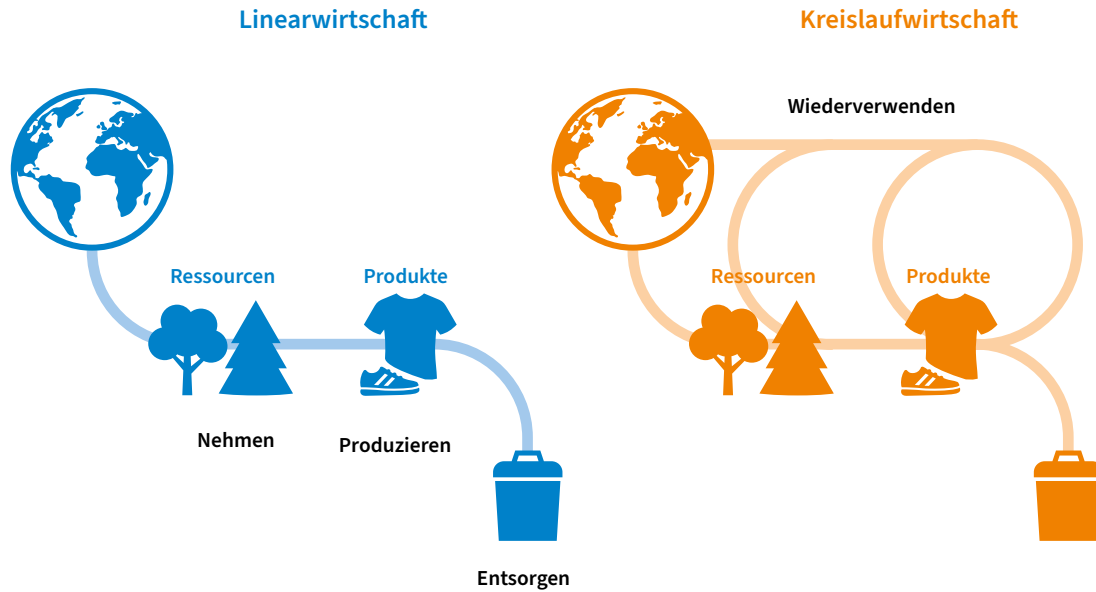


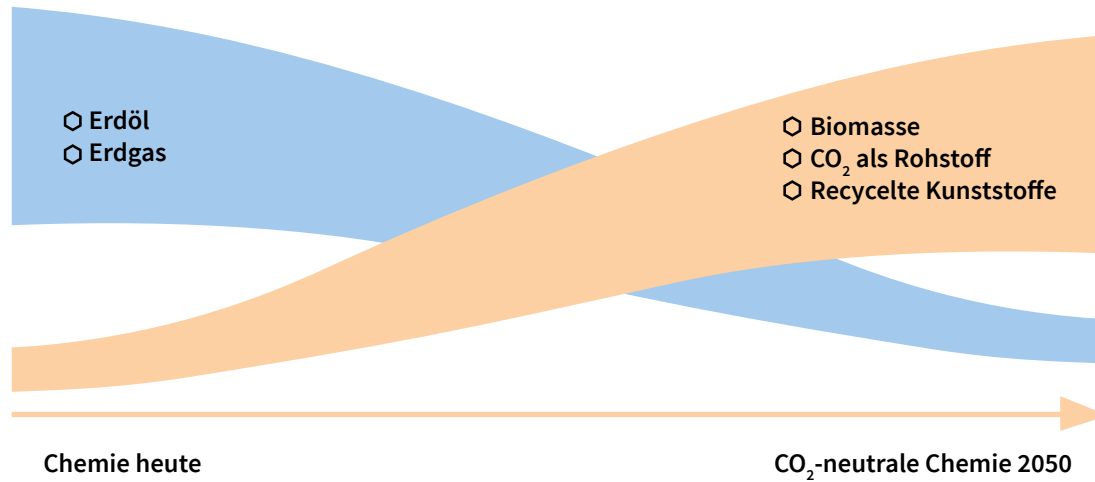
Kreislaufwirtschaft



Linearwirtschaft versus Kreislaufwirtschaft



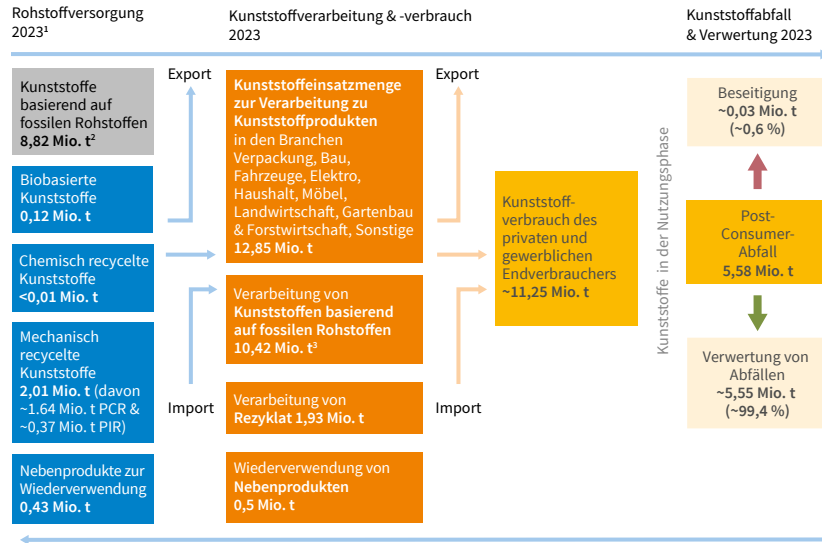
Die Rohstoffe von morgen



Kunststoffe im Kreis führen

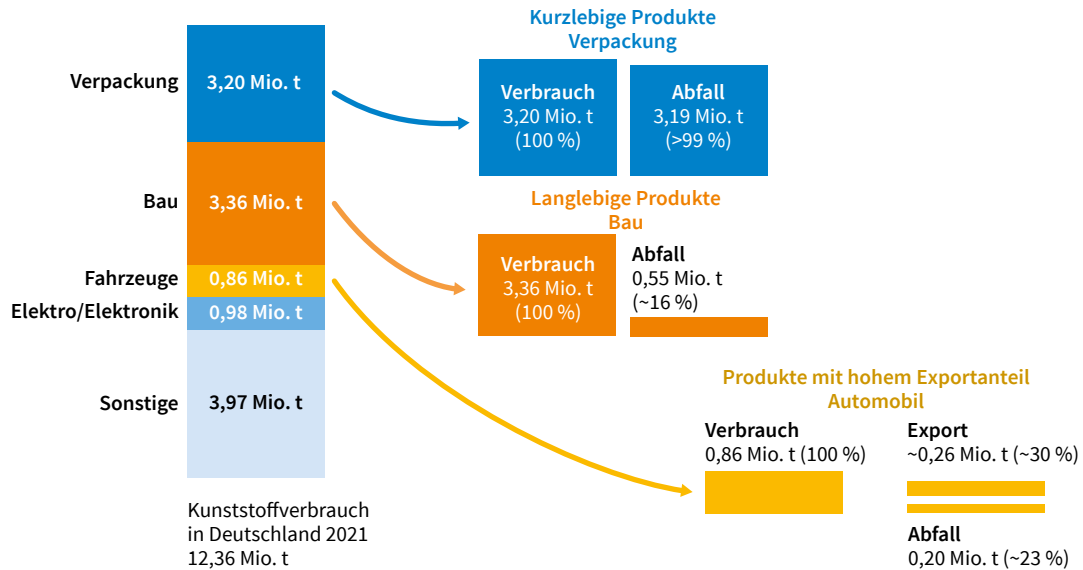


Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2023:



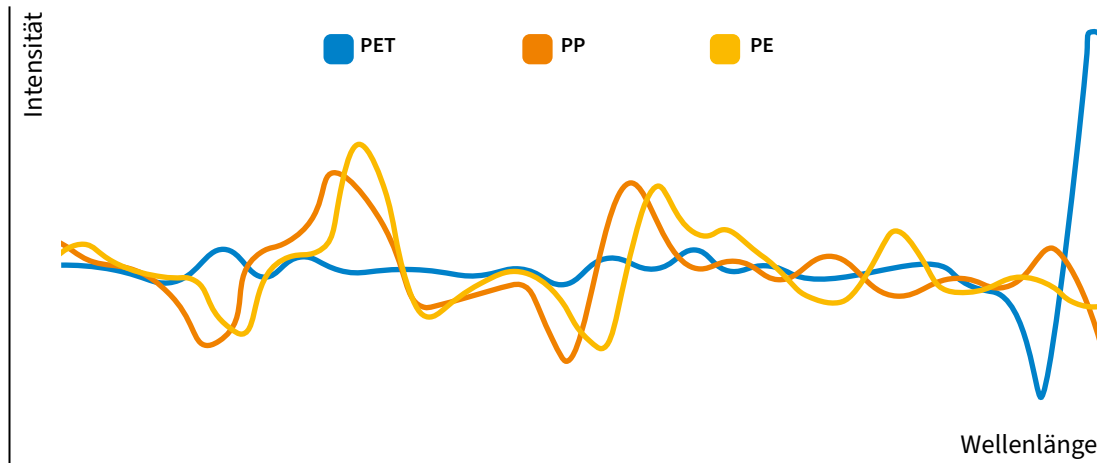
¹Die gesamte Produktionsmenge im Jahr 2023- inkl. Rohstoffe für nicht untersuchungsrelevante Bereiche (z. B. Klebstoffe, Lacke, Fasern etc.) liegt nach Angaben des Statistischen Bundesamtes (Destatis) bei 14,9 Mo. t. ²Kunststoffarten: PE-LD/LLD, PE-HD/MD, PP, PVC, PS, PS-E, PA, PET, ABS, ASA, SAN, PMMA, Sonst. Thermoplaste, Sonst. Kunststoffe inkl. PUR-Rohstoffe; inkludiert zu geringen Anteilen Mengen aus bio-attributed Kunststoffen und Rohstoffe aus carbon-captured utilisation; nicht inkludiert sind Kunststoffe für nicht erhebungsrelevante Anwendungen (Elastomere, Klebstoffe, Beschichtungen, Dichtstoffe). ³Enthält Anteile von Kunststoffen aus biobasierten und chemisch recycelten Kunststoffen sowie bio-attributed Kunststoffen und Rohstoffe aus carbon-captured utilisation.

Gegenüberstellung von Verbrauchs- und Abfallmengen in Deutschland 2021

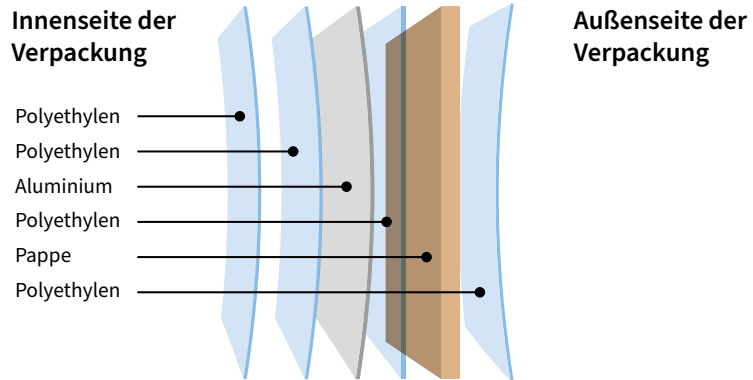


Quelle: Conversio, Stromstoffbild Kunststoffe in Deutschland 2021. (gerundete Mengen)

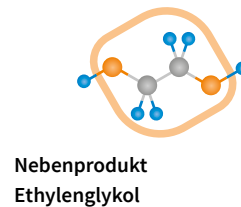
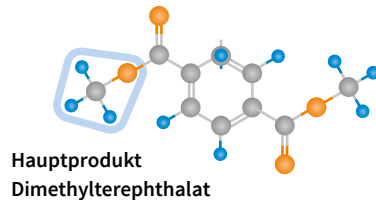
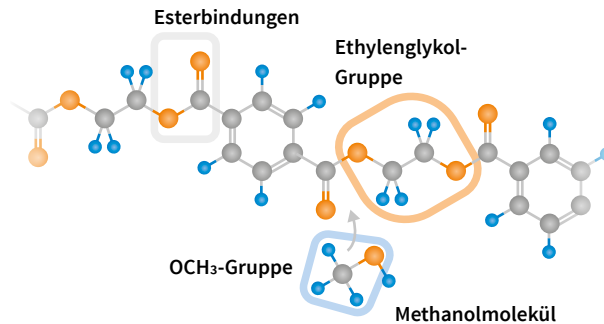
Die NIR-Reflexionsspektren der Polymere PE, PP und PET



Getränkkartons haben häufig einen mehrlagigen Aufbau



Solvolyse von Polyethylen mittels Methanol



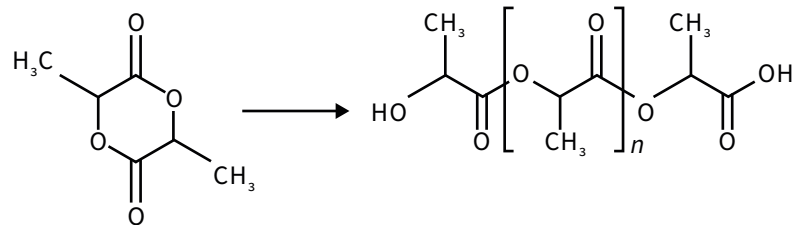
Methanolyse

PET wird mit Methanol und Natrium-methylat versetzt. Dabei werden die Esterbindungen im PET-Kettenmolekül aufgespalten und die Ethylenglykol-Gruppen durch OCH₃-Gruppen ersetzt.

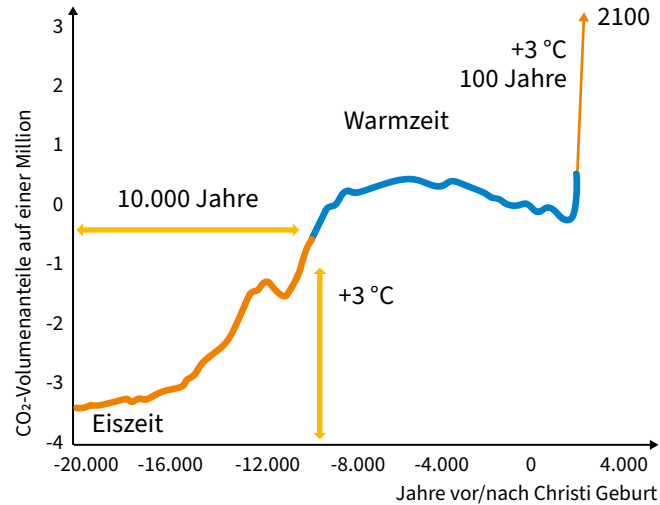
Reaktionsprodukte

Das Hauptprodukt der PET-Methanolyse ist der kristalline Feststoff Dimethylterephthalat (DMT), das Nebenprodukt der flüssige zweiwertige Alkohol Ethylenglykol (EG).

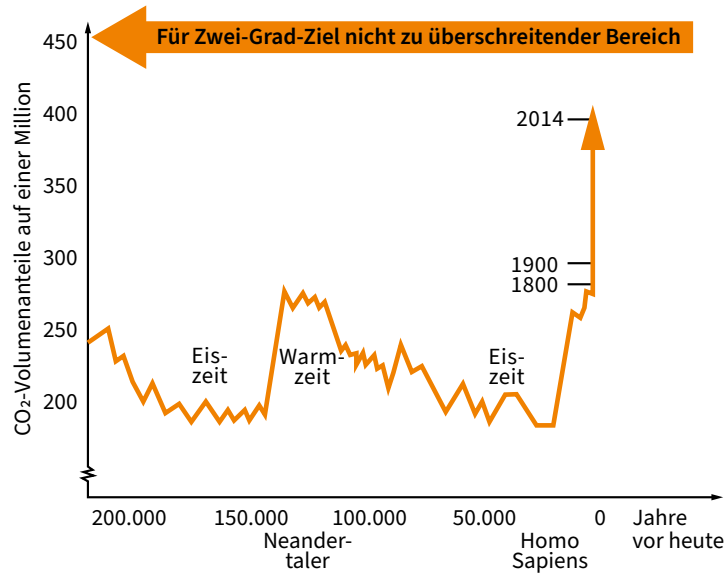
Polymilchsäure aus Lactid



Globaler Temperaturverlauf seit der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren bis 2100 bei
aktuellem Trend (RAHMSTORF, 2013)

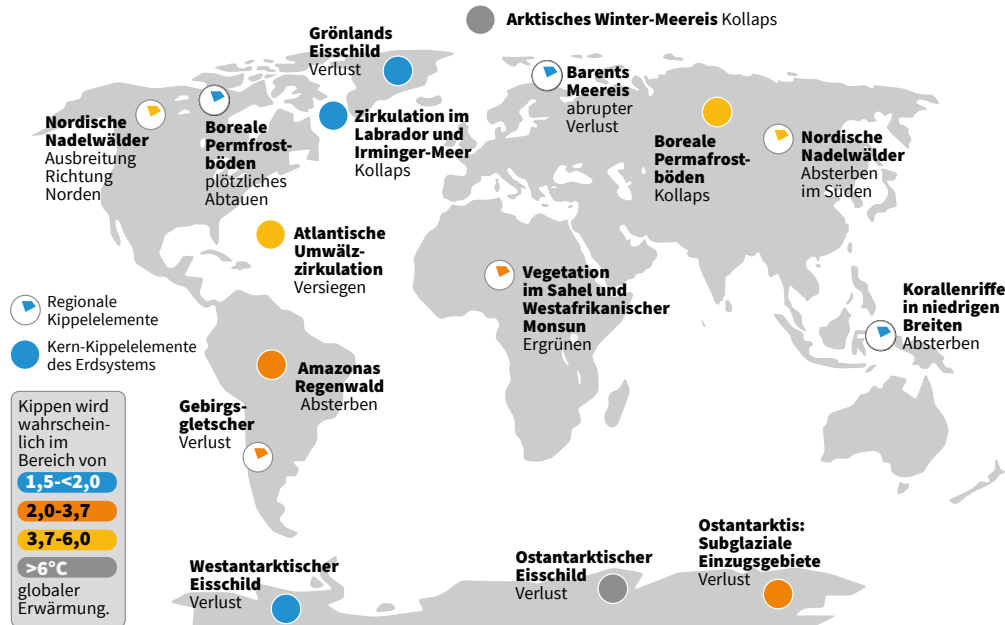


CO₂-Gehalt der Atmosphäre in den letzten 250.000 Jahren

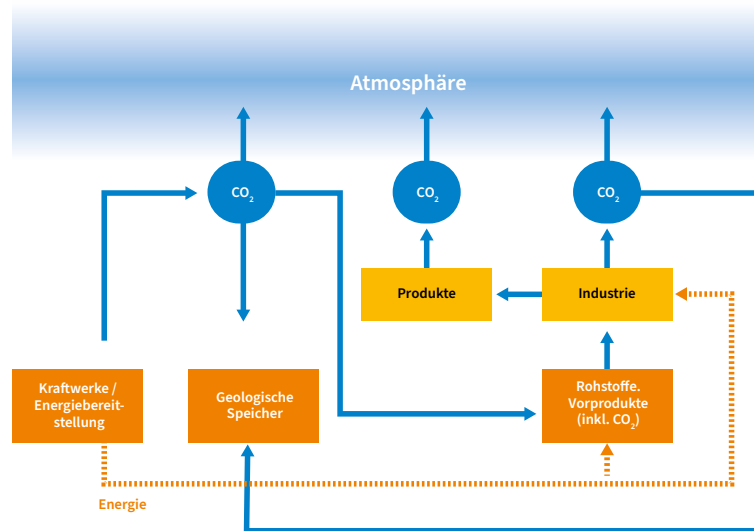


Quelle: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Mehr Zukunft für die Erde, *Economica* 1995, S. 13, aktuell ergänzt.

Kippelemente – Achillesfersen im System-Erde-Klima

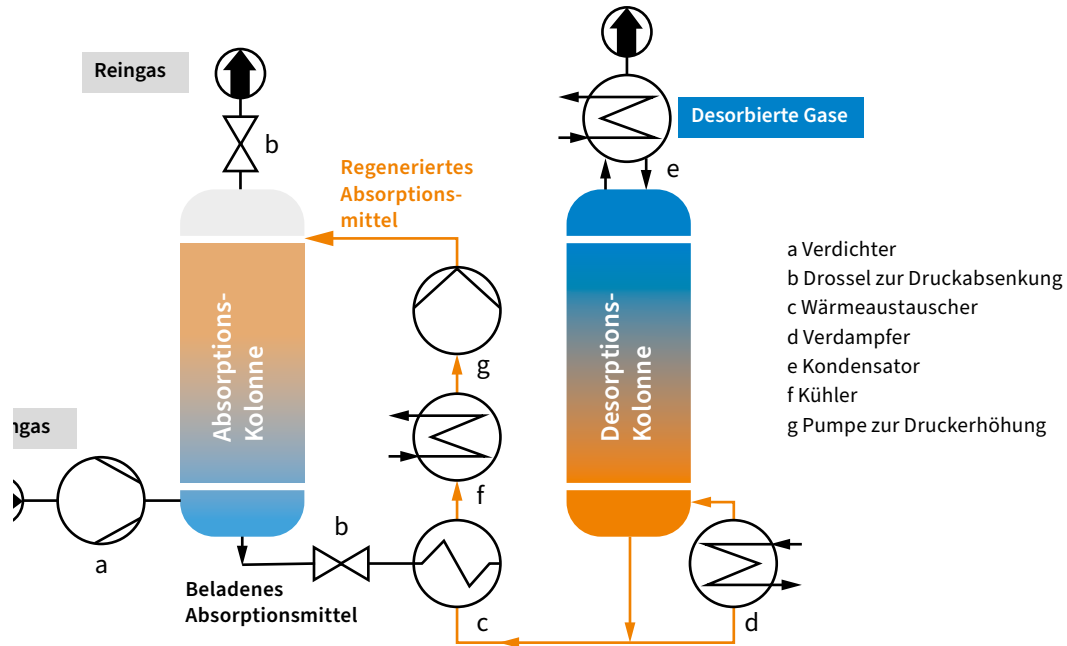


Schematische Darstellung von CO₂-Emission, -Abscheidung und -Speicherung sowie stofflicher Nutzung von CO₂

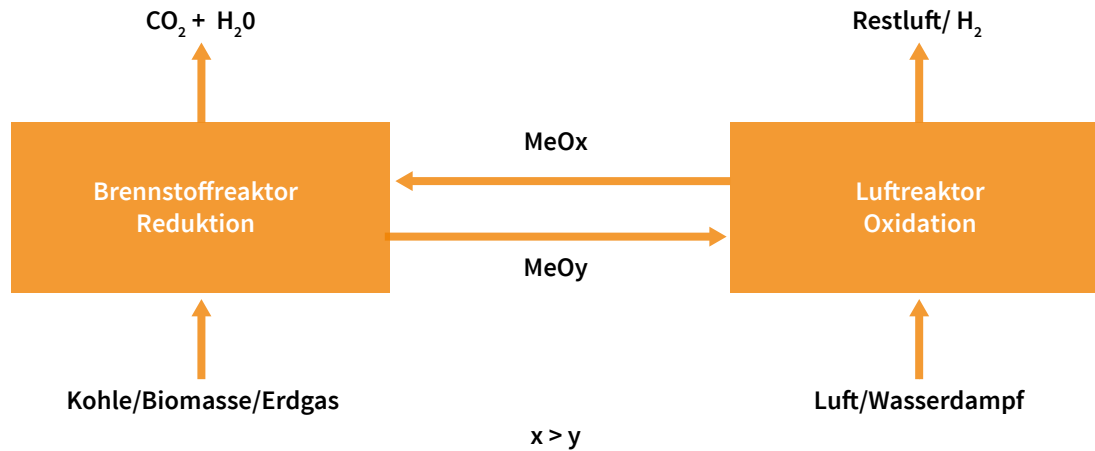


Quelle: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin (2010). Weltweite Innovationen bei der Entwicklung von CCS-Technologien und Möglichkeiten der Nutzung und des Recyclings von CO₂. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment Band / Volume 60 https://user.fz-juelich.de/record/9640/files/EnergieUmwelt_60.pdf (03.07.2024)

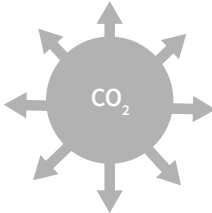
Absorptionsanlage für die Gaswäsche



Schematische Darstellung des CLC-Verfahrens

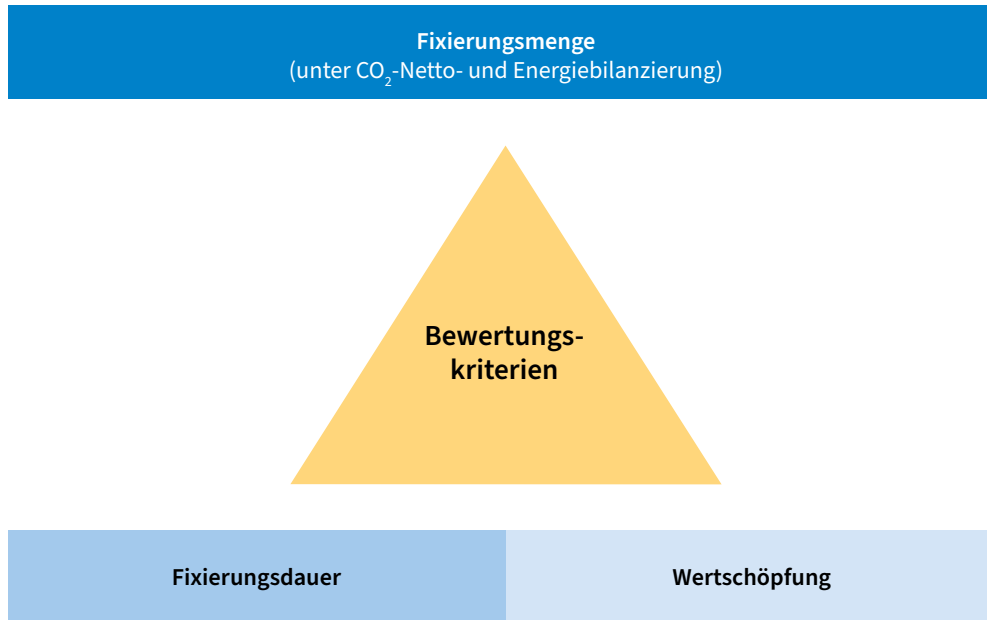


Zielprodukte CO₂-basierter Synthesen

Methanol	Ameisensäure	Cyklische Carbonate	Anorganische Carbonate	Organische Carbonate
Essigsäure Ethylen, Propylen Polymer-Vorprodukte DME Treibstoffe	Konservierungsstoffe Klebstoffe Vorprodukte Brennstoff für Brennstoffzellen	Lösungsmittel Elektrolyte für Lithium-Ionen-Batterien Zwischenprodukte für die Polymer-synthese	Mineralfüllstoffe Zement/Beton Bodenverfestigung	Pestizid Polymer-Vorprodukte Isocyanat-Vorprodukte Agrochemikalien Konservierungsstoffe Kosmetika
DME				Organische Säure
Kraftstoffzusätze LPG-Substitut				Tenside Nahrungsmittel-ergänzung Pharmazie
Aldehyde				Salicylsäure Aspirin
Polymere Lösungsmittel Farbstoffe Parfüme Inhaltsstoffe für Kosmetika	Alkohole	Harnstoff	Poly(propylen) carbonat	Polycarbonat-etherole
<ul style="list-style-type: none"> ■ Kommerziell ■ Labormaßstab ■ Demonstration 	Lösemittel Waschmittel	Düngemittel Kunstharze	Verpackungen Folien	Polyurethan-schäume

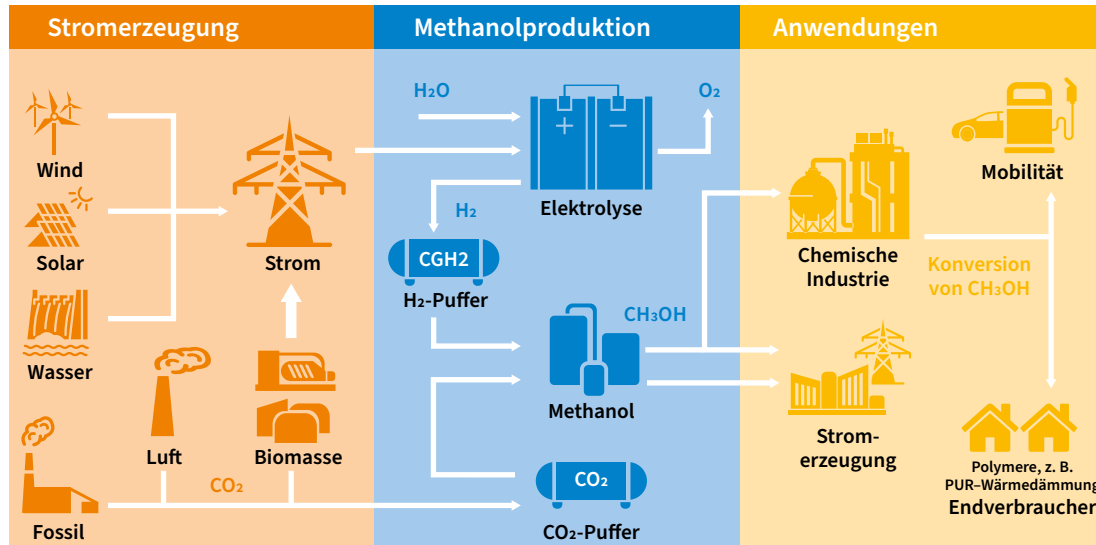
Quelle: aus Bazzanella, A., & Krämer, D. (2017). *Technologien für Nachhaltigkeit und Klimaschutz-chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von CO₂: Ergebnisse der BMBF-Fördermaßnahme*. Frankfurt a. Main: DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., S. 21
[https://dechema.de/dechema_media/Bilder/Publikationen/CO₂_Buch_Online](https://dechema.de/dechema_media/Bilder/Publikationen/CO2_Buch_Online). (24.07.2024)

Kriterien zur Bewertung der stofflichen Nutzung von CO₂ unter Klimaschutzaspekten



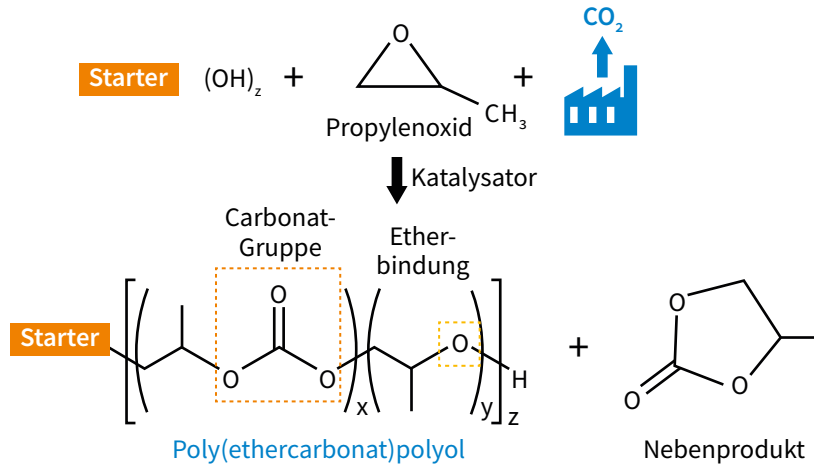
Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgasemissionen/die-treibhausgase>, S. 64 (26.06.2024)

Prozessketten von der Erzeugung erneuerbaren Stroms über die Methanolherstellung bis zum Einsatz von Methanol in den unterschiedlichen Märkten

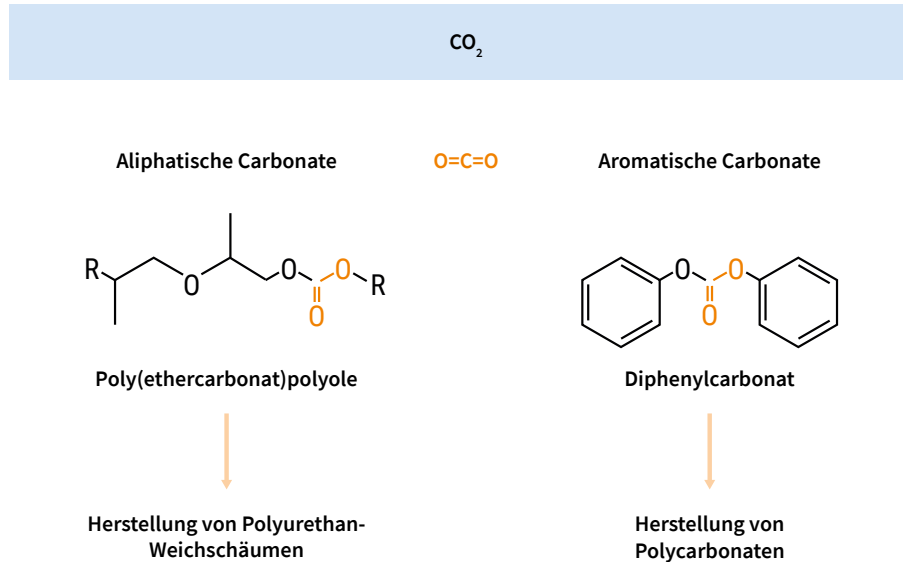


Quelle: nach Nachhaltiger Chemischer Speicher: Konversion von CO_2 und H_2 zu Methanol - Fraunhofer ISE <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/konversion-von-co2-und-h2-zu-methanol-als-nachhaltigem-chemischen-energiespeicher.html> (01.10.2024)

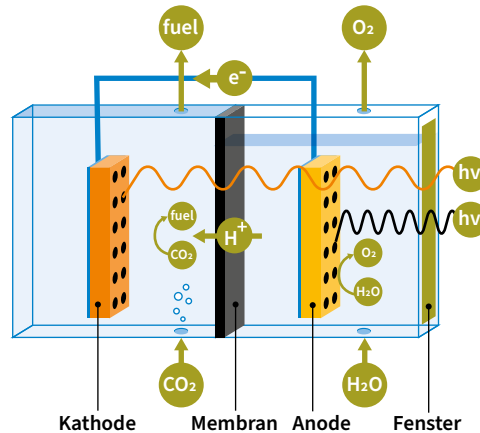
Schematische Darstellung der Herstellung von CO₂-basierten Poly(ethercarbonat)polyolen: Copolymerisation von Propylenoxid und CO₂



Kohlenstoffdioxid (CO₂) als C1-Synthesebaustein zur Herstellung von Polyether-Polycarbonat-Polyolen (PPP) zur weiteren Umsetzung zu Polyurethan-Weichschäumen und von Diphenylcarbonat zur Herstellung von Polycarbonaten



Konzeptzeichnung einer photoelektrochemischen Flüssigphasen-Zelle mit zwei Kammern

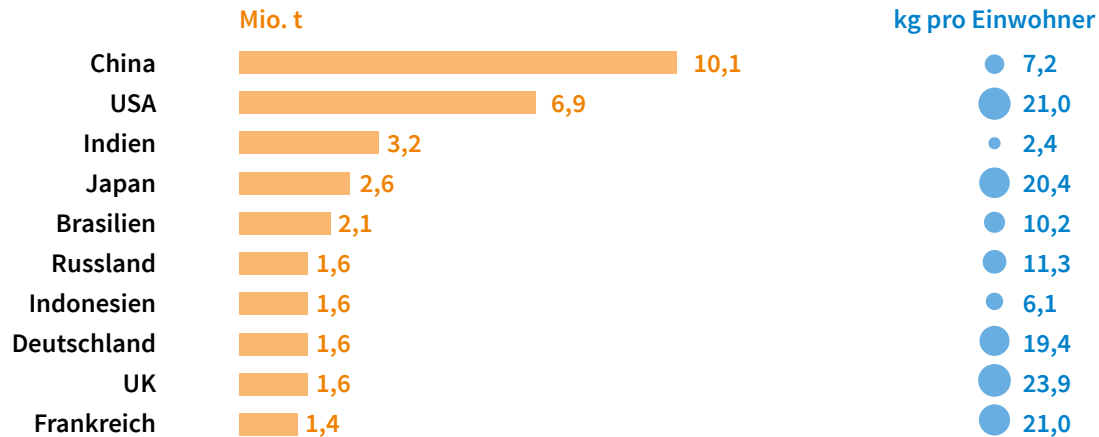


Die Wege von Licht, Reagenzien, Protonen, Elektronen und Reaktionsprodukten sind eingezeichnet.

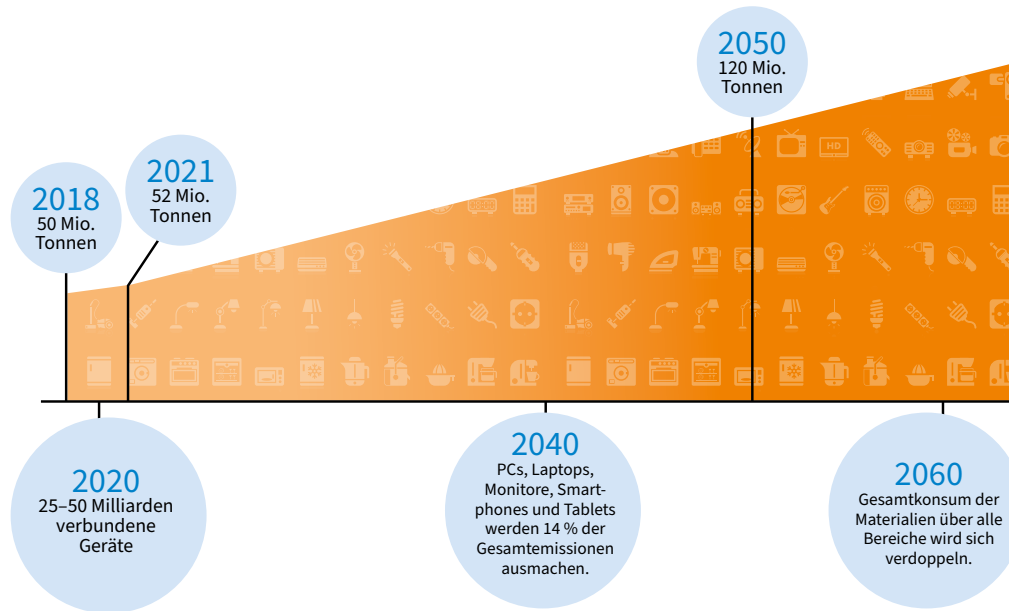
Elektroschrott pro Einwohner in ausgewählten Ländern

Jeder Deutsche produziert 19,4 kg Elektroschrott

Die zehn Länder mit dem größten Elektroschrottaufkommens 2019

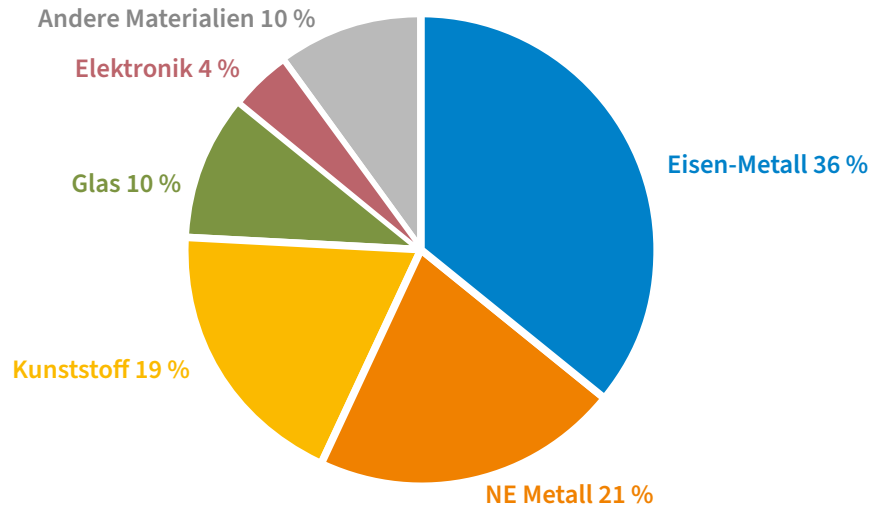


Die zukünftige Entwicklung des Elektroschrottaufkommens

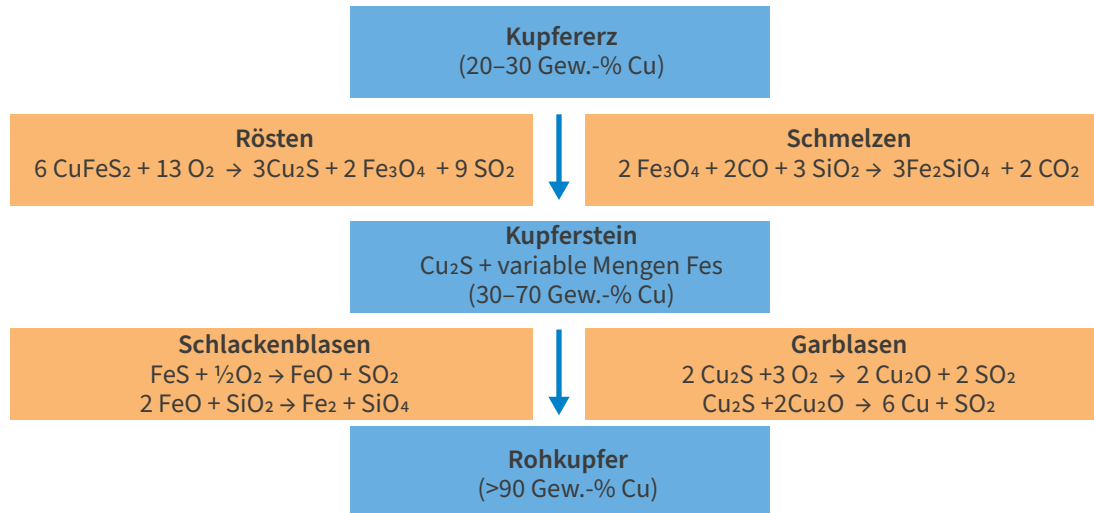


Quelle: Coalition, E. W. (2019). A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot. World Economic Forum.
www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf (25.07.2024).

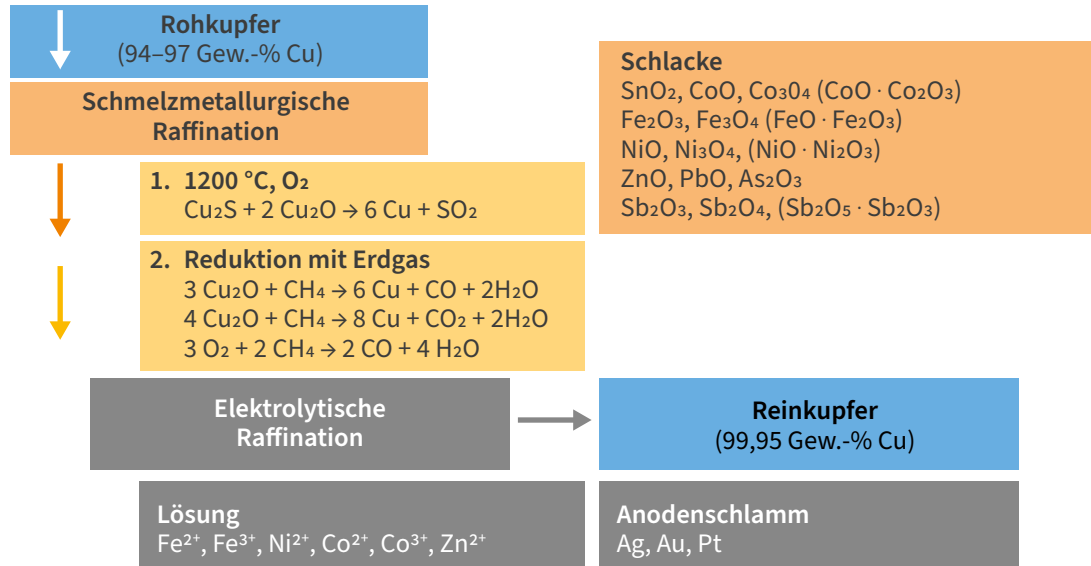
Mittlere Zusammensetzung von Elektroschrott in Deutschland



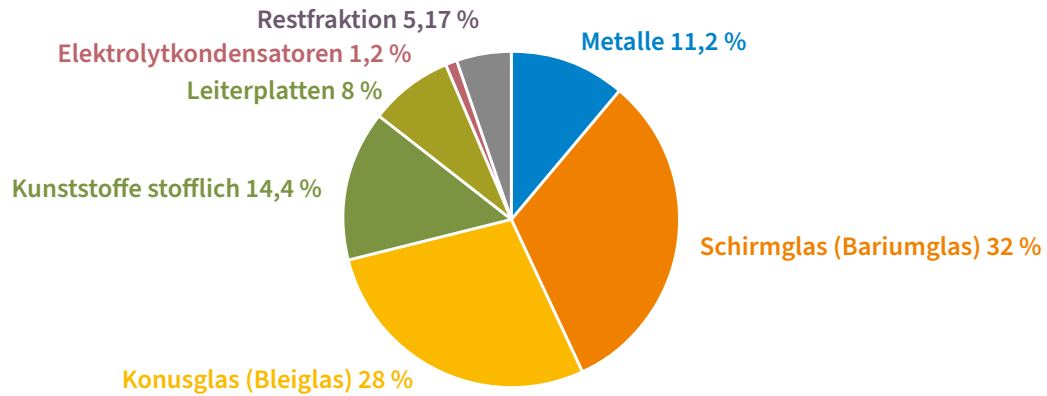
Schmelzmetallurgische Kupfergewinnung



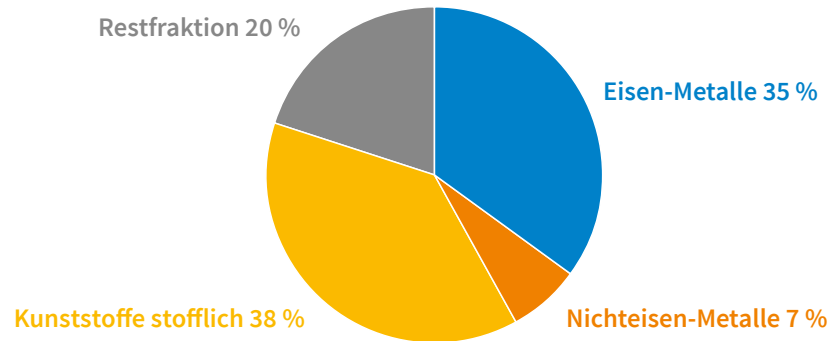
Kupferraffination



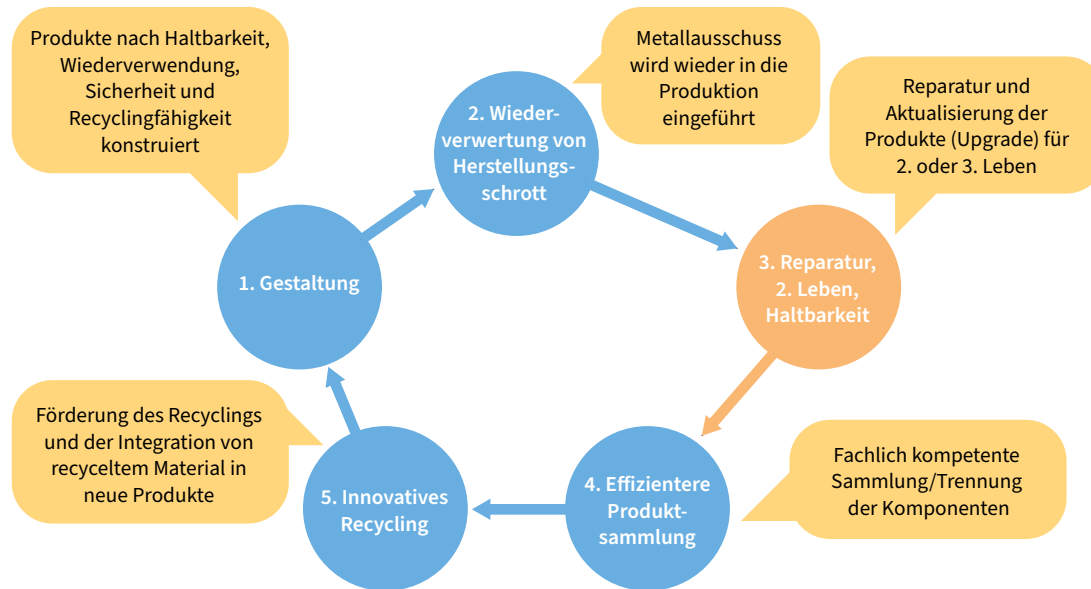
Materialfraktionen aus Röhrengeräten



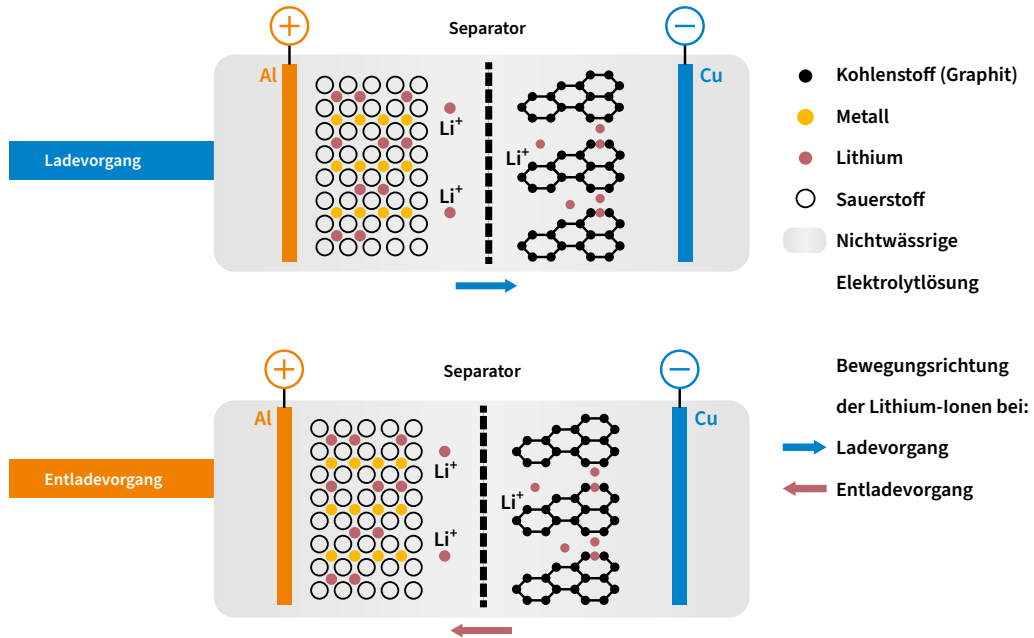
Materialfraktionen aus Flachbildschirmen



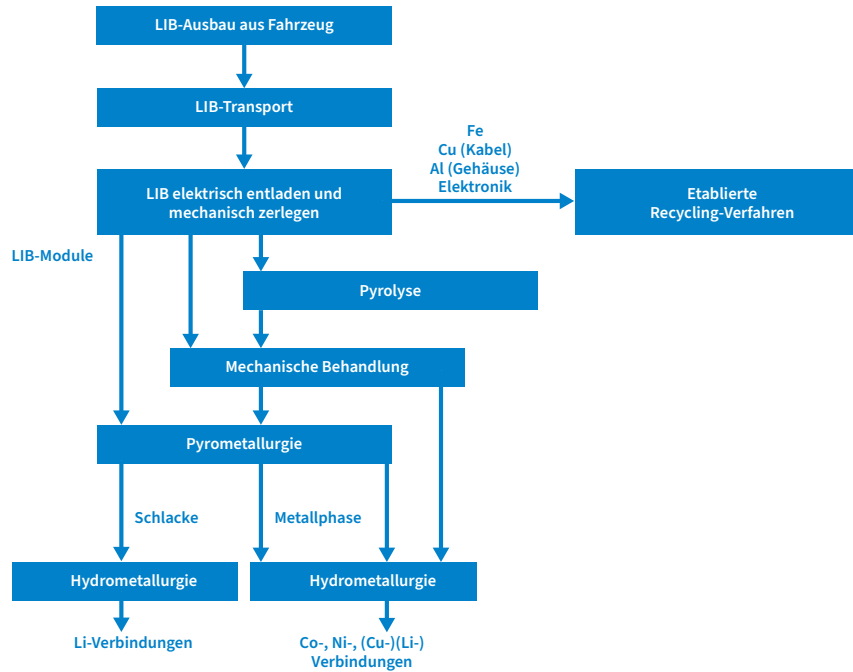
Anforderungen an eine Kreislaufwirtschaft für Elektrogeräte



Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie



Schematischer Ablauf eines Recyclings von LIB aus der E-Mobilität



Pyrometallurgische Behandlung von LIB-Modulen

