

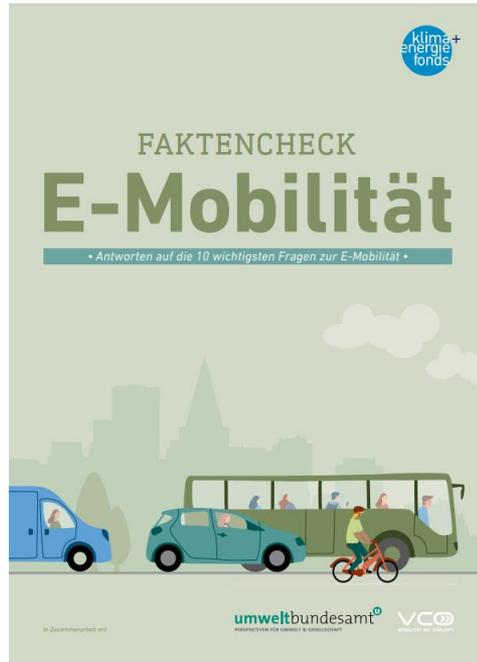


© Holger Heinfellner

Faktencheck Rohstoffe und Kreislaufwirtschaft in der Elektromobilität

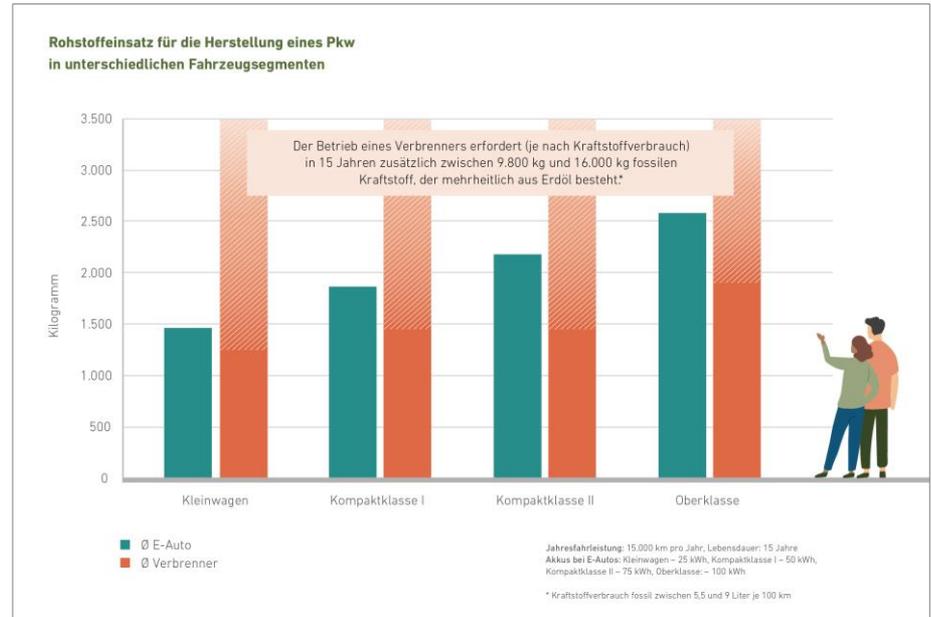
Holger Heinfellner, 10.10.2023

RELEVANTE ARBEITEN

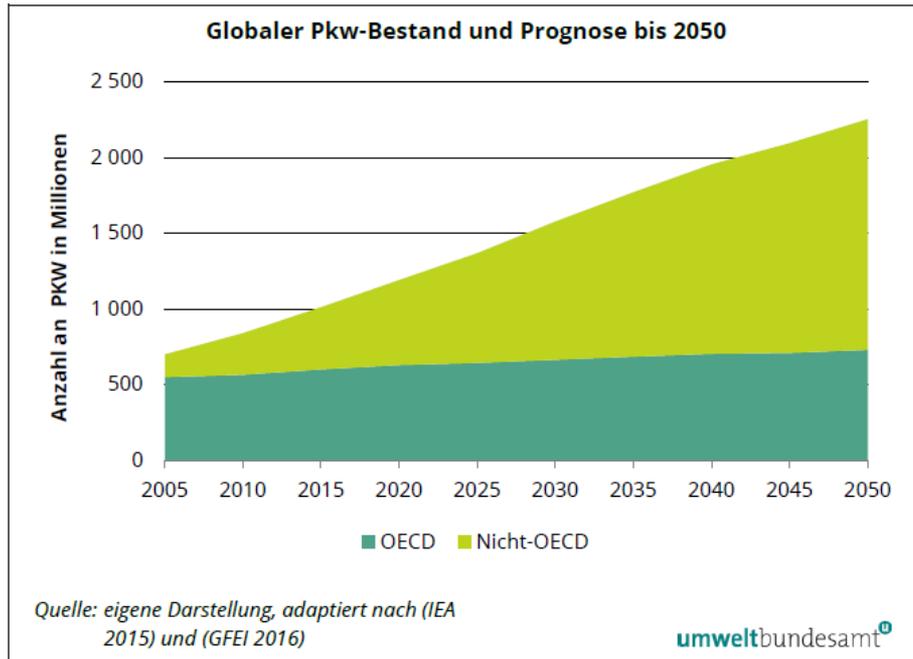


ROHSTOFFE

- Jede Technologie ist abhängig von endlichen Rohstoffen: Erdöl (Verbrenner) vs. Lithium und Kobald (E-Auto)
- Bei der Elektromobilität können heute aber noch entspr. Maßnahmen gesetzt werden.
- Downsizing (kleineres Fahrzeug, kleinere Batterie), Recyclingquoten und globale Industriallianzen ermöglichen
 - nachhaltigen,
 - umwelt- und
 - sozialverträglichen Rohstoffabbau



AUSGANGSLAGE



- Prognostizierter Anstieg Pkw global von 1 Mrd. 2015 auf 1,5 Mrd. 2030 und 2,3 Mrd. 2050
- Bis zu 350 Mio. Elektrofahrzeuge 2030 (nicht nur Pkw)
- Elektrofahrzeuge brauchen (bis zu 8 Mal) *weniger*, aber *andere* endliche Rohstoffe als Verbrenner
- Viele davon werden gegenwärtig als „kritisch“ eingestuft

AUSGANGSLAGE

- Hauptbestandteile: Eisen, Kunststoff und Aluminium
- Spezifika Elektrofahrzeug:
 - **Lithium Ionen Akkumulator:** Lithium, Kobalt, Mangan, Nickel
 - **H₂-Speicher und Brennstoffzelle:** Platinmetallgruppe, Grafit
 - **Elektromotor:** Seltenerdoxide
- Diese Rohstoffe werden auch in konventionellen Fahrzeugen verbaut, in Elektrofahrzeugen aber in teils deutlich höheren Mengen

Tabelle 1:
Einsatz abiotischer Rohstoffe für einen durchschnittlichen Elektro-Pkw

Rohstoff bzw. Ressource	Mengen
Eisen	1 060 kg
Plastikteile/Gummi/Kunststoff	200 kg
Aluminium	150 kg
Kupfer	115 kg
Nickel	105 kg
Grafit	>50 kg
Chrom	40 kg
Glas	30 kg
Lack	20 kg
Mangan	20 kg
Lithium	12 kg
Textilien	10 kg
Zink	10 kg
Kobalt	4 kg
Magnesium	4 kg
Sauerstoff	2 kg
Titan	2 kg
Molybdän	2 kg
Carbon	1 kg
Seltene Erden	0,3 kg
Silber	10 g
Gold	5 g
Tantal	5 g
Zirkon	3 g
PGM ¹	2 g
Tellur	1 g
Indium	<1 g
Summe	Ca. 1 800 kg

KRITIKALITÄTSANALYSE

- EU definiert 2 Kriterien zur Bestimmung der Kritikalität, die beide erfüllt sein müssen:
 - **Wirtschaftliche Bedeutung:** hohe Bedeutung des Materials für die Wirtschaft in der EU im Bereich der Endverwendungszwecke sowie der Wertschöpfung (inkl. Korrekturfaktor zur Abbildung von Substitutionsmöglichkeiten).
 - **Risiko von Versorgungsengpässen:** Hier wird die Konzentration der globalen Produktion von Primärrohstoffen und die Lieferung in die EU auf Länderebene untersucht. Substitutions- und Recyclingmöglichkeiten reduzieren das Risiko.
- Andere Industriestudien und/oder unabhängige Forschungsarbeiten kommen zu ähnlichen Ergebnissen

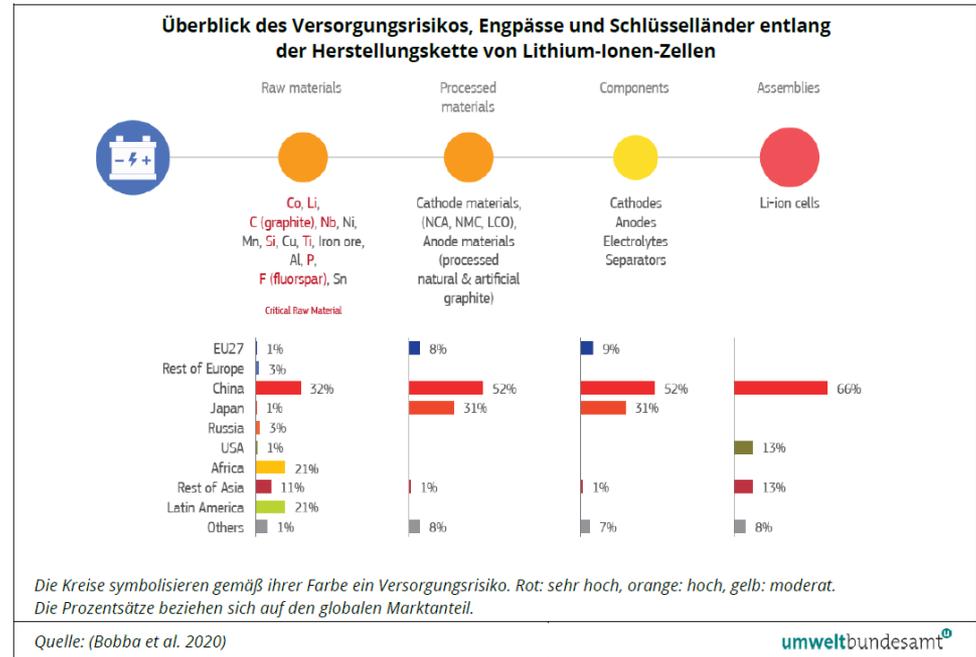
Tabelle 3:
 Kritische Rohstoffe, definiert von der Europäischen Kommission, 2020
 (COM(2020) 474 final).

Antimon	Hafnium	Phosphor	Baryt	Schwere Seltene Erden
Scandium	Beryllium	Siliciummetall	Wismut	Leichte Seltene Erden
Indium	Tantal	Borat	Magnesium	Wolfram
Kobalt	Natürl. Grafit	Vanadium	Kokskohle	Naturkautschuk
Bauxit	Flussspat	Niob	Lithium	Metalle der Platinmetallgruppe
Gallium	Germanium	Phosphorit	Strontium	Titan

KRITIKALITÄT ENTLANG DER HERSTELLUNGSKETTE

Am Beispiel des Akkumulators

- große Abhängigkeit von China entlang des gesamten Herstellungsprozesses
- bei den Primärrohstoffen kann die EU nur 1 % des Bedarfs selbst decken
- Das größte Versorgungsrisiko liegt in der Zellenproduktion → derzeit keine nennenswerte Zellenproduktion in EU
- Brennstoffzelle (höhere Eigenversorgung in EU) und Elektromotor (ähnlich Akku) **siehe Publikation**

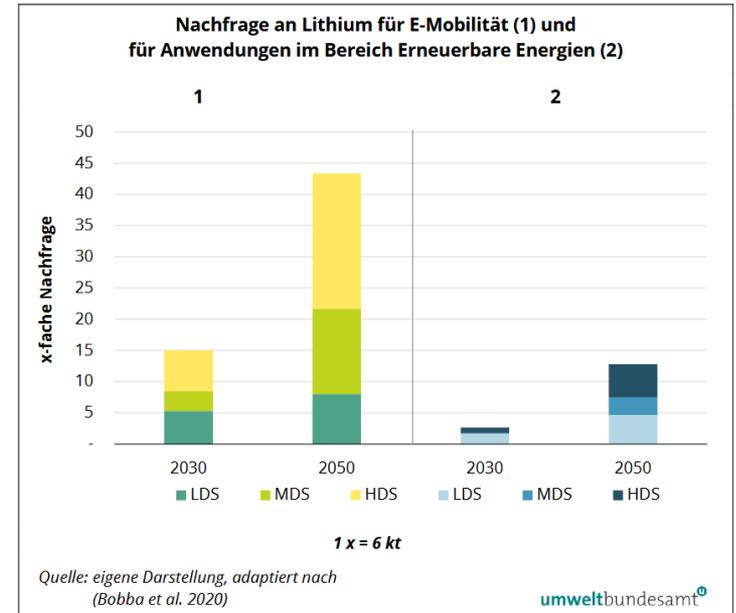


BLICK IN DIE ZUKUNFT

Am Beispiel Lithium

- Je nach Szenario Anstieg des derzeitigen Bedarfs in der EU bis 2050 um das
 - **29 bis 56-fache** (Spitzenwert, Bobba 2020)
 - **37-fache** (KU Leuven 2022)
- Größtenteils durch die Elektromobilität
- Kobalt, Grafit, Nickel, Mangan, PGM, Bor, Neodym und Dysprosium, **siehe Publikation**
- Versorgungsengpässe können dadurch entstehen, dass die Nachfrage schneller wächst, als die Förderkapazitäten!

Abbildung 7:
Bedarf an Lithium für unterschiedliche Nachfrageintensitäten im Verhältnis zur derzeitigen Nachfrage für das gesamte Anwendungsspektrum von Lithium im Bereich (1) der Elektromobilität und in (2) anderen Anwendungen (z. B. stationäre Speicher) jeweils im Szenario für geringe (LDS), mittlere (MDS) und hohe Nachfrage (HDS).



DAS BEDEUTET ...

- Jeder der analysierten Rohstoffe ist hinsichtlich seiner *praktischen* Verfügbarkeit als Folge seiner gegenwärtigen Fördermenge, des prognostizierten Bedarfs oder der sozialen oder ökologischen Implikationen in Verbindung mit der Rohstoffgewinnung (derzeit noch kein Kritikalitätskriterium) als kritisch einzustufen.
- Deshalb erfordert der Einsatz dieser Rohstoffe spezielle Strategien und Aktivitäten entlang der gesamten Wertschöpfungskette.
- Das übergeordnete Ziel dieser Aktivitäten muss sein, den **Einsatz von Rohstoffen**, auch in Zusammenhang mit der Elektromobilität generell zu **reduzieren** und die Elektromobilität als maßgebliche Antriebstechnologie der Zukunft auf Basis hoher Umwelt- und Sozialstandards in der globalen Rohstoffförderung zu etablieren.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN 1/2

Dämpfung der Nachfrage nach Primärstoffen

1. Einsatz von weniger Fahrzeugen als Folge eines geänderten Mobilitätsverhaltens (nachhaltige Mobilitätsformen ersetzen des motorisierten Individualverkehr, ein erhöhter Besetzungsgrad und geteilte Fahrzeugnutzung steigern die Rohstoffeffizienz).
2. Einsatz kleinerer Fahrzeuge mit kleineren Akkumulatoren („Downsizing“) als Folge eines geänderten Konsumverhaltens.
3. Maximierung des Recyclings (in Europa) durch Anhebung freiwilliger und verpflichtender Recyclingquoten für kritische Rohstoffe, auch in Zusammenhang mit der Elektromobilität.
4. Intensivierung der globalen Forschung mit dem Ziel der weitgehenden Substitution kritischer Rohstoffe.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN 2/2

Verbesserung von Umwelt- und Sozialbedingungen der Förderung

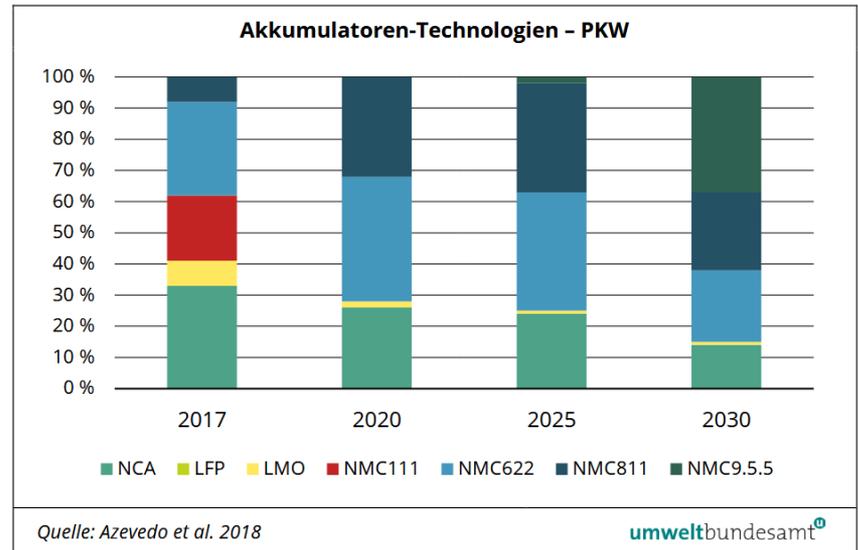
5. Ausschöpfung des innereuropäischen Bergbaupotenzials (Bergbau in Europa ist mit vergleichsweise hohen Umwelt- und Sozialstandards verbunden).
6. Etablierung globaler Industrieallianzen mit dem Ziel einer nachhaltigen, umwelt- und sozialverträglichen Rohstoffförderung auch außerhalb Europas.
7. Einführung verbindlicher unternehmerischer Sorgfaltspflichten entlang der Handelsketten ausgesuchter kritischer Rohstoffe, deren Förderung sich auch in Zukunft auf wenige Länder konzentrieren wird.

AKKUMULATOREN

- Lithium-Ionen-Akkumulatoren existieren in unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen
- NMC mit größter Bedeutung aufgrund vergleichsweise hoher Energiedichte
- Die Anteile der kritischen Rohstoffe Mangan und Kobalt werden laufend reduziert
- 2030 wird die Variante mit 9 Anteilen Nickel und jeweils 0,5 Anteilen Mangan und Kobalt dominieren

Tabelle 2: Vergleich der wesentlichen Eigenschaften verschiedener Verbindungen von Lithium-Ionen-Akkumulatoren (Rahimzei, Sann und Vogel, 2015).

	LCO	LMO	NMC	NCA	LFP
Nennspannung [V]	3,7	3,7	3,6–3,7	3,6	3,2–3,3
Volumetrische Energiedichte [Wh/l]	320–500	290–340	490–580	480–670	160–260
Gravimetrische Energiedichte [Wh/kg]	110–180	100–120	180–210	180–250	80–120
Entladestrom [C]	1–2	3–20	1–10	1–10	10–50
Lebensdauer (Zyklen)	300–1 000	1 000–1 500	500–1 000	500–1 000	2 000–5 000



1ST LIFE

- Die meisten Fahrzeughersteller geben Garantien auf die verbauten Akkumulatoren aus – Untergrenze 1st life
- In vielen Fällen 70 % nach 96 Monaten beziehungsweise 8 Jahren oder 160.000 Kilometer
- Bsp. Tesla: bis zu 240.000 Kilometer
- Bsp. Porsche: 160.000 Kilometer nur bei Berücksichtigung ausgesuchter Vorgabe für den Ladevorgang

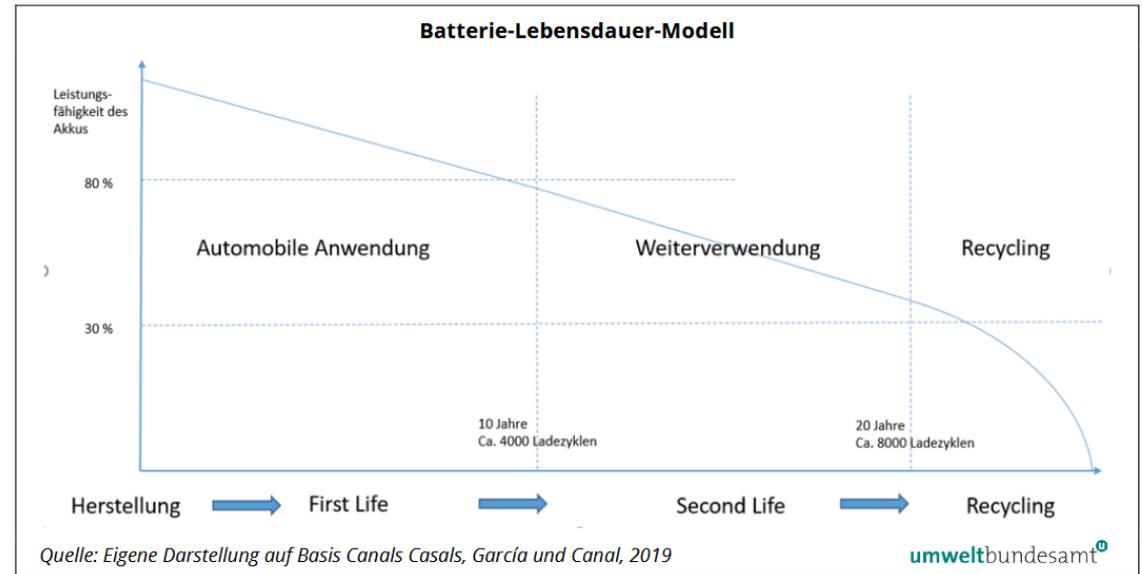
Tabelle 4: Auflistung der Garantiebedingungen auf Akkumulatoren ausgesuchter Fahrzeugmodelle (ADAC, 2022).

Hersteller	Modell	Batterie-Garantie [Monate]	Laufleistung [Kilometer]	Restkapazität [Prozent]
Always	U5	96	150 000	75 %
Audi	alle	96	160 000	70 %
BMW	alle	96	160 000	70 %
Citroën/DS	alle neueren Modelle	96	160 000	70 %
Citroën/DS	C-Zero, Berlingo (B9)	96	100 000	70 %
Fiat	500e (23 kWh)	96	100 000	70 %
Fiat	500e (42 kWh)	96	160 000	70 %
Ford	Mach-e	96	160 000	k. A.
Honda	e	96	160 000	k. A.
Hyundai	Kona, Ioniq 5	96	160 000	70 %
Hyundai	Ioniq elektro	96	200 000	70 %
Jaguar	I-Pace	96	100 000	70 %
Kia	alle	84	150 000	70 %
Lexus	UX300e	120	1 Mio	70 %
Mazda	MX-30	96	160 000	70 %
Mercedes-Benz	EQA, EQB, EQC	96	160 000	70 %
Mercedes-Benz	EQS	120	250 000	70 %
MINI	COOPER SE	96	160 000	70 %
Nissan*	alle	60/96	100 000/160 000	-
Opel	alle neuen Modelle	96	160 000	70 %
Opel	Ampera-e	96	160 000	60 %
Peugeot	alle neuen Modelle	96	160 000	70 %
Peugeot	iOn	96	100 000	70 %
Polestar	2	96	160 000	k. A.
Porsche**	Taycan	36/96	60 000/160 000	80 %/70 %
Renault	Zoe, Twingo	96	160 000	80 %
Renault	Kangoo	60	100 000	66 %
Seat	alle	96	160 000	70 %
Skoda	alle	96	160 000	70 %
Smart	alle	96	100 000	70 %
Tesla	Model 3 SR+	96	160 000	70 %
Tesla	Model 3 LR, Performance	96	200 000	70 %
Tesla	Model S/X	96	240 000	70 %
Toyota	bz4x	96	160 000	k. A.
Volkswagen	alle	96	160 000	70 %
Volvo	alle	96	160 000	70 %

LEBENSDAUER-MODELL

- Erhöhung der Lebensdauer von 10-15 Jahren (Automobile Anwendung) auf 20-25 Jahre durch Nachnutzung
- Nach Ende dieses zweiten Lebensabschnitts können die Akkumulatoren dann recycelt und die verbauten Rohstoffe und Bestandteile wiederverwendet werden.

Abbildung 8: Lebensdauerabschnitte eines Lithium-Ionen-Akkumulators.



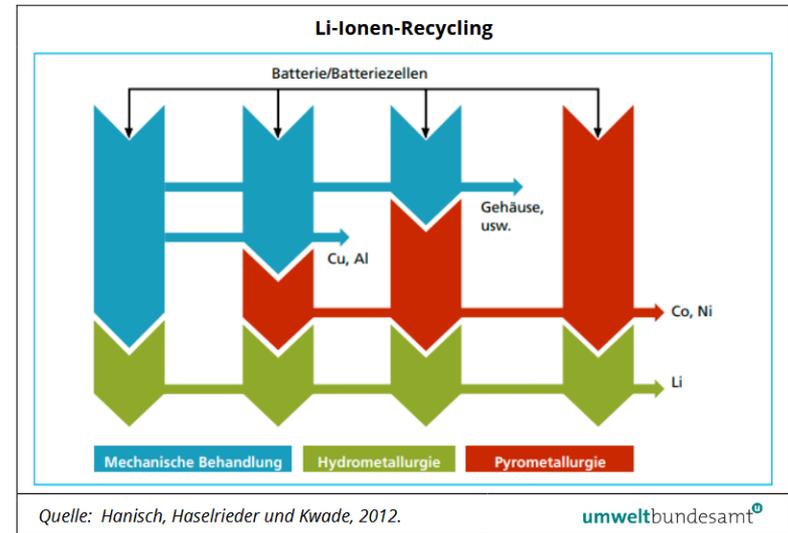
NACHNUTZUNG

- Reduziert die Herstellungskosten durch Aufteilung auf mehrere Nutzungen
- Reduziert THG-Emissionen (bis zu 100 kg CO₂eq je kWh) und Energieeinsatz durch Reduktion der Produktion von Neubatterien
- **Möglichkeiten der Nachnutzung:**
 - Stationäre Energiespeicher (Hausspeichersysteme, Industrielle Großspeicher, Inselnetze etc.)
 - Elektrische Infrastruktur (Notstromversorgungssysteme, Schnellladesäulen etc.)
 - Große mobile Anwendungen (Hybrid-LKW, Fähren, Flurförderfahrzeuge/Stapler etc.)
 - Kleine mobile Anwendungen (Laptops, Notebooks, Hausroboter etc.)
- Nicht alle Akkumulatoren sind für sämtliche Einsatzbereiche geeignet. In Einzelfällen kann der Austausch oder Erneuerung einzelner Zellen einen großen Einfluss auf die gesamte Leistungsfähigkeit des Akkumulators haben.

RECYCLING

- Der Recyclingprozess gliedert sich in Demontage, Deaktivierung und anschließende mechanische Behandlung
- Das Recycling der Materialien wird üblicherweise hydrometallurgisch und pyrometallurgisch bzw. durch eine Kombination aus beiden Verfahren durchgeführt
- Bis zu 99 % der enthaltenen Metalle können wiedergewonnen werden können
- Lithium wird derzeit noch nicht elementar wiedergewonnen, stattdessen Lithium-haltige Schlacke für Bauindustrie

Abbildung 11:
Grundoperationen und
Prozesswege des
Li-Ionen-Recyclings.



RECYCLING

Rechtlicher Rahmen

- Wichtigste geplante Neuerungen der EU-Batterieverordnung (COM (2020) 798 final)
 - neue Kategorien: „Traktionsbatterien für elektrische Straßenfahrzeuge“, „Batterie für leichte Verkehrsmittel“ (engl: Batteries for light means of transport, kurz: LMT)
 - Berechnung und Ausweisung des CO₂-Fußabdrucks mit Kennzeichnung ab 2026 und Höchstwerten ab 2027
 - Angabe und Vorschreibung des Rezyklatgehalts mit Mindestquoten 2030/2035: Kobalt - 12 % bis 20 %, Blei - 85 %, Lithium - 4 % bis 10 %, Nickel - 4 % bis 12 %
 - Erhöhung der Sammelquoten
 - Elektronisches Informationsaustauschsystem und Batteriepass für Transparenz entlang der Liefer- und Wertschöpfungsketten
- Verordnungsvorschlag zur Einführung der neuen Abgasemissionsnorm Euro 7 (COM (2022) 586 final): Restkapazität von 70% nach 8 Jahren oder 160 000 Kilometern

NACHNUTZUNG ODER RECYCLING NACH 1st LIFE?

- **technische Aspekte:**

- Durch die Lebensdauererlängerung werden dem Markt wichtige Sekundärrohstoffe entzogen, und die Akkumulatoren-Produktion muss verstärkt auf Primärrohstoffe setzen
- Gleichzeitig liegt zwischen Beginn und Ende des ersten Lebens ein Innovationszeitraum von bis zu 15 Jahren → Lithium und Co werden in 15 Jahren vermutlich deutlich effizienter eingesetzt als heute

- **ökonomische Aspekte siehe Studie**

- In jedem Fall reduzieren Second-Life-Anwendungen die anfallende Abfallmenge, da ein Akkumulator nie zu 100% recycelt werden kann und eine insgesamt Einsparung beim Energieverbrauch ist wahrscheinlich
- **Eine abschließende Bewertung dieser Frage hängt von vielen Unsicherheiten ab und ist derzeit noch nicht möglich.**

QUELLEN

- **Faktencheck Elektromobilität**
Umweltbundesamt & VCÖ im Auftrag des Klima- und Energiefonds, März 2022
<https://faktencheck-energiewende.at/wp-content/uploads/sites/4/Faktencheck-E-Mobilita%CC%88t-2022.pdf>
- **Rohstoffe der Elektromobilität – Kurzstudie zur Analyse derzeitiger und möglicher zukünftiger Rohstoffabhängigkeiten von Elektrofahrzeugen**
Umweltbundesamt, März 2023
<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0850.pdf>
- **Batterien für E-Fahrzeuge: Nachnutzung und Recycling**
Umweltbundesamt, März 2023
<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0847.pdf>

KONTAKT & INFORMATION

Holger Heinfellner

Teamleiter Mobilität

+43-(0)664-8568207

holger.heinfellner@umweltbundesamt.at

 www.umweltbundesamt.at

 twitter.com/umwelt_at

 www.linkedin.com/company/umweltbundesamt

UMA-Fachdialog: „Die E-Fahrzeug-Batterie:
Second Life oder/und Kreislaufwirtschaft“

10.10.2023