



TU Clausthal

# Rohstoffwende - Wertstoffwende

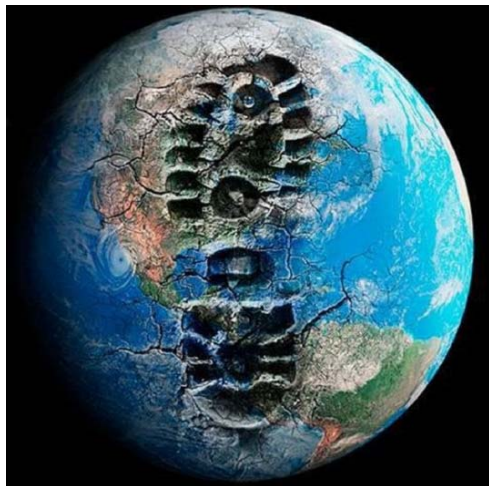
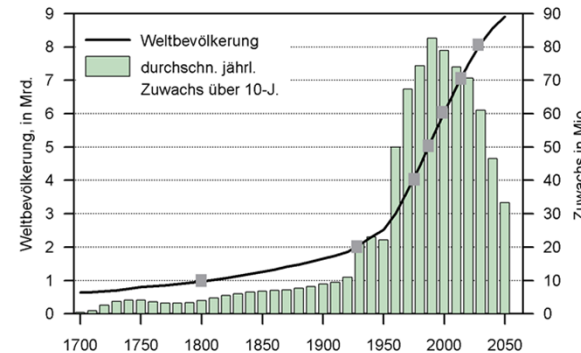
Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann  
IFAD Rohstoffaufbereitung und Recycling  
CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum

**Forum Abfallentsorgung an Hochschulen 2019**  
**Arbeitstagung des HIS-Instituts für Hochschulentwicklung e. V. in**  
**Kooperation mit der Technischen Universität Clausthal**  
**24. bis 26. Juni 2019 in Clausthal-Zellerfeld**



## Entwicklung von Weltbevölkerung und Ressourcenverbrauch

- Anstieg der Weltbevölkerung von 1980 bis heute von rund 4,8 Mrd. auf jetzt 7,6 Mrd. Menschen
- Anstieg auf 9,7 Mrd. im Jahre 2050 erwartet
- Ressourcenverbrauch an Rohstoff, Energie, Wasser und Flächen steigt und zwar in noch weitaus höherem Maße !!!



### Pro Kopf Verbrauchs an Rohstoffen nach Regionen im Jahre 2010

EU	43 kg/Tag	↙
USA	88 kg/Tag	
Lateinamerika	34 kg/Tag	
Asien	14 kg/Tag	
Afrika	10 kg/Tag	↘

Mittelfristig globale Angleichung auf EU-Niveau zu erwarten (?)  
 Das wäre für den Planeten nicht tragbar !



## 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:

- ◆ Steigende Anforderungen an die **Leistungsfähigkeit** von Produkten
- ◆ Erhöhte **Energieeffizienz** zur Erreichung von Klimaschutzzielen (z.B. Leichtbau)
- ◆ Neue **Energieerzeugungs- und speichertechnologien**



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

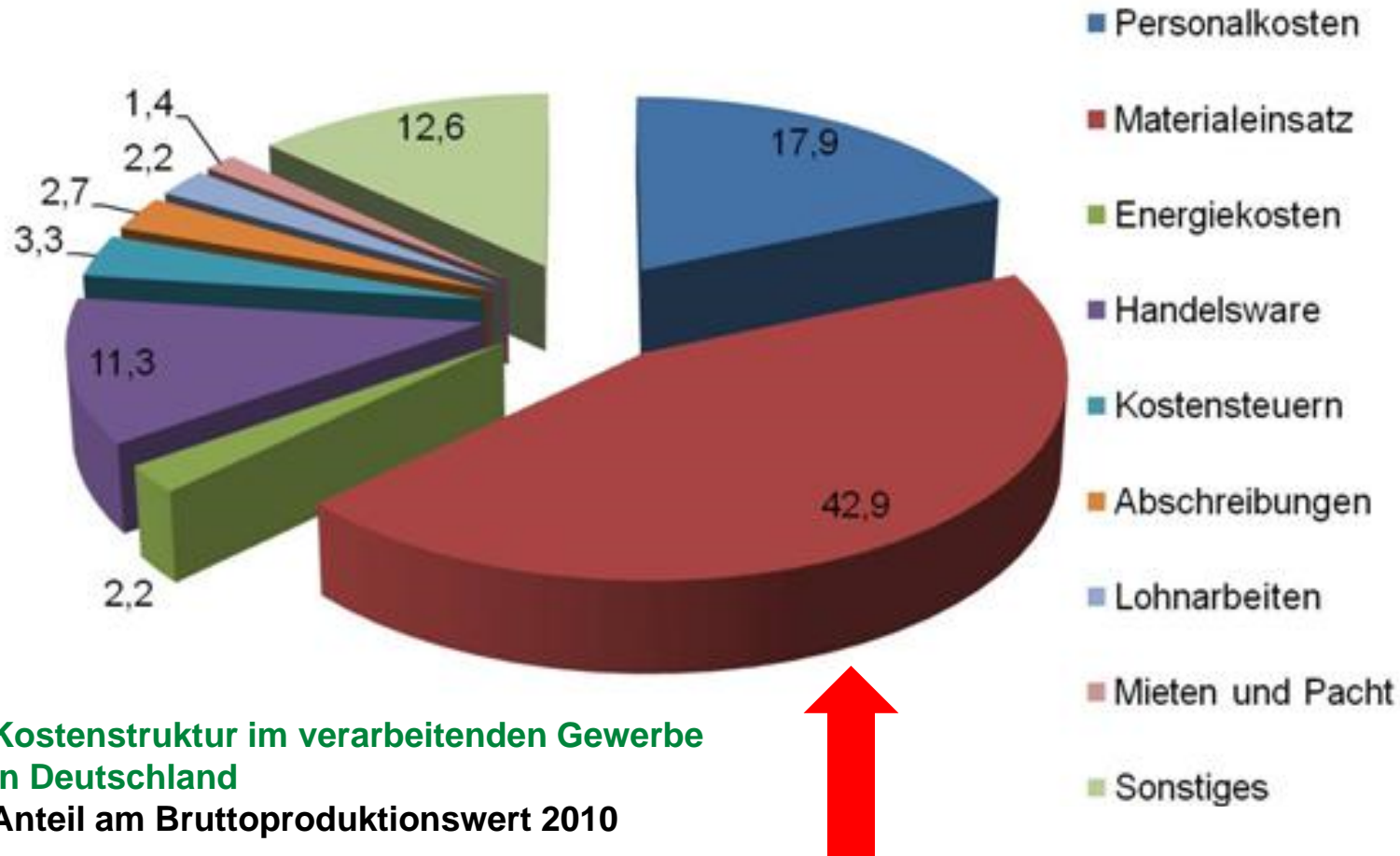
Quelle: Steinbach, 2015

=> Massive Erhöhung der Ressourceneffizienz unabdingbar



## Kostenanteil der Rohstoffe in Volkswirtschaften

mit starker produzierender Industrie ohne eigene Rohstoffquellen



**Kostenstruktur im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland**  
Anteil am Bruttoproduktionswert 2010

Quelle: Statistisches Bundesamt (2012)



TU Clausthal

Auf der anderen Seite von steigender Relevanz

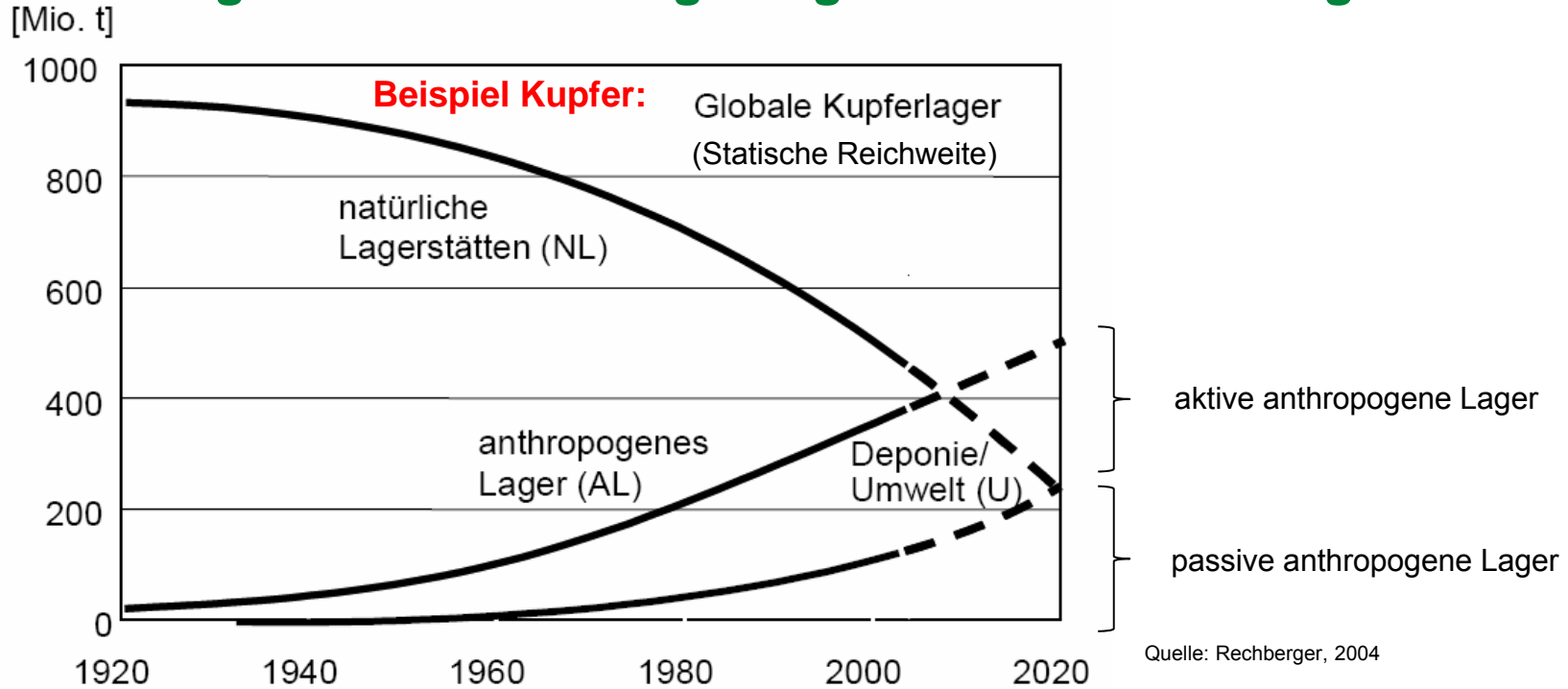
Schutz der Umwelt



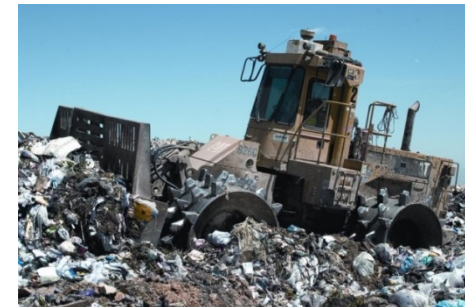


und:

## Entwicklung und Verschiebung der globalen Rohstoff-Lager



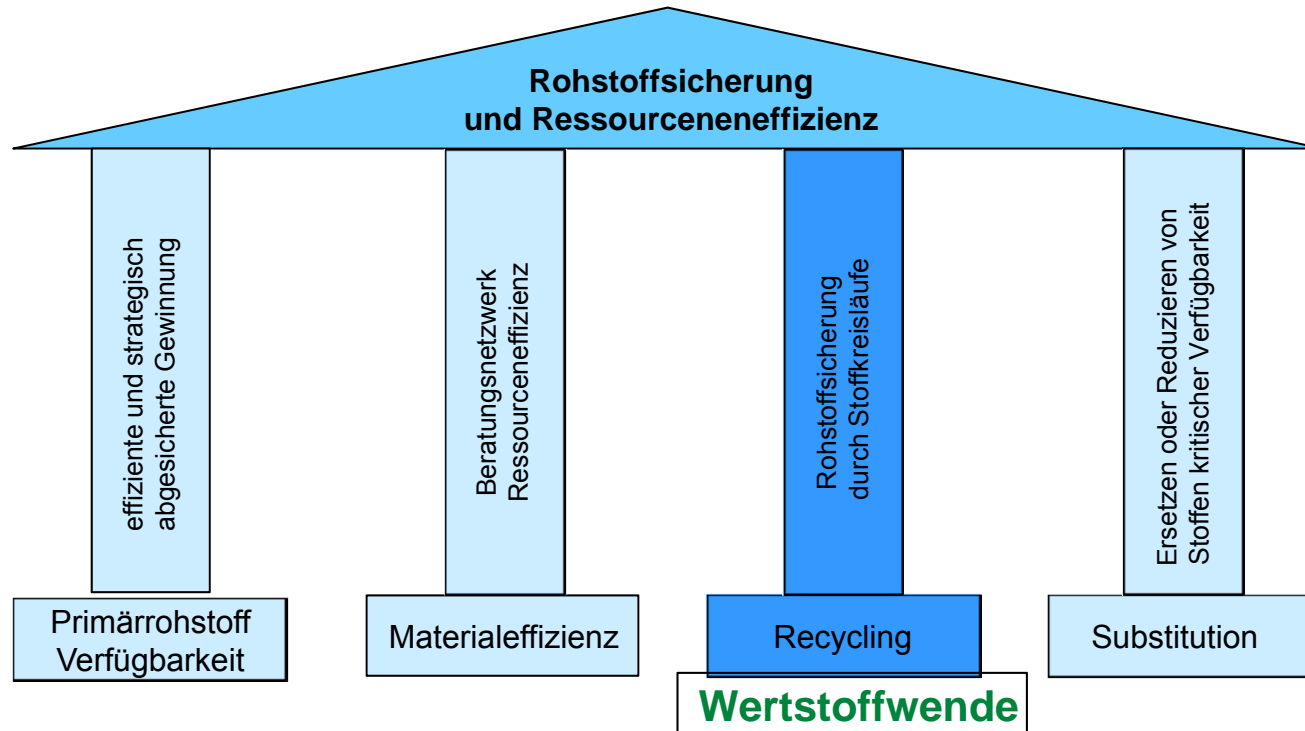
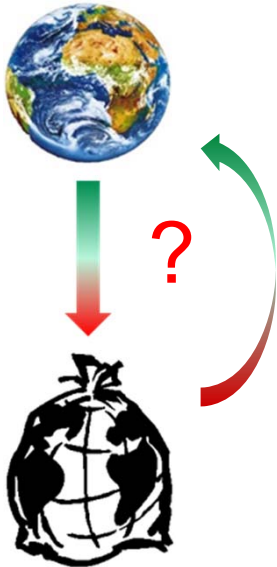
### „passive anthropogene Lager“




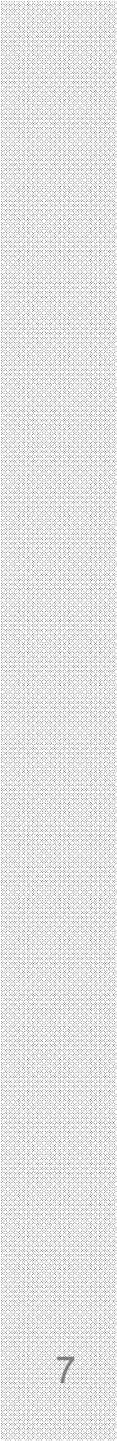


# Rohstoffsicherung und Ressourceneffizienz als zentrale Aufgabe dieses Jahrhunderts

## Rohstoffwende



Herausforderungen der Zukunft  
  
 Kompetenzbündelungen in der Region  
 => **strategische Entwicklung**





## Von der Rohstoffwende zur Wertstoffwende: Perspektiven, Chancen, Einschätzungen

- ◆ **Rohstoffverbräuche werden weiter steigen**
  - Preise werden ansteigen
  - Verknappung bestimmter Rohstoffe zu erwarten

- ◆ **Abfallmengen steigen global stetig an**
  - und damit verbunden Sekundärrohstoffpotentiale
  - sowie potentielle Umweltbelastungen bei unsachgemäßem Umgang damitaktuelle Zahlen der Weltbank (2018):

<b>Gesamtabfall-Aufkommen</b>	<b>2016:</b>	<b>2,0 Mrd. t/a</b>
	<b>Prognose 2050:</b>	<b>3,4 Mrd. t/a</b>



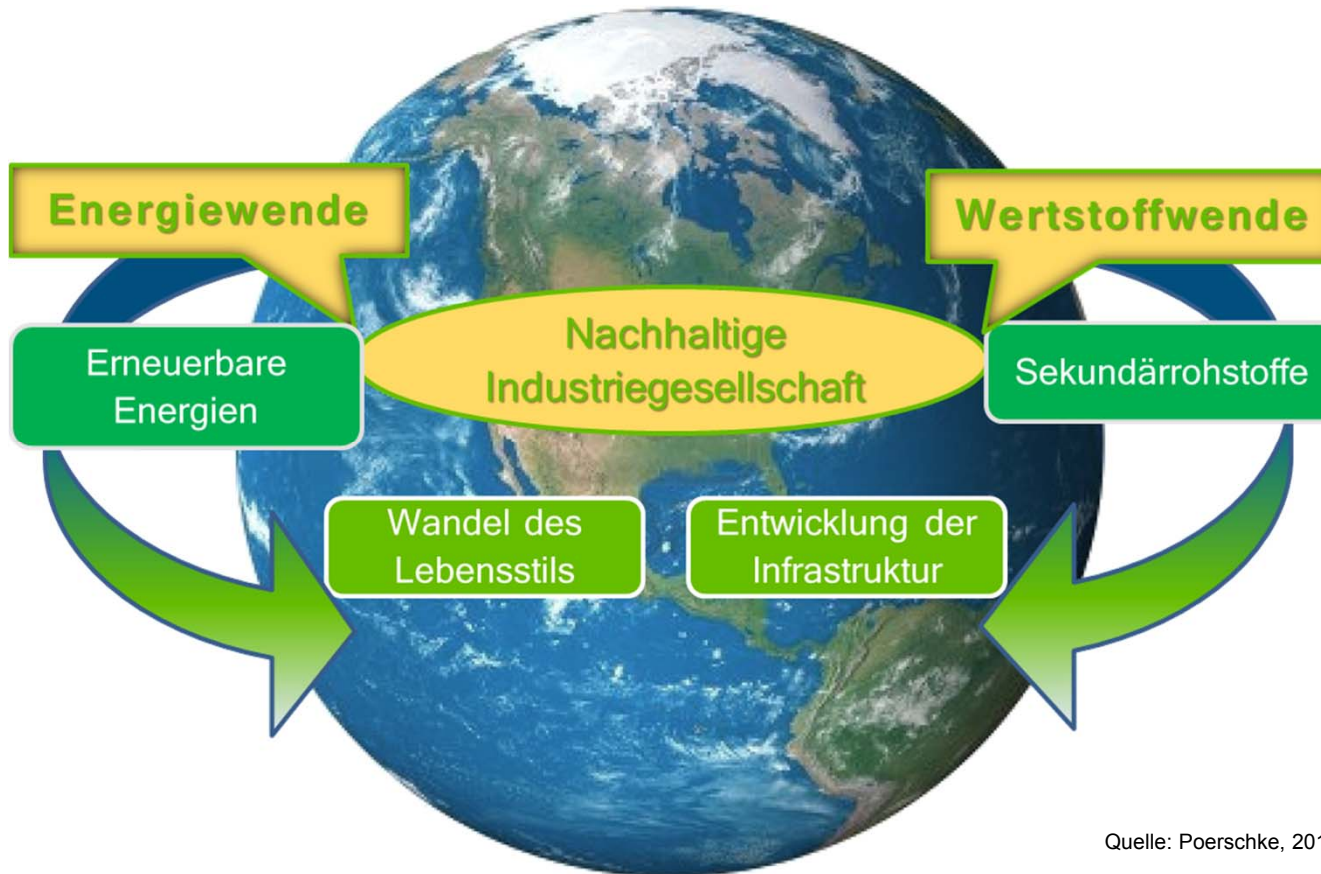
- ◆ **Zunehmend mehr Länder und Regionen wenden sich Fragen des Umweltschutzes zu**
  - zunehmende Vermüllung in bestimmten Regionen der Welt
  - potentielle Probleme durch steigenden Bedarf kontaminationsfreier Nutzflächen
  - Initiativen wie die Zero Waste Strategie der EU
  - Transfer von Technologien und Reimport von Sekundärrohstoffen

- ◆ **Investitionen und Arbeitsplätze im Rohstoff- und Recyclingbereich?**
  - F+E+I – Anstrengungen sind zu verstärken,
  - „Investitionsfenster“ sind abzupassen
  - Effekte großer politischer Instrumente ?





## Die Wertstoffwende



Quelle: Poerschke, 2016



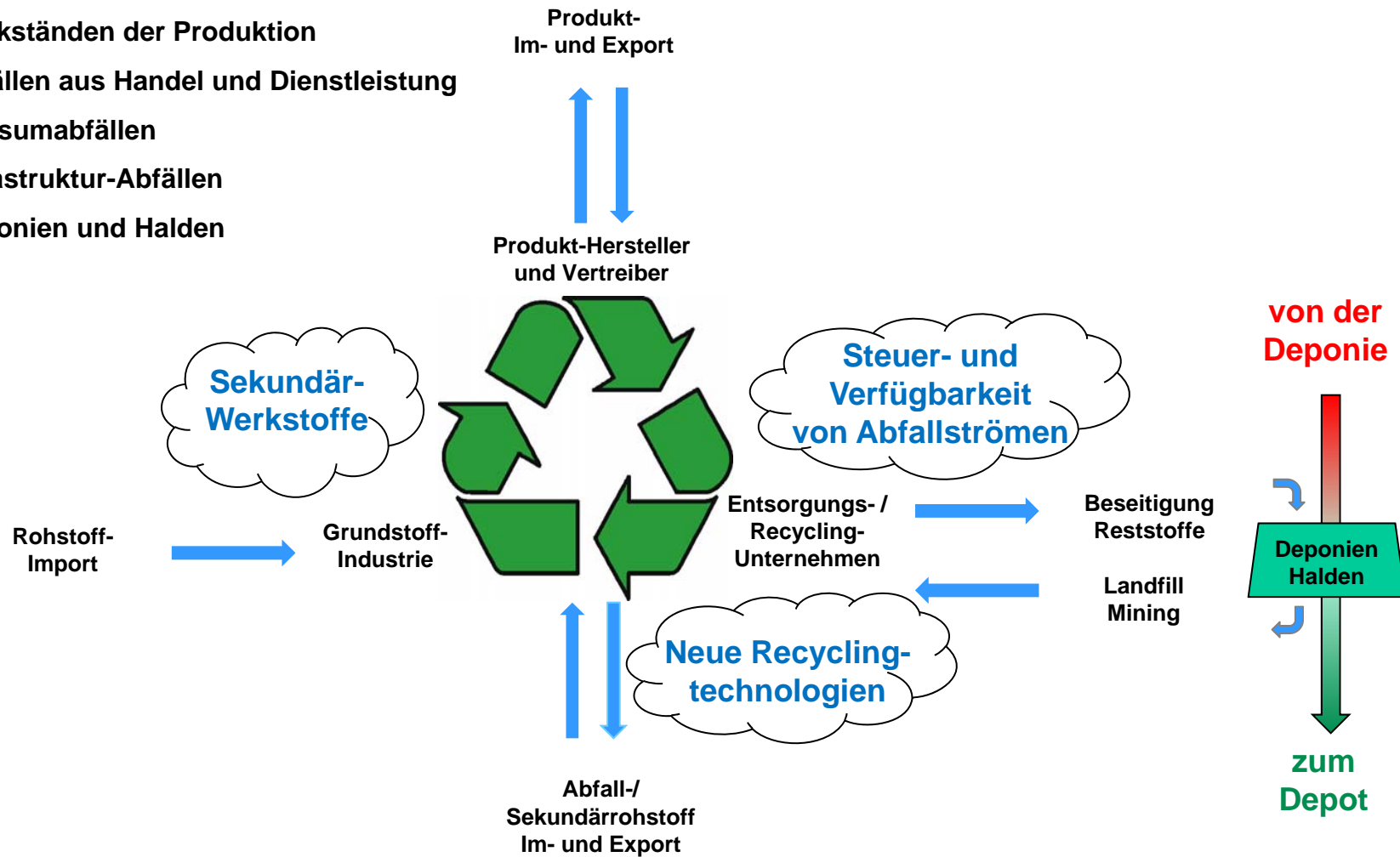
# Gestalten des Recyclings der Zukunft



## Der ganzheitliche Ansatz zur Lösung der Teilprobleme

Recycling von:

- Rückständen der Produktion
- Abfällen aus Handel und Dienstleistung
- Konsumabfällen
- Infrastruktur-Abfällen
- Deponien und Halden





# Ressourcen-relevante Abfallströme



## 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





## Potential in anthropogenen Lagern „aktives anthropogenes Lager“

### Beispiel Elektronikschrott: aktuelle Zahlen



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 Milliarden Tonnen Betrag an Primärrohstoffen!**

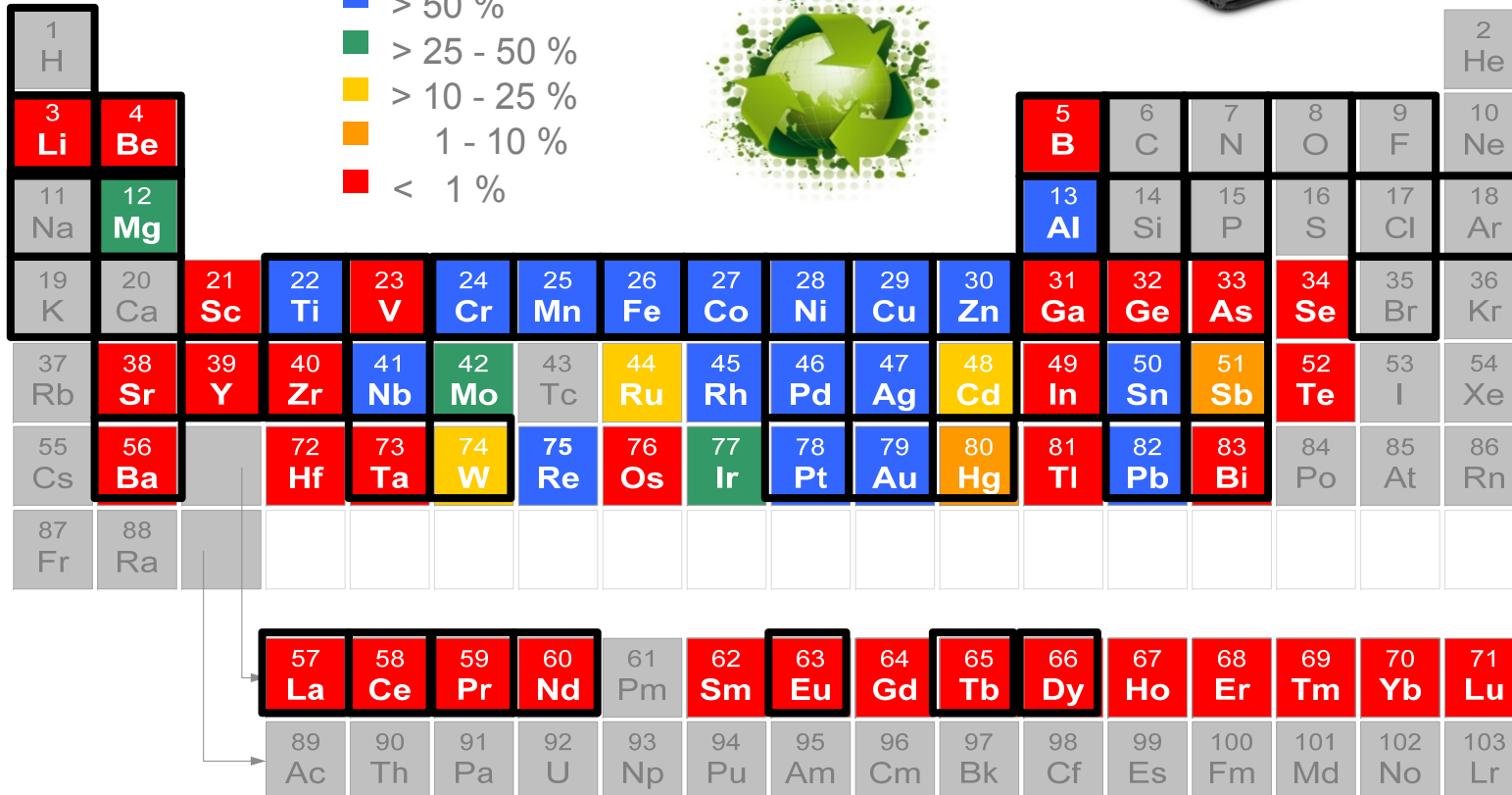


## Moderne Elektronik kann bis zu **53** chemische Elemente enthalten von denen bisher nur ein Bruchteil zurückgewonnen wird



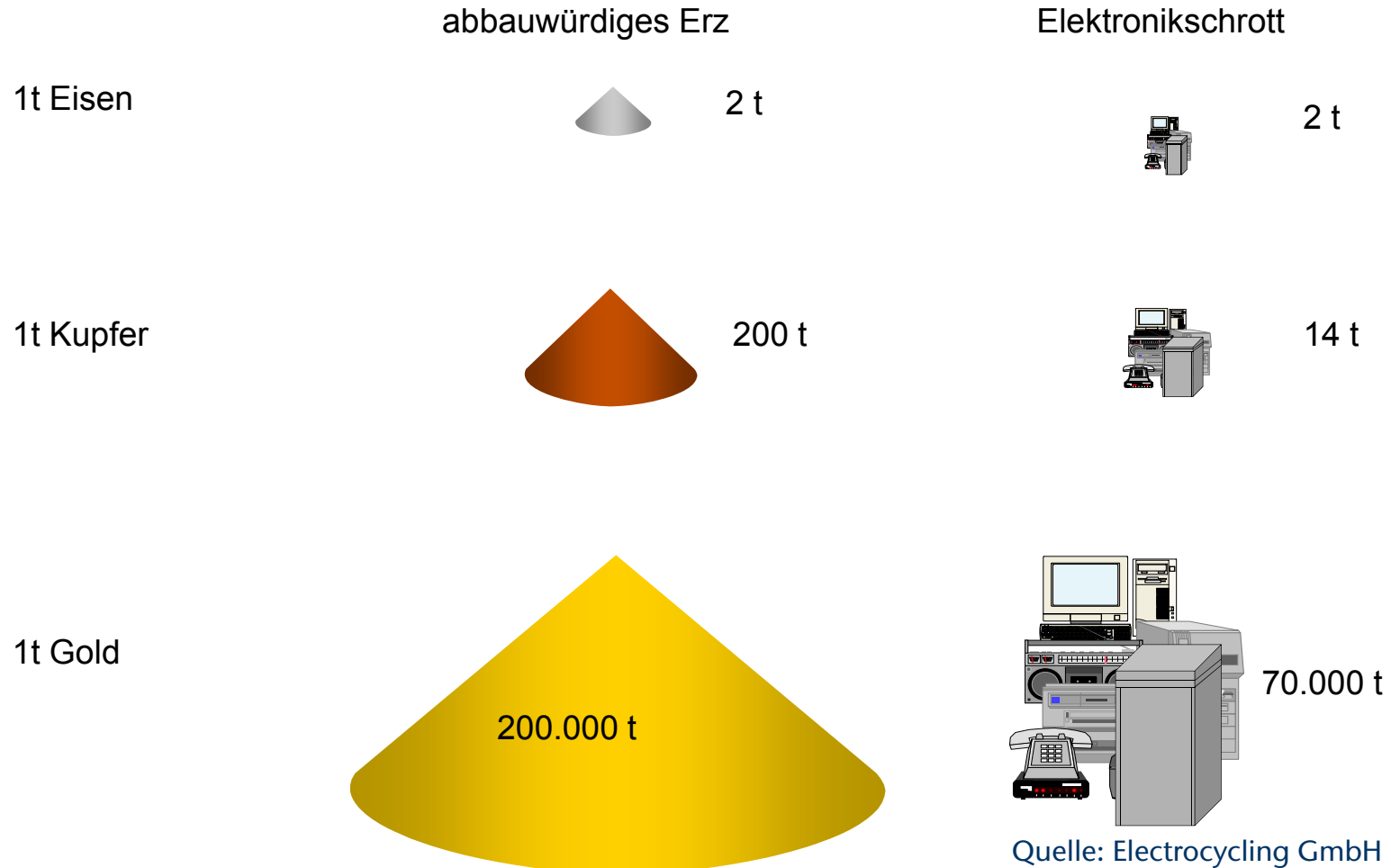
Aktuelle Recyclingraten

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





## Hohe Konzentrationen an Sekundärrohstoffen am Beispiel Elektronikschrott

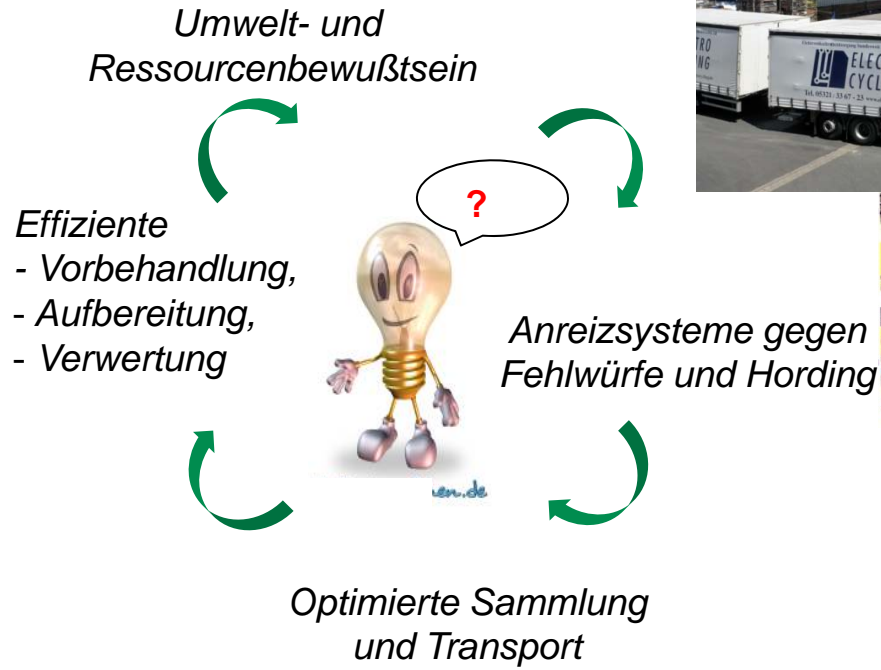


Die Konzentration von Wertstoffen in speziellen Abfallströmen ist oftmals vielfach höher als in primären Erzen





## Herausforderungen beim Elektronikschrott-Recycling





## Batterien - Energieträger der Mobilität Rohstoffsенke – Schadstoffquelle ?

Die Menge an Gerätebatterien ist in den letzten Jahrzehnten rasant angestiegen.

Zur **Jahrtausendwende** wurden rund **30 Mrd.** Batterien pro Jahr auf den Markt gebracht.

Seither ist die Zahl auf rund **50 Mrd.** Stück angestiegen.



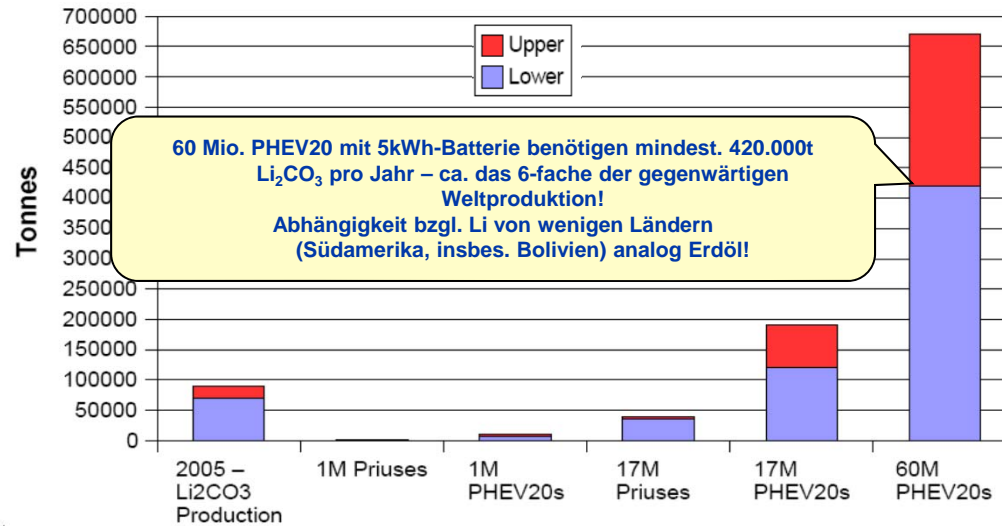
Die Entwicklung der verschiedenen Batterietypen ist z.T. noch recht jung. Neue Varianten kommen in immer kürzeren Zyklen auf den Markt.

Die Markteinführung der wichtigsten Typen kann wie folgt datiert werden:

- |   |                           |  |
|---|---------------------------|--|
| • | Anfang der 1960iger Jahre | Zn-Kohle-Batterie                            |
| • | Anfang der 1980iger Jahre | Alkali-Mn-Batterie                           |
| • | Mitte der 1980iger Jahre  | NiCd-Batterie ! <b>Gefährlicher Abfall !</b> |
| • | Anfang der 1990iger Jahre | NiMH-Batterie ! <b>SEE-Gehalte!</b>          |
| • | Mitte der 1990iger Jahre  | Li-Ionen-Batterie ! <b>Brandgefahr !</b>     |

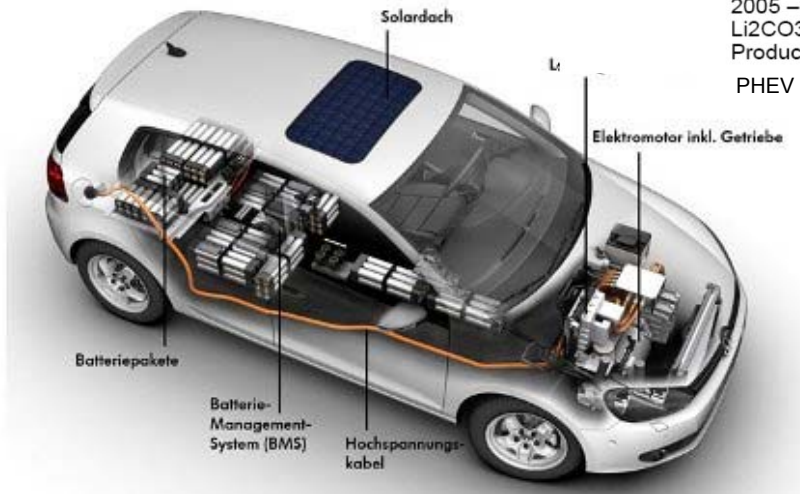


## Eine neue große Herausforderung: Recycling der Elektromobilität



PHEV 20: Plug-In Hybrid Electric Vehicle mit einer Reichweite elektrisch von 20 Meilen (32 km)

Quelle: Tahil 2007, Friedrich 2008



- Kathodenmaterialien:**
- LiNi<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub>
  - LiNi<sub>0.8</sub>Co<sub>0.15</sub>Al<sub>0.05</sub>O<sub>2</sub>
  - LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>
  - LiFePO<sub>4</sub>
  - ...

Copyright Volkswagen AG



## Herausforderung „Tailings“



Spülhalden und Kontaminationen:  
Ticampampa, Peru



Dammbruch  
Vale, Brasilien

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



# Rohstoffrückgewinnung aus bergbaulichen Rückständen des Rammelsbergs “passive anthropogene Lager”



Erste Vorabschätzung zum Wertstoffinhalt auf Basis alter Produktionsdokumente und Lagerstättendaten

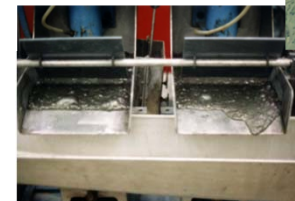
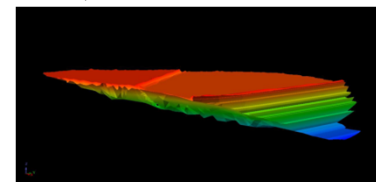
Gold	1,5 t
Indium	30 - 100 t ? *
Gallium	180 t ?
Cobalt	1000 t ?
Silber	200 t
Kupfer	14.000 t
Blei	70.000 t
Zink	100.000 t
Schwerspat	1.500.000 t

\* entspräche ca. 5 -15 % einer Weltjahresproduktion



## 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





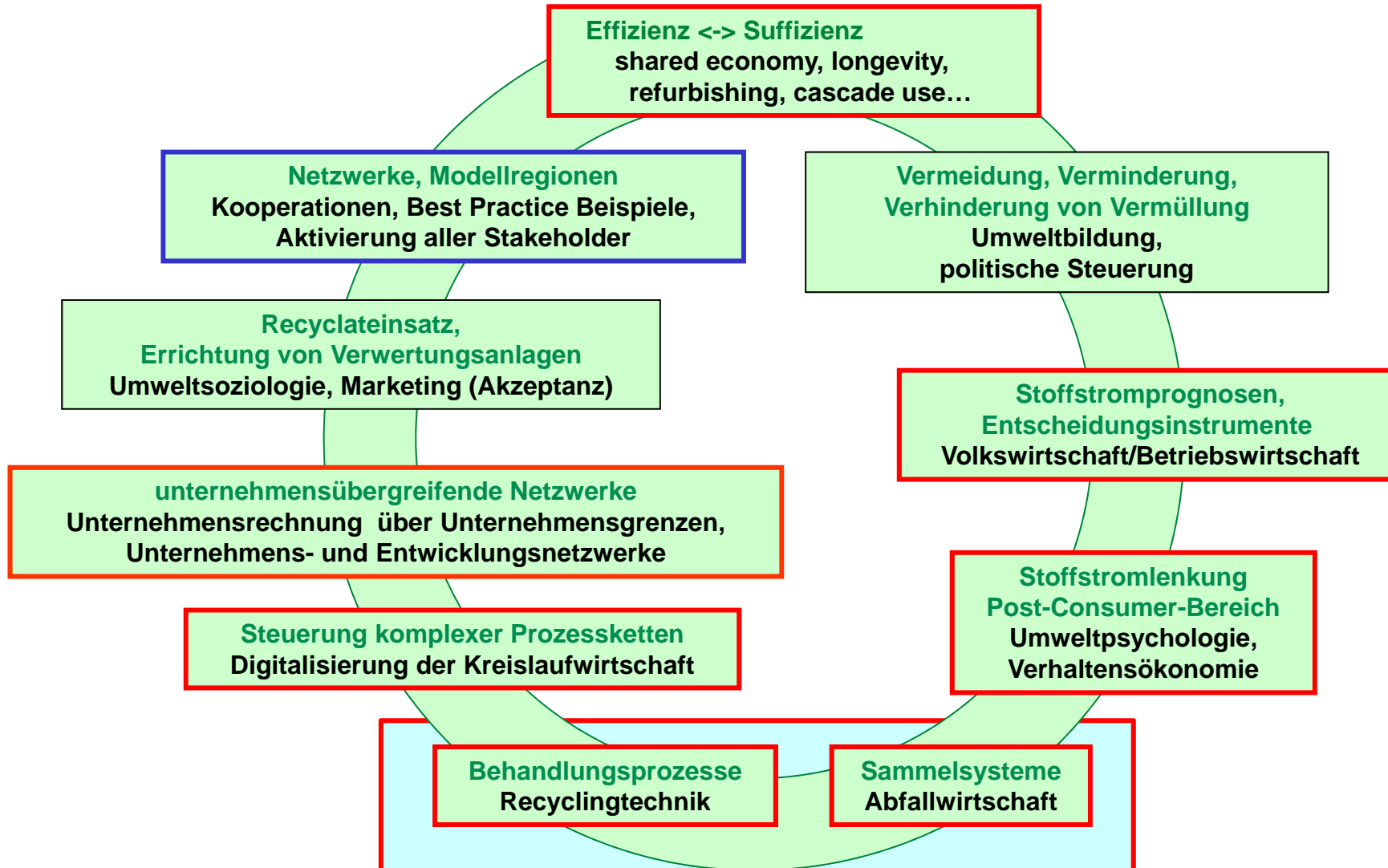
# Technologien und Instrumente

zur effizienzten Verwertung  
von Abfallströmen

auf dem Weg zur  
Advanced Circular Economy



# Operationalisierung einer **Advanced Circular Economy**



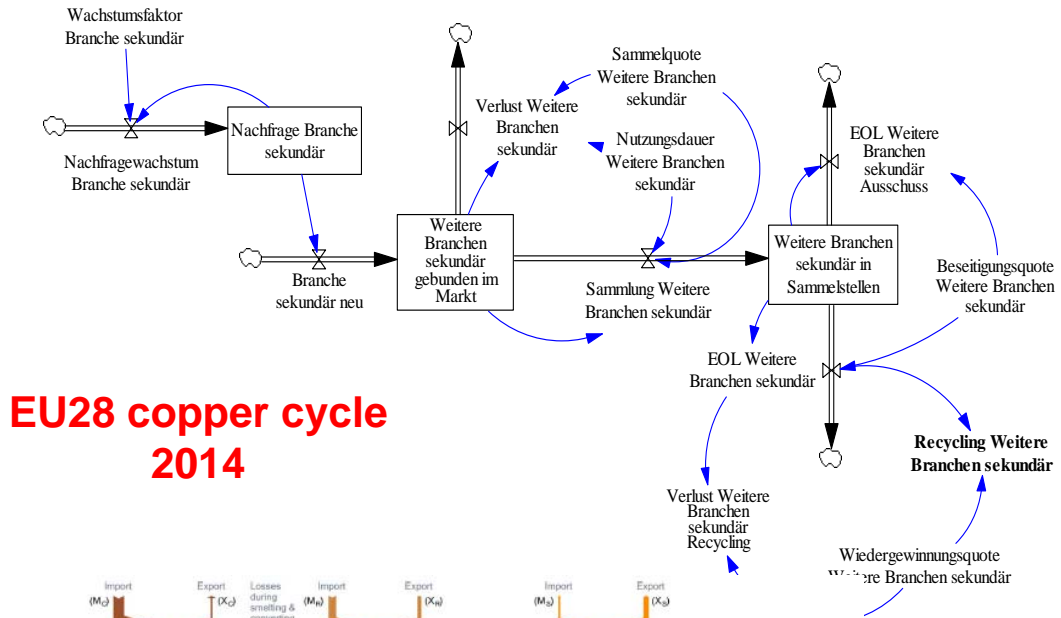
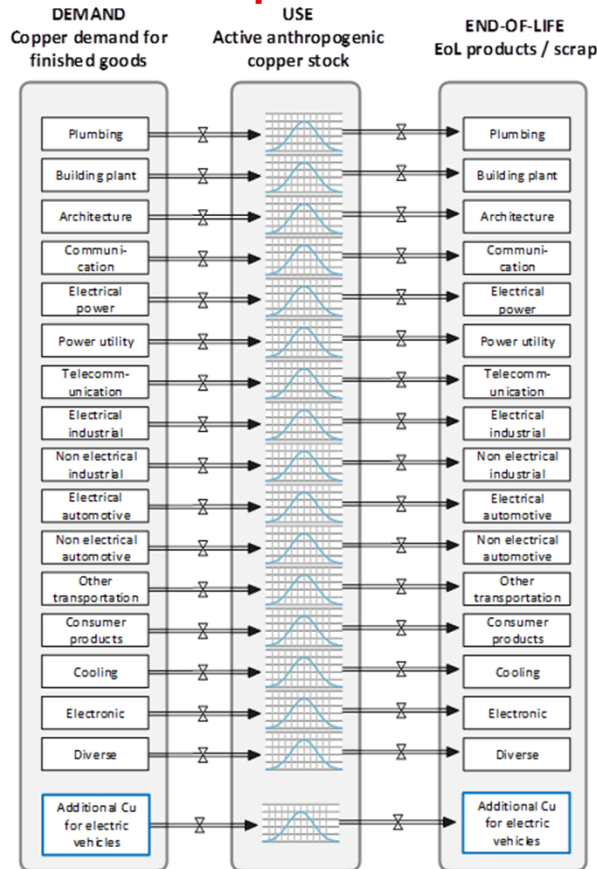


# Stoffstromprognosen und Entscheidungsinstrumente

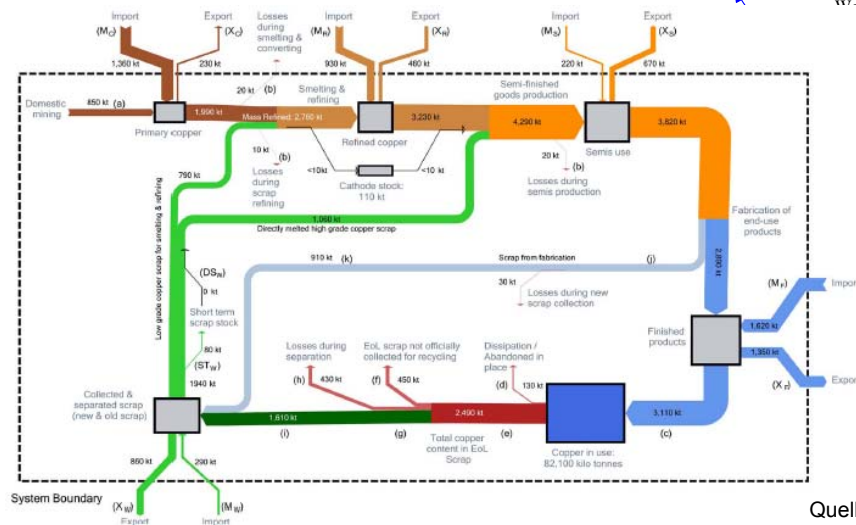
## Der System Dynamics Ansatz am Beispiel des Kupferkreislaufs

### Entscheidungshilfe für Investitionsplanungen

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



**EU28 copper cycle 2014**



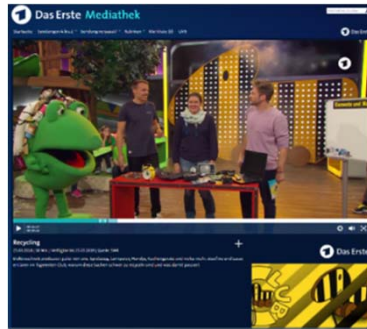
Quelle: Soulier, 2018





## Stoffstromlenkung im Post-Consumer-Bereich

### Intrinsische Motivation und Verhaltenskosten als gesellschaftliche Steuerungsinstrumente: Erfahrungen aus dem Projekt Recycling 2.0



Intrinsische Motivation steigern



Altersgruppen-spezifische Ansätze



Verhaltenskosten senken

Spende für Umweltschutz

Elektrokleingeräterecycling

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

Motivation

Finanzielle  
Kosten

Zeitaufwand

Wissensmangel

Kaiser, Byrka, & Hartig, 2010

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

ID-100224329.jpg



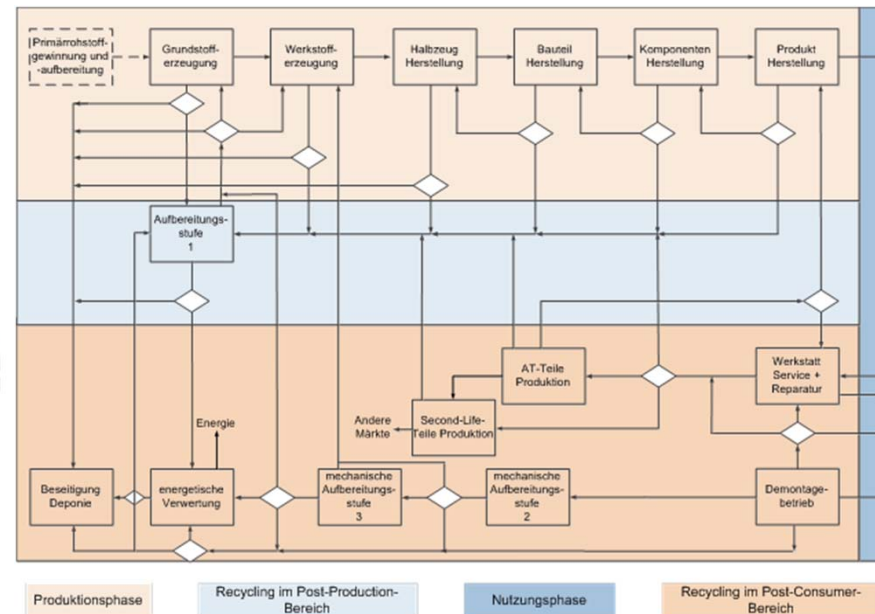
## Steuerung komplexer Prozessketten Durch Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft: Das Projekt Recycling 4.0



Ostfalia  
Hochschule für angewandte  
Wissenschaften



Stoffstrommanagement  
Informationsaustausch  
Geschäftsmodelle



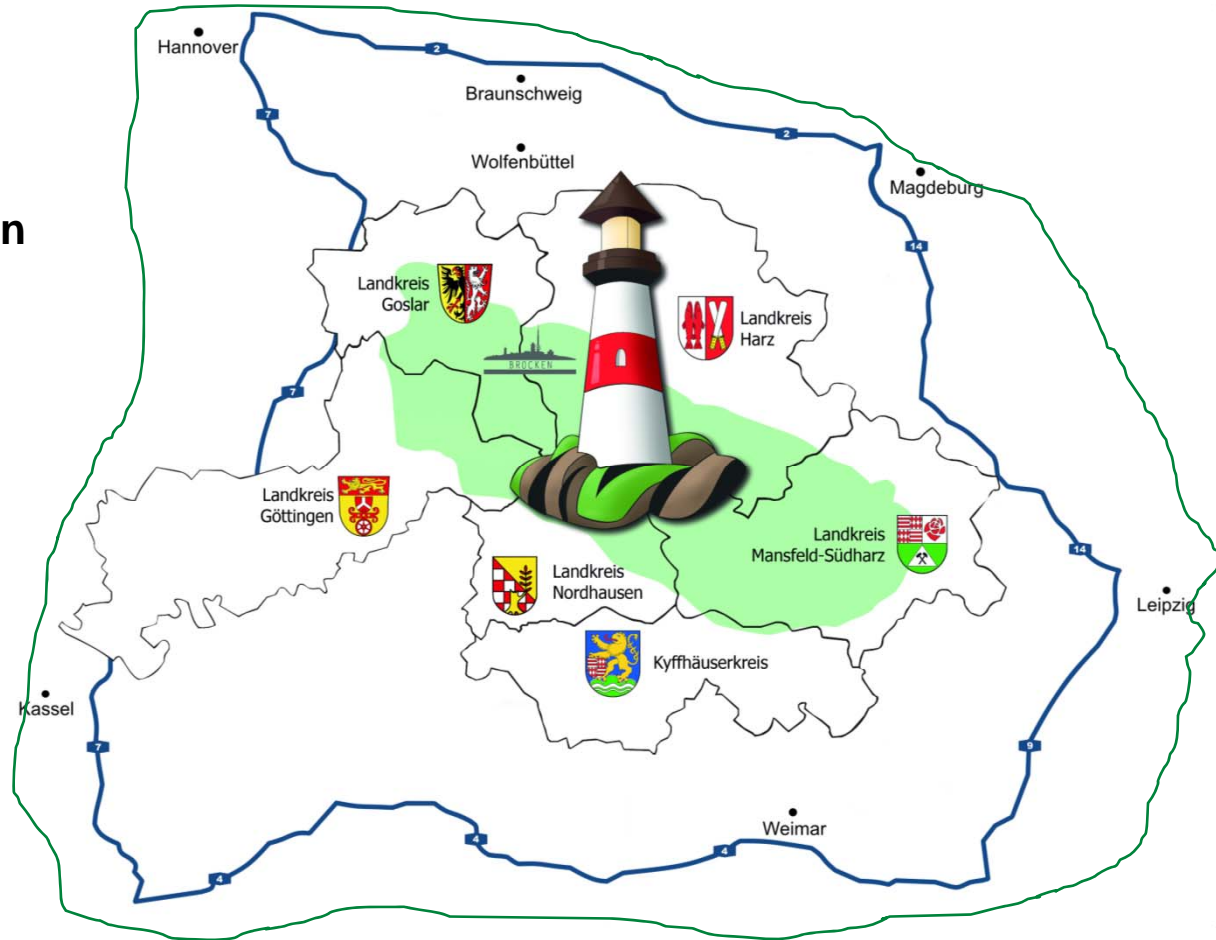


## Die Recyclingregion Harz

**Aktuell:**

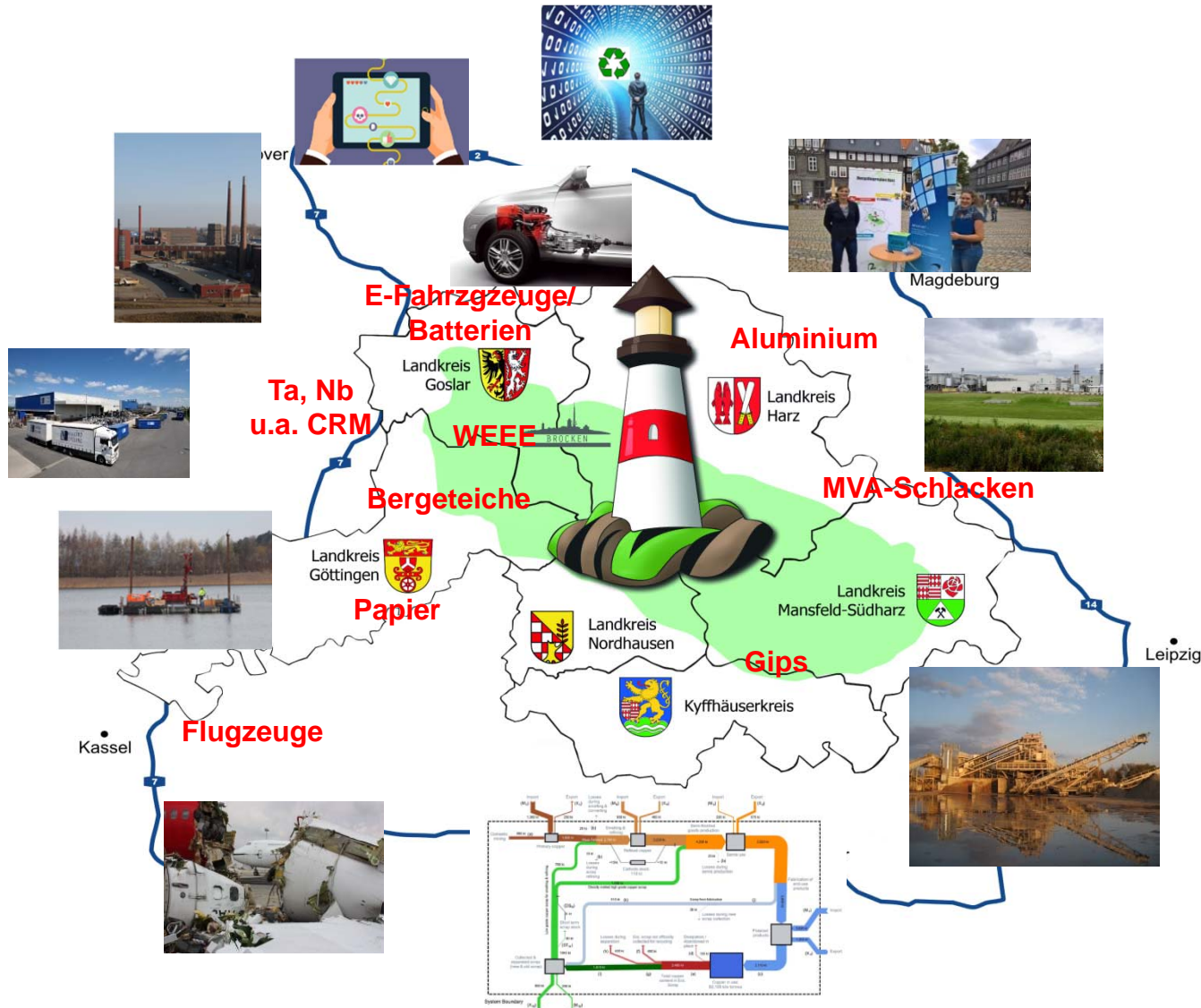
**rund 100 Unternehmen  
und 12 Hochschulen  
und außeruniversitäre  
Forschungseinrichtungen**

**Leuchtturmregion  
in Deutschland**





## Auswahl an Aktivitäten in der Region





TU Clausthal

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