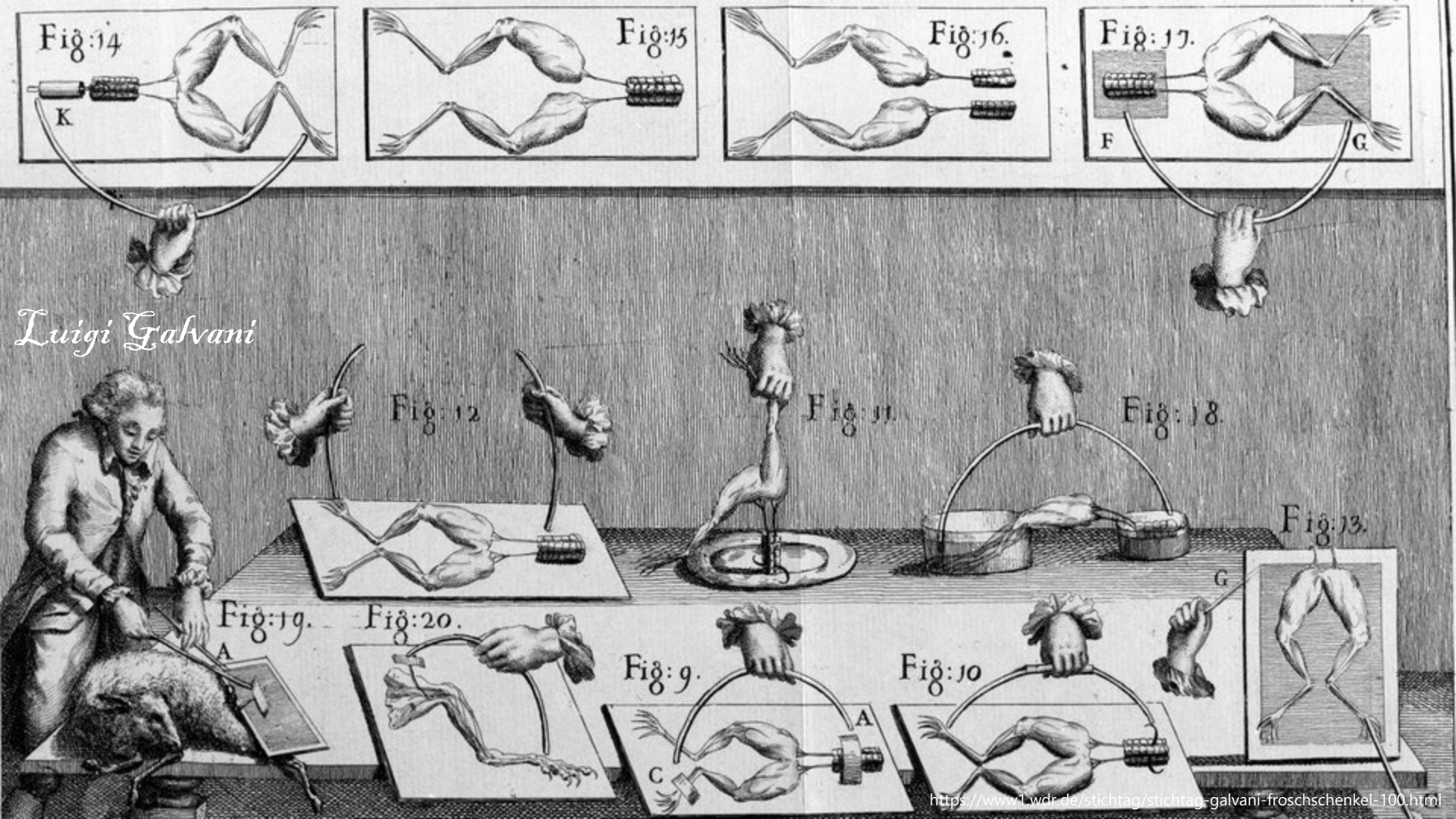
Empa
Materials Science and Technology

Vom Froschschenkel zum Flugzeug: Batterien gestern, heute und morgen

Herbstanlass EWG
Winterthur

17.11.2023

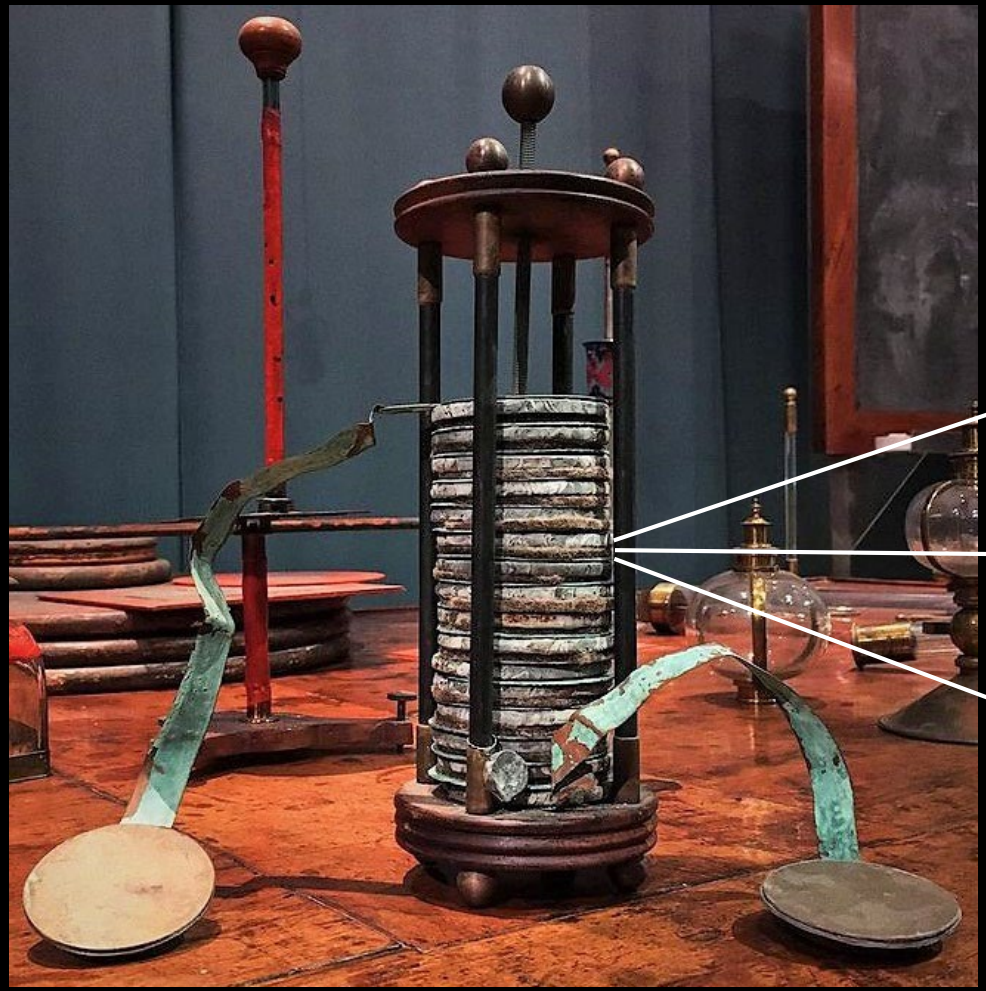
Martin Gasser martin.gasser@empa.ch



https://www1.wdr.de/stichtag/stichtag-galvani-froschschenkel-100.html

1800

Empa
Materials Science and Technology



30 65.38
Zn
Zinc

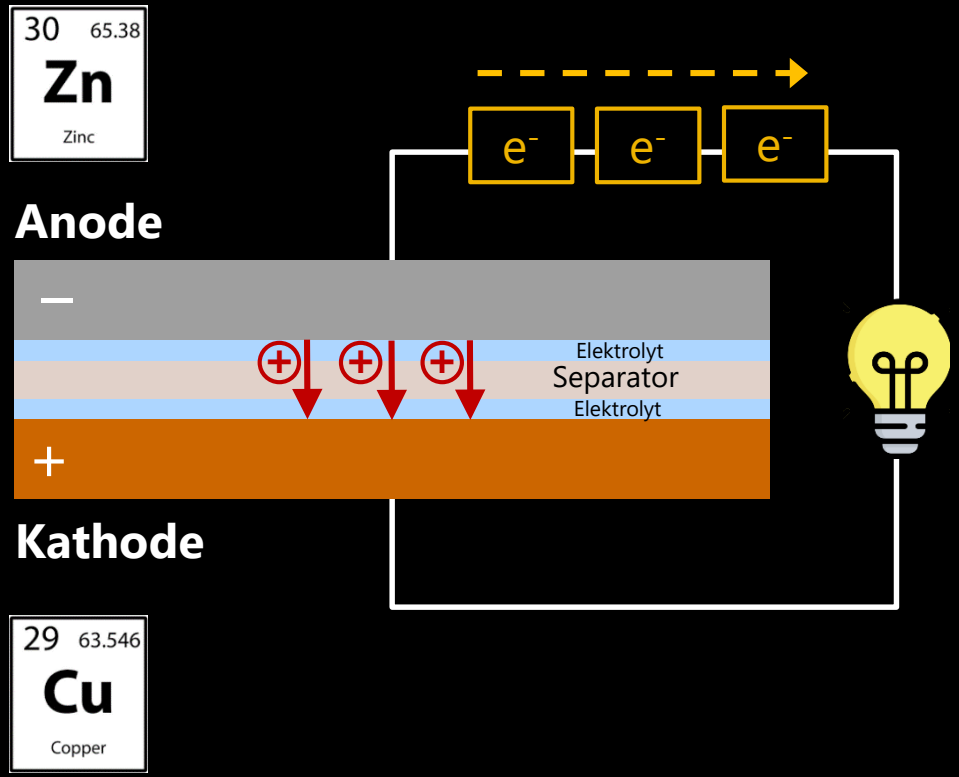
Papier
+
Salzwasser

29 63.546
Cu
Copper

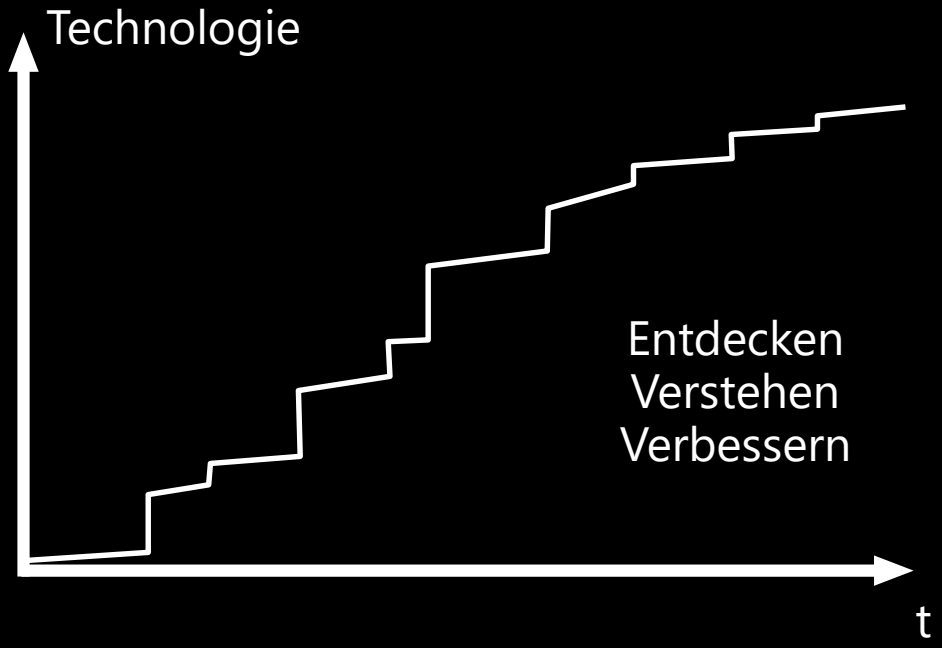
https://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic_pile#/media/File:Pila_di_volta.jpg

Empa
Materials Science and Technology

Papier
+
Salzwasser

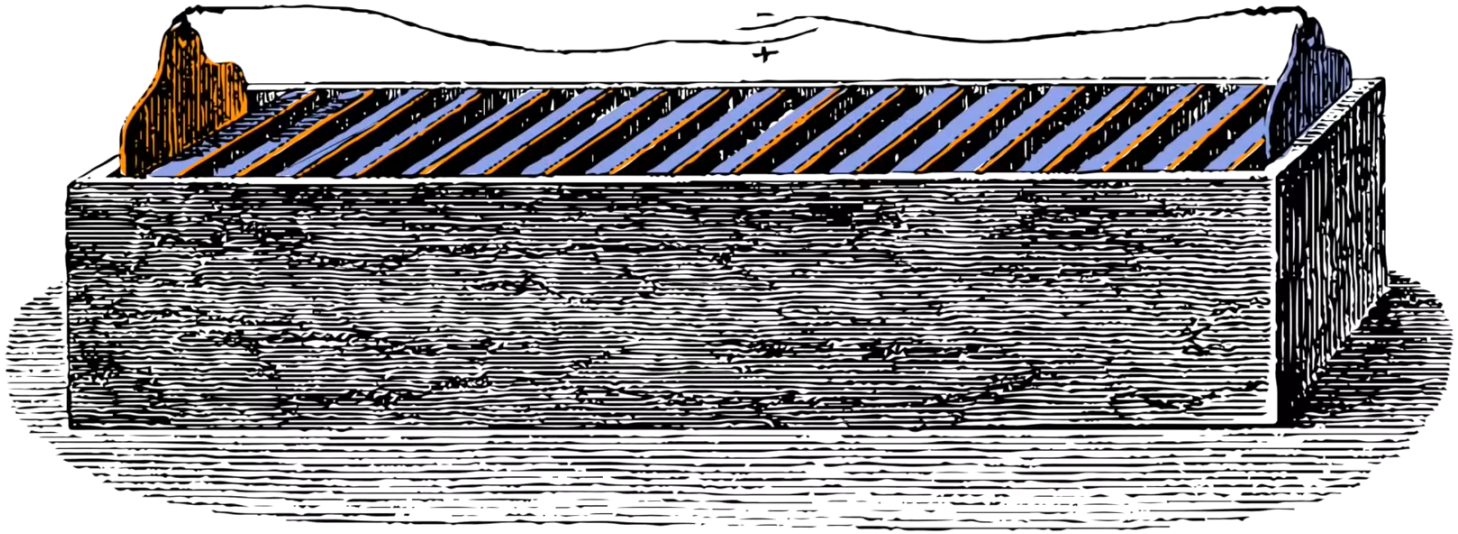


Empa
Materials Science and Technology



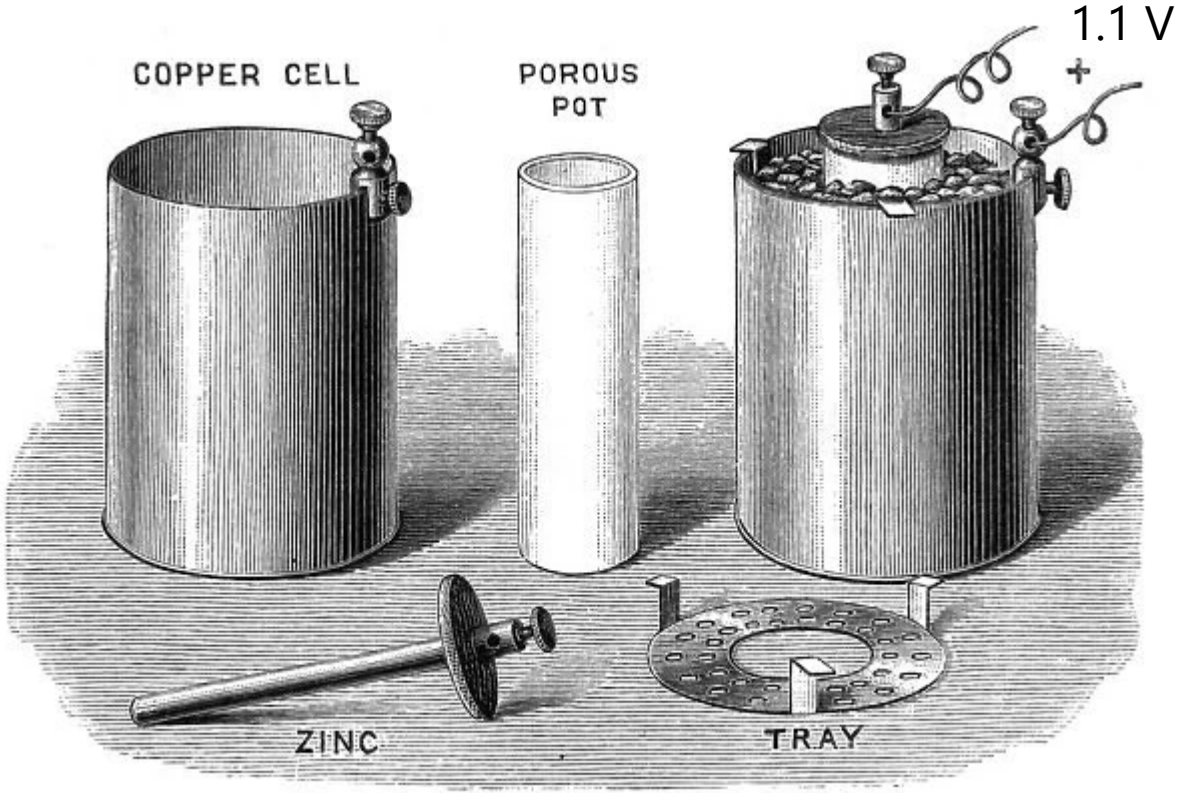
https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday/Theory-of-electrochemistry

1800



https://www.mediastorehouse.com.au/mary-evans-prints-online/electricity-daniell-cell-14287271.html

1836

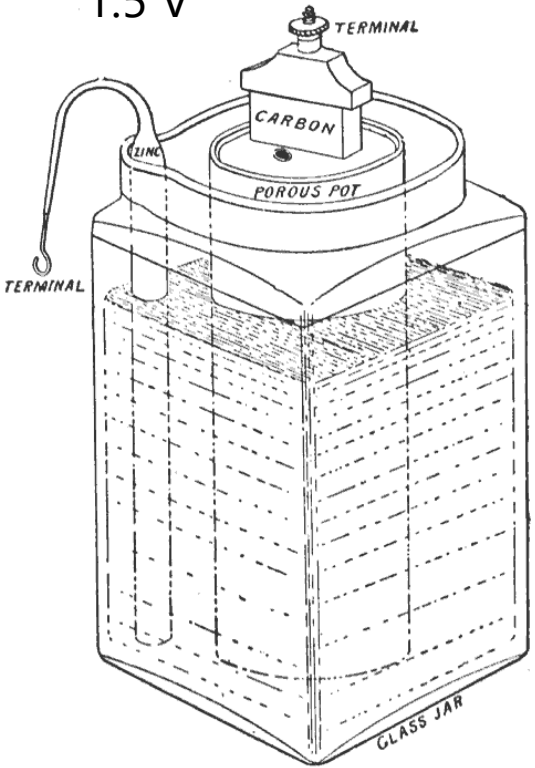


Daniell-Zelle

https://www.mediastorehouse.com.au/mary-evans-prints-online/electricity-daniell-cell-14287271.html

1866

1.5 V



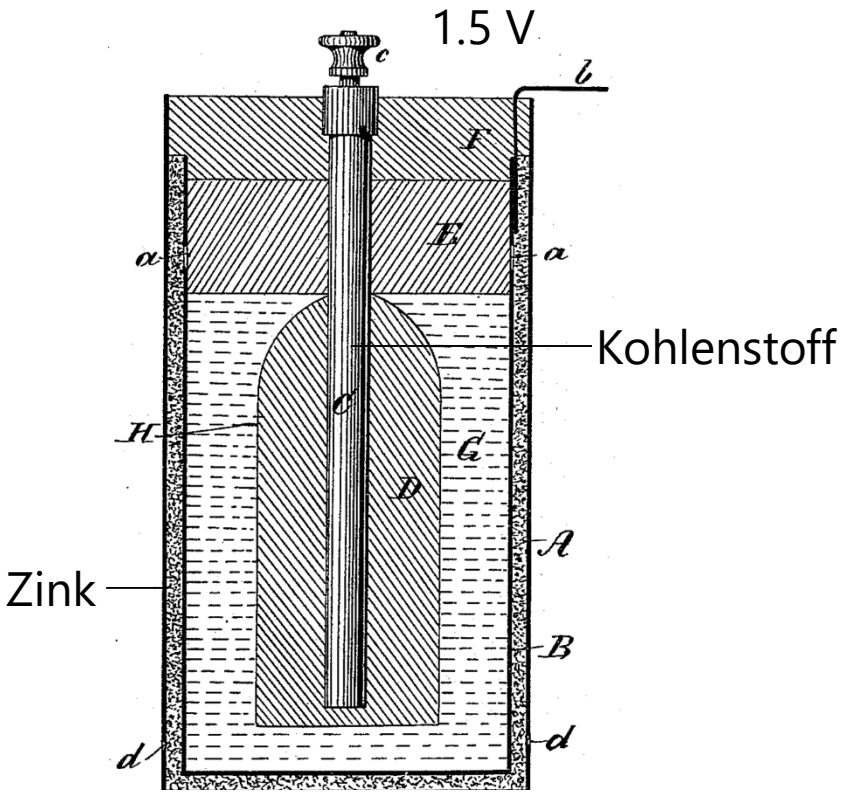
Leclanché-Zelle

https://en.wikipedia.org/wiki/Leclanch%C3%A9_cell#/media/File:Leclanche_cell.gif

RECEIVING MESSAGES FROM THE GREAT EASTERN IN THE INSTRUMENT-ROOM OF THE TELEGRAPH HOUSE AT FOILHOMMERUM, VALENCIA.—

Empa
Materials Science and Technology
https://www.sciencephoto.com/media/363545/view/telegraph-office

1886



Trockenzelle

https://patents.google.com/patent/US439151

1896

1.5 V

15.2 cm

Serienproduktion

https://en.wikipedia.org/wiki/Dry_cell#/media/File:Battery-patent-US439151.png

Empa
Materials Science and Technology

Fig. 1.

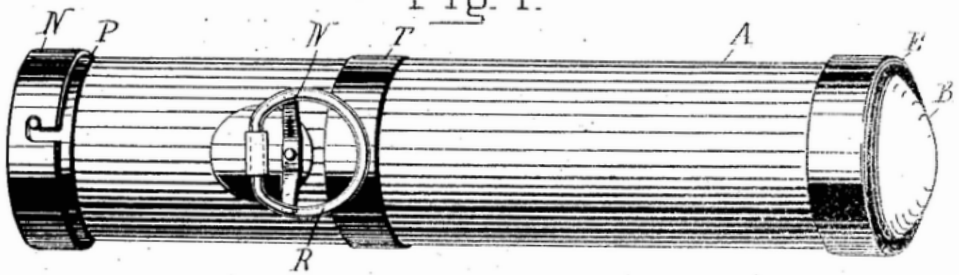
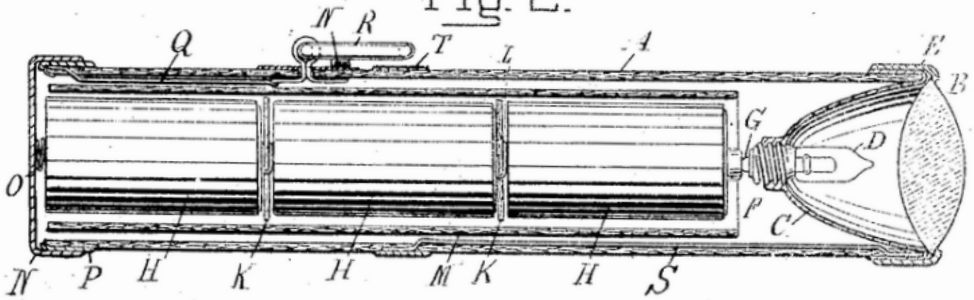


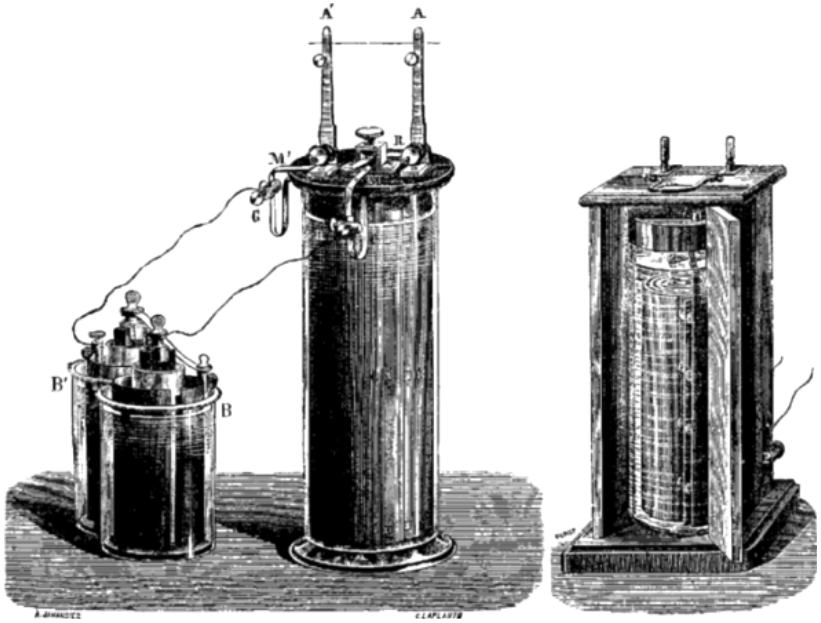
Fig. 2.



https://patents.google.com/patent/US617592A/en

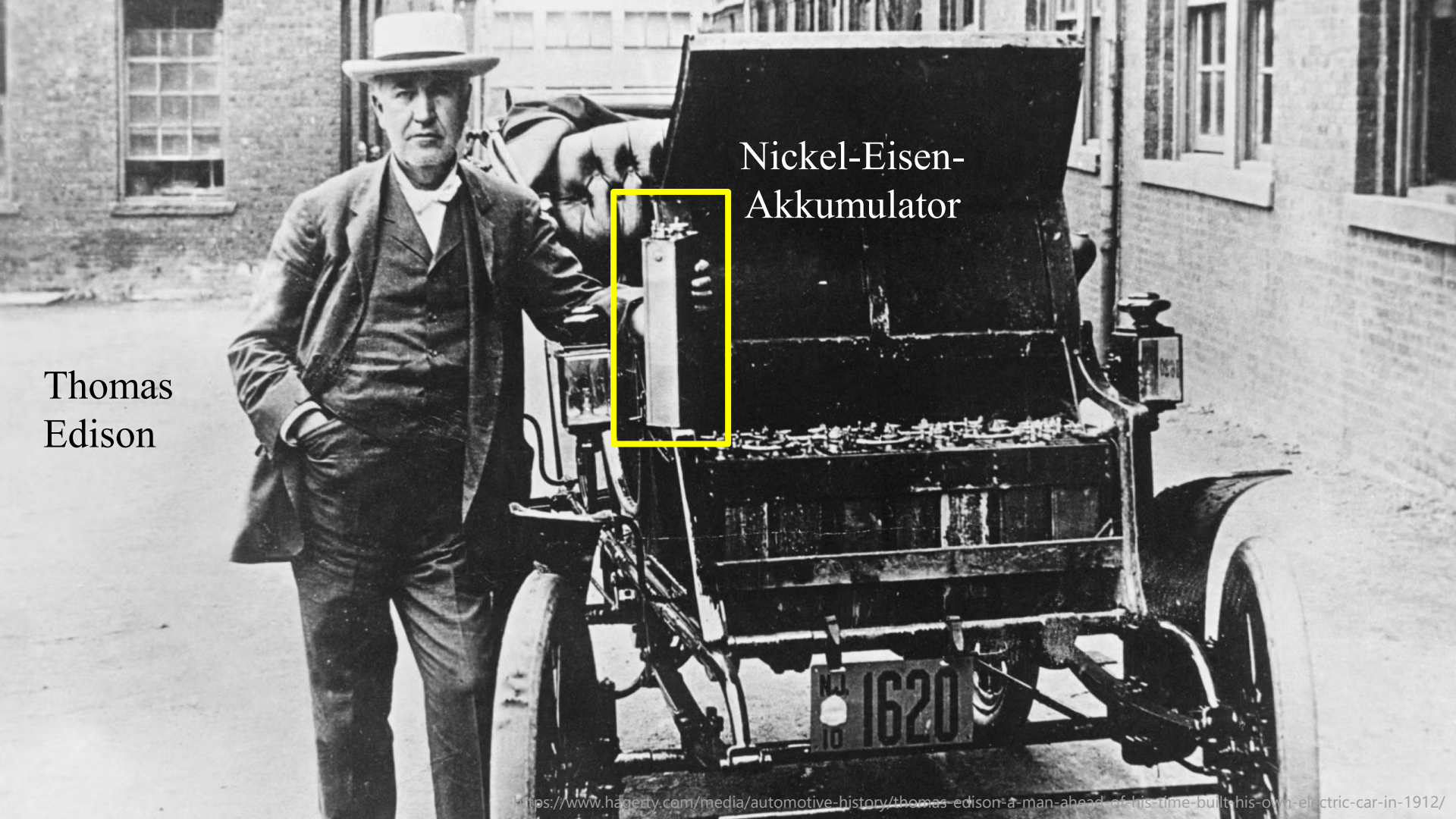
1859

2 V



Akkumulator

https://www.upsbatterycenter.com/blog/gaston-plantes-lead-acid-battery-cell/



https://www.hagerty.com/media/automotive-history/thomas-edison-a-man-ahead-of-his-time-built-his-own-electric-car-in-1912/

1960s

1.5 V

Alkalizelle

https://de.wikipedia.org/wiki/Alkali-Mangan-Zelle

1989

Empa
Materials Science and Technology

Nickel-Metallhydrid-Akkumulator

https://de.wikipedia.org/wiki/Nickel-Metallhydrid-Akkumulator

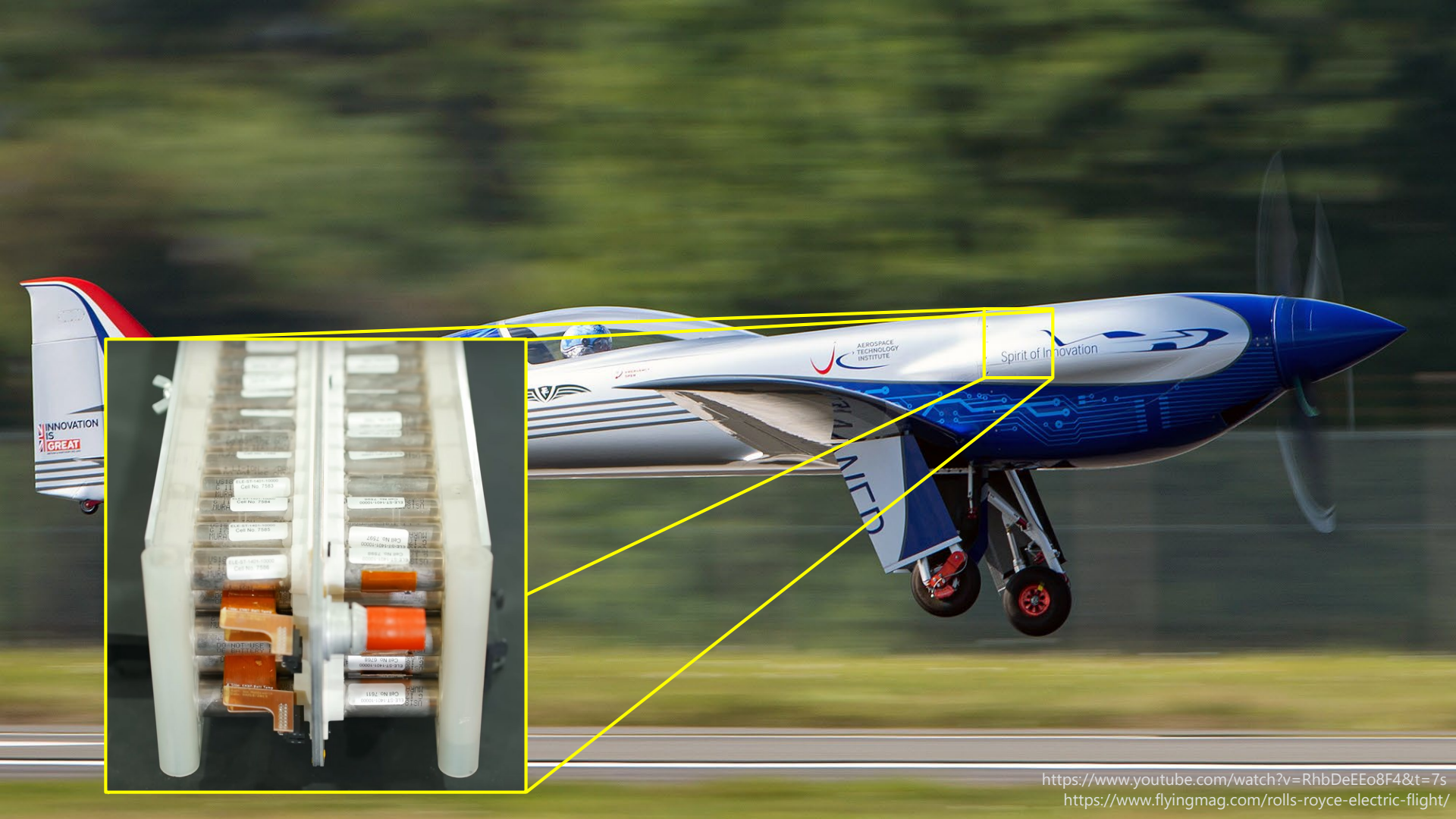
1991

3.7 V

Lithium-Ionen-Akkumulator

https://www.batterydesign.net/sony-lithium-ion-batteries-worlds-first-commercialized-lib-1991/

Empa
Materials Science and Technology



https://www.youtube.com/watch?v=RhbDeEEo8F4&t=7s
https://www.flyingmag.com/rolls-royce-electric-flight/

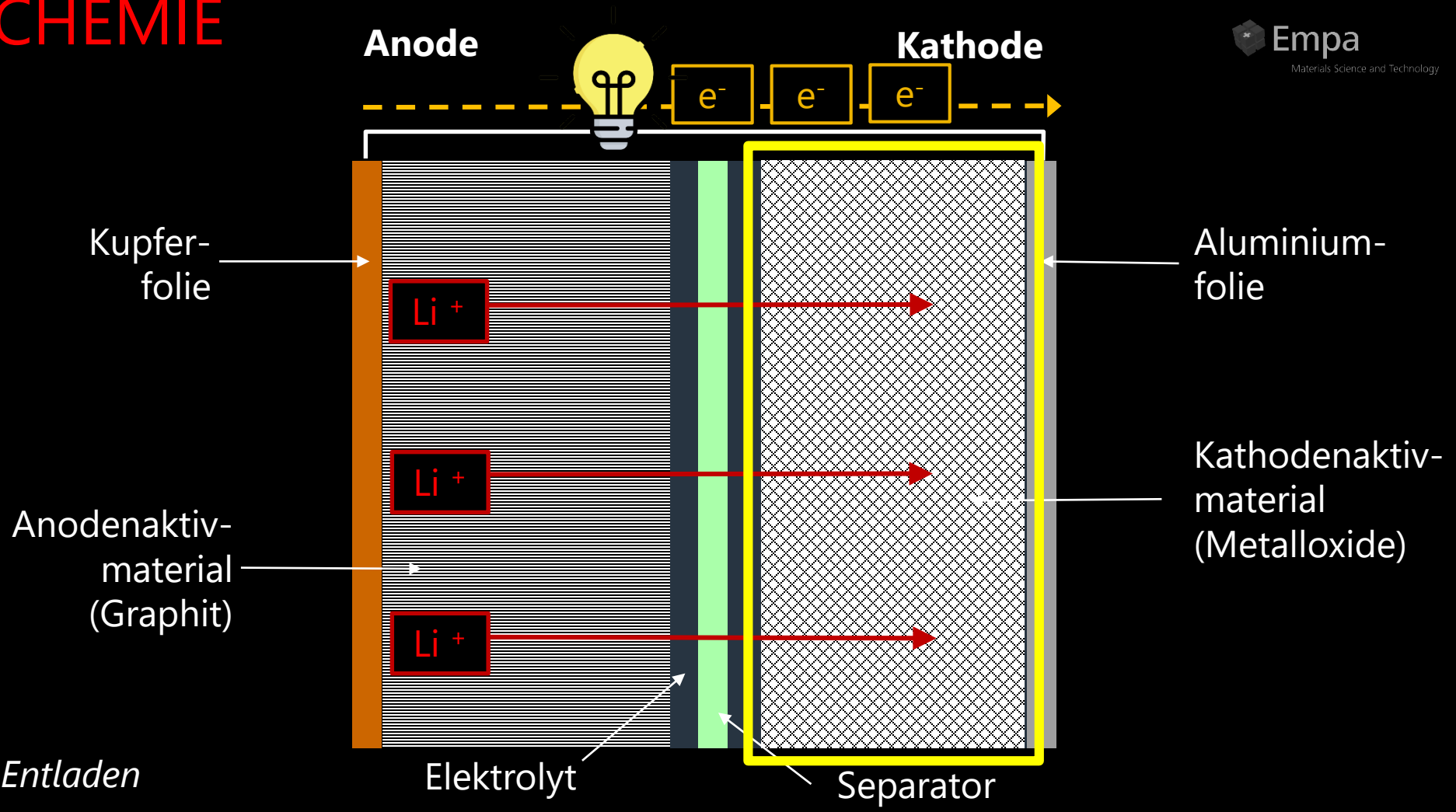
Empa
Materials Science and Technology

M1
Q1

Ingenbohl
18 MWh
20 MW
https://www.mwstorage.ch/anlagen-und-partner

https://www.tesla.com/cn/videos/moss-landing-megapack

CHEMIE



Entladen

Empa
Materials Science and Technology

Nickel

Mangan

Kobalt

NMC
3.7 V

Eisen

Phosphat

LFP
3.3 V

~250 Wh/kg
~1’500 Ladezyklen

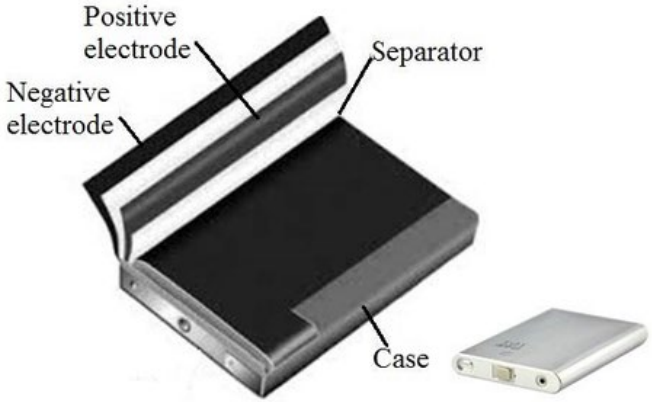
~180 Wh/kg
~3’000 Ladezyklen

FORM

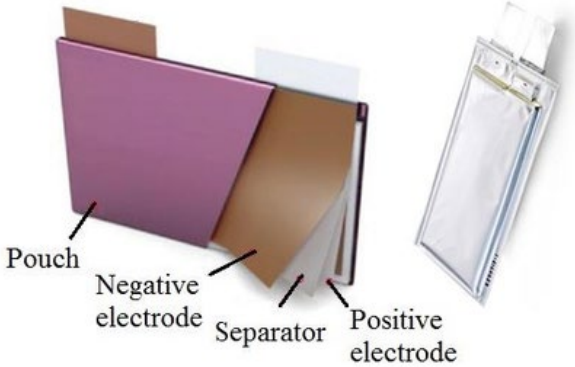
Empa
Materials Science and Technology

Cylindrical cell

Prismatic cell



Pouch cell



Empa
Materials Science and Technology

85 kWh
540 kg

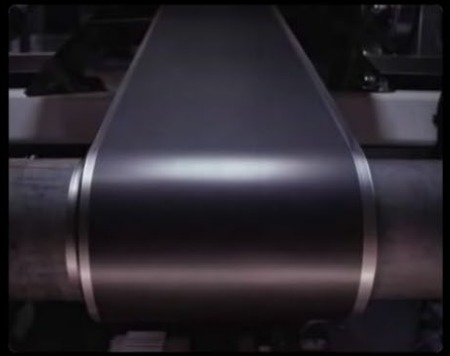
TESLA Model S

72 kWh
450 kg

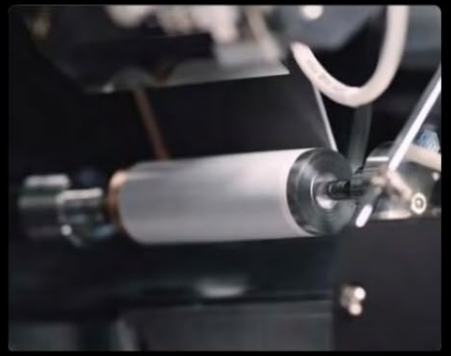
Hyundai IONIQ 5

https://www.qnovo.com/blogs/peek-inside-the-battery-of-a-tesla-model-s
https://insideevs.com/news/539940/hyundai-ioniq5-battery-pack-opened/

Empa
Materials Science and Technology



ELECTRODE

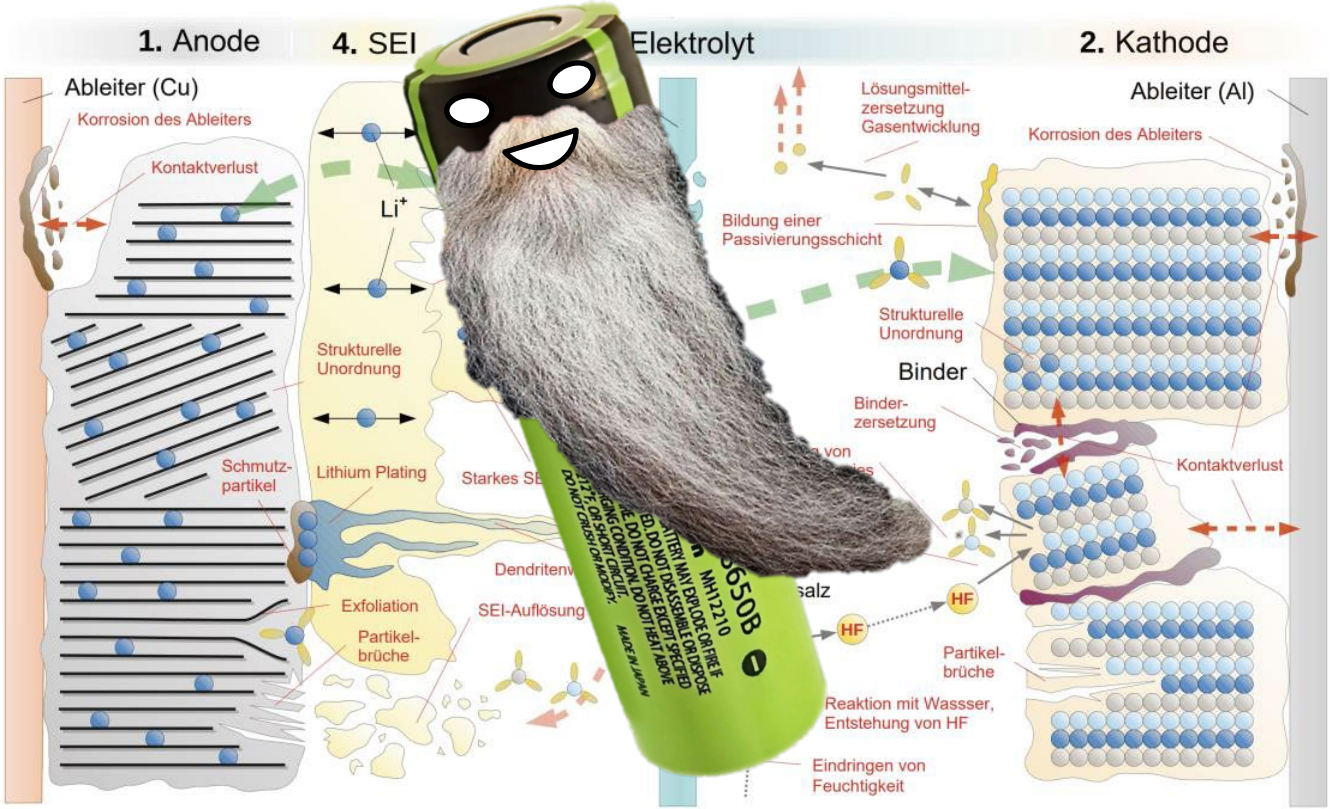


WINDING

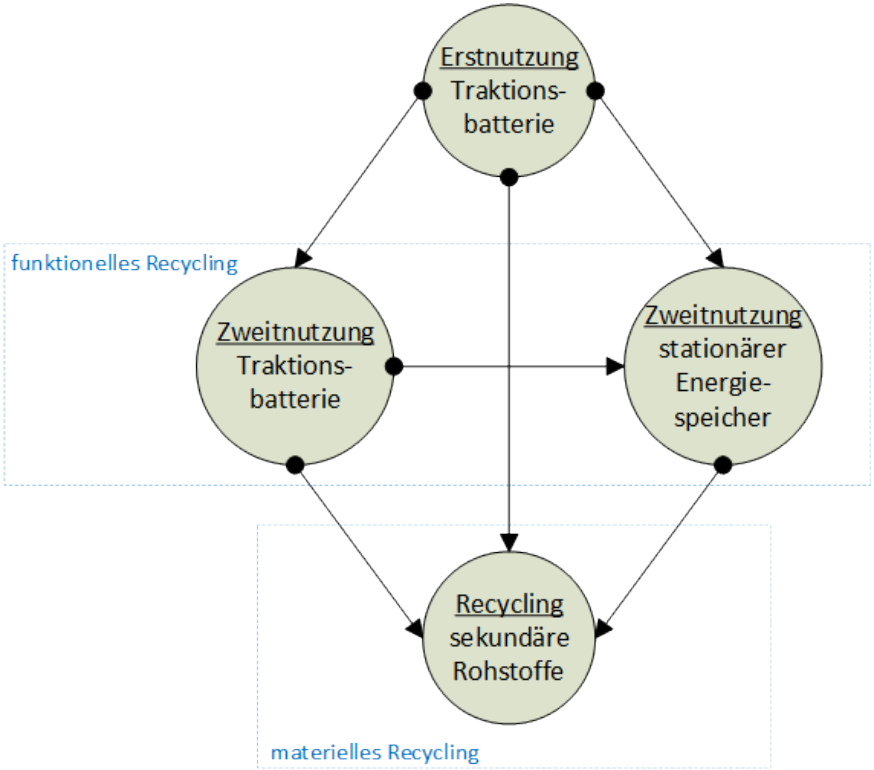
ASSEMBLY

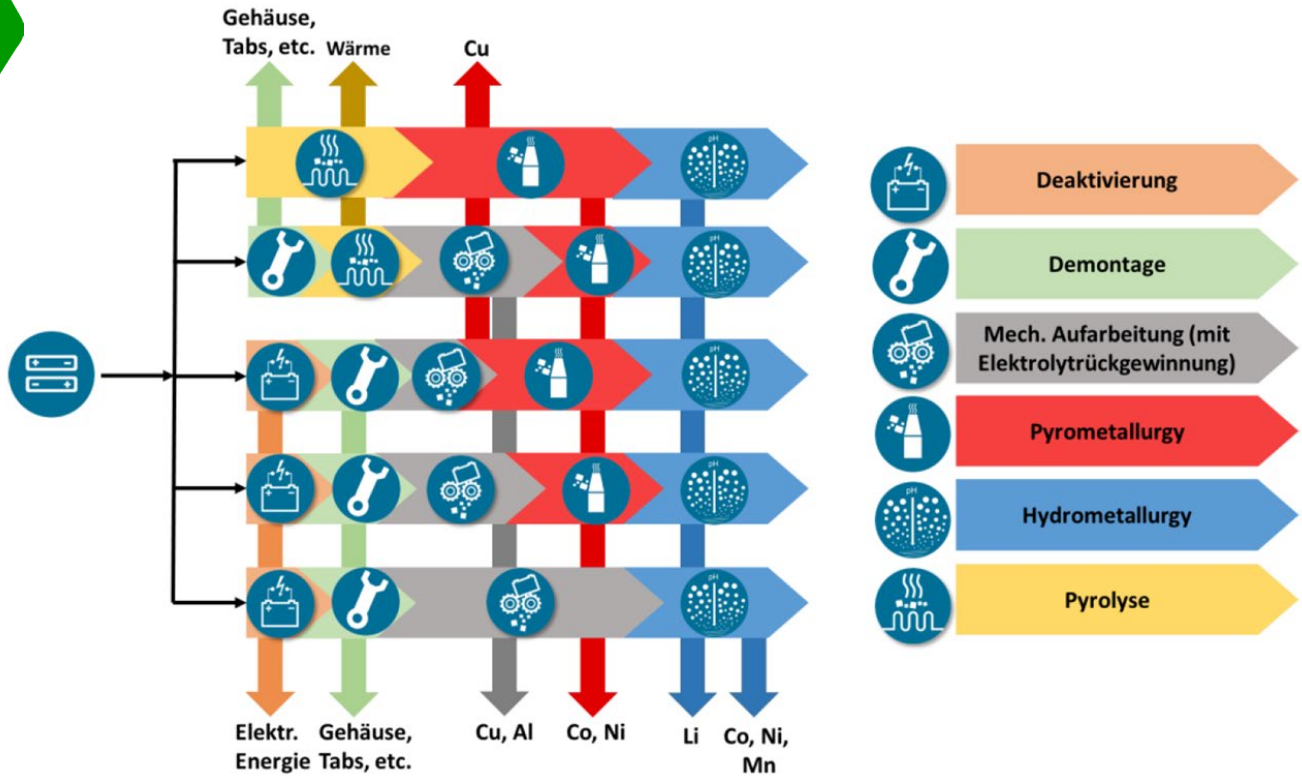
FORMATION

https://www.tesmanian.com/de/blogs/tesmanian-blog/tesla-expects-to-reach-mass-production-of-4680-battery-cells-next-year


1. Anode
4. SEI
Elektrolyt
2. Kathode
Ableiter (Cu)
Korrosion des Ableiters
Kontaktverlust
Li+
Strukturelle Unordnung
Schmutz-partikel
Lithium Plating
Starkes SE
Dendriten
Exfoliation
Partikel-brüche
SEI-Auflösung
Lösungsmittel-zersetzung Gasentwicklung
Bildung einer Passivierungsschicht
Strukturelle Unordnung
Binder
Binder-zersetzung
Kontaktverlust
HF
HF
Partikel-brüche
Reaktion mit Wassser, Entstehung von HF
Eindringen von Feuchtigkeit
Ableiter (Al)
Korrosion des Ableiters

Lebensphasen von Batterien




Gehäuse, Tabs, etc.
Wärme
Cu
Elektr. Energie
Gehäuse, Tabs, etc.
Cu, Al
Co, Ni
Li
Co, Ni, Mn
Deaktivierung
Demontage
Mech. Aufarbeitung (mit Elektrolytrückgewinnung)
Pyrometallurgy
Hydrometallurgy
Pyrolyse

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

Was ist ein guter Akku?

Empa
Materials Science and Technology

Energiedichte
(gravimetrisch, volumetrisch)

Leistung
Lade-/Entladegeschwindigkeit

Kalendarische Lebensdauer
Zyklenbeständigkeit

Thermischer Einsatzbereich

Sicherheit

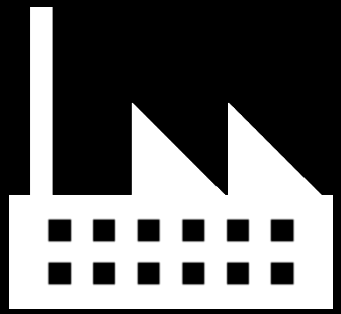
Kosten

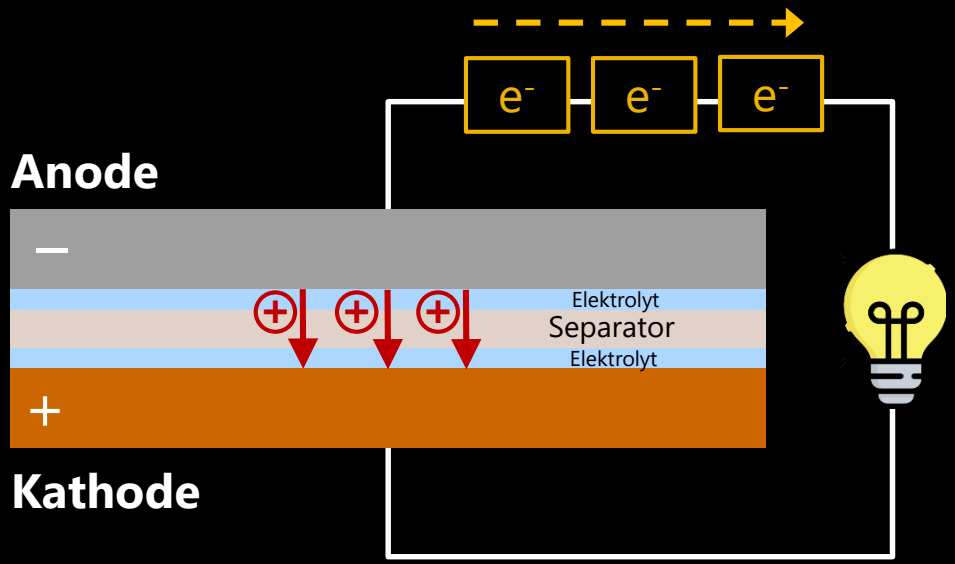
Innerer Widerstand

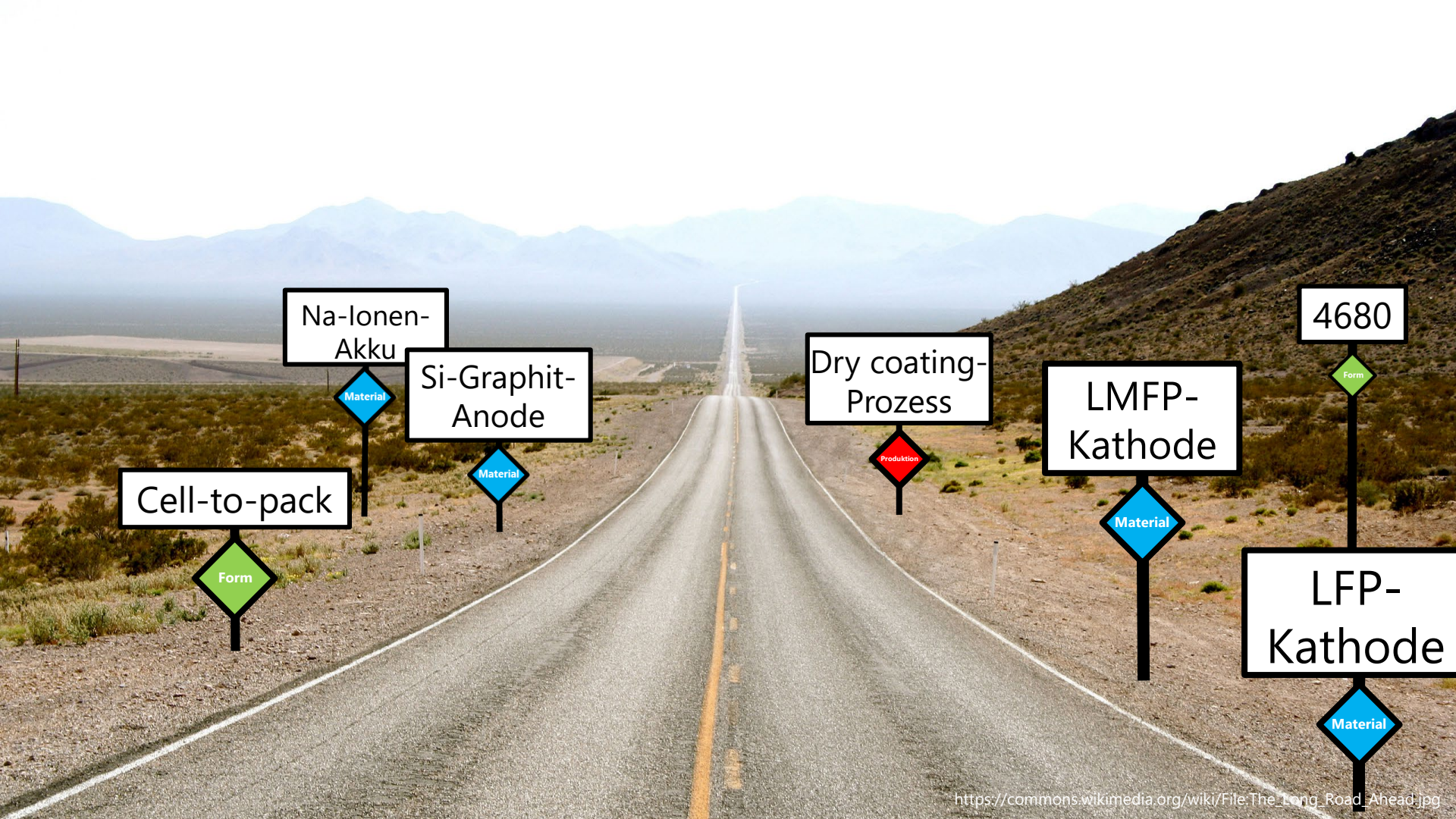
Umweltauswirkungen
Produktion

Selbstentladung

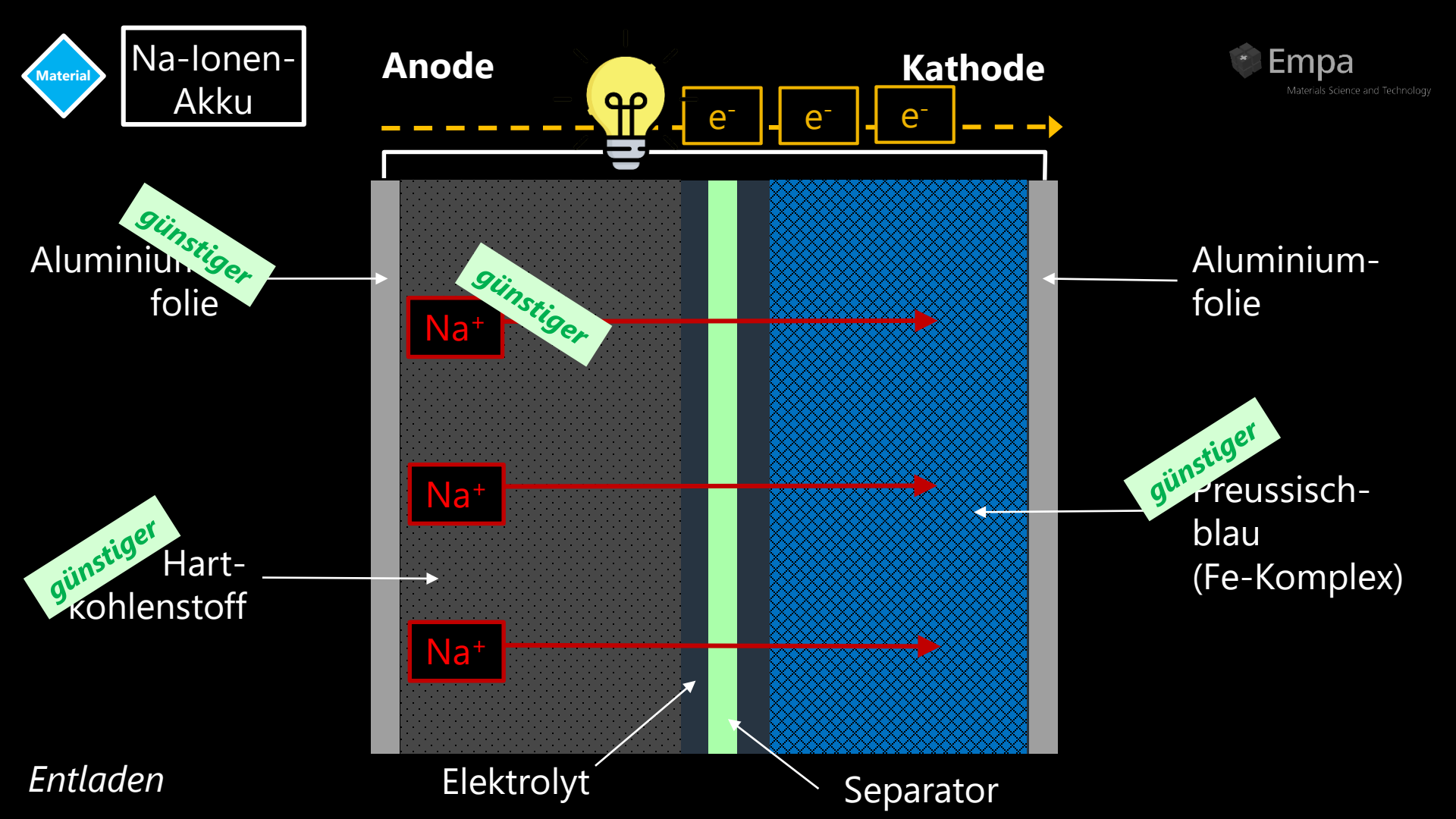
Komplexität der
Art und Verfügbarkeit
der benötigten Materialien




e⁻
e⁻
e⁻
Anode
−
Elektrolyt
Separator
Elektrolyt
+
Kathode



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

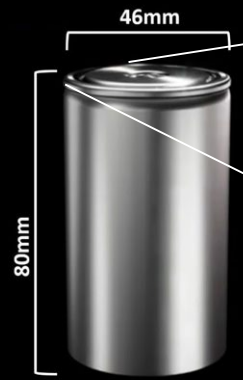

Material
Na-Ionen-Akku
Anode
Kathode
Empa
Materials Science and Technology
e-
e-
e-
günstiger
Aluminium-folie
günstiger
Na+
Aluminium-folie
Na+
günstiger
Preussisch-blau (Fe-Komplex)
günstiger
Hart-kohlenstoff
Na+
Entladen
Elektrolyt
Separator

Form

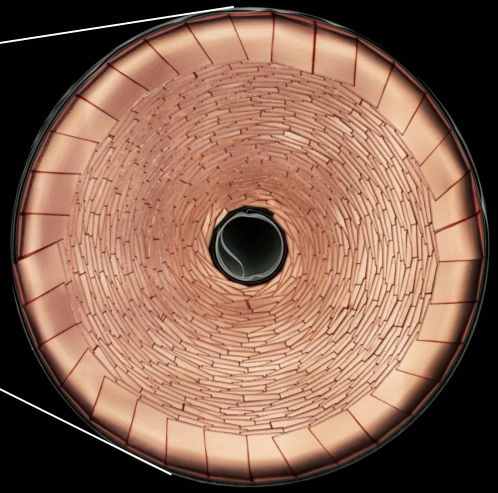
4680

Empa
Materials Science and Technology

2170



4680



weniger Verpackung
pro Aktivmaterial

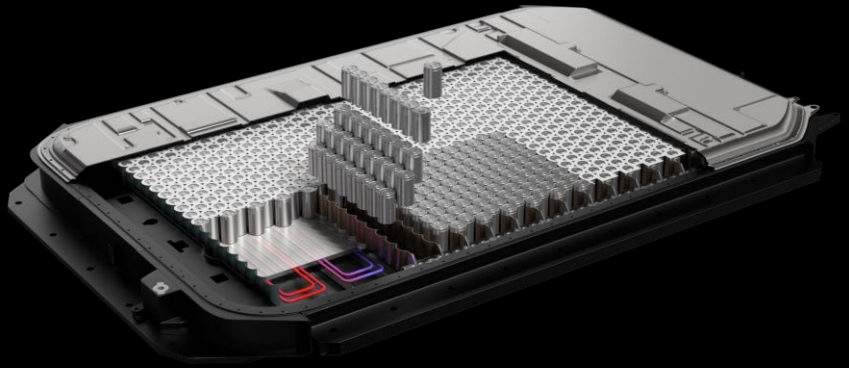
verbesserte Kontaktierung

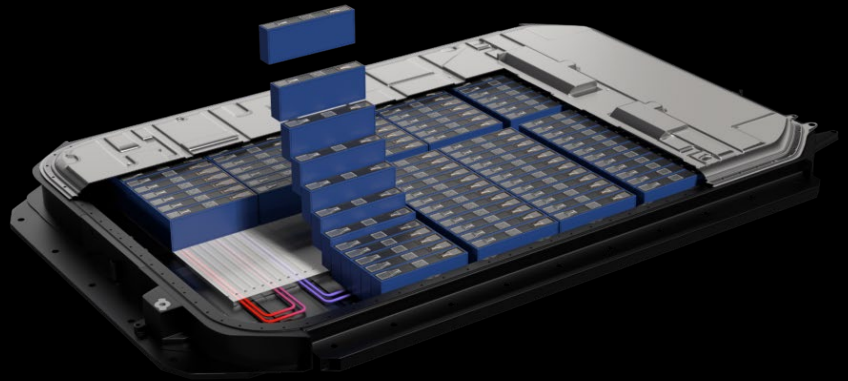
https://cleantechnica.com/2020/09/22/everything-you-need-to-know-about-teslas-new-4680-battery-cell/

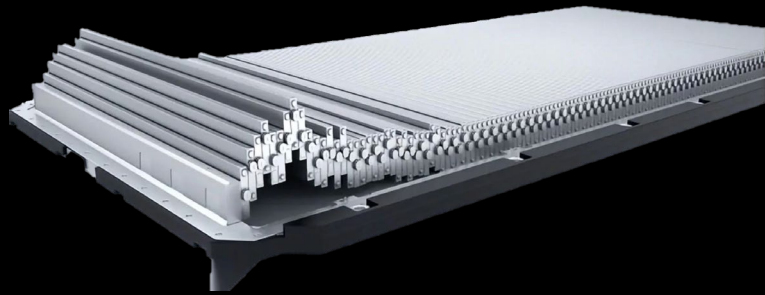
Form

Cell-to-pack Design

Empa
Materials Science and Technology





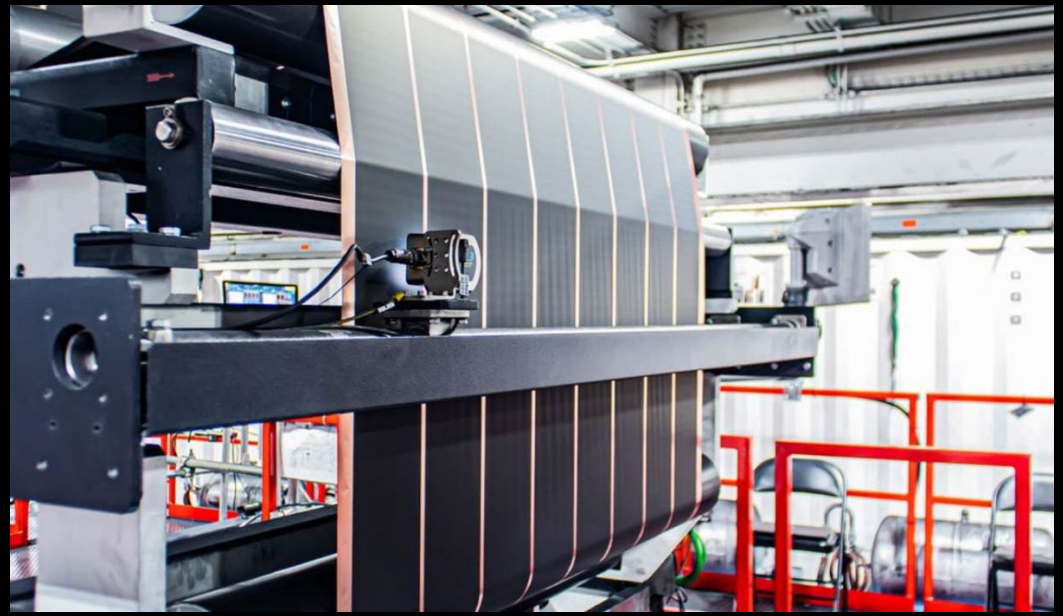


https://www.emobility-engineering.com/cell-to-pack-batteries/
https://www.topcarstesla.com/blogs/news/tesla-to-equip-model-y-with-byds-blade-battery

Produktion

Dry coating-Prozess

Empa
Materials Science and Technology



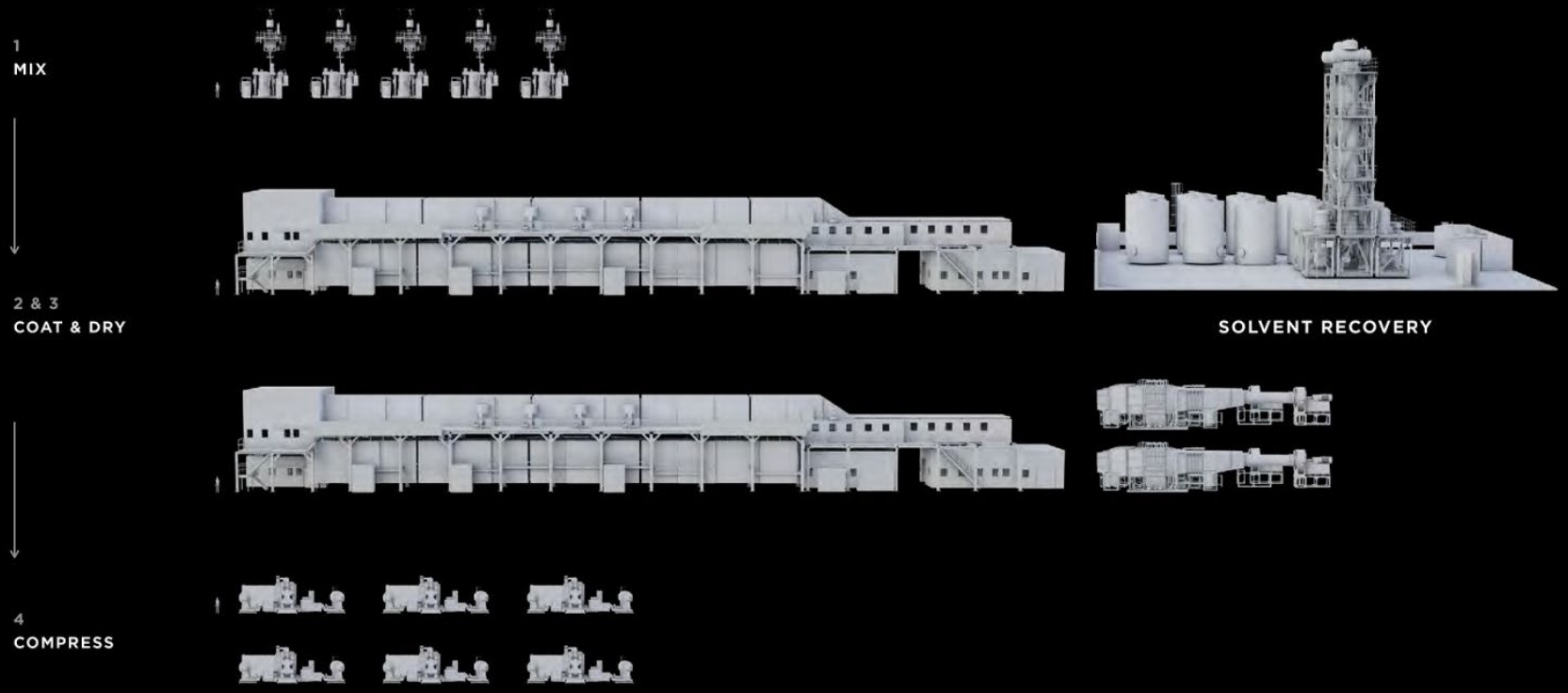
https://www.electrive.net/2023/04/24/tesla-produziert-in-texas-zweite-4680-zellgeneration/

Produktion

Dry coating-Prozess

Empa
Materials Science and Technology

Electrode – Wet Process



https://public.com/posts/teslas-leadership-in-manufacturing-4814839624

Produktion

Dry coating-Prozess

Empa
Materials Science and Technology

Dry Electrode

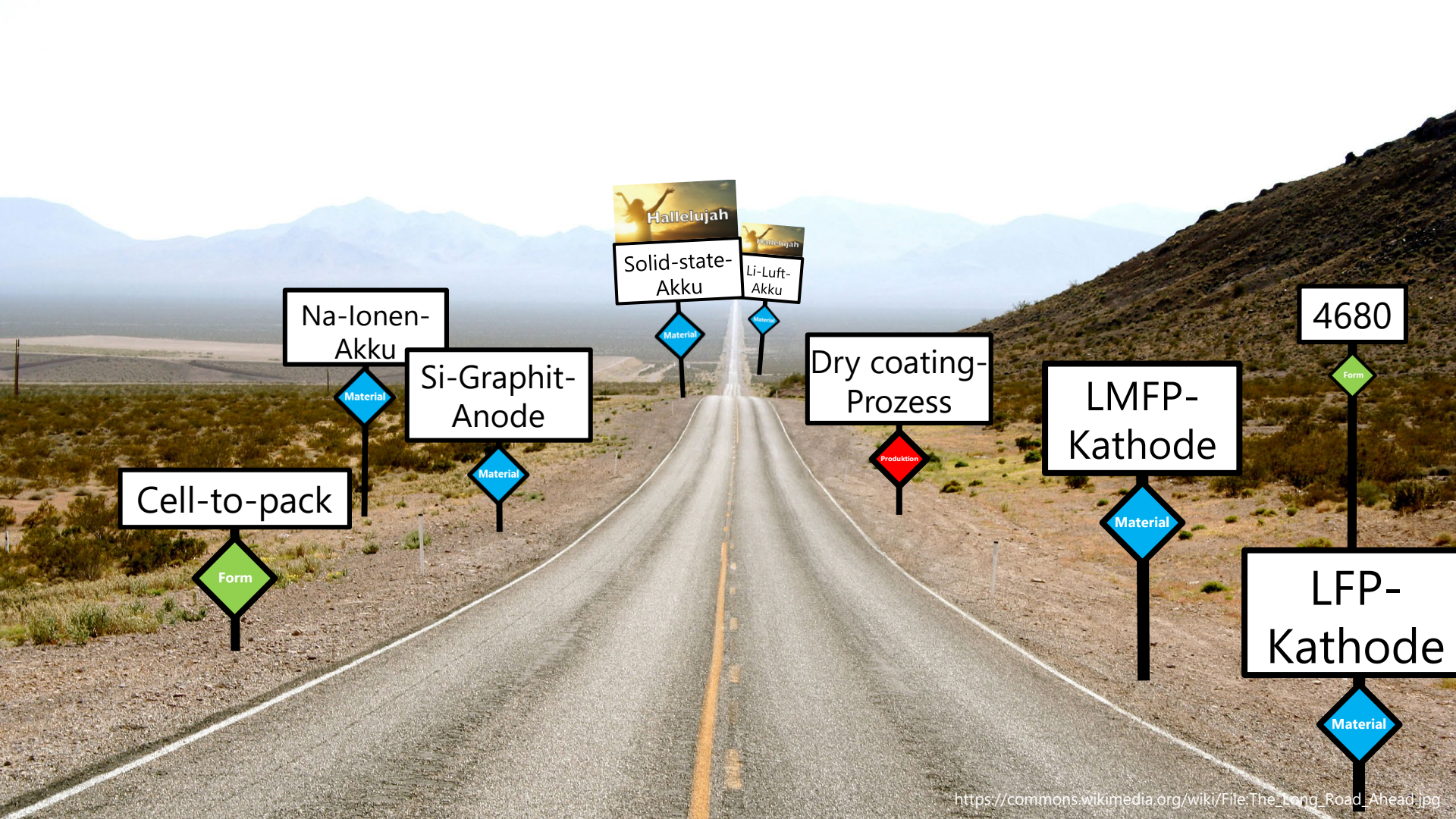
1
MIX

2
DRY COAT

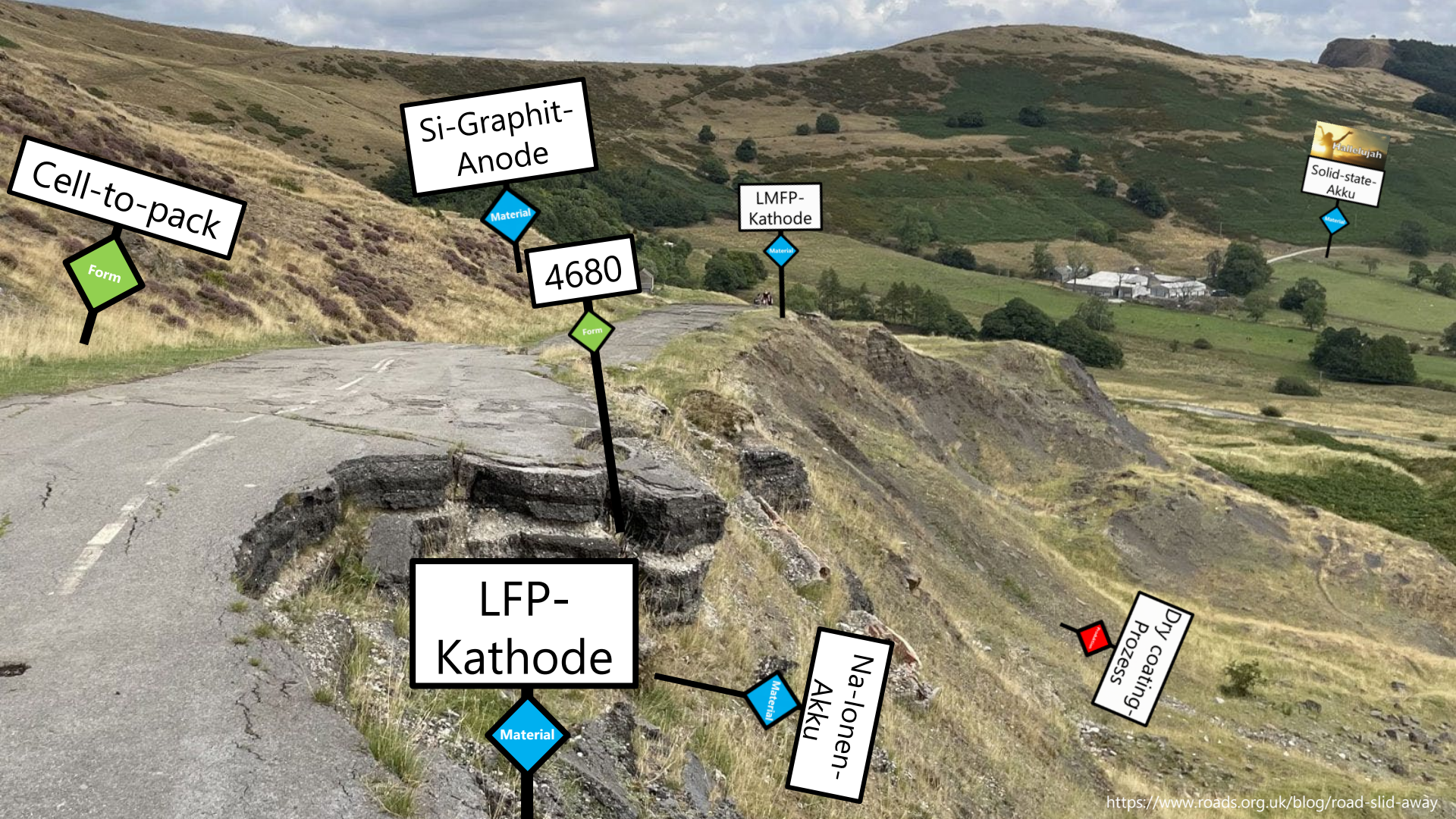
10x
FOOTPRINT REDUCTION

10x
ENERGY REDUCTION

https://public.com/posts/teslas-leadership-in-manufacturing-4814839624



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



https://www.roads.org.uk/blog/road-slid-away

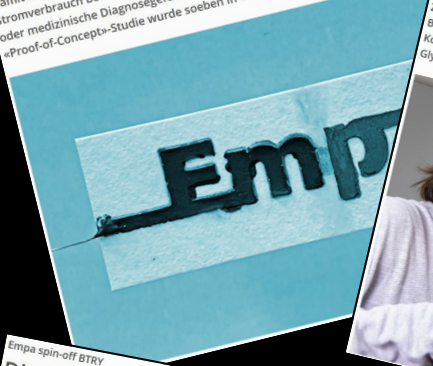
Empa
Materials Science and Technology

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 geringen ...ensoren, Stromverbrauch betreiben, etwa intelligente Etiketten zum Tracking von Objekten, U... oder medizinische Diagnosegeräte – und erst noch deren Umweltauswirkungen mi... «Proof-of-Concept»-Studie wurde soeben in «Scientific Reports» veröffentlicht.



10.01.2018 | 15:01 | VERSCHIEDENES

TRENDS

Empa-Forscher verbessern Batterie auf Wasserbasis

Teaserbild-Quelle: PTNorbert, pixabay, gemeinfrei

Wasser könnte künftig die Basis für besonders preisgünstige aufladbare Batterien bilden. Empa-Forschern ist es mit einer speziellen Salzlösung gelungen, die elektrochemische Stabilität von Wasser zu verdoppeln.

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.

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.

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.

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 nutzte die Forschungsgruppe um Yaroslav Romanyuk laut einer Medienmitteilung des in Bern ansässigen Schweizerischen Nationalfonds (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 Erstautor 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 ...hundertmal dünner als ein menschlicher Haar...

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.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!