



Neue Technologien, neue Werkstoffe, neue Marktstrukturen

Herausforderungen für das künftige Recycling und Lösungsansätze der Recyclingregion Harz

Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann
REWIMET Symposium 2019
Ressourcenmanagement
Clausthal, 19. September 2019



Energiewende

Mobilitätswende

Neue Technologien,

neue Werkstoffe,

neue Herausforderungen

Digitalisierung

**Gesellschaftliche
Teilhabe**

Veränderungen in Rohstoffauswahl und -verbrauch in der Produktion

Eine Reihe von Faktoren haben in den letzten Jahren zu maßgeblichen Veränderungen in Rohstoffauswahl und Verbrauch bei der Produktion neuer Produkte und Anlagen geführt, unter anderem:

- ◆ Massive **Digitalisierung**, Datentransfer und Kommunikation
- ◆ Einführung der **Elektromobilität**
- ◆ Neue **Energierzeugungs-** und **speichertechnologien**

Zur Erreichung dieser Ziele spielen **Materialien** eine besondere Rolle, deren Vorkommen begrenzt und deren Gewinnung mit hohem Aufwand verbunden ist, insbesondere **Bunt-, Sonder- und Edelmetalle**

Periodensystem der Elemente

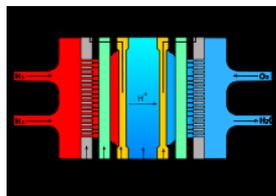
The periodic table is color-coded by groups: 1 (yellow), 2 (orange), 13 (green), 14 (light green), 15 (light blue), 16 (blue), 17 (dark blue), 18 (purple). A legend indicates: C (Carbon) is a free element; Fe (Iron) is a free element; O (Oxygen) is a gas-forming element; Hg (Mercury) is a liquid element at 20°C; Tl (Thallium) is a radioactive element. The table also shows atomic numbers and names for various elements, with a focus on transition metals (groups 3-10) and rare earth elements (lanthanides and actinides).

NE-Metalle als Schlüssel-Werkstoffe neuer Technologien

- ◆ Metalle, wie **Aluminium, Kupfer und Zink** sind seit langem in den Bereichen Leichtbau, Energietransfer oder Korrosionsschutz von Bedeutung, teilweise drastischer Verbrauchsanstieg zu erwarten



- ◆ Gravierende Steigerungsraten im Verbrauch sind bei **Sonder- und Edelmetallen** zu erkennen



Elektronik, Fahrzeugtechnik, Hochleistungsbatterien, Magnettechnik, Energiesparlampen, Solartechnik: Senken und Quellen besonders relevanter Rohstoffe

Steigerungsraten beim Verbrauch besonders knapper bzw. kritischer Rohstoffe an ausgewählten Beispielen



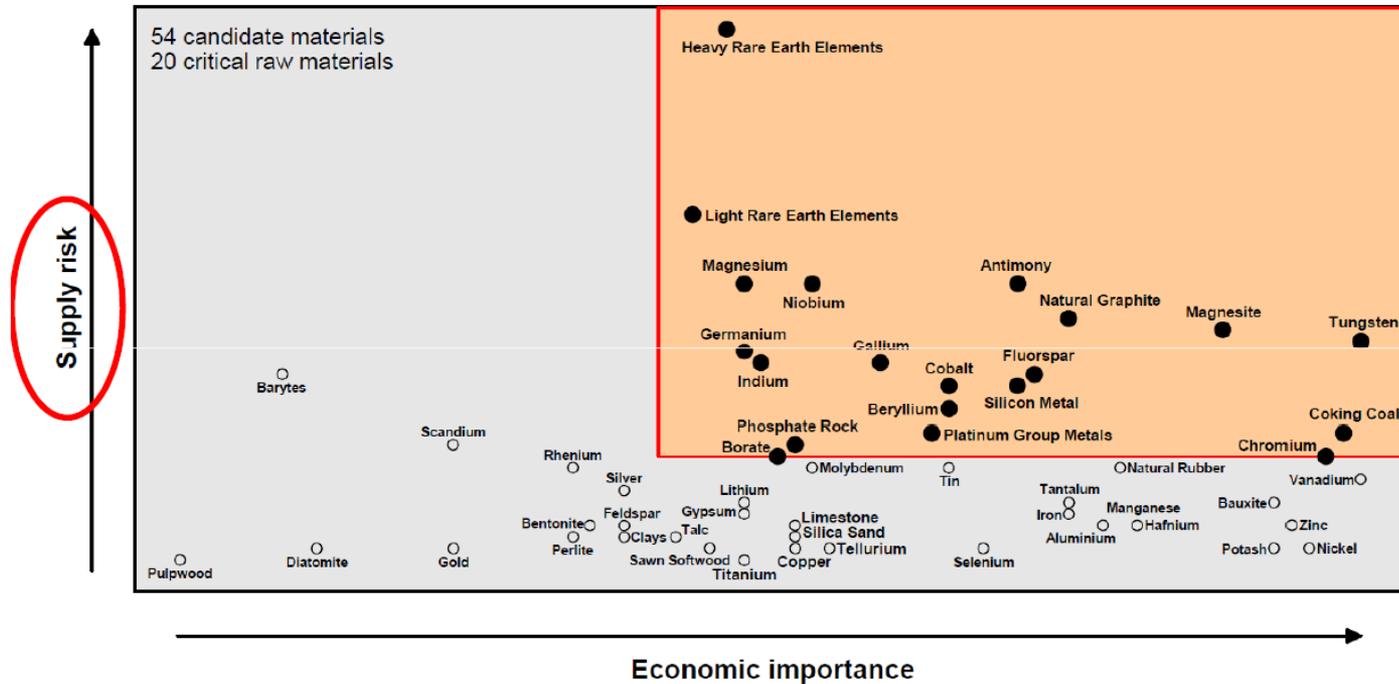
Nahezu alle dieser Elemente spielen in unseren Zukunftstechnologien in Deutschland eine besondere Rolle, insbesondere auch für die Energiewende

Rohstoff	2006 ¹	2030 ^{1,2}	Zukunftstechnologien als Nachfragetreiber
Gallium	18 %	397 %	Dünnschicht-Photovoltaik, IC, WLED
Indium	40 %	329 %	Displays, Dünnschicht-Photovoltaik
Scandium	gering	231 %	SOFC Brennstoffzellen, Al-Legierungselement
Germanium	28 %	220 %	Glasfaserkabel, IR optische Technologien
Neodym	23 %	166 %	Permanentmagnete, Lasertechnik
Tantal	40 %	102 %	Mikrokondensatoren, Medizintechnik

¹ Verhältnis zur gesamten Weltproduktionsmenge des jeweiligen Rohstoffs im Jahr 2006,

² von der BGR aufgrund neuerer Daten neu berechneter Wert

Kritische Versorgungslage in der EU: Wirtschaftsstrategische Rohstoffe





Rückgewinnung einer Vielzahl an Wertstoffen aus komplexen Produkten bei kurzen Produktzyklen



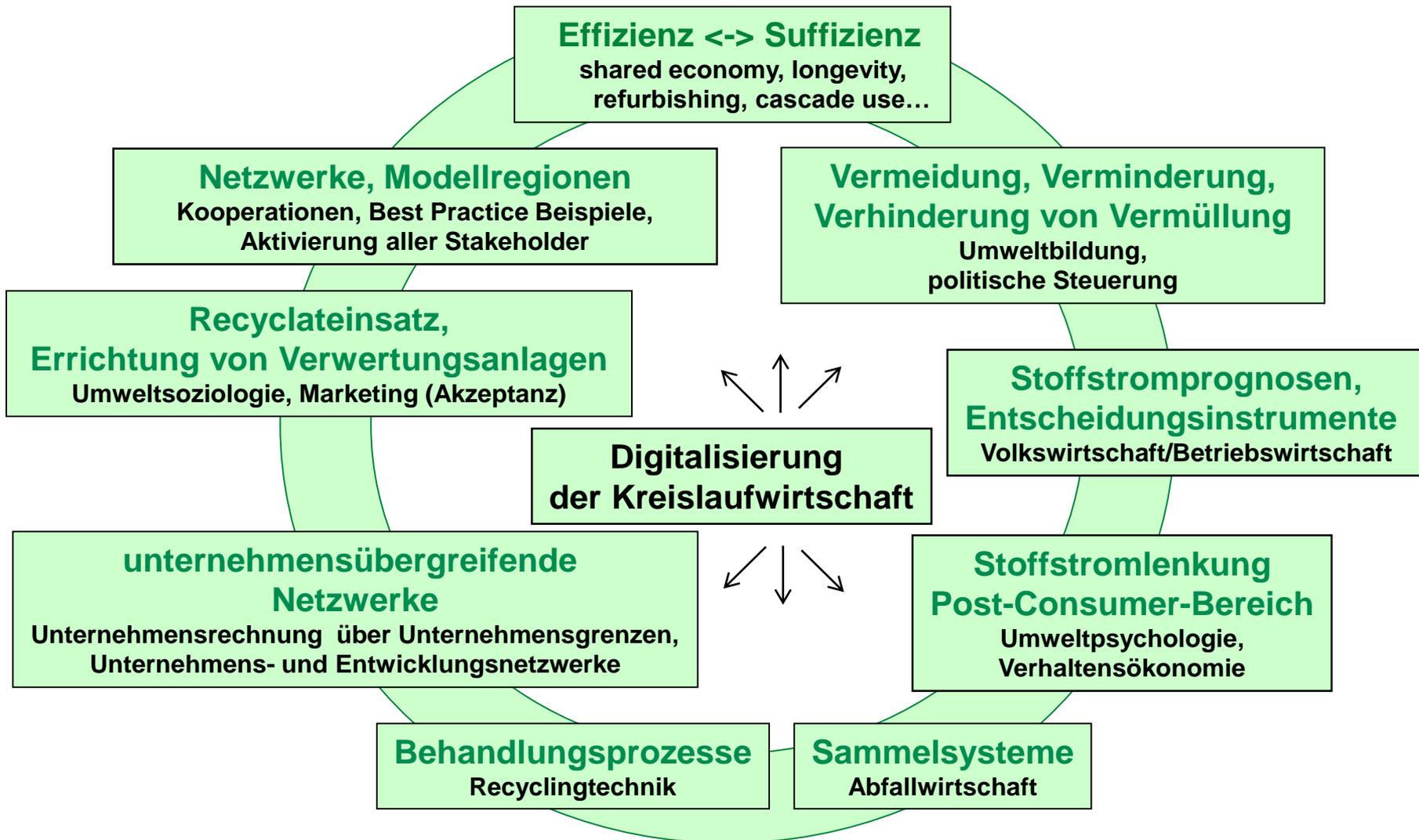
Periodensystem der Elemente

Hauptgruppe(1-2)		Nebengruppe										Hauptgruppe(3-8)							
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.				
1 H																2 He			
2 Li	Be									3 B	4 C	5 N	6 O	7 F	8 Ne				
3 Na	Mg									9 Al	10 Si	11 P	12 S	13 Cl	14 Ar				
4 K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
5 Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
6 Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
7 Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo		
6 Lanthanoide (57-71)		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
7 Actinoide (89-103)		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

Leichtmetalle
 „Elektronikmetalle“ (Halbleiterelemente)
 SeltenErdeElemente
 Refraktärmetalle
 Edelmetalle



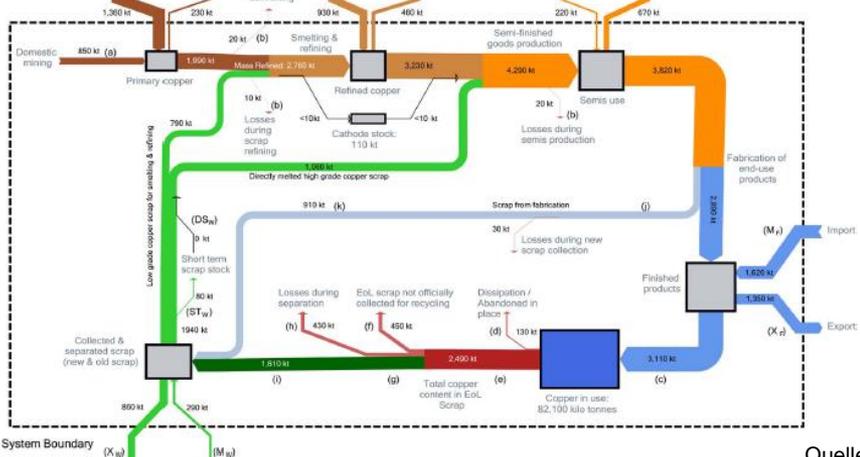
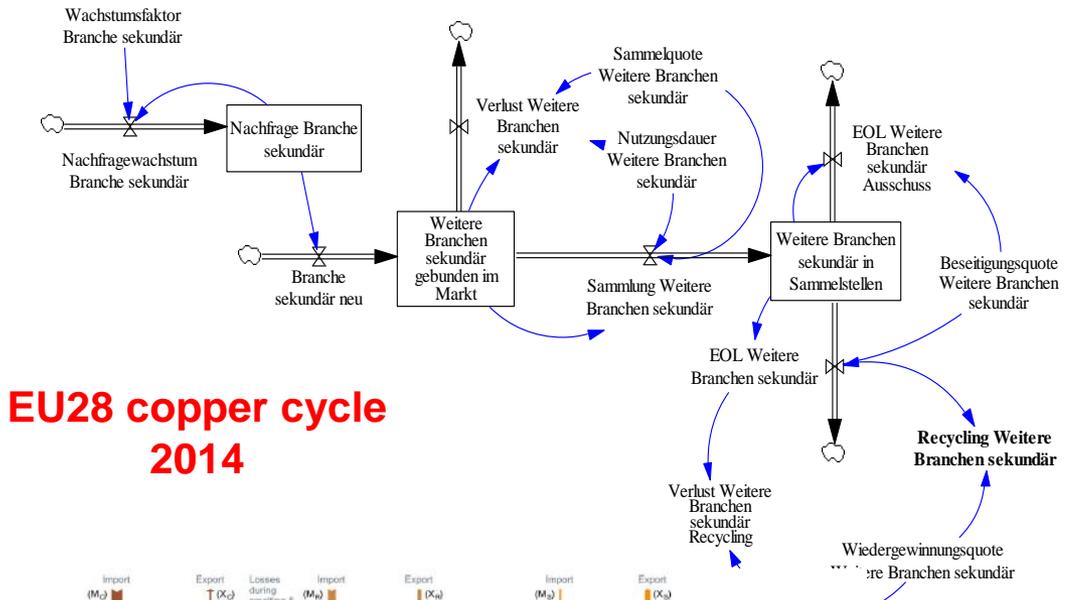
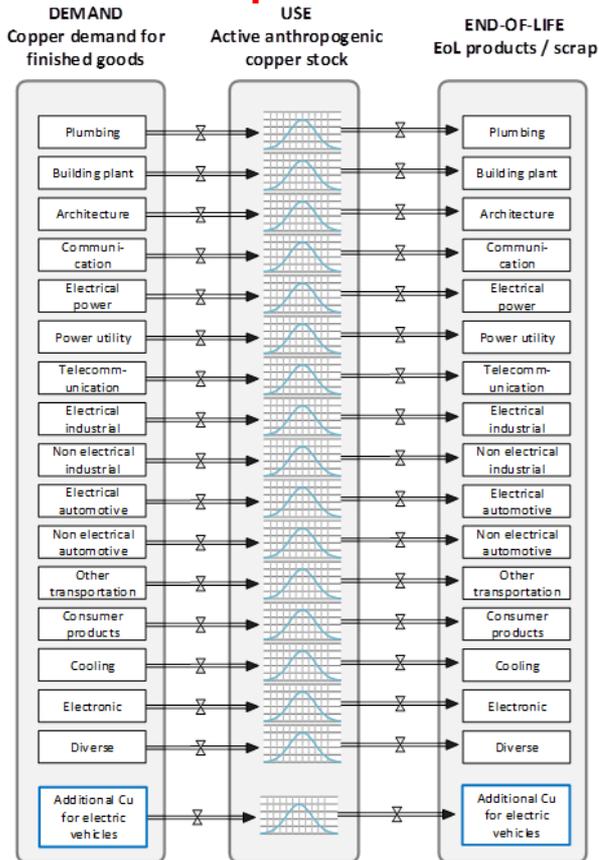
Perspektiven einer **Advanced Circular Economy**



Stoffstromprognosen und Entscheidungsinstrumente

Der System Dynamics Ansatz am Beispiel des Kupferkreislaufs
 Entscheidungshilfe für Investitionsplanungen

- **Input/Sources**
- **Stock**
- **Output**
- **Competition**

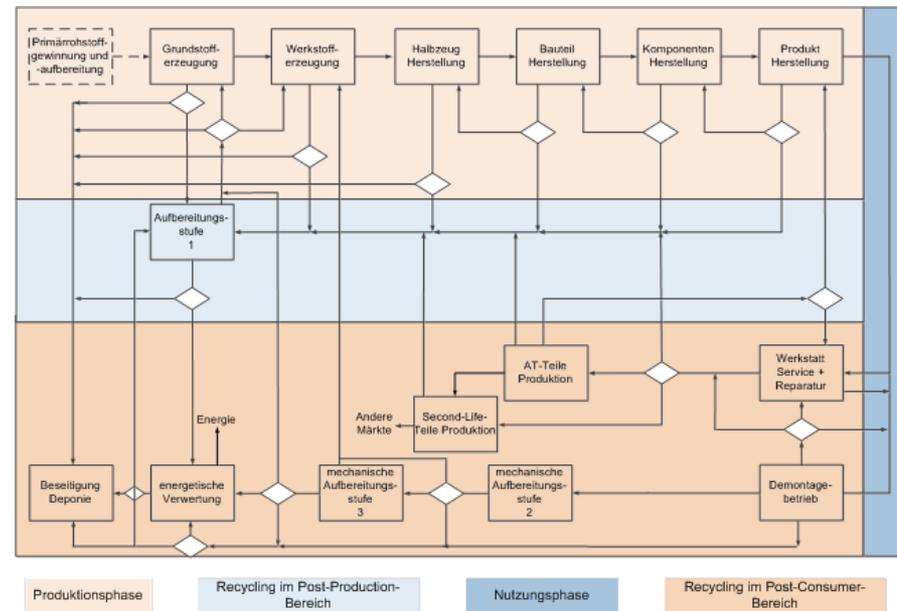


Quelle: Soulier, 2018

Steuerung komplexer Prozessketten und Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft



Stoffstrommanagement
Informationsaustausch
Geschäftsmodelle



Stoffstromlenkung im Post-Consumer-Bereich

Intrinsische Motivation und Verhaltenskosten als gesellschaftliche Steuerungsinstrumente



Intrinsische Motivation steigern

hoch

Verhaltenskosten senken

Spende für Umweltschutz

Elektrokleingerät recycling

Fahrradpendeln
Ohne Auto in der Stadt

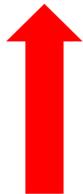
Altglas zum Sammelcontainer
Papierrecycling

niedrig

Quelle: A. Kibbe – Recycling 2.0

U 20 ->

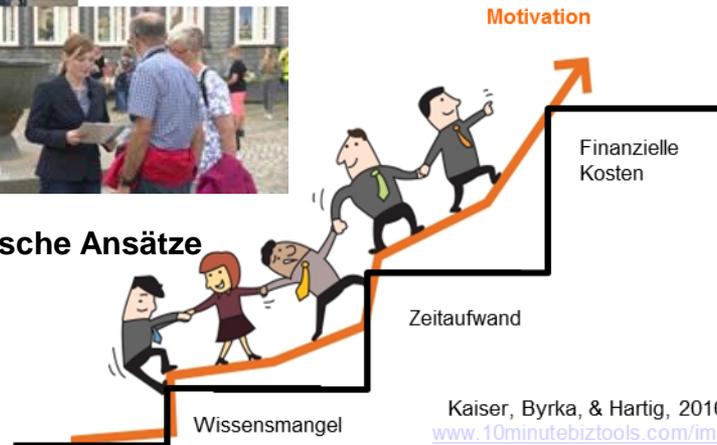
GAMIFICATION



und auch hier wieder Digitalisierung



Altersgruppen-spezifische Ansätze



Kaiser, Byrka, & Hartig, 2010

www.10minutebiztools.com/images/

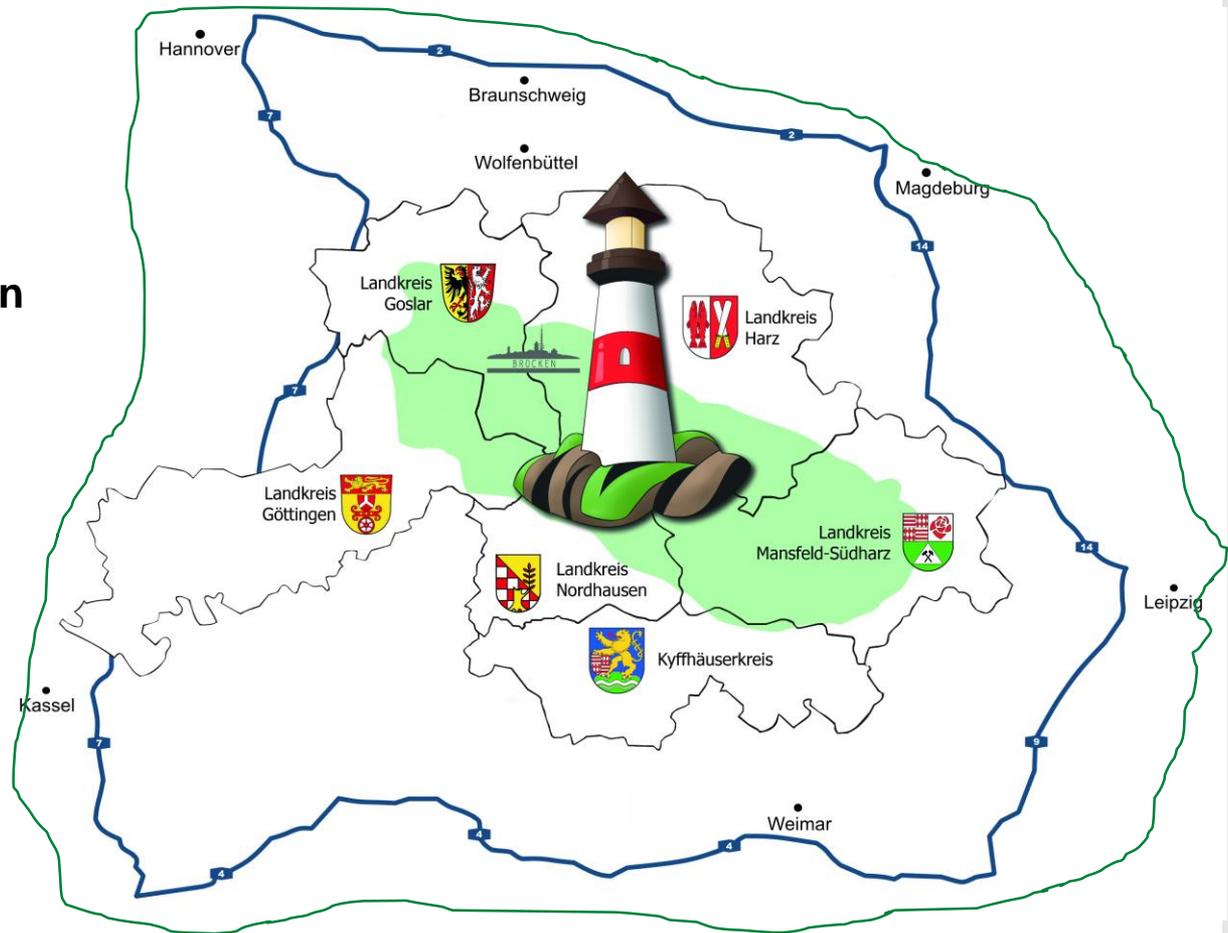
ID-100224329.jpg

Auf- und Ausbau der Recyclingregion Harz 2019

Aktuell:

**rund 100 Unternehmen
und 12 Hochschulen
und außeruniversitäre
Forschungseinrichtungen**

**Leuchtturmregion
in Deutschland**



Lösungsansätze in der



Recyclingregion Harz

Sekundärrohstoffpotentiale und Sekundärrohstoffverarbeiter

- **C2B: „Consumer to Business“**
Konsumentenstruktur
von ländlich bis städtisch



- **B2B: „Business to Business“**
breitbandig aufgestellte
Industrieregion mit
kompletter Kette von
Grundstoffindustrie
bis zu OEMs



- **D2B: „Deposit to Business“**
Ursprüngliche Industrien
und deren Rückstände
aus dem Rohstoff- und
Grundstoffbereich und
weitere Ablagerungen



C2B: Elektronikschrott als Rohstoffquelle



Der global E-Waste Monitor 2014 der United Nations University weist folgende Zahlen aus:

- ◆ **Gesamtanfall:** **41,8 Mio. t**, davon
- ◆ **Weniger als 1/6** davon wurden einer ordnungsgemäßen Verwertung zugeführt
- ◆ **Die Wertstoffinhalte** belaufen sich auf:
 - 16,5 Mio. t Fe
 - 1,5 Mio. t Cu (entspr. knapp 10 % der Welt Cu-Produktion)
 - 0,3 Mio. t Au (entspr. 11 % der Welt Au-Produktion)
 - u.a.mit einem geschätzten aktuellen Marktwert von **48 Mrd. €**

Bis 2020 (2030 ?) Verachtfachung des weltweiten Aufkommens erwartet
(Unep-Report Bali 2010) **entspr. 320 Mio. t/a !**

Dies entspricht einem zweistelligen MilliardenTonnen Betrag an Primärrohstoffen!

Moderne Elektronik kann bis zu 53 chemische Elemente enthalten von denen bisher nur ein Bruchteil zurückgewonnen wird



Aktuelle Recyclingraten

- > 50 %
- > 25 - 50 %
- > 10 - 25 %
- 1 - 10 %
- < 1 %



1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra																	
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Der Harz als führende Region im Bereich Elektronikschrott-Recycling

*Umwelt- und
Ressourcenbewußtsein*



*Effiziente
- Vorbehandlung,
- Aufbereitung,
- Verwertung*



*Anreizsysteme gegen
Fehlwürfe und Hording*



*Optimierte Sammlung
und Transport*



Eine neue große Herausforderung: Recycling der Elektromobilität

von der Grundlagenforschung bis zum Praxistransfer

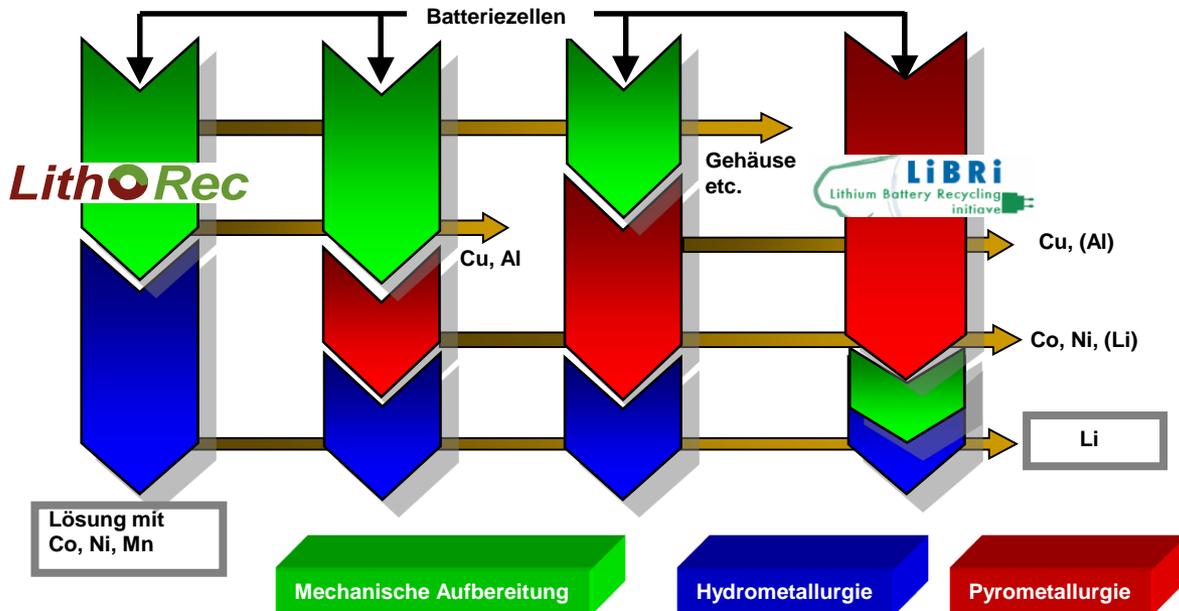


Recycling von Li-Ionen-Traktionsbatterien



InnoRec

Batteriecluster Region Braunschweig



Potential zur Primärrohstoff-Substitution durch Sekundärrohstoffe aus vermischten, vorbandelten Stoffströmen: Beispiel Müllverbrennungsschlacken als Kupfer-Quelle

In Deutschland werden jährlich rund 26 Mio. t in 98 MVAn und EBS-Kraftwerken verbrannt (Stand 2017)



Ungefähr 6,5 Mio. t verbleiben als Ausbrand (Aschen, Schlacken, Steine, Unverbranntes)
Dieser enthält ca. 425.000 t Fe und 76.000 t of NE-Metalle (wichtigste Wertträger Cu und Al)



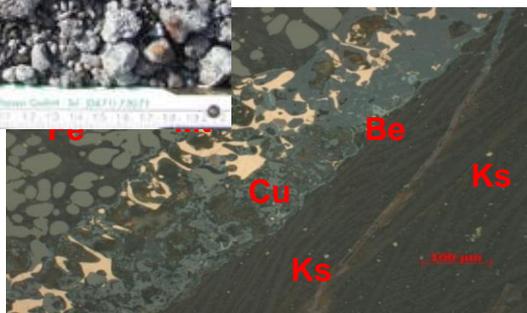
Größter MVA-Aschen Aufbereiter in D:
Strabag in der Recyclingregion Harz



Nach derzeit effizienter Rückgewinnung von NE-Metalle-Partikeln > 6 mm enthält die verbleibende Masse noch 0,4 - 0,7% Cu

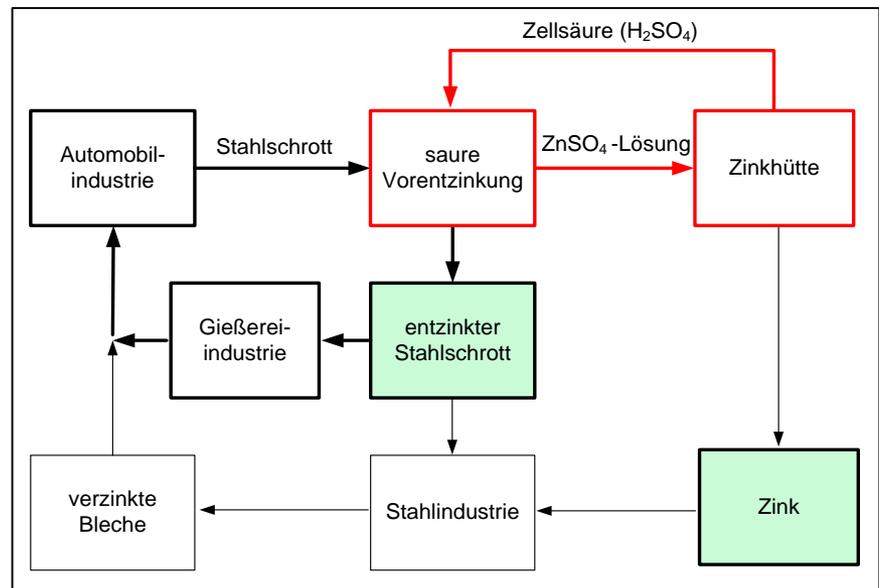
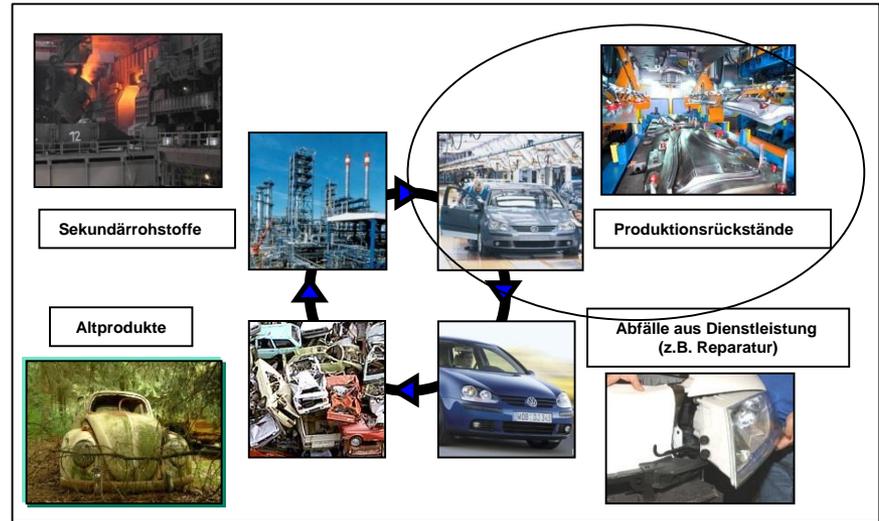
Technologieentwicklung
Mittelkornaufbereitung
IFAD+Strabag+Aurubis

Grundlagenforschung zur
Feinstkornaufbereitung
IFAD (DFG-Projekt)



Mineralogische Analysen weisen Cu-Konzentrationen in Form metallischen Kupfers und Legierungen in feinen und feinsten Körnungen nach

B2B: Direktentzinkung von Schrotten durch Einsatz speziell adaptierter Laugeverfahren



D2B: Tailings – Herausforderungen der Zukunft



Dammbruch
Vale, Brasilien



Spülhalden und Kontaminationen:
Ticampampa, Peru

Weltweit gewaltige Ablagerungen vorhanden,
Jedes Jahr kommen 20 Mrd. t dazu

Rohstoffrückgewinnung aus bergbaulichen Rückständen des Rammelsbergs als Startpunkt für globale Lösungen



Abschätzung zum Wertstoffinhalt
auf Basis alter Produktionsdokumente
sowie aktueller Untersuchungen

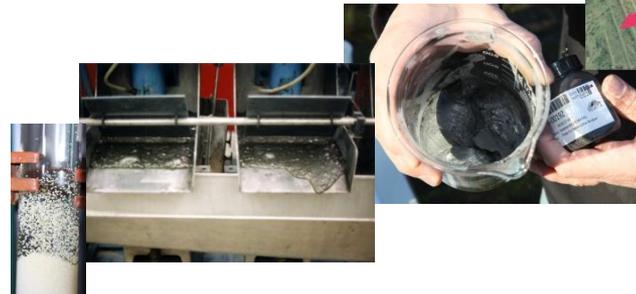
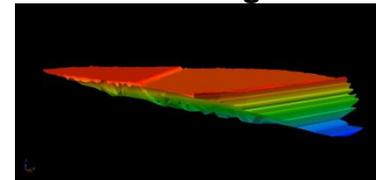
Gold	1,5 t
Indium	44 t
Gallium	170 t
Cobalt	1220 t
Silber	234 t
Kupfer	10.650 t
Blei	85.200 t
Zink	120.700 t
Schwerspat	1.356.000 t

* eingestuft als kritische Rohstoffe



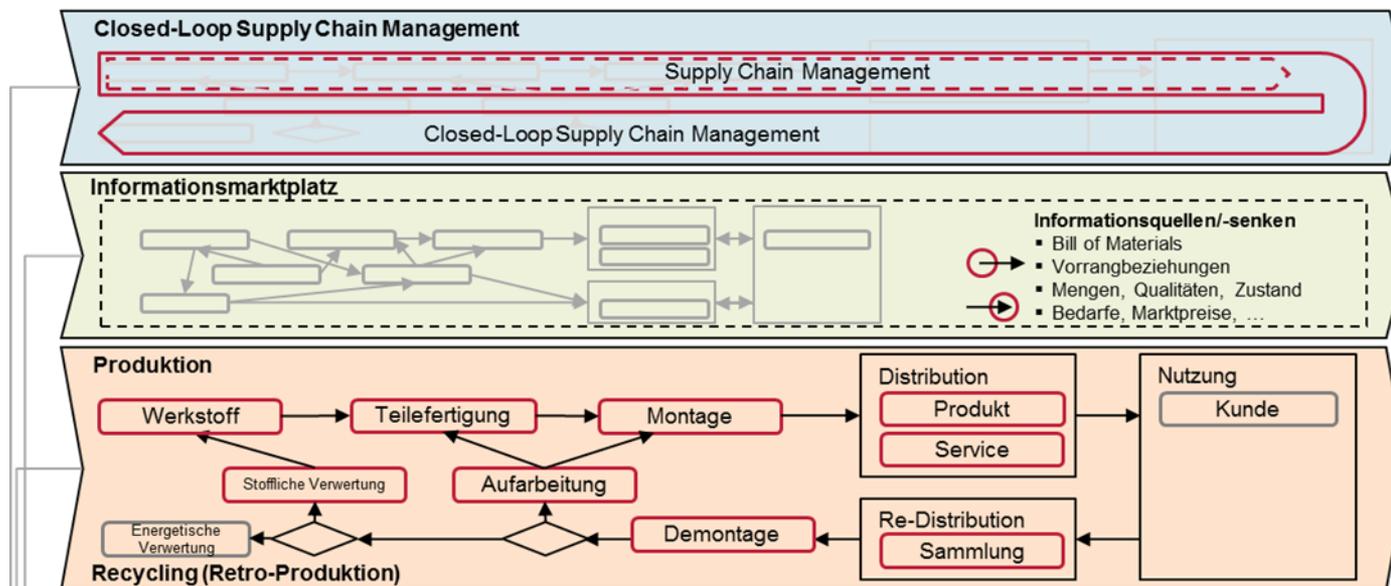
Was wird heutzutage benötigt für die Entwicklung von Rückbau- und Verwertungsansätzen :

- Geotechnische Analyse und Bewertung des „Bauwerks“, des Rückbaus, der Dammsysteme und des geologischen Untergrunds
- Lagerstättenerkundung und Modellierung
- Klärung des chemischen und mineralogischen Aufbaus
- Entwicklung eines Aufbereitungsverfahrens
- Entwicklung von Absatzkanälen für erzeugte Stoffströme
- Wasserhaltung-, Wasserfassung, Abwasserreinigung
- Genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen klären
- Ökonomische, ökologische und Akzeptanzfragen klären



Zusammenführung von Abfallströmen und Gestaltung einer Closed-Loop Supply chain

Recycling 4.0



Verantwortliche	Aufgaben / Methoden
AIP (TUBS)	Closed-Loop Supply Chain Management <ul style="list-style-type: none"> Materialbedarfsplanung/Bestandsmanagement Anreizsysteme
IVS (Ostfalia) IFI (TUC)	Informationsmarktplatz <ul style="list-style-type: none"> Konzepte zur Produktzustandserfassung Marktplatz zur Bedarfs und Kapazitätsverknüpfung Datenerfassung, -integration und -pooling
IWF (TUBS)	Fabrikebene <ul style="list-style-type: none"> Planungs- und Betriebsweisen von Closed Loop Pro. Sys Systemmodellierung → Techn. und ökol. Bewertung
IPT (Ostfalia) IFAD (TUC)	Prozess- und Systemebene <ul style="list-style-type: none"> Automatisierte Demontagesysteme Hocheffiziente stoffspezifische Verwertungsprozesse

Vielen Dank



für Ihre Aufmerksamkeit !



IFAD
Rohstoffaufbereitung und Recycling

CUTEC

Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum

REWIMET

Recyclingcluster wirtschaftsstrategische Metalle



GERRI
German Resource Research Institute



RawMaterials



FORAM

TOWARDS A WORLD FORUM
ON RAW MATERIALS