

Recycling zur Sicherung der nachhaltigen Metallversorgung für Klimaschutztechnologien



Dr. Christian Hagelüken



Umicore

Globales Materialtechnologie- & Recyclingunternehmen

~ 10400 Mitarbeiter, 62 Produktions- & F&E-Standorte weltweit, 14,8 Mrd € Umsatz*



Eines von drei weltweit führenden Unternehmen für Autoabgaskatalysatoren und Partikelfilter



Ein führender Zulieferer von Schlüsselmaterialien für Li-Ionen-Batterien und Brennstoffzellen



Ein weltweit führendes Recyclingunternehmen für komplexe Abfallströme mit Edelmetallen und anderen Wertmetallen



Eines der 10 nachhaltigsten Unternehmen weltweit (Platz 7 im Corporate Knights Ranking, veröffentlicht beim World Economic Forum Davos 2019)

Metalle im Umicore Portfolio



*2018; 3,3 Mrd € ohne Metalle

Bedeutung des Recyclings am Beispiel automobiler Anwendungen

Rückblick Katalysator:

- Einfluss neuer Technologien auf Metallnachfrage, Primär- & Sekundärangebot
- Herausforderungen & Hürden beim Recycling

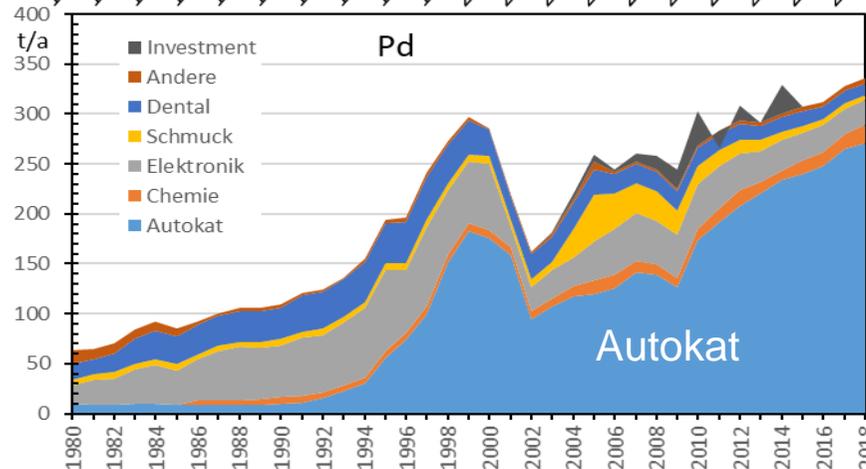
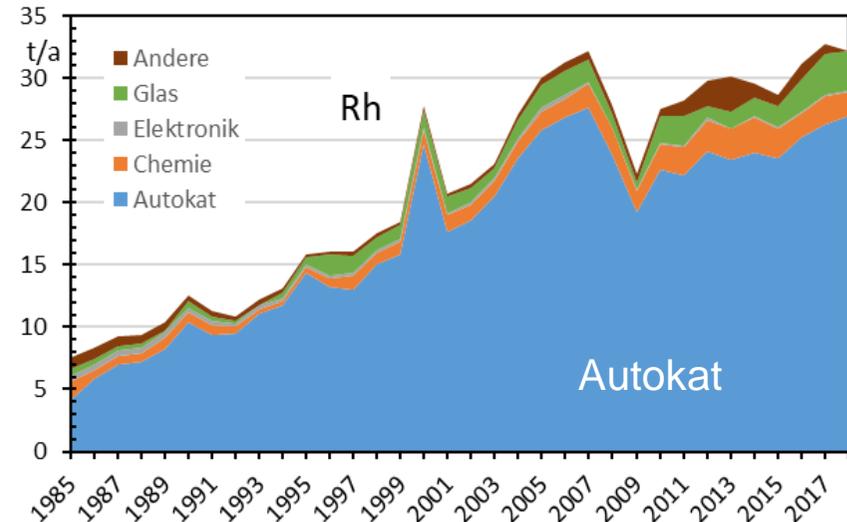
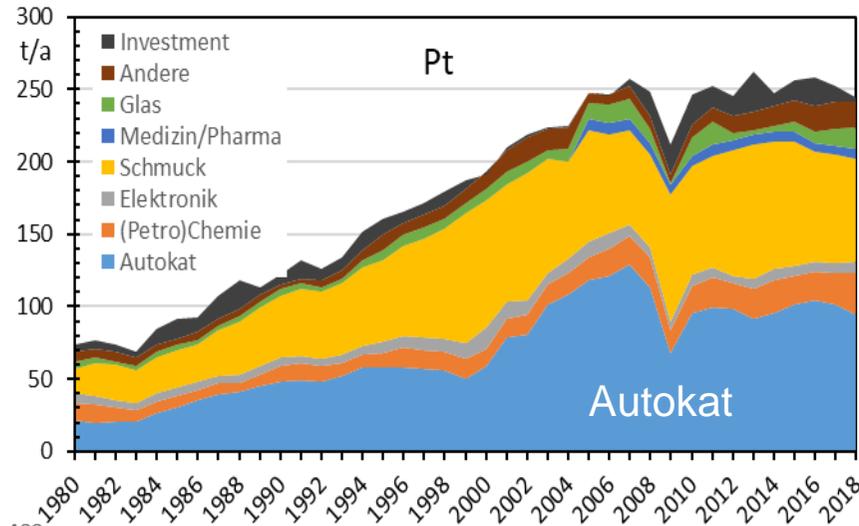


Ausblick Elektromobilität

- Brennstoffzellen-Fahrzeuge
- Batterieelektrische Fahrzeuge

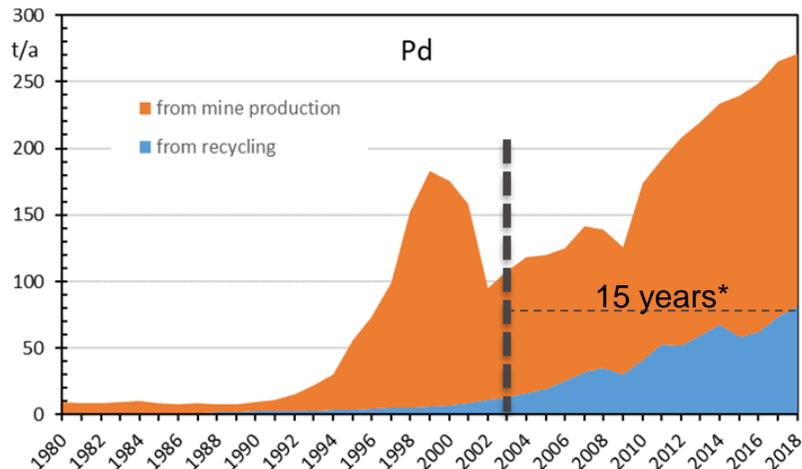
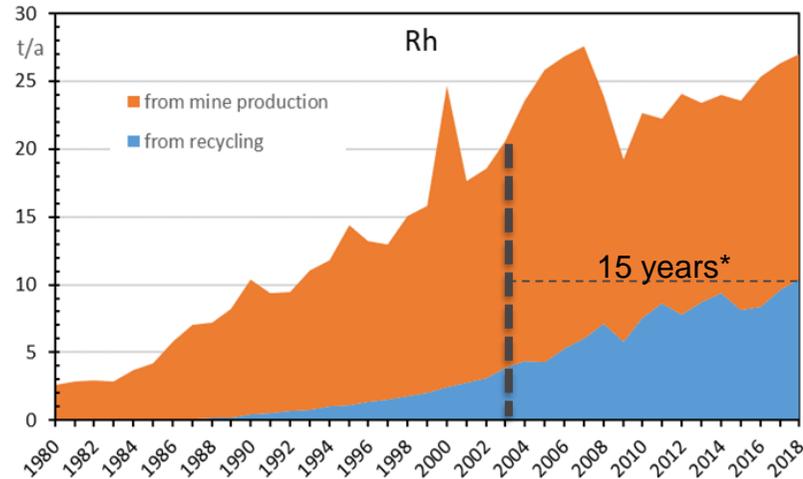
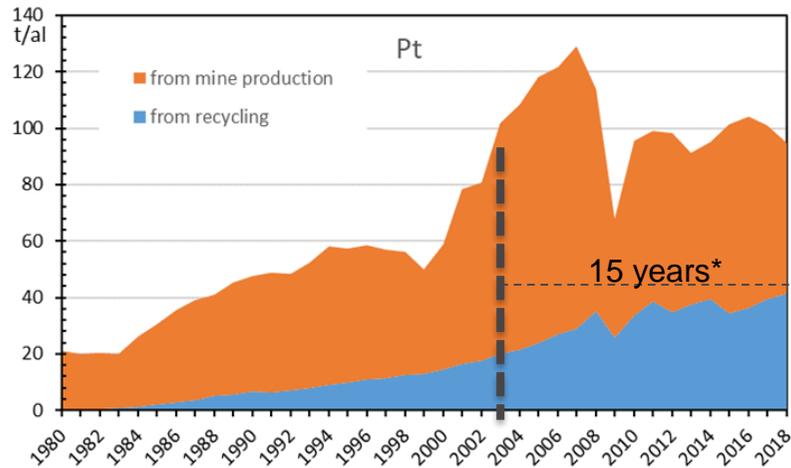


Autokatalysator treibt seit 1980 die PGM Nachfrage



- Faktor 4-5 bis 2005, erfolgreiche Angebotserhöhung
- 2018: Pt 39%, Pd 81%, Rh 84% der globalen Nachfrage für Autokats
- Inkl. Partikelfilter für Diesel (seit 2000) und Benzinmotoren (seit 2018)
- Hybrid-Fahrzeuge benötigen (hochbeladene) Autokats
- Brennstoffzellen-Fahrzeuge benötigen Pt (& Ir)

Steigender Recyclinganteil bei PGM-Versorgung für Autokats



Recycling Beitrag 2018: Pt: 44%, Pd: 30%, Rh: 39%
(statische Recyclingrate = "recycling input rate")

*bei Berücksichtigung der Kat-Lebensdauer (10-15a) steigt die dynamische
= EoL Recyclingrate auf ca. 60 %
technische Ausbeute moderner Recyclingprozesse > 95%

Kumulierte Nachfrage 7000 t (Pt+Pd+Rh) von ~15000 t bisheriger Förderung
- davon recycelt 1480 t
- noch im Betrieb ≈ 4500 t
- Verluste ≈ 1000 t (~2 Jahresproduktion PGM)

Edelmetalle in der Kreislaufwirtschaft

Technisch ist nahezu verlustfreies Recycling möglich ...

Edelmetall-Recyclingausbeute Umicore Prozess: >> 95%



Schmuck, Barren,
Münzen

Reale EoL-Recyclingrate* >> 90%

Recycling-Treiber +Wert

Katalysatoren
Chemieindustrie

> 90%

+B2B

Autoabgas-
Katalysator

~ 60%

-B2C, +Wert

Elektronik-Produkte

~ 25%

-B2C, +Gesetzgebung

= direkt, geschlossen, B2B
(industrielle Kreisläufe)

= indirekt, offen, v.a. B2C
(Konsumgüter-Kreisläufe)

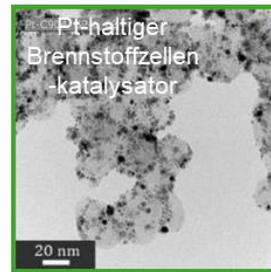
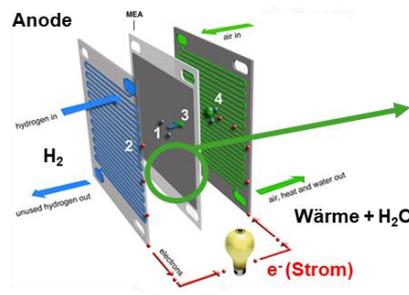
* für Au, Ag, Pt, Pd, Rh, globaler Durchschnitt

... aber enttäuschend niedrige Recyclingraten für viele Konsumgüter (B2C) über den gesamten Lebenszyklus

PGM für Wasserstoff-Elektrolyse & Brennstoffzellen

Wichtig für Energiewende und E-Mobilität

- **H₂-Elektrolyse** als Speicher für schwankende regenerative Stromerzeugung (PV, Wind)
- Direkteinsatz von H₂ für PEM-**Brennstoffzellen**-Fahrzeuge und/oder Umwandlung mit CO₂ zu **e-fuels** oder grünen Kohlenwasserstoffen („Power to X“)
- Hohe Energiedichte von H₂, **komplementärer Einsatz** zu batterieelektrischen Fahrzeugen, wenn Reichweite, schnelle Ladezeit und/oder Nutzlast essentiell (Langstrecken-Kfz, LKW, Flugzeuge, Züge ...)
- **Pt-haltiger Elektrokatalysator** ist Schlüssel für Kosten & Performance (Ir, Ru, Pd zur Systemoptimierung)
- Auch für „Power to X“ Verfahren werden **PGM-haltige Katalysatoren** benötigt.
- **Recycling-PGM aus Autokats als Basis für PGM Bedarf in Brennstoffzellen & Elektrolyse**
- **PGM Recyclingtechnik für neue Anwendungen ist bereits etabliert**



PGMs: Pt (+Ir)
Total Pt loading (g/vehicle)

today	35-60
next:	25
midterm:	10

Bedarf an Schlüsselrohstoffen für Batterie-EV

Bestandsaufbau während der nächsten Dekade



Markt-Beschleunigung (H)EV

150 GWh

ca. 500 GWh



Kathodenmaterial

300 Kt

ca. 850 Kt



Angebot vs. Nachfrage

Minenangebot Erwartete Nachfrage für Batterien

Li Lithium	250 Kt	375 Kt	>1.000 Kt
Ni Nickel	2.000 Kt	300 Kt	>1.100 Kt
Co Cobalt	120 Kt	90 Kt	>120 Kt



Metalle pro Auto

Li Lithium	35kg	=	40kg
Ni Nickel	25kg	↗	50kg
Co Cobalt	12kg	↘	5kg

● 2018 ● 2025 ● 2030

Verfügbarkeit von Kobalt ausreichend?

Ja, aber ...

- Aktuelle Rohstoffstudien der DERA zu Co & Li → <https://www.deutsche-rohstoffagentur.de>
- Ausreichende geologische Verfügbarkeit von Co, Ni, Li für wachsende E-Mobilität
- DR Congo: ~ 60% der Co Welt-Bergbauproduktion (120 kt), China: ~60% der Welt-Raffinadeproduktion
- 80% der DRC Produktion aus industriellem Bergbau, 20% aus Kleinbergbau (z.T. schlechte Sicherheits- & Sozialstandards, Kinderarbeit)
- 95% des Co ist Beiprodukt des Cu- und Ni-Bergbaus → Co Minenproduktion v.a. abhängig von Preisentwicklung bei Cu, Ni
- Neue Minenkapazitäten sind im Aufbau, aber temporäre Lieferengpässe und Preisspitzen möglich
- **Zunehmende Versorgung aus Recycling ermöglichen!**

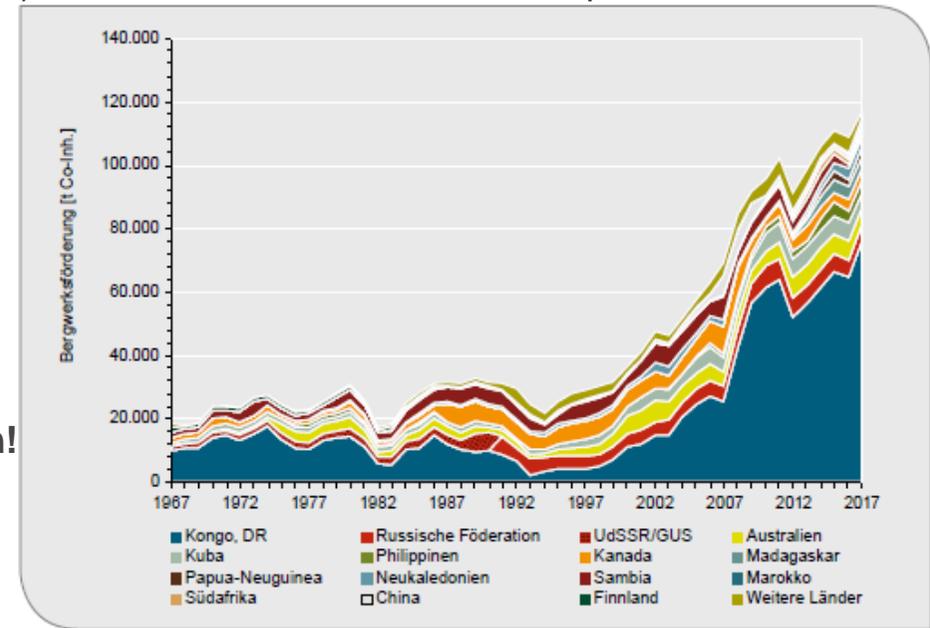


Abb. 21: Entwicklung der Bergwerksförderung von Kobalt zwischen 1967 und 2017 (Datenquelle: BGR 2018, CRU 2018).



Kreislaufschließung für Batterien

Entscheidend für eine nachhaltige Elektromobilität

Recycling essentiell:

- **Ergänzung** des **Primärangebots** von Co, Li, Ni & Cu
- **Verantwortungsvoller Rohstoffbezug**, „saubere“ Vorkette
- **Geografische Diversifizierung**, z.B. verringerte Abhängigkeit vom Kongo bei Co
- **Ökologischer Vorteil** gegenüber Bergbau (höhere Metallkonzentration)
 - geringerer Energie-, Wasser- & Flächenbedarf
 - i.d.R. weniger Verunreinigungen als Erze
 - **Wichtiger Beitrag zur Reduktion des CO₂-Fußabdrucks der E-Mobilität**



Reality Check

Europa ist ressourcenreich bei Nutzung von Altprodukten & Abfall als „Urban Mine“

- Großes **ungenutztes Recyclingpotenzial**: Globaler Anfall von ~30 000 t/a Co aus portablen Alt-Li-Ionen Akkus (Elektronik, Werkzeuge, ...), aber nur sehr geringe Recyclingraten → Co wäre ausreichend für 3-4 Mio EVs
- Leistungsfähige Recyclingverfahren vorhanden, Problem sind fehlende Anreize für Sammlung und hochwertiges Recycling (**bitkom Studie 2018-03**: 124 Mio Handys in deutschen Schubladen)



Anforderungen an das Recycling von Li-Ionen Akkus

Technische Basisanforderungen:

- Hohe effektive **Recyclingraten** der **Funktionsmaterialien Co, Ni, Li** über die gesamte Recyclingkette → marktfähiger, wieder einsetzbarer Metallrohstoff
- **Umweltgerechte** & energieeffiziente Recyclingverfahren entlang der Kette
- Hohe **Sicherheit** beim Umgang mit Batteriesystemen und Recyclingmaterialien (→ elektr. Restladungen, Elektrolytsubstanzen)

Ökonomische Anforderungen

- **Kosteneffizienz** & Economies of Scale
- Umgang mit großen Volumenströmen im **industriellen Maßstab**
- **Flexibilität** im Umgang mit unterschiedlichen Batterietypen und chemischen Zusammensetzungen

Umicore Recyclingprozess für Li-Ionen-Batterien

industrielle Pilotanlage mit 7000 t/a Kapazität*



Metalle werden in Batteriequalität zurückgewonnen

*Kapazität ausreichend für:
± 250 Mio Mobiltelefon Akkus
 ± 200,000 HEV's
 ± 35,000 EV's

Umicore Recyclingprozess

Vorbehandlung in Abhängigkeit von Größe

Keine Vorbehandlung erforderlich
→ Direkteinsatz im Hochofen

Vorbehandlung notwendig
→ Zerlegung auf Modulebene



* Illustration from different sources

Demontage von xEV Batteriesystemen & Verwertung der verschiedenen Fraktionen



Copyright © 2017 Umicore. All rights reserved

Metallurgisches Batterierecycling Umicore

effizientes Verfahren im industriellen (Pilot)Maßstab

Kapazität 7,000 t/a

- Patentiertes Verfahren
- Hohe Flexibilität bei Material-Input
- > 95% Ausbeute für Co, Ni, Cu
- Zusätzliche Rückgewinnung von Li

Recycling Produkte

- Cu-Ni-Cu-Metalllegierung → Metallsalze (battery grade)
- Li-Konzentrat (aus Schlacke) → Li_2CO_3
- Schlacke → Zuschlagsstoff für Zementproduktion
- Flugstaub → Abscheidung von Fluor

Öko-Effizienz

- Close-to-zero waste
- Hochwirksame Abgasreinigung
- Energieeffizient (Nutzung der Energie aus Restladung, Elektrolyt & enthaltener Organik)



Wiedereinsatz der
Batteriemetalle für Umicore
Kathodenmaterial

Wirtschaftlichkeit des Recyclings von Li-Ionen Akkus

Kreislaufschließung ist zwingender Bestandteil der nachhaltigen Elektromobilität

Betriebswirtschaftlich abhängig von 4 Hauptfaktoren:

- **Batterietyp/ - chemie**: Welche Wertstoffe sind in welchen Konzentrationen enthalten
- Aktuelle **Marktpreise der Metalle** (v.a. Co, Ni, Cu, Li)
- **Performance** von **Recyclingkette** (Kooperation, Schnittstellen) und eingesetzten **Verfahren** (Metallausbeuten, Energieeffizienz, Umwelt- & Sicherheitsstandards) → Level Playing field (Gesetzgebung & Recyclingstandards)
- **Economies of Scale**: welche Mengen sind wann & wo verfügbar?

Volkswirtschaftliche Bedeutung

- **Schonung der geologischen Ressourcen**: Ergänzung der Metallversorgung aus Bergbau
- **Versorgungssicherheit**: heimische Quellen statt Importabhängigkeit
- Beitrag zum **verantwortungsvollen Rohstoffbezug**
- Verbesserung der **Ökobilanz** der E-Mobilität
- **Opportunitätskosten**: Nicht-Recycling ist keine Option → Kosten für sichere Deponierung, Vermeidung von Bränden und Schadstoffemissionen

Kontroverse Punkte? – Versachlichung der Diskussion

Reuse/2nd Life vs Recycling

- 2nd Life kann wichtigen Beitrag leisten, wenn professionell konzipiert und durchgeführt
- Ähnliche (hohe) Anforderungen an Batterieerfassung und Stoffstromtransparenz wie Recycling
- Verlängerte Nutzungszeit der Batterie muss in hochwertiges Recycling münden

Materialrecycling vs Metallrecycling

- Höhere Wertschöpfung sofern reale Vermarktungsmöglichkeiten für recycelte Materialien (Gehäuse, Elektronik, Kathodenmaterial, Elektrolyt, ...) in aktueller Batterieproduktion oder vergleichbaren Anwendungen
- Hohe Anforderungen an Qualität der recycelten Materialien beschränkt Vermarktungsmöglichkeiten
- Fokus für Materialrecycling ist Produktionsausschuss, wenig realistisch für EoL-Batterien (Mix & veraltet für dann aktuelle Batterien)

Recyclingquote, Zielelemente, Recycled Content

- Rein massenbasierte Quoten nicht zielführend, entscheidend ist hohe Ausbeute für knappe Batteriemetalle (Co, Ni, Li)
- Vorsicht bei Trade-offs: höhere Recyclingquote darf nicht auf Kosten der Ausbeute der o.g. Metalle gehen
- „Recycelt Content“ nur dann vorteilhaft, wenn dies tatsächlich zu mehr Netto-Recycling führt

Pyrometallurgie vs Hydrometallurgie

- „Pyro“ ist nicht per se Energie-intensiver als „hydro“ → gesamte Recyclingkette bis Feinmetall & Rückstände berücksichtigen
- Metallausbeuten der Recyclingkette sind entscheidend (inkl. Verluste der mechanischen Aufbereitung/Shreddern)
- Es geht um Startprozess, finale Recyclingschritte sind immer „hydro“ (komplementär)

E-Mobilität als idealer Testfall für die Kreislaufwirtschaft

- Erwartetes starkes Marktwachstum **treibt Metallnachfrage** für Co, Li, Ni, Cu, REE, Pt, ...
→ **Sekundärrohstoffe** zur Ergänzung der primären Rohstoffversorgung
 - **Recycling** schafft *nachhaltige* Rohstoffbasis, Verbesserung der Ökobilanz für E-Mobilität
 - Effiziente **Recyclingverfahren verfügbar** → Co, Ni, Cu, Li...
 - Umfassende **Sammlung** ist Schlüssel für Erfolg
→ **Anreize** für Sammlung & hochwertiges Recycling **schaffen**
→ **Logistik** als Enabler: sichere, saubere & transparente Stoffströme zu hochwertigem Recycling
 - „**Business as unusual**“ **erforderlich** für Markterfolg E-Mobilität („Nutzen statt besitzen“)
→ Leasing des Akkus, shared mobility, EV-Flotten/Service Modelle (B2B):
- ⇒ **Voraussetzungen** für zirkulare E-Mobilität jetzt schaffen
- ⇒ **Erfahrungen** bei anderen Produkten (Elektronik) **nutzen**, bekannte **Defizite vermeiden**
- ⇒ **Innovative Akteurskooperationen & systemische Ansätze** sind entscheidend



Umicore ist Gründungsmitglied und leitet die AG "Mobile Stromspeicher"

<https://www.acatech.de/projekt/circular-economy-initiative-deutschland/>

Fazit/Handlungsempfehlungen

Rahmenbedingungen schaffen, nachhaltige Akteure belohnen

- „Grüne“ Produkte/Technologien benötigen zwingend auch „saubere“ Lieferketten, dabei Schlüsselstellung für Rohstoffbasis und Energieversorgung; **Kreislaufschließung** als Kernbestandteil „grüner“ Produkte.
- Alle Akteure in der **Wertschöpfungskette** müssen **Verantwortung** übernehmen (up- & downstream!), EPR-Systeme verbessern.
- **OECD Due Diligence** Leitlinie bietet gute Basis für „responsible sourcing“ & transparente Lieferketten. Zertifizierung, um Einhaltung der Standards zu verifizieren (Umsetzung erfordert Aufwand!).
- „**Responsible Recycling**“ muss gleiche Bedeutung wie „responsible sourcing“ bekommen. Auch am „End of Life“ gibt es Probleme mit intransparenten Stoffströmen, informellen Akteuren & „irresponsible activities“.
- Verantwortliches Handeln bei Rohstoffbeschaffung & Recycling führt zu **Zusatzkosten**, Markt muss das honorieren → „**Level Playing Field**“ auf EU & internationaler Ebene → Gesetzgebung
- **Rechtssicherheit** schaffen auf nationaler, EU- und internationaler Ebene, **Vollzug** gewährleisten!
- **Überarbeitung der EU Battery Directive**: Fokus auf umfassende Sammlung & hochwertiges Recycling (Transparenz, Standards & Zertifizierung), Vorgaben für Rückgewinnung der Funktionsmetalle Co, Ni, Cu, Li
- Umfassendes & hochwertiges **Recycling von portablen Li-Ionen Batterien & Geräten** durchsetzen.
- **Grenzüberschreitende Transporte** zu zertifizierten Qualitäts-Recyclinganlagen erleichtern.
- Vorbildfunktion bei **Beschaffung und Abfallmanagement durch öffentliche Hand** → kritische Masse schaffen.

Elektromobilität & Recycling im Kontext begreifen



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt: christian.hagelueken@eu.umicore.com

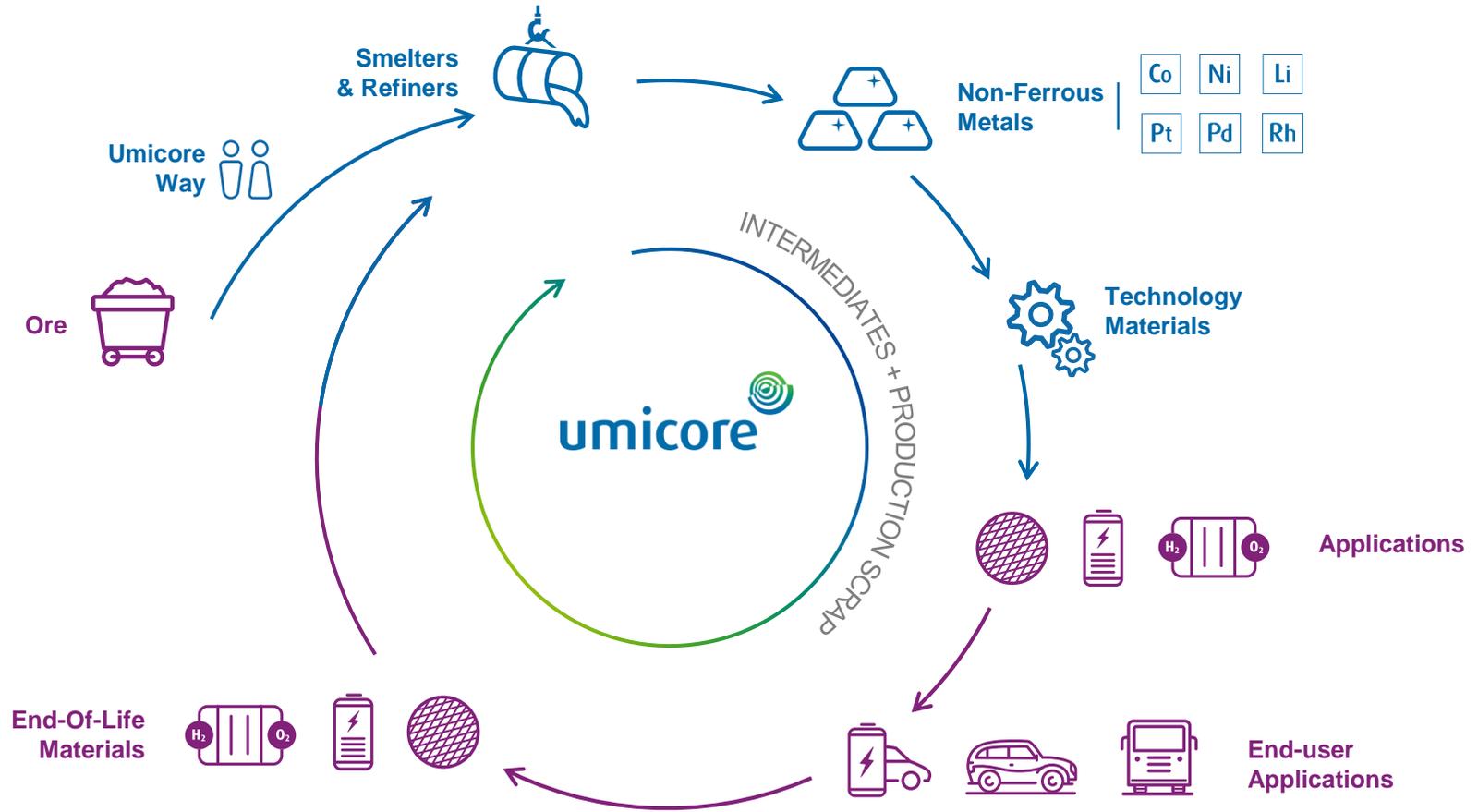
Publikationen: www.researchgate.net/profile/Christian_Hagelueken/contributions

C. Hagelüken: Bedeutung des EU Kreislaufwirtschaftspakets für das Metallrecycling, Chem. Ing. Techn. 2017, 89, No1-2, 17-28

www.umicore.com

www.batteryrecycling.umicore.com

Umicore in the automotive supply chain

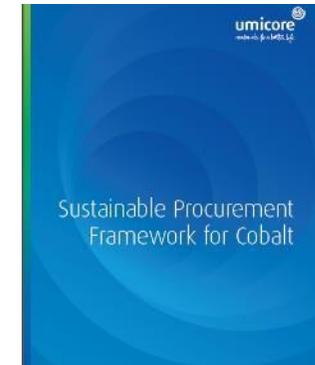


Saubere Mobilität im Kontext nachhaltige Beschaffungssysteme als Basis

Umicore-Ansatz

- “Closed Loop” → Einsatz von Recyclingmetallen
- Nachhaltiges Beschaffungsprogramm für Kobalt seit 2004
→ Arbeitssicherheit, Sozial- & Umweltbedingungen der Gewinnung, Gesetzeskonformität
- Basierend auf OECD Due Diligence Guideline, externe Validierung & Zertifizierung
- Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette

Anwendung auch für Beschaffung von Li, Ni & Mn



Validation of Umicore's Sustainable Procurement Framework for Cobalt

Umicore's Sustainable Procurement Framework for Cobalt is the first of its kind in the industry. It is a comprehensive framework that covers the entire value chain from mining to refining. The framework is based on the OECD Due Diligence Guideline and is designed to ensure that Umicore's cobalt supply chain is socially and environmentally responsible.

The framework is based on the OECD Due Diligence Guideline and is designed to ensure that Umicore's cobalt supply chain is socially and environmentally responsible.

The framework is based on the OECD Due Diligence Guideline and is designed to ensure that Umicore's cobalt supply chain is socially and environmentally responsible.

The framework is based on the OECD Due Diligence Guideline and is designed to ensure that Umicore's cobalt supply chain is socially and environmentally responsible.

<http://www.umicore.com/en/cases/sustainable-procurement-framework-for-cobalt/>

Anforderungen an Batterie-Kreislaufwirtschaft

Intrinsische Erfolgsfaktoren:

- Materialwert → Batterie-Chemie & Preisentwicklung Co, Ni, Cu, Li
- Batteriezusammensetzung & Design; Zugänglichkeit im Altfahrzeug
- Geschäftsmodelle (B2C vs B2B)
 - Batterie-Leasing, shared mobility, EV Flotten/Service Modelle (B2B):
 - B2B generiert inhärente Anreize für Reparaturfreundlichkeit /2nd Life & Qualitäts-Recycling; kritische Masse/Kosteneffektivität bei industriellen Akteuren; inhärente Transparenz

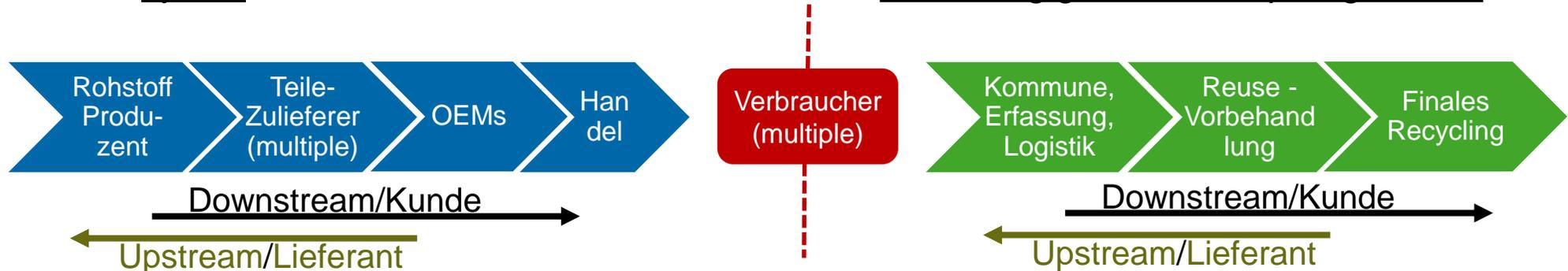
Extrinsische Erfolgsfaktoren:

- Sammel-Infrastruktur & innovative Logistikkonzepte
- Externe Sammel- & Recyclinganreize
 - Pfand, Abgaben, EPR Systeme, öffentliche Beschaffung ...
- **Qualität & Wirtschaftlichkeit der Recyclingprozesse**
 - technische & Umwelt Performance; verfügbare Mengen
- Gesetzgebung / Kontrolle / Vollzug
 - Sicherstellung eines umfassenden & hochwertigen Recyclings
- Akteurskooperationen entlang des Lebenszyklus
 - OEMs, Handel, Nutzer, Rücknahmesysteme, Logistik, Recycler

Kein Recycling ohne Erfassung und
Einsteuering in geeignete Prozesse!

Aktuelle Barrieren für eine Kreislaufwirtschaft (B2C)

Lebenszyklus unterbrochen beim Verbraucher → 2 unabhängige Wertschöpfungsketten



- Fokus v.a. auf direkte Kunden/Lieferanten Schnittstellen; fehlender Systemansatz & übergreifende Zusammenarbeit entlang des Produkt-Lebenszyklus
- Kaum Anreize für OEMs zur Entwicklung langlebiger, gut reparierbarer & recyclingfähiger Produkte
- Ausrichtung von Prozessen, Instrumenten, Geschäftsmodellen & (Finanz)kennzahlen in Unternehmen auf lineare Geschäfte
- Wenig Wissen und Interesse zu Nutzung und Verbleib der Produkte nach ihrem Verkauf
- @ EoL: Fokus v.a. auf Kosten/Preise statt auf Qualität der Recyclingprozesse
- Derzeitige EPR Systeme schaffen kaum Anreize für umfassendes & hochwertiges Recycling
- OEM Fokus auf Gesetz Compliance & Image (CSR, Responsible Sourcing, Recycled Content, ...), nicht auf wirklich zirkulare Geschäftsmodelle