



Li-Ionen Zellen Vom Rohstoff zum Recycling

Lithium als Batteriekomponente

Auf Li-Ionen basierte elektrochemische Zellen



Eine **Lithiumbatterie** ist eine **Primärzelle**, bei der Lithium als aktives Material in der negativen Elektrode verwendet wird. Sie ist nicht wieder aufladbar.

Lithium-Ionen-Akkumulator ist der Oberbegriff für Akkumulatoren auf der Basis von Lithium-Verbindungen in allen drei Phasen der elektrochemischen Zelle (inklusive Elektrolyt).

Häufig genutzte Li-Ionen Zellen:

	Leerlaufspannung, V	Energiedichte, Wh/kg
Lithium-Eisenphosphat (LiFePO_4)	3.3	90 - 120
Lithium-Cobaltdioxid (LiCoO_2)	3.6	150 - 200
Lithium-Nickel-Mangan-Cobaltdioxid (LiNiMnCoO_2)	3.7	150 - 220
Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium (LiNiCoAlO_2)	3.6	200 - 260
Lithiumtitanat (LiTiO_2)	2.4	50 - 80
Lithium-Mangan (LiMn_2O_4)	3.7	100-150



Rohstoffe

Lithium (abgeleitet von altgriechisch λίθος *líthos* ‚Stein‘) ist ein chemisches Element mit dem Symbol **Li** und der Ordnungszahl 3.

Lithium hat einen Anteil an der Erdkruste von etwa 0,006%.

Vorkommen und Abbau

Mengenmäßig wurden 2015 außerhalb der USA **35.000 Tonnen** Lithium gewonnen und überwiegend als Lithiumcarbonat (Li_2CO_3) gehandelt.

Die Reserven in den vorhandenen Minen werden auf rund **16 Millionen Tonnen** geschätzt (Stand: März 2018).

Das Weltvorkommen aus kontinentalen Solen, geothermischen Solen, aus dem Hectorit-Mineral, Ölfeld-Solen und aus dem Magma-Gestein Pegmatit wird auf **53,8 Millionen Tonnen** geschätzt.

Die größten Ressourcen sind in folgenden Ländern:

Argentinien	9,8 Mio. Tonnen
Bolivien	9 Mio. Tonnen
Chile	8,4 Mio. Tonnen
China	7 Mio. Tonnen
USA	6,8 Mio. Tonnen
Australien	5 Mio. Tonnen
Kanada	5 Mio. Tonnen
Kongo	5 Mio. Tonnen

Verwendung:

2% Pharma
2% Aluminium
3% Kunststoff
4% Klimaanlage
5% Strangguss
12% Schmiermittel
16% Andere
27% Batterien
29% Glas und Keramik

Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoff/[USGS](#) Mineral Resources, 2018

Rohstoffe

Cobalt ist ein seltenes Element der Erdkruste mit einem Anteil von etwa 0,004% und steht damit an dreißigster Stelle der nach Häufigkeit geordneten Elemente.

Abbau:

- 60% aus Kupferproduktion
- 38% aus Nickelproduktion
- 2% aus direkter Kobaltproduktion

Verwendung:

- 5% unbekannt
- 6% Katalysatoren
- 8% Farben/Keramik
- 14% Metallvergütung
- 18% Legierungen
- 49% Batterie/Chemie



Sources: DartonCommodities Ltd



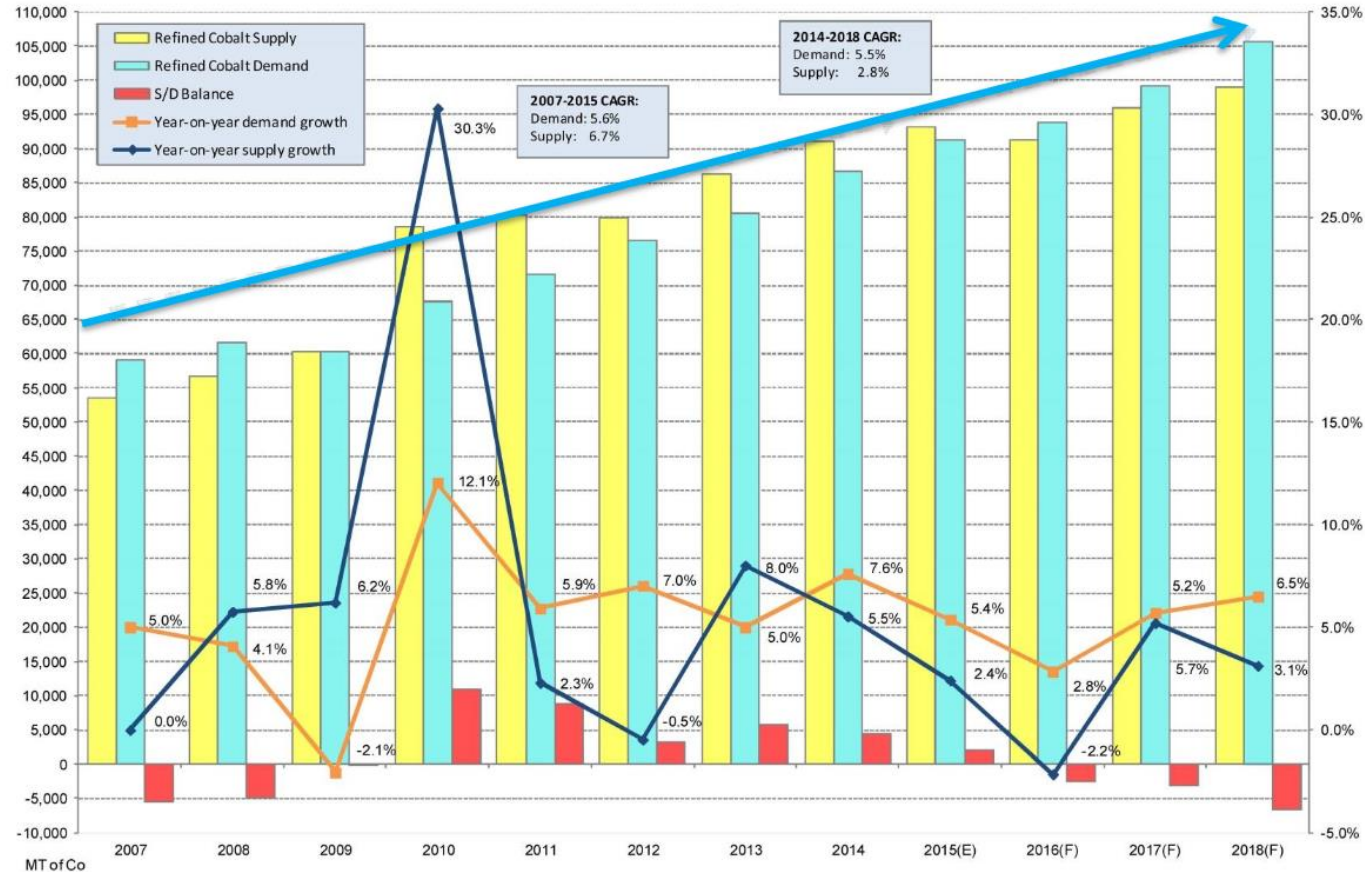
© [John Betts - Fine Minerals](#)

Cobalt

Rohstoffe



**Cobalt - Supply / Demand Balance
(2007-2017)**



Source: Darton Commodities Ltd. estimates

Mangan



Rohstoffe

Mangan ist ein häufiges Element der Erdkruste mit einem Anteil von 0,095% und damit das dritthäufigste Übergangsmetall.

Verwendung:

- 3% Pharma
- 4% Kunststoffe
- 4% Aluminium
- 6% Klimaanlage
- 12% Schmiermittel
- 17% Glas und Keramik
- 27% Batterien
- 27% Andere

Förderung 2009: 10,8Mio Tonnen

Abbau:

- 26,2% China
- 26% Afrika
- 14% Australien
- Und weitere



Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoff

Nickel



Rohstoffe

Nickel kommt mit einem Anteil von 0,008% in der Erdkruste vor.
Im Erdkern nimmt man einen Masseanteil von 5,2% an.

Verwendung:

- 57% Edelstahl
- 13% weitere Legierungen
- 11% Plattierungen
- 9% Stahlveredler
- 6% Gießereien
- 4% sonstige

Produktion in Mio.t:

- 400.000 Indonesien
- 230.000 Philippinen
- 210.000 Neukaledonien
- 210.000 Kanada
- 190.000 Australien
- 180.000 Russland
- 140.000 Brasilien
- 98.000 China
- 86.000 Guatemala
- 51.000 Kuba

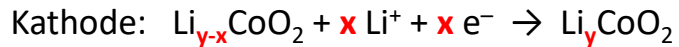


Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoff

Von Alchemist-hp (talk) (www.pse-mendeleejew.de) - Eigenes Werk, FAL,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11536245>

Li-Ionen Zellstruktur

Electrochemische Reaktionen

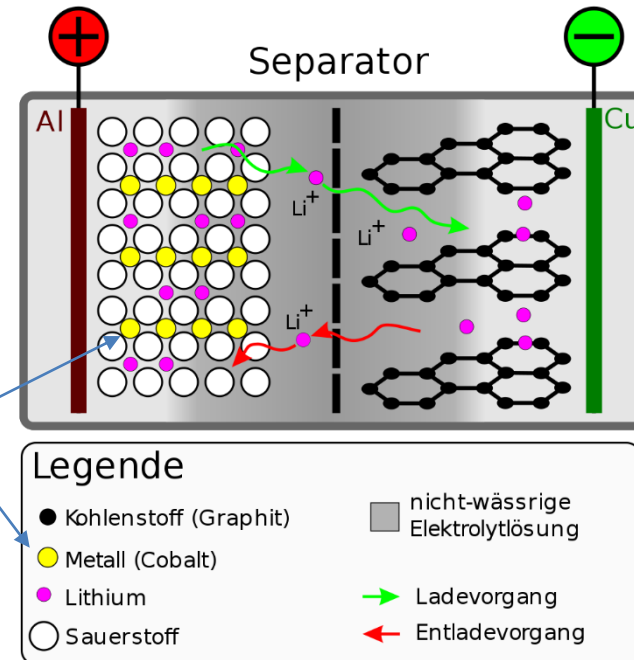


Die Parameter **x** und **y** sind stöchiometrische Koeffizienten, die Halbzellpotentiale bestimmen.

Der Halbzellpotential in Kathode ist vom Kathodenmaterial abhängig.

Als Komponenten der Kathode werden folgenden Elemente verwendet:

Cobalt, Nickel, Mangan, Aluminium, Titan.



Li-Ionen Zellstruktur

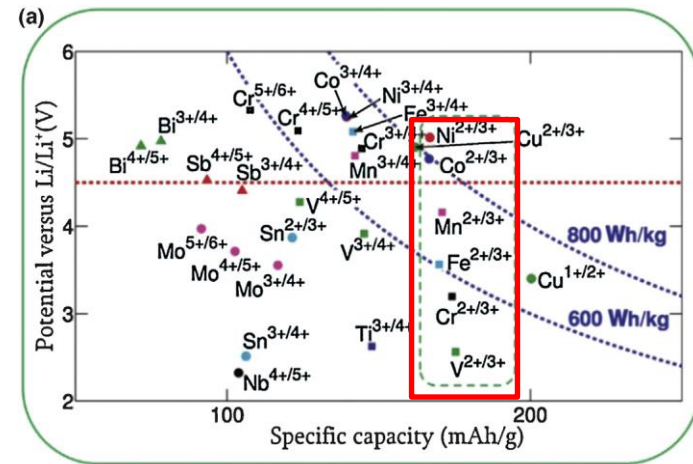
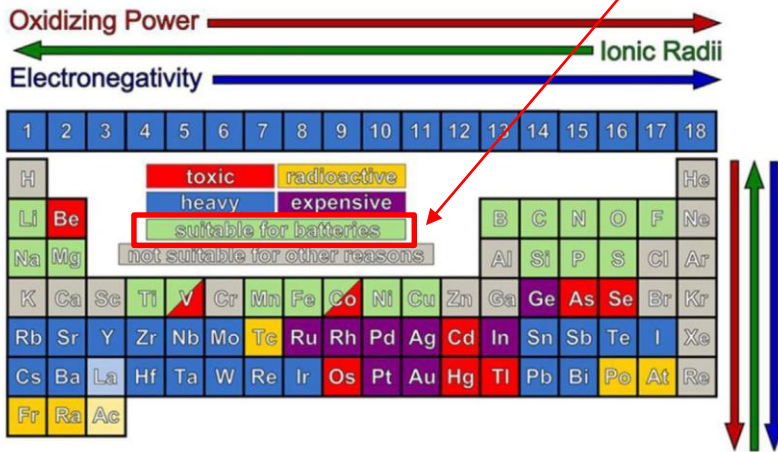
Elektrodenmaterialauswahl



Ein Kriterium für die Auswahl des Kathodenmaterials ist die theoretische Kapazität (Ah/kg):

$$C_t = \frac{nF}{3.6M}$$

Hier n ist der Anzahl der reaktiven Elektronen, F ist Faraday Zahl, M ist das Molargewicht des Elements. Nach diesem Kriterium sind die **Übergangsmetalle** die besten Elemente:

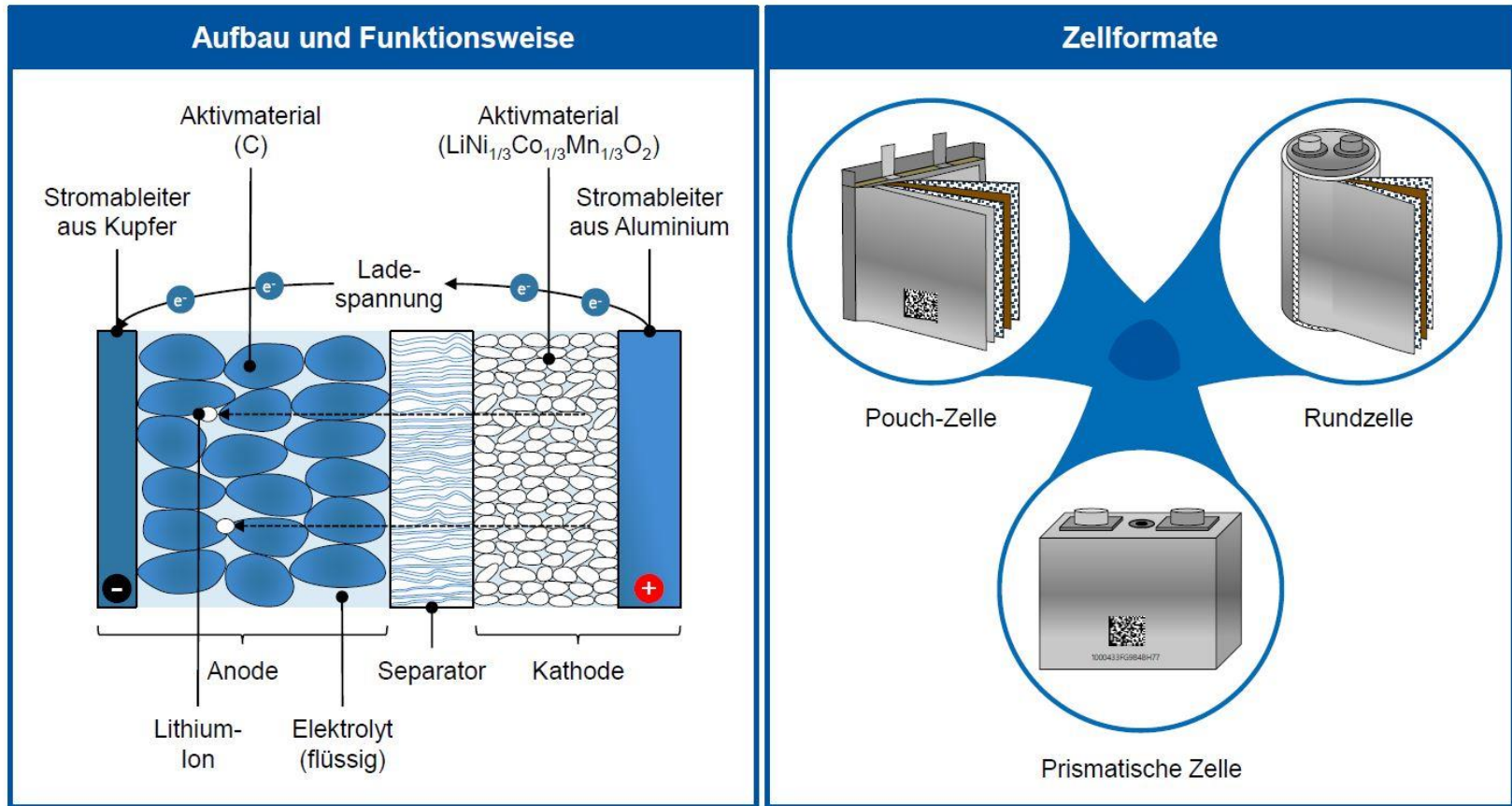


Chaofeng Liu, Zachary G. Neale and Guozhong Cao. Understanding electrochemical potentials of cathode materials in rechargeable batteries. Materials Today. Vol.19, Nu.2, 2016, pp.109-123

Die Unterschiede für die verschiedenen Elemente bestehen im **Wechselwirkungspotential** von Lithiumionen mit der Elektrodenkristallstruktur.

Li-Ionen Zellproduktion

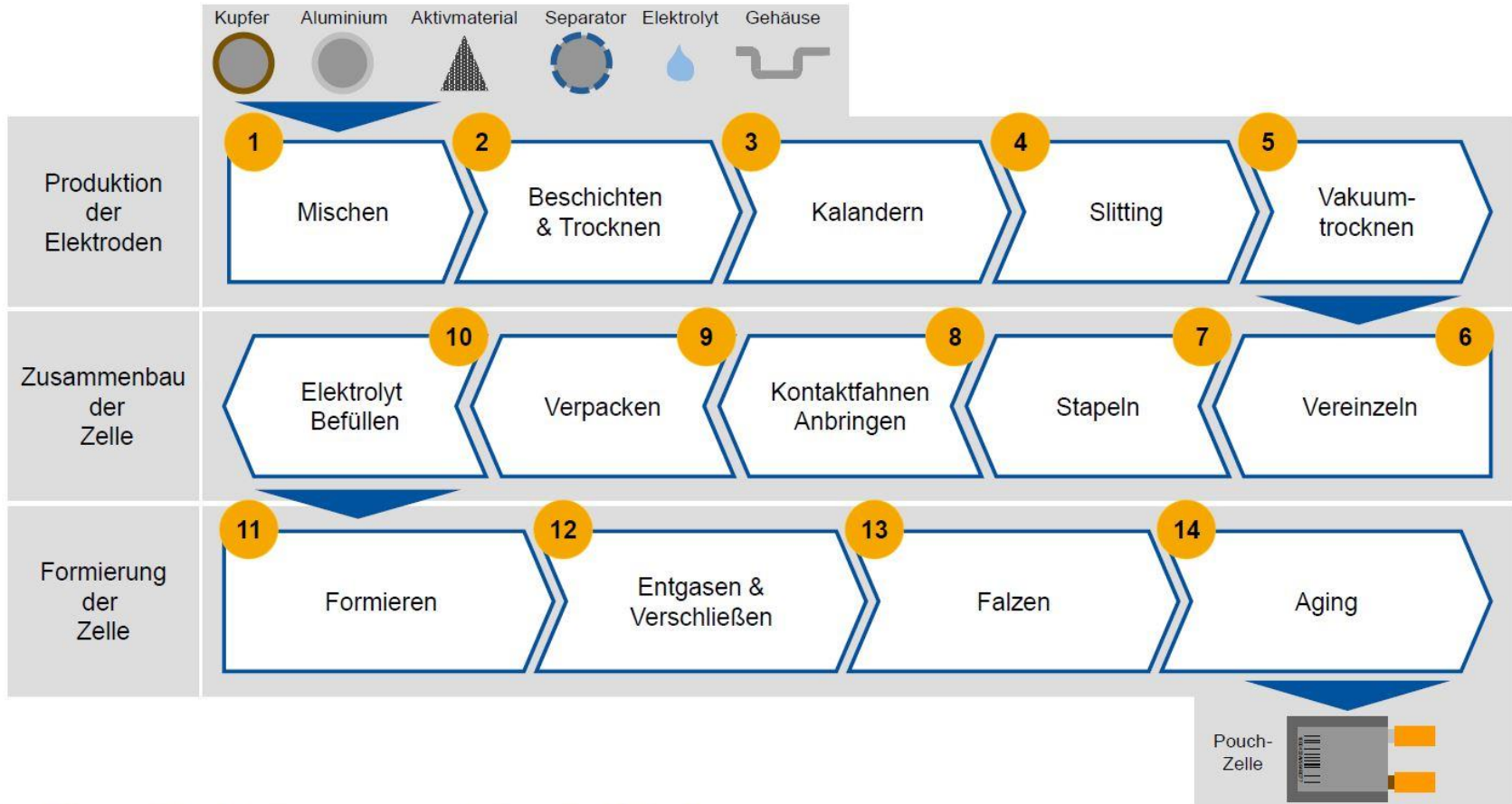
Funktionsweise und Zellformate



Quelle: Vuoriolehto (2013): Materialien und Funktion, S. 22; Heimes (2014): Auswahl von Fertigungsressourcen in der Batteriezellproduktion, S. 21

Li-Ionen Zellproduktion

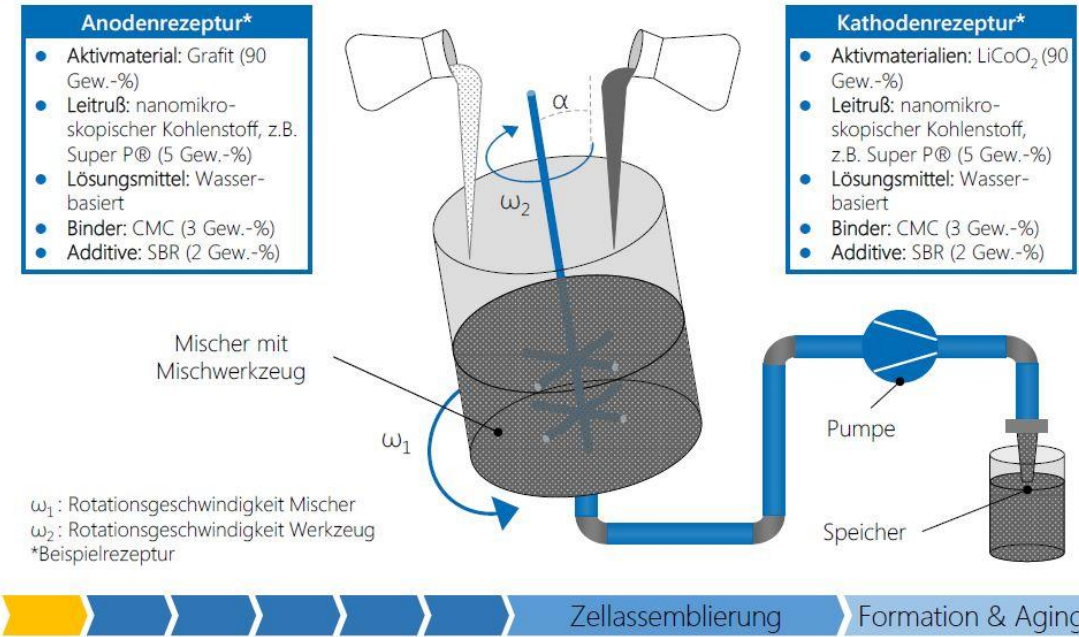
Produktionsprozesskette



Quelle: Heimes (2014): Auswahl von Fertigungsressourcen in der Batteriezellproduktion, S. 17

Li-Ionen Zellproduktion

Mischen

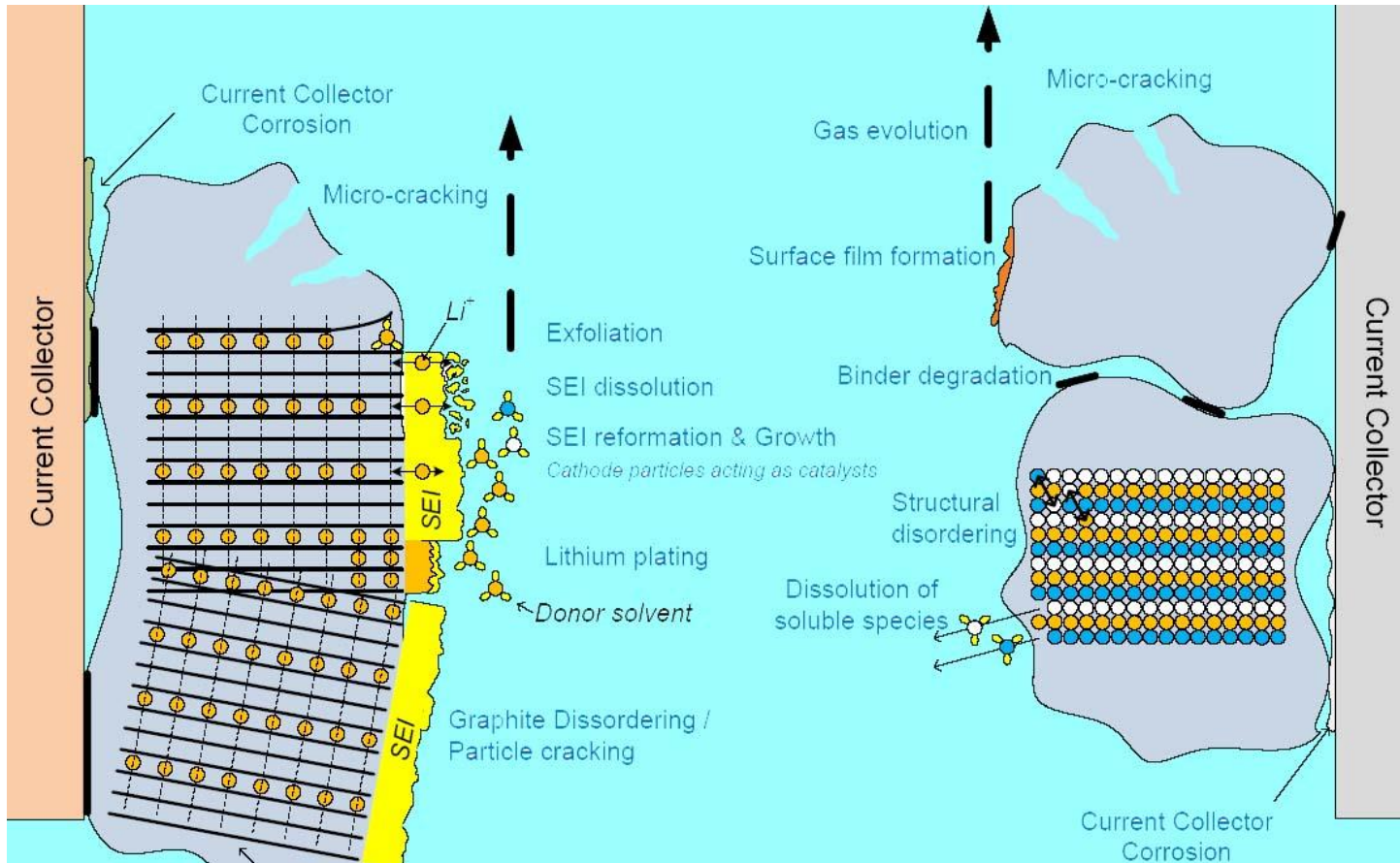


- Durch Energieeintrag werden mindestens zwei voneinander getrennte Ausgangsstoffe über ein rotierendes Werkzeug zu einem Slurry verbunden.
- Die Herstellung des Slurrys erfordert neben den Aktivmaterialien auch Leitadditive, Lösungs- sowie Bindemittel.
- Es bestehen drei Prozessführungen, die sich hinsichtlich der zeitlichen Reihenfolge von Mischen (Trockenmischung) und Dispergieren (Nassmischung) unterscheiden.
- Die Wahl der Misch- und Dispergierreihenfolge ist auf das zu fertigende Elektrodendesign abzustimmen.
- Der Weitertransport zum Prozessschritt „Beschichten“ erfolgt durch Rohrleitungen oder in atmosphärisch abgedichteten Speichern.

Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030. VDMA Verlag GmbH, Frankfurt am Main, RWTH Aachen, Fraunhofer ISI, Battery LabFactory Braunschweig, 2018.

Li-Ionen Zellen

Zellschäden

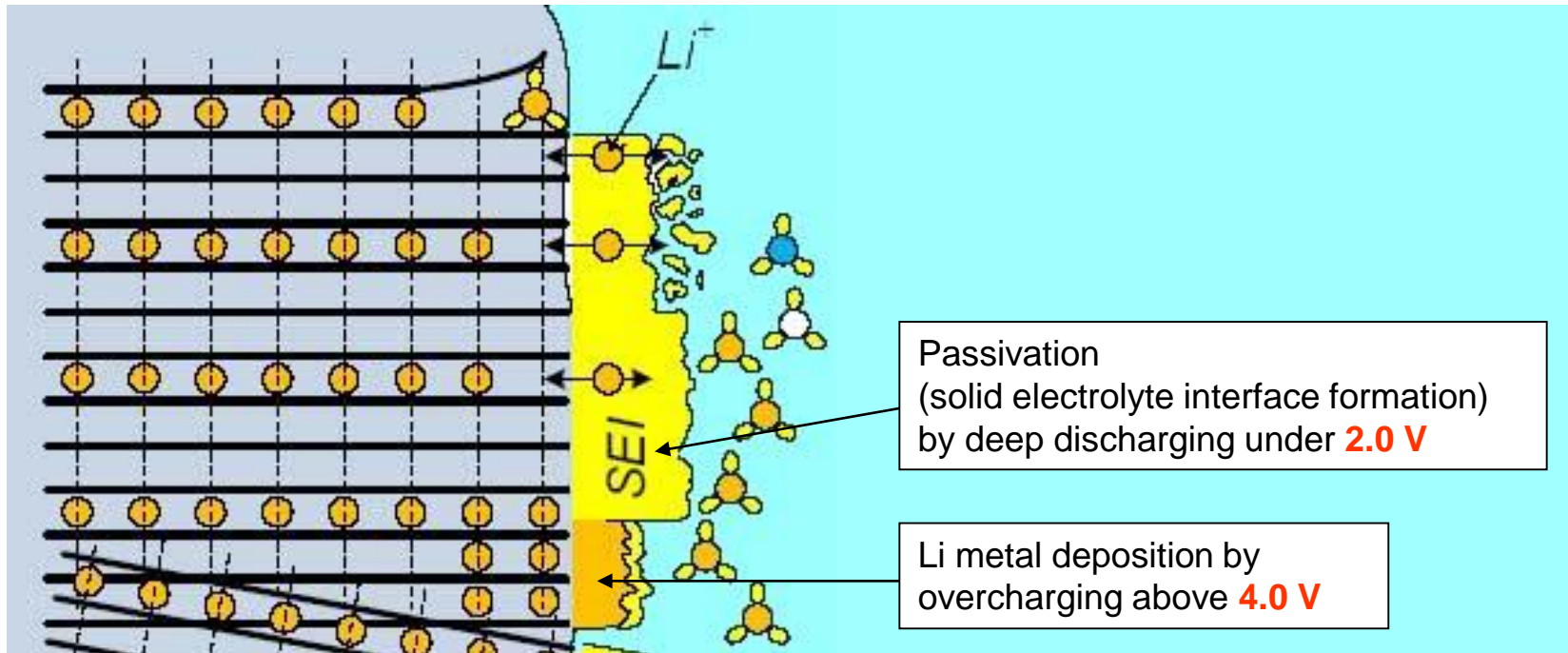


2. P.Arora, R.E.White, M.Doyle. Capacity Fade Mechanisms and Side Reactions in Lithium-Ion Batteries.// Journal of the Electrochemical Society, 145 (1998) 3647-3667.

3. J.Groot. State-of-Health Estimation of Li-ion Batteries: Cycle Life Test Methods. Thesis for the degree of licentiate of engineering. Chalmers University of Technology, Göteborg. 2012

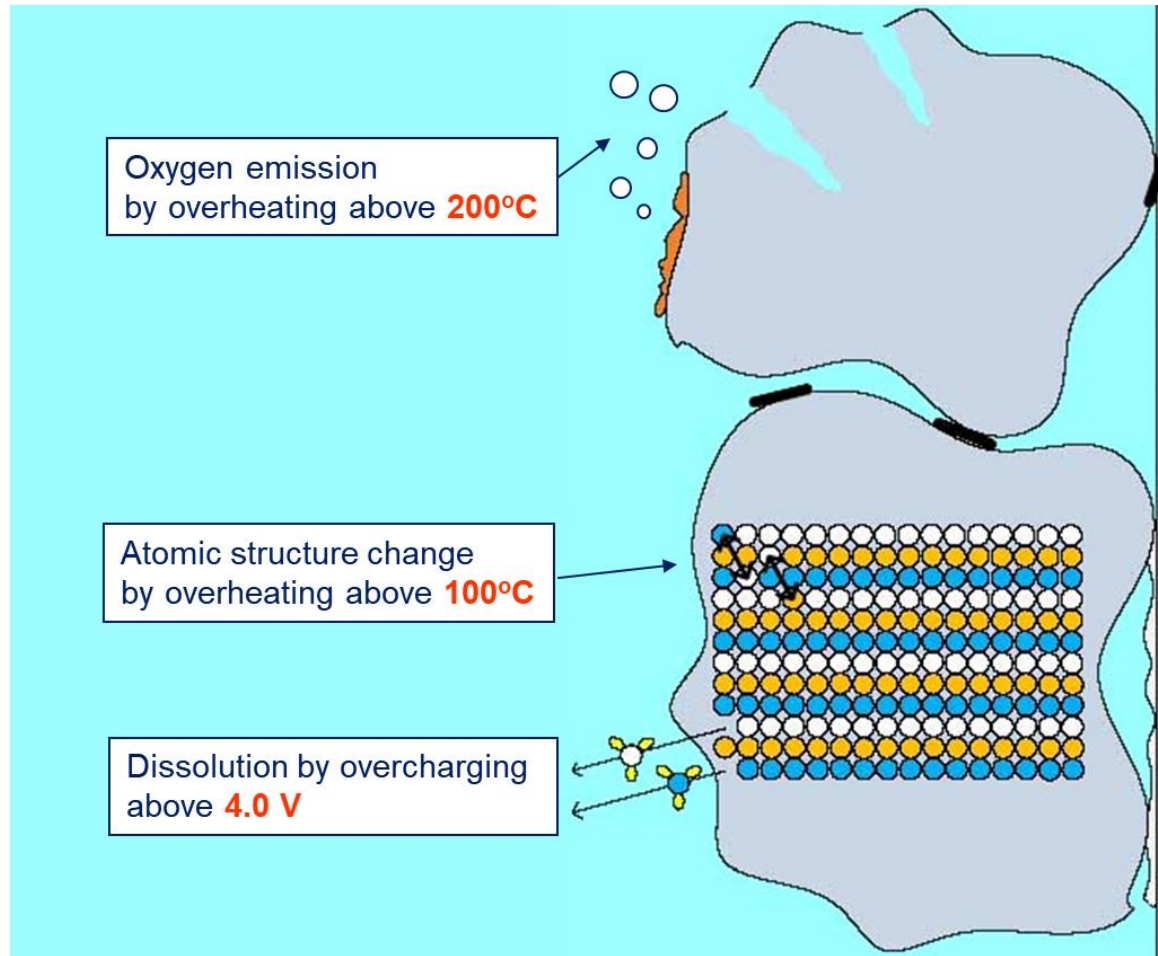
Li-Ionen Zellen

Zellschäden an der Anode



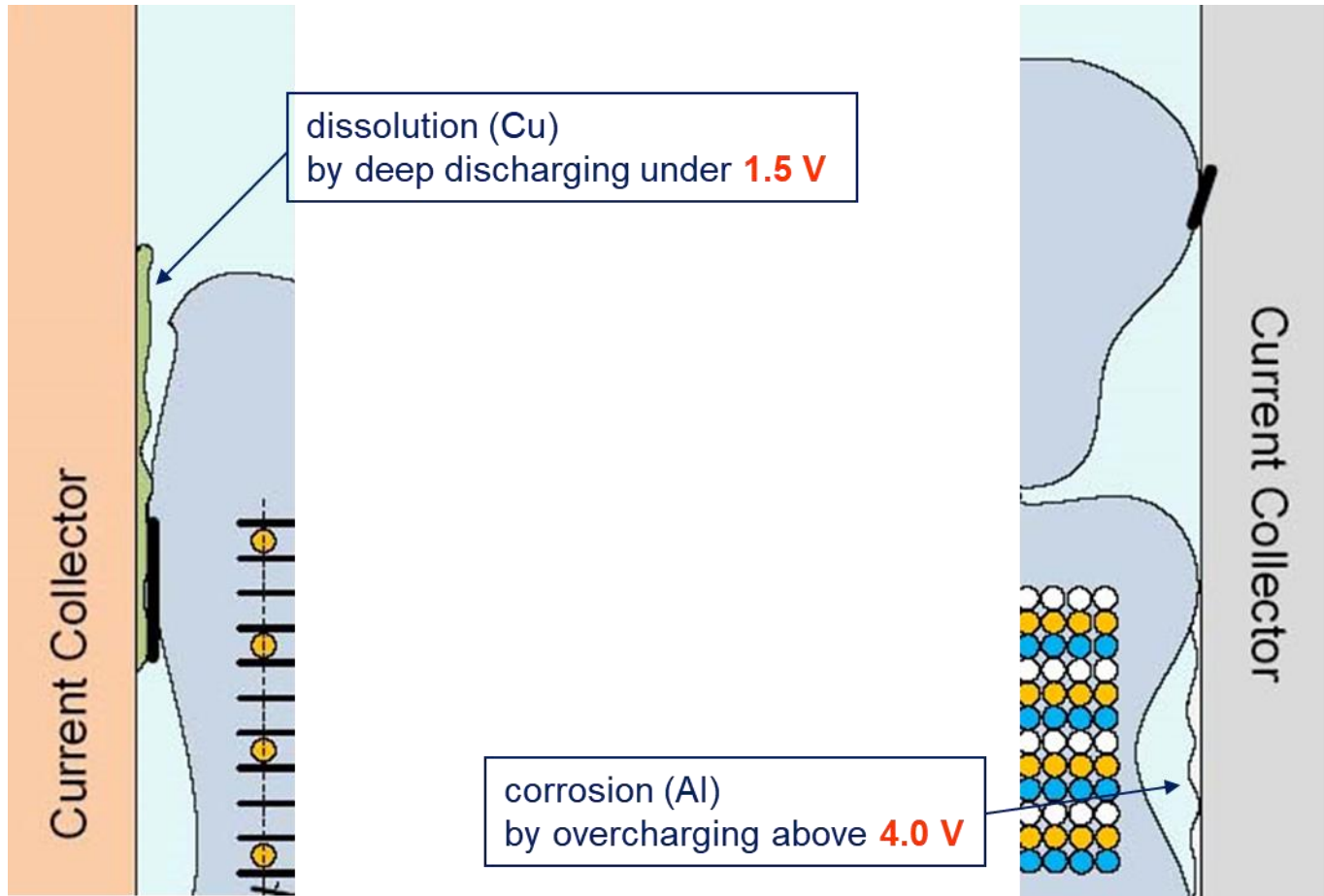
Li-Ionen Zellen

Zellschäden an der Kathode



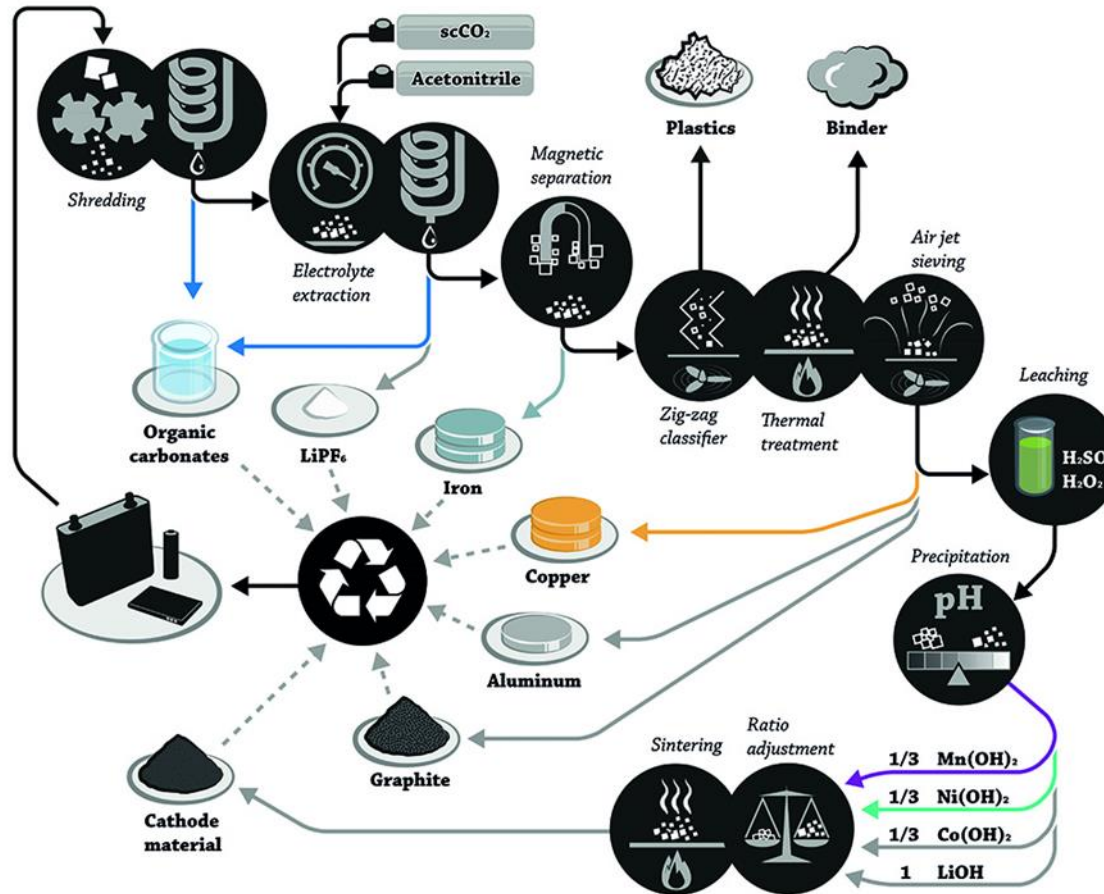
Li-Ionen Zellen

Zellschäden am Kollektor



Li-Ionen Zellen

Zellschäden am Kollektor



Quelle: Rothermel, S.; Evertz, M.; Kasnatscheew, J.; Qi, X.; Grützke, M.; Winter, M.; Nowak, [S. ChemSusChem](https://doi.org/10.1002/cssc.201601062), 9, 3473-3484 (2016) DOI: 10.1002/cssc.201601062

Li-Ionen Batterie

Batterie E-UP

