



## **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*

Legend:  
Ordnungszahl: Atomic number  
Elementensymbol: Element symbol  
Elementname: Element name  
Rel. Atommasse: Relative atomic mass

Color coding:  
C: Freie Elemente (Free elements)  
O: Gasförmige Elemente (Gaseous elements)  
Hq: Flüssige Elemente (20°C) (Liquid elements at 20°C)  
Tb: Radioaktive Elemente (Radioactive elements)

Highlighted elements (circled in red):  
Li, Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La-Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac-Lr, Rf, Db, Sg, Bh, Hs, Mt, Ds, Rg, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr

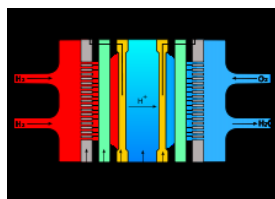
© Peter Woch - Experimentelchemie.de - Chemie erleben!

## 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



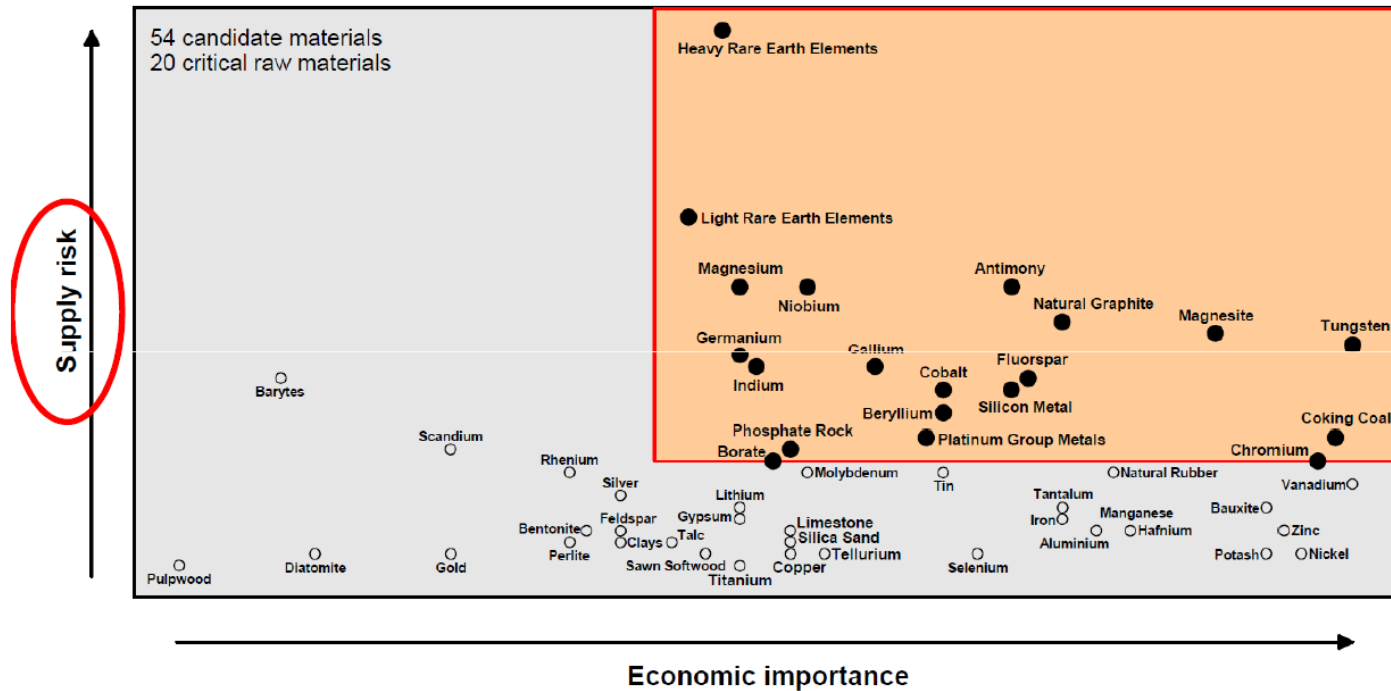
**Nahezu alle dieser Elemente spielen in unseren Zukunftstechnologien in Deutschland eine besondere Rolle, insbesondere auch für die Energiewende**

Rohstoff	2006 <sup>1</sup>	2030 <sup>1,2</sup>	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

<sup>1</sup> Verhältnis zur gesamten Weltproduktionsmenge des jeweiligen Rohstoffs im Jahr 2006,

<sup>2</sup> 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			

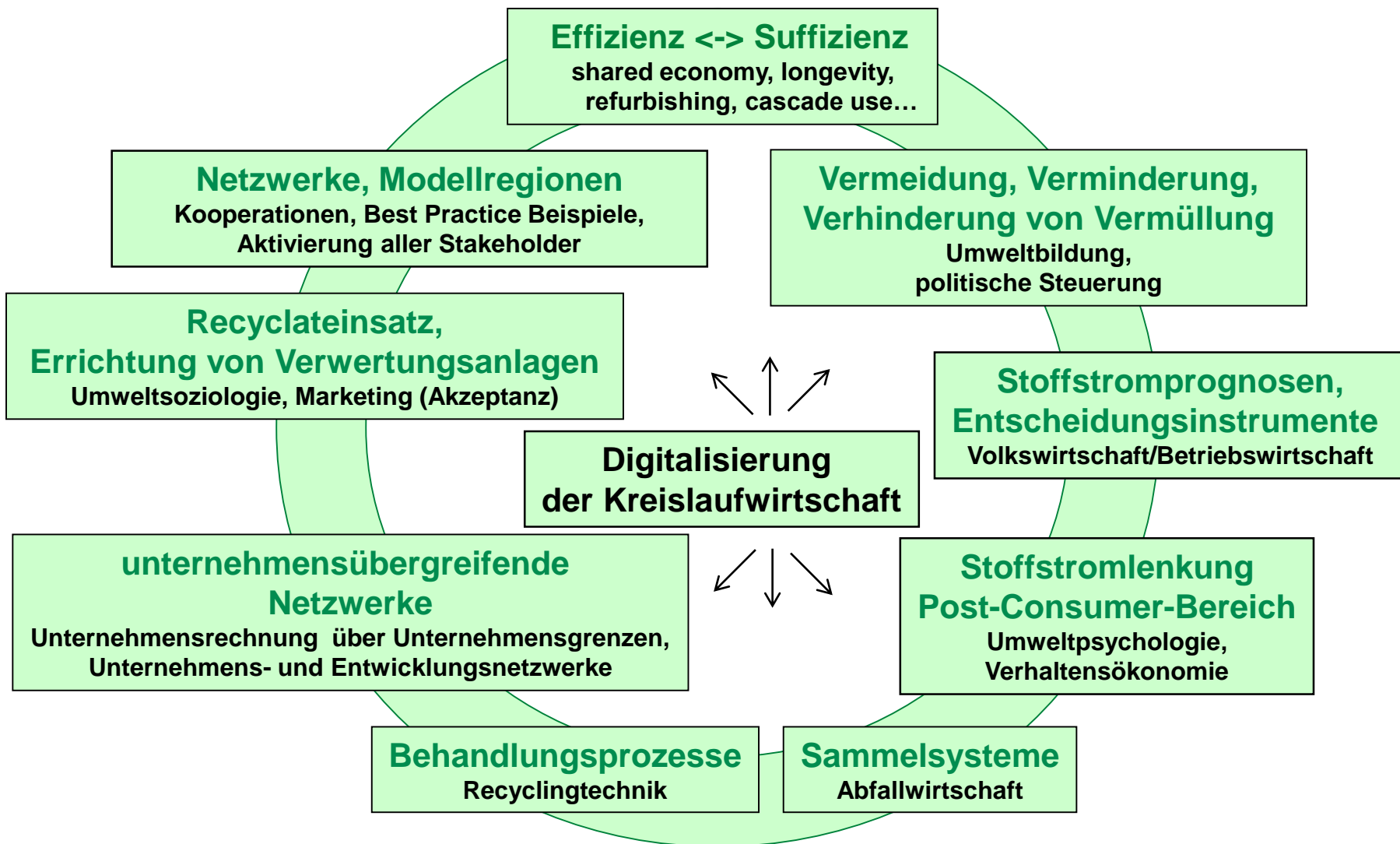
Leichtmetalle  
 „Elektronikmetalle“ (Halbleiterelemente)  
 SeltenErdeElemente  
 Refraktärmetalle  
 Edelmetalle







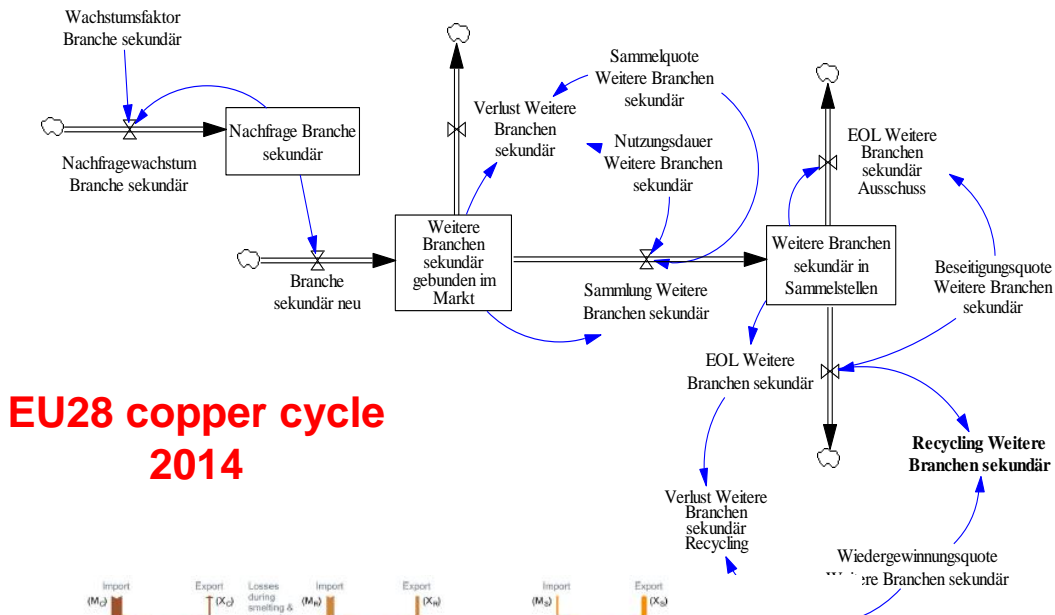
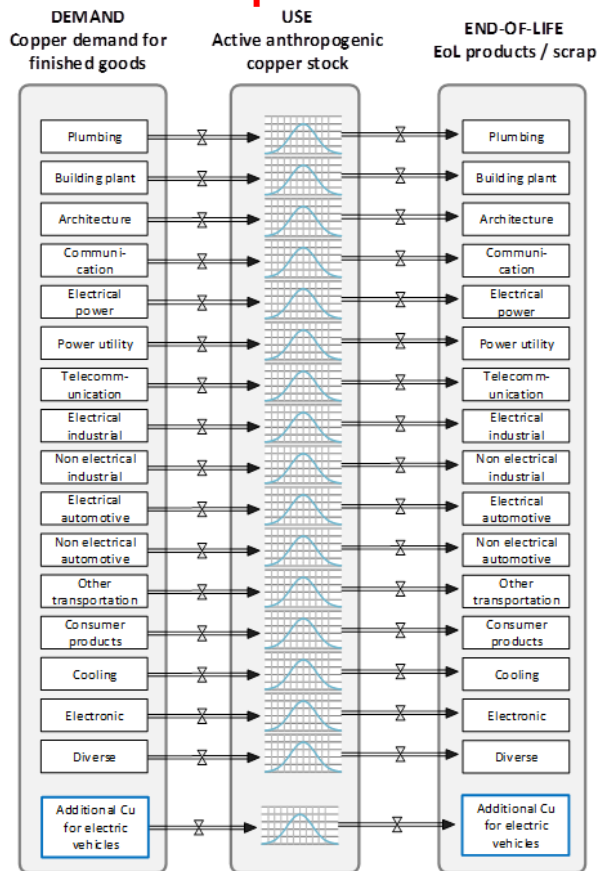
## Perspektiven einer **Advanced Circular Economy**



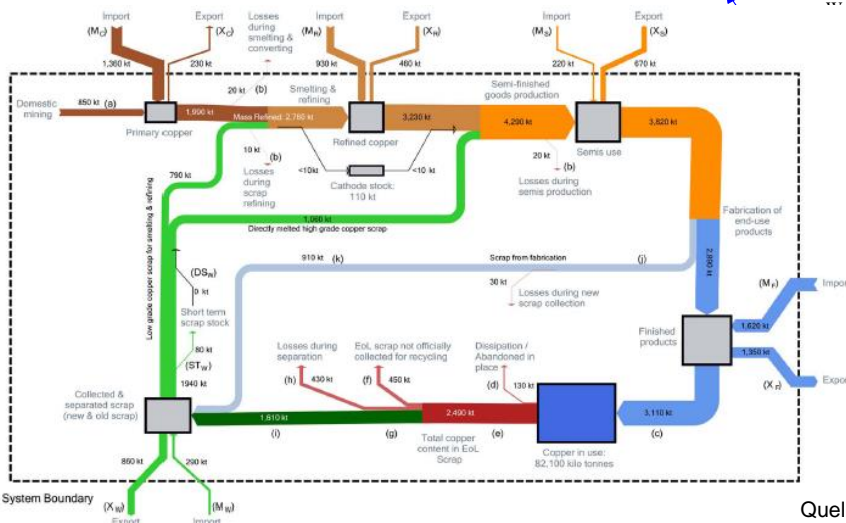
## Stoffstromprognosen und Entscheidungsinstrumente

### Der System Dynamics Ansatz am Beispiel des Kupferkreislaufs Entscheidungshilfe für Investitionsplanungen

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



## EU28 copper cycle 2014

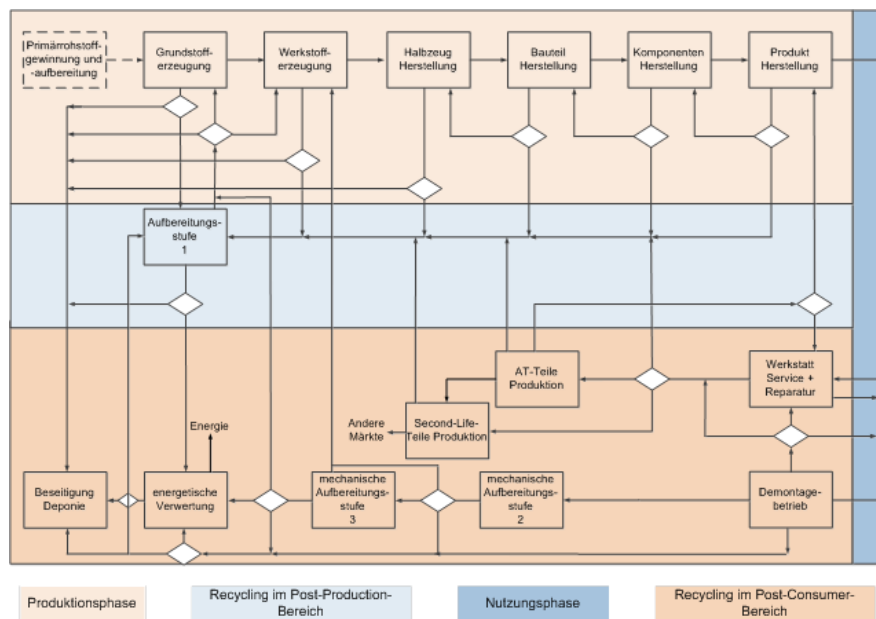


## Steuerung komplexer Prozessketten und Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft



Nutzung/Wiederverwendung

**Stoffstrommanagement**  
**Informationsaustausch**  
**Geschäftsmodelle**



## Stoffstromlenkung im Post-Consumer-Bereich

### Intrinsische Motivation und Verhaltenskosten als gesellschaftliche Steuerungsinstrumente



Intrinsische Motivation steigern

Verhaltenskosten senken

Spende für Umweltschutz

Elektrokleingerätereycling

Fahrradpendeln  
Ohne Auto in der Stadt

Altglas zum Sammelcontainer  
Papierrecycling

hoch

niedrig

Quelle: A. Kibbe – Recycling 2.0

U 20 ->

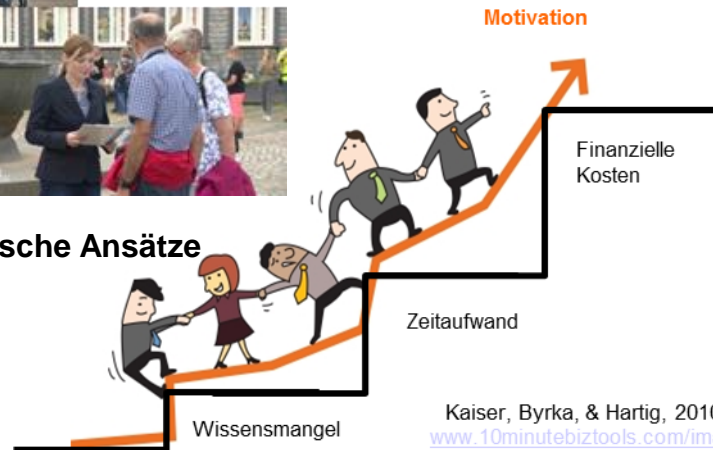
**GAMIFICATION**



und auch hier wieder Digitalisierung



Altersgruppen-spezifische Ansätze



Kaiser, Byrka, & Hartig, 2010

[www.10minutebiztools.com/images/](http://www.10minutebiztools.com/images/)

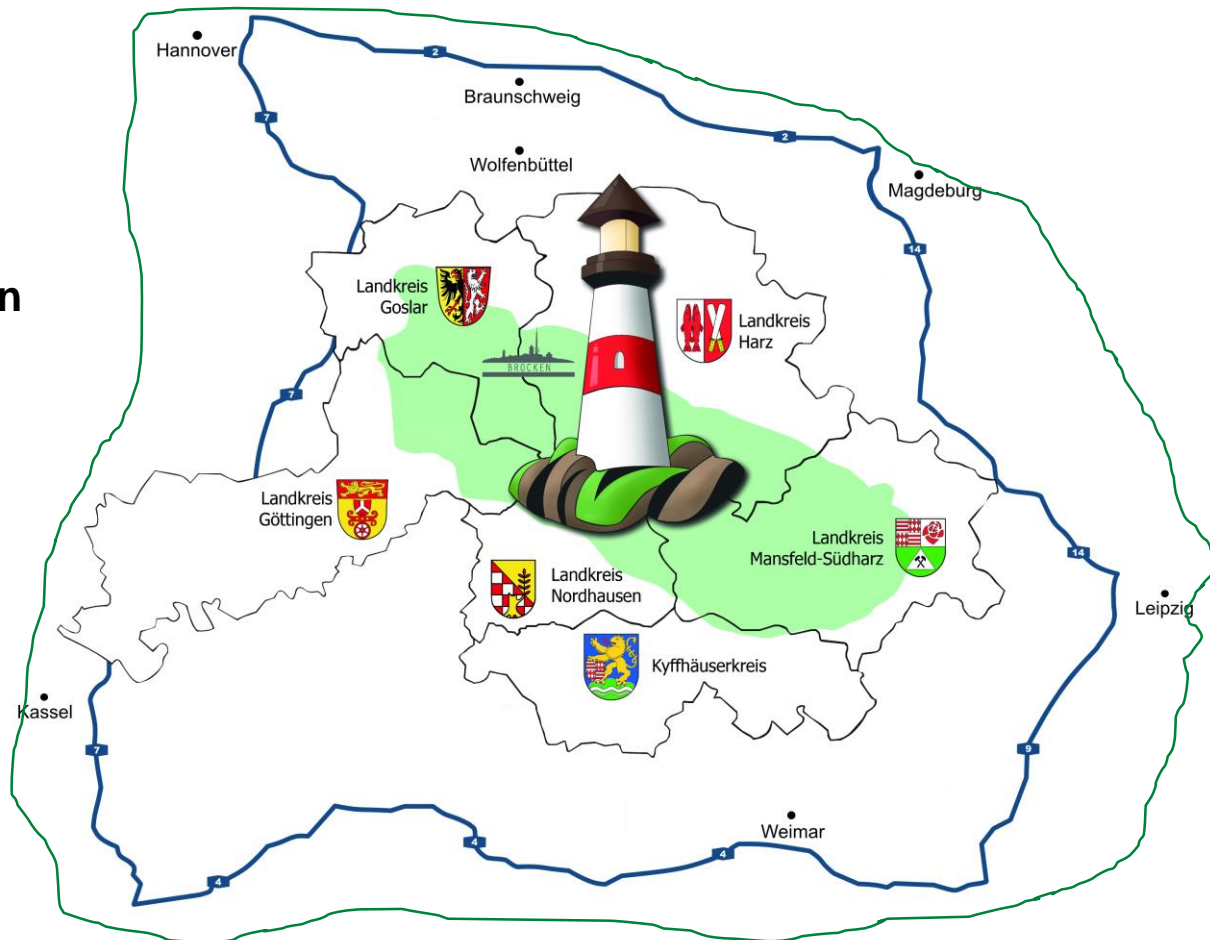
ID-100224329.jpg

## 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!**

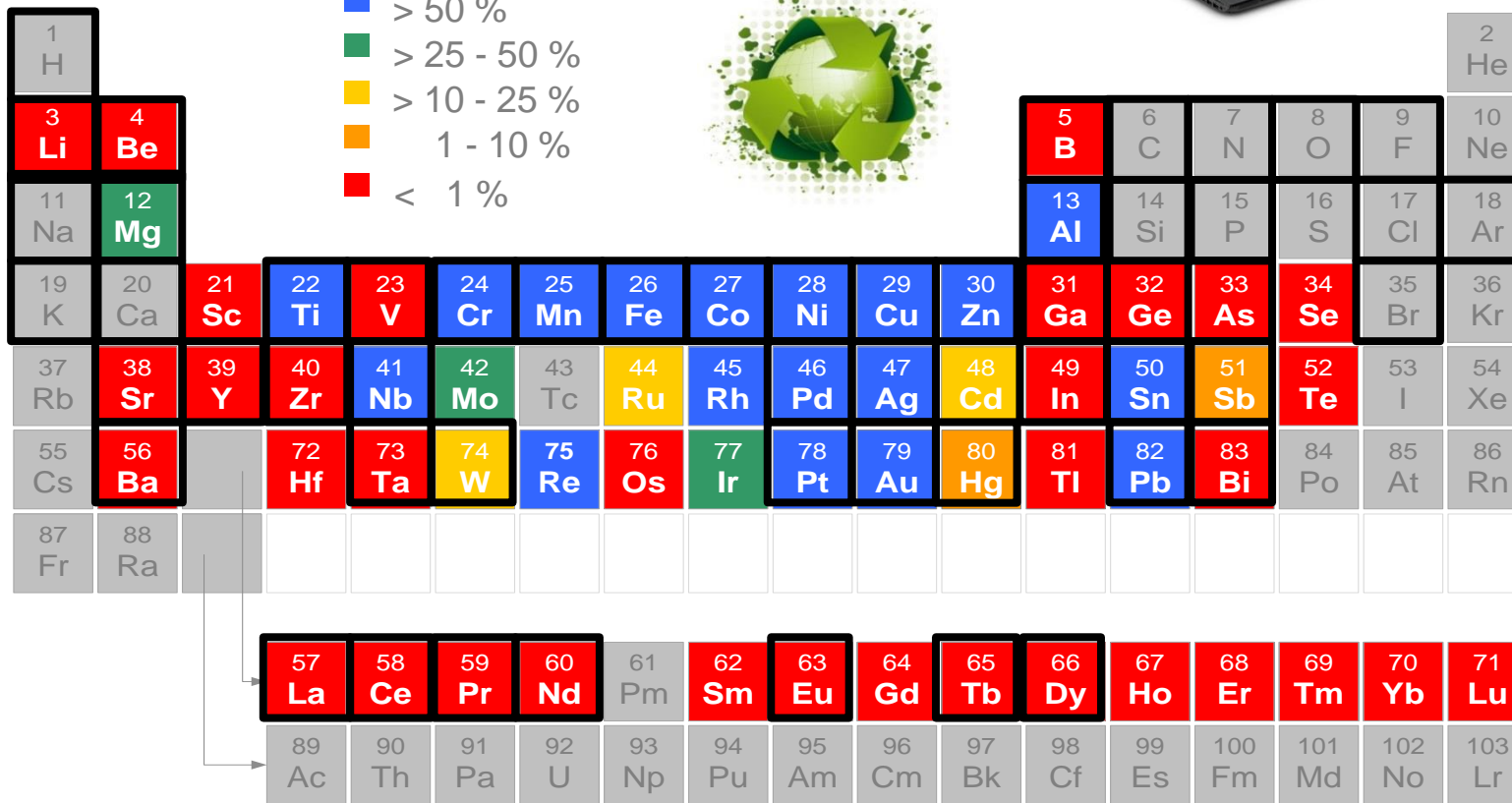


## Moderne Elektronik kann bis zu 53 chemische Elemente enthalten von denen bisher nur ein Bruchteil zurückgewonnen wird



Aktuelle Recyclingraten

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



## 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

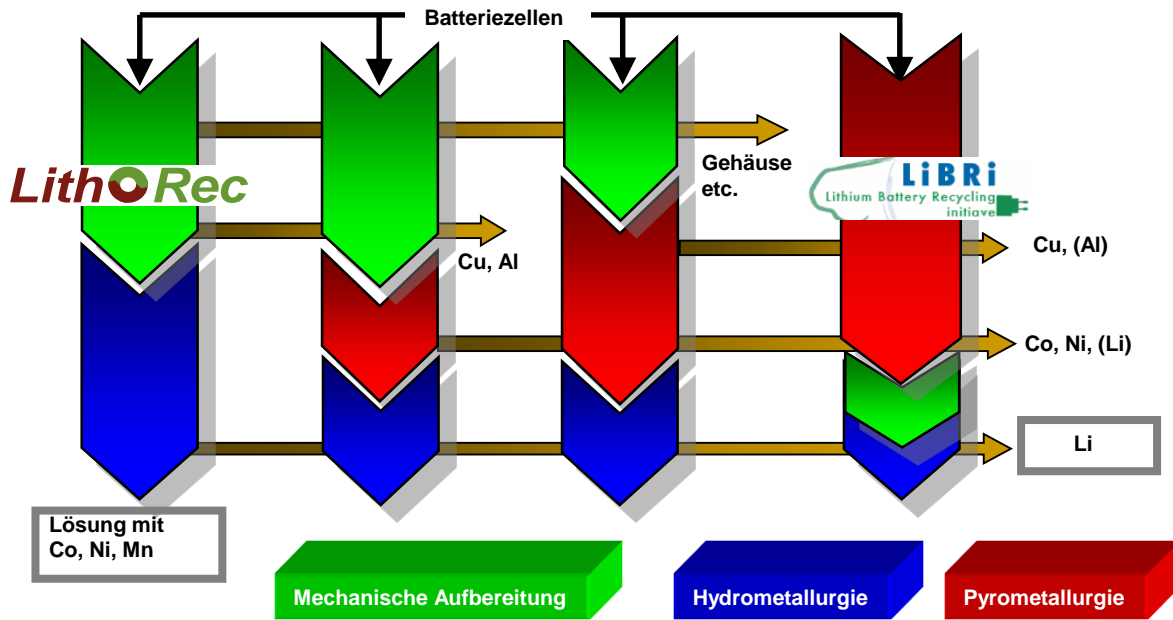


## Recycling von Li-Ionen-Traktionsbatterien



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)



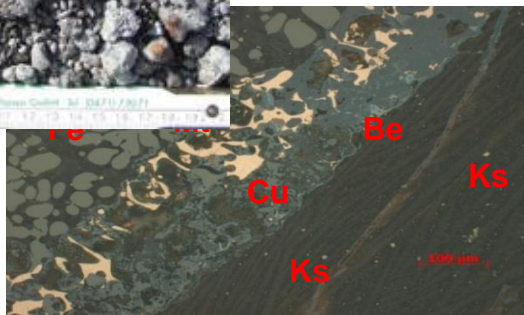
Größter MVA-Aschen Aufbereiter in D: Strabag in der Recyclingregion Harz



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

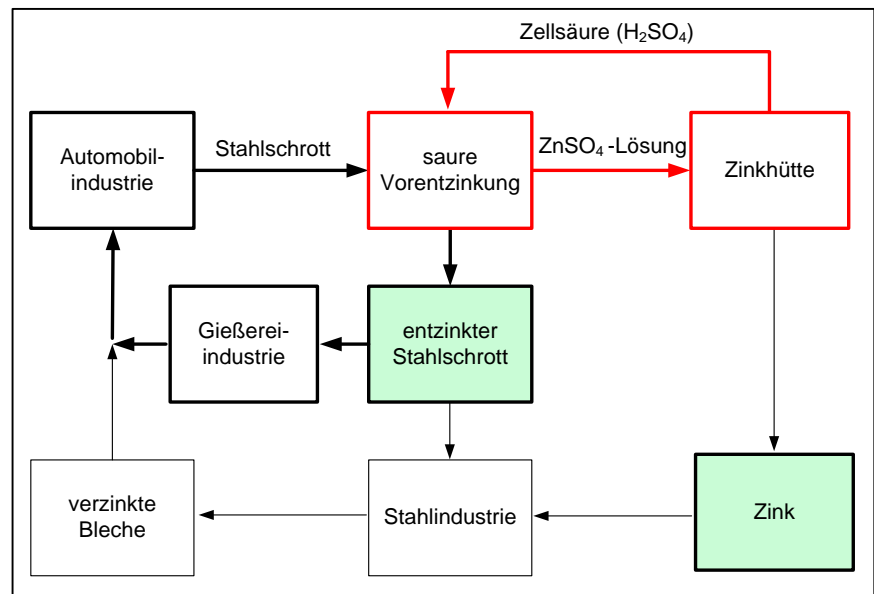
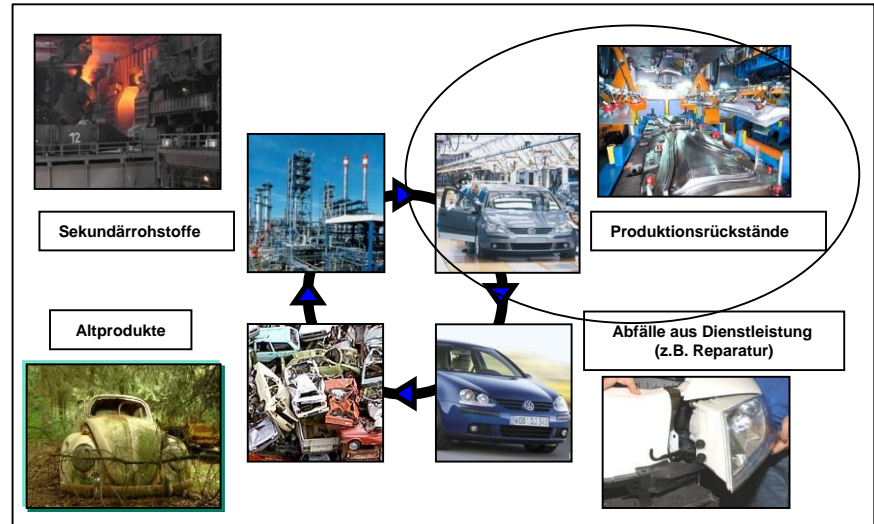
Technologieentwicklung Mittelkornaufbereitung IFAD+Strabag+Aurubis

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

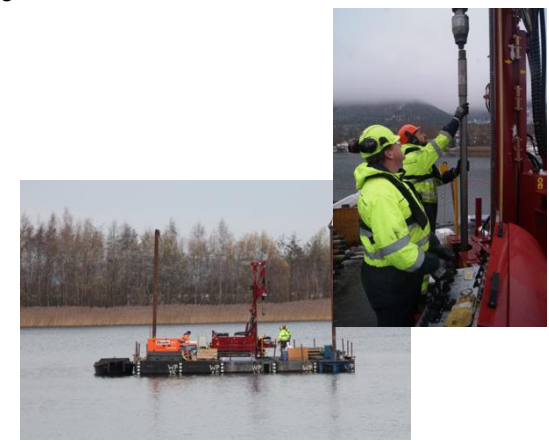
## Rohstoffrückgewinnung aus bergbaulichen Rückständen des Rammelsbergs als Startpunkt für globale Lösungen



Abschätzung zum Wertstoffinhalt  
auf Basis alter Produktionsdokumente  
sowie aktueller Untersuchungen

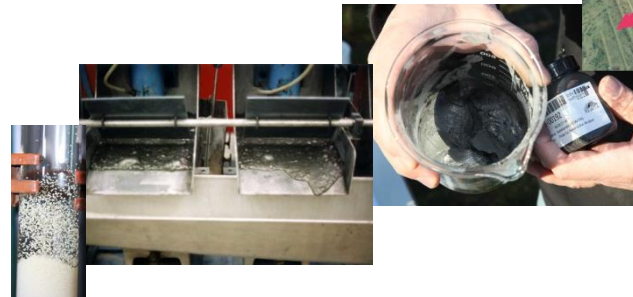
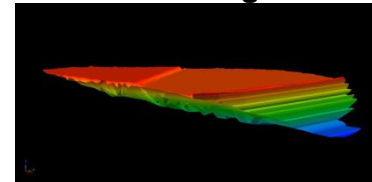
Gold	1,5 t
Indium	44 t
Gallium	170 t
Cobalt	1220 t
Silber	234 t
Kupfer	10.650 t
Blei	85.200 t
Zink	120.700 t
Schwerspat	1.356.000 t

\* eingestuft als kritische Rohstoffe



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

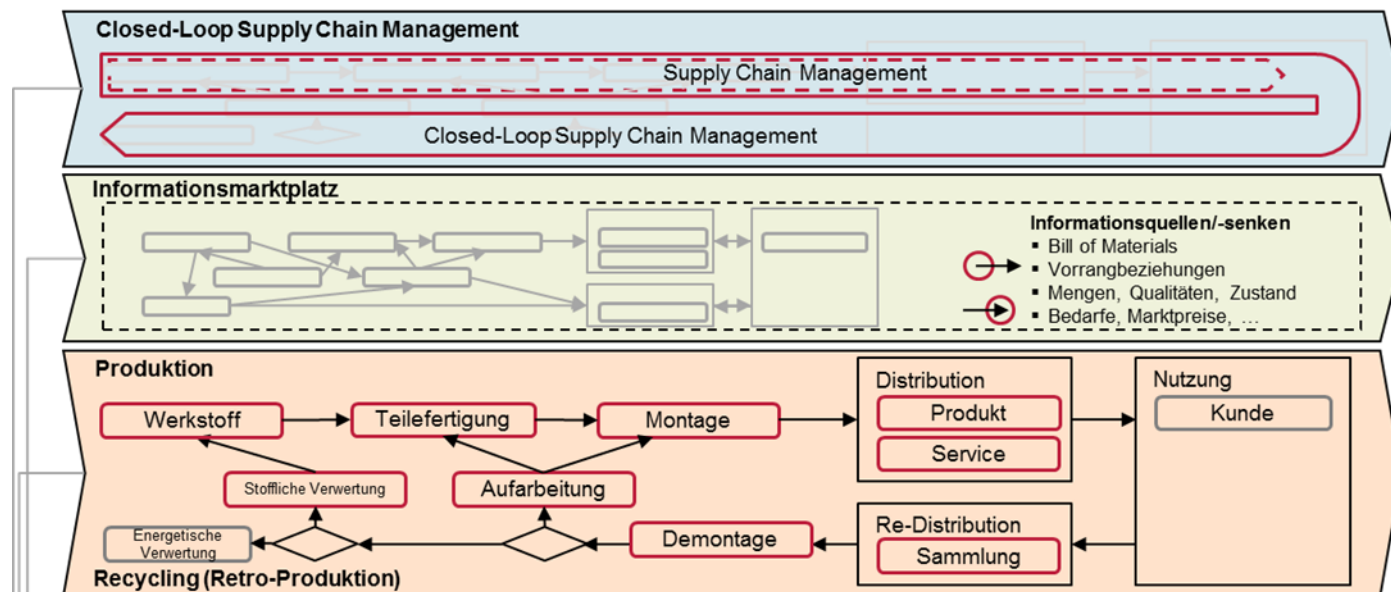
- Geotechnische Analyse und Bewertung des „Bauwerks“, des Rückbaus, der Dammsysteme und des geologischen Untergrunds
- Lagerstättenerkundung und Modellierung
- Klärung des chemischen und mineralogischen Aufbaus
- Entwicklung eines Aufbereitungsverfahrens
- Entwicklung von Absatzkanälen für erzeugte Stoffströme
- 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)	<b>Closed-Loop Supply Chain Management</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Materialbedarfsplanung/Bestandsmanagement</li> <li>Anreizsysteme</li> </ul>
IVS (Ostfalia) IFI (TUC)	<b>Informationsmarktplatz</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Konzepte zur Produktzustandserfassung</li> <li>Marktplatz zur Bedarfs und Kapazitätsverknüpfung</li> <li>Datenerfassung, -integration und -pooling</li> </ul>
IWF (TUBS)	<b>Fabrikebene</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Planungs- und Betriebsweisen von Closed Loop Pro. Sys</li> <li>Systemmodellierung → Techn. und ökol. Bewertung</li> </ul>
IPT (Ostfalia) IFAD (TUC)	<b>Prozess- und Systemebene</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Automatisierte Demontagesysteme</li> <li>Hocheffiziente stoffspezifische Verwertungsprozesse</li> </ul>



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