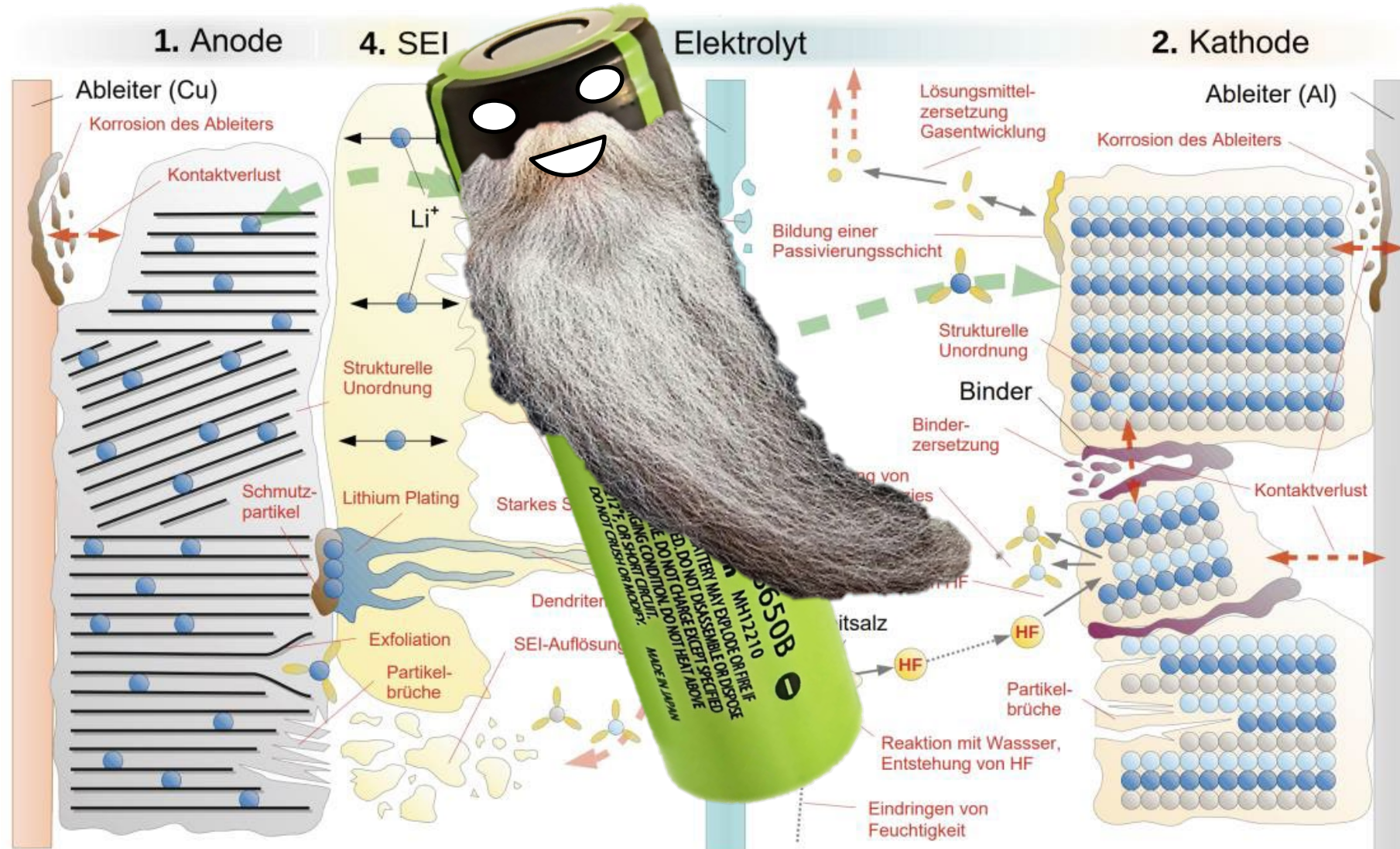
<https://www.thestar.com/business/2018/12/18/osc-approves-30m-settlement-with-katanga-over-failed-drc-risk-disclosure.html>



- 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**

Alterung der Batterie

Irgendwann ist Schluss. Die Suche nach der schwächsten Stelle.



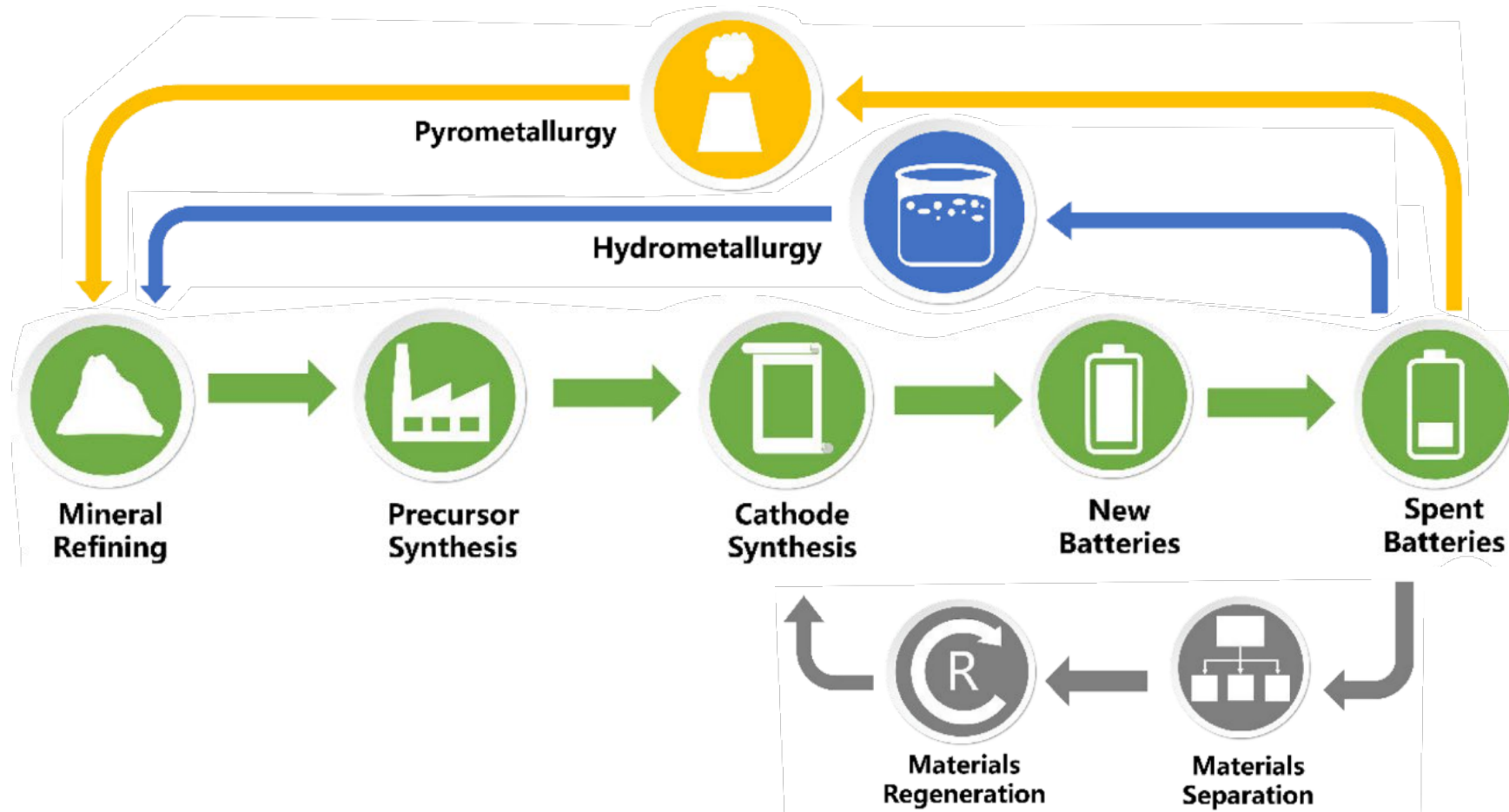
Recyclingverfahren

Verschiedene Wege führen zum Ziel

- Ziel: Möglichst hohe Wiederverwertung der Rohstoffe, möglichst wenig aus Minen
- Mechanische, thermische und chemische Verfahren in Kombination



Minen: Förderung & Aufbereitung von Al, Cu, Mn, Ni, Co, Fe, Li, C, ...

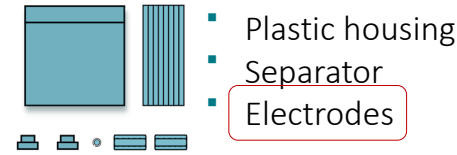


Effizientes 'direktes' Recycling

Der Schweizer Elektrofahrzeughersteller Kyburz betreibt eine Recyclinganlage, welche Materialien aus Lithium-Ionen Akkus zum grossen Teil zurückgewinnen kann. Die Anlage wurde in Zusammenarbeit mit der Empa konzipiert.

- Low-tech recycling 'in-house' mit über 90% stofflicher Rückgewinnung
- Mechanische Trennung der Hauptkomponenten (Gehäuse, Kontakte, Separator, Anode, Kathode)
- Behandlung von Anode/Kathode in H₂O als Lösungsmittel:
 - Trennung Anode in pures Cu und Graphit,
 - Trennung Kathode in Al und LiFePO₄-Pulver
- Statt Entsorgungskosten: Verkauf der gewonnenen Rohstoffe, Materialkreislauf
- Status: Charakterisierung der Materialqualitäten, Tests mit den rezyklierten Materialien (battery-to-battery)

1st step: Semi-automatic dismantling



2nd step: Water-based process

further treatment of electrodes to get marketable products



- LiFePO₄
 - Graphite
 - Aluminum foil
 - Copper foil
- Battery grade?



Copper foil



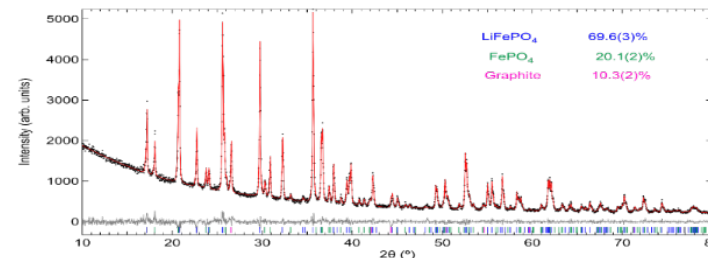
Aluminum foil



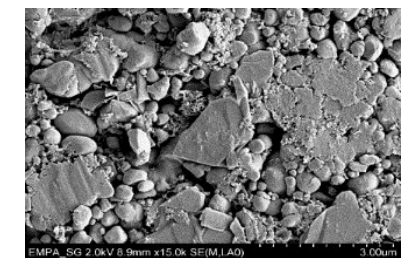
LiFePO₄



Graphite



Spectrogram of used cathode material

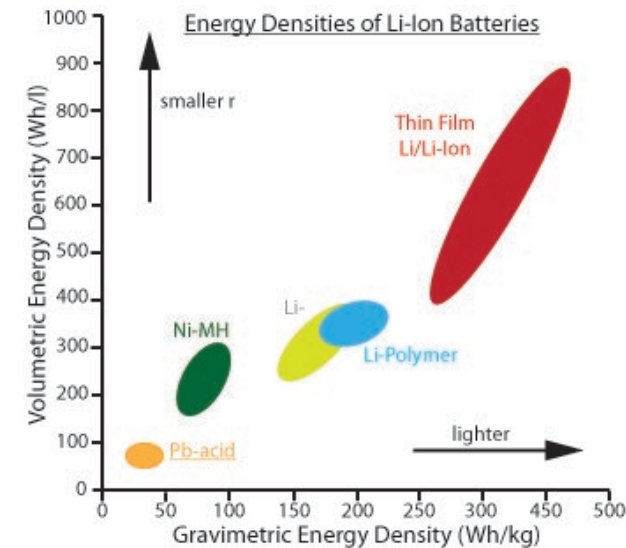


SEM of used LiFePO₄

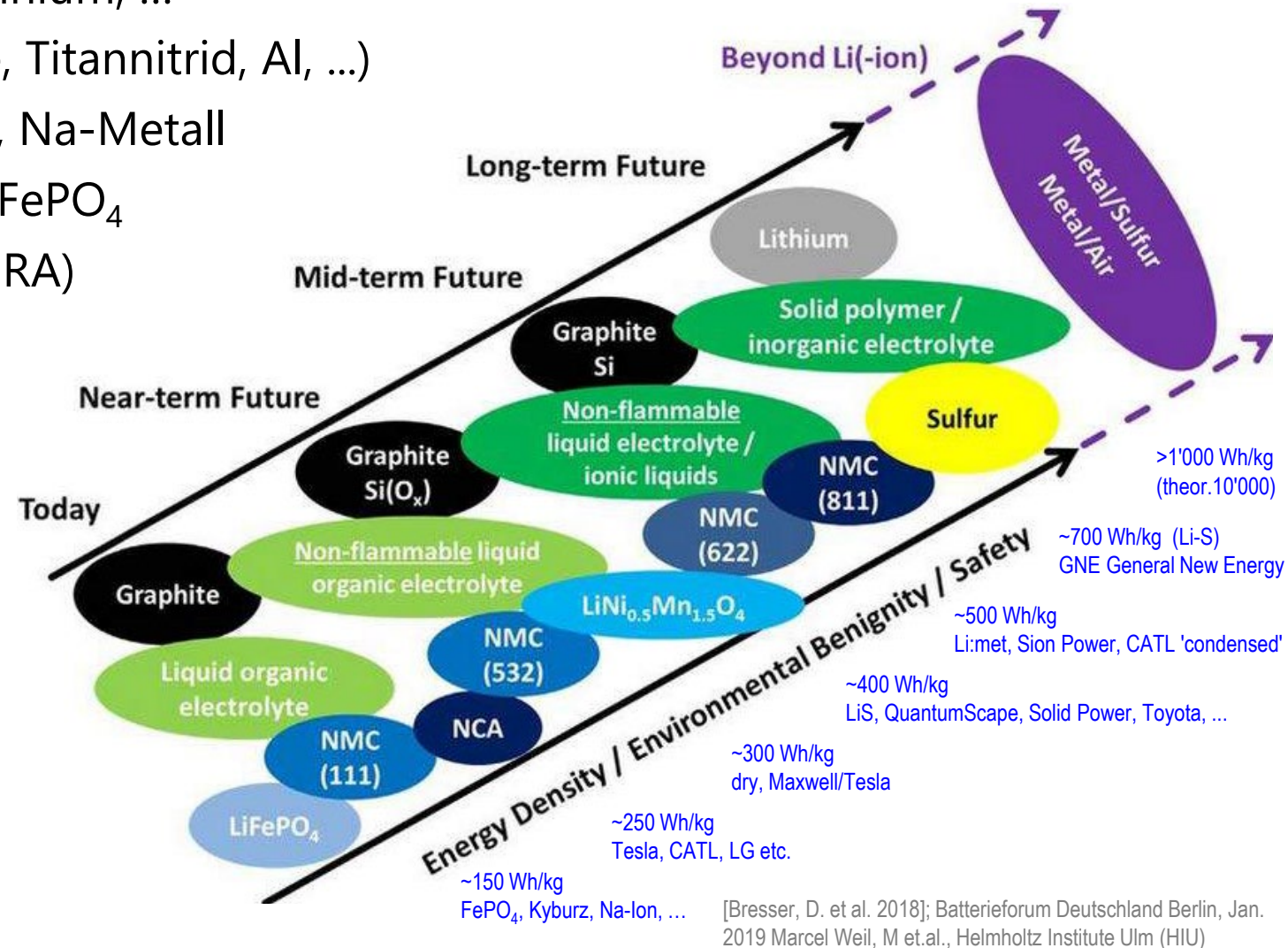
Ausblick und Trends

Viele Wege sind möglich, nicht nur Li-Ionen

- Schwefel, Natrium, Magnesium, Aluminium, ...
- Solid-state Elektrolyten (closo-borane, Titannitrid, Al, ...)
- Anode: Graphit mit Silizium, Li-Metall, Na-Metall
- Kathode: Wenig Cobalt, NMC 8:1:1, LiFePO₄
- 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



Batterien

Der Weg ist steinig – aber die Aussichten sind faszinierend

Cell-to-pack

Form

Si-Graphit-
Anode

Material

4680

Form

LMFP-
Kathode

Material

Hallelujah

Redox
Flow

Techno
logie

Hallelujah

Solid-state-
Akku

Material

Hallelujah

Li-Luft-
Akku

Material

LFP-
Kathode

Material

Na-Ionen-
Akku

Material

Dry coating-
Prozess

Merci!