



Recycling von Wertstoffen im Licht der industriellen Rohstoffwirtschaft

Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann
Lehrstuhl für Rohstoffaufbereitung und Recycling

**materials valley workshop
Hanau
26. Januar 2012**

.... einerseits:

Rohstoffpreise im Höhenflug

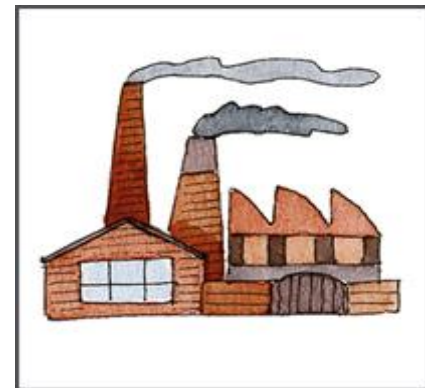
So entwickelte sich der CRB-Rohstoffindex



Quelle: Datastream | © NEW INVESTOR

Bedingt durch das Wachstum in China, Indien und anderen Schwellenländern verteuert und verknappt sich die Rohstoff-Versorgung der Wirtschaft erheblich

Die Wirtschaftskrisen der letzten Jahre hatten diesen Trend nur für kurze Zeit unterbrochen



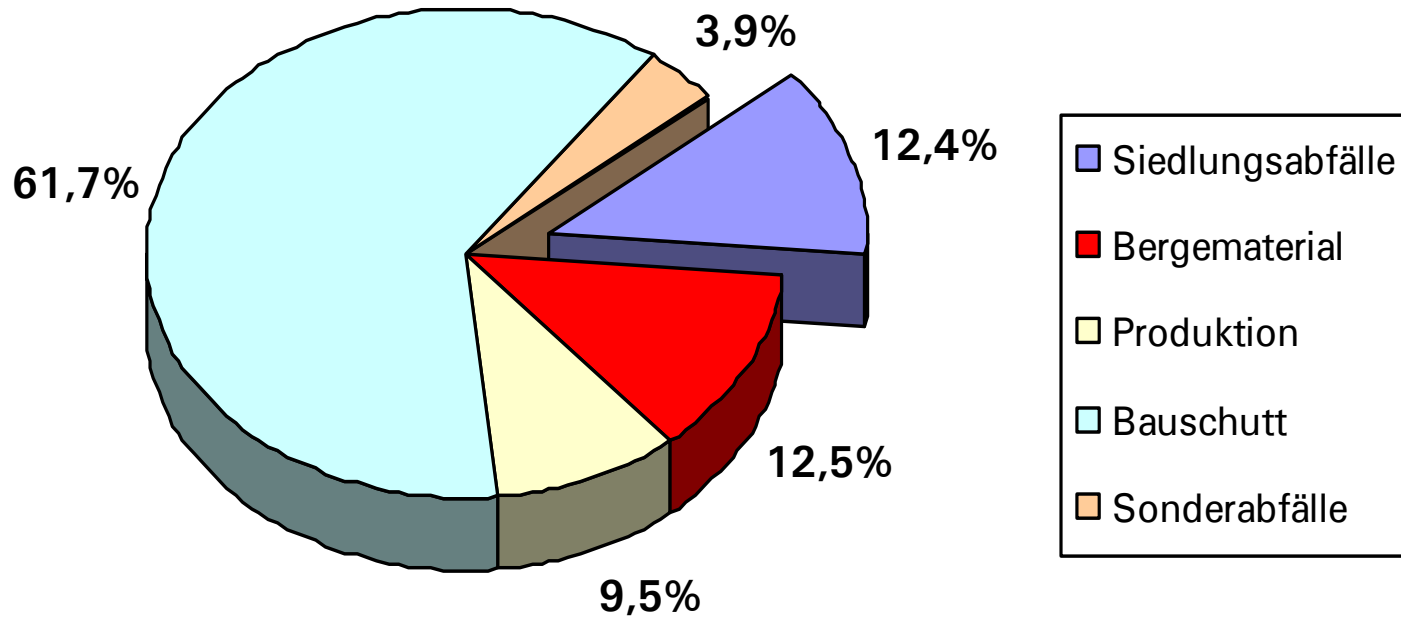
.... andererseits:

In hochindustrialisierten Ländern wie Deutschland fallen Jahr für Jahr große Mengen an Abfall an



Abfallaufkommen Deutschland gesamt

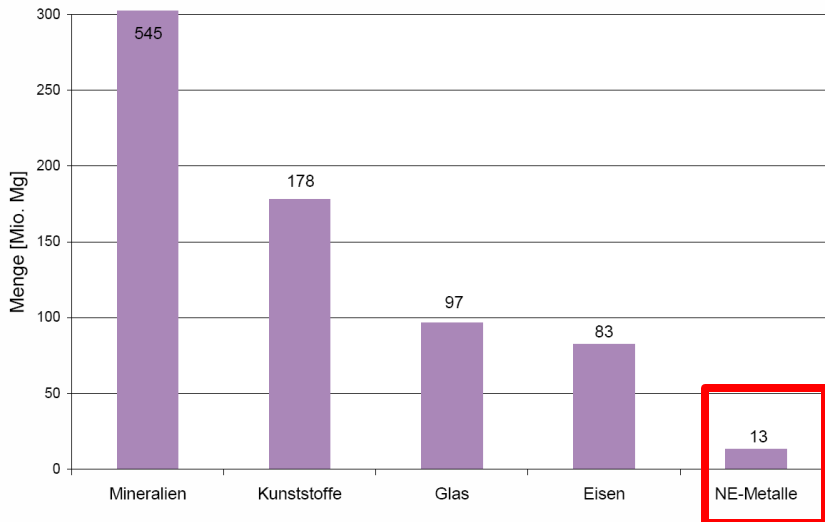
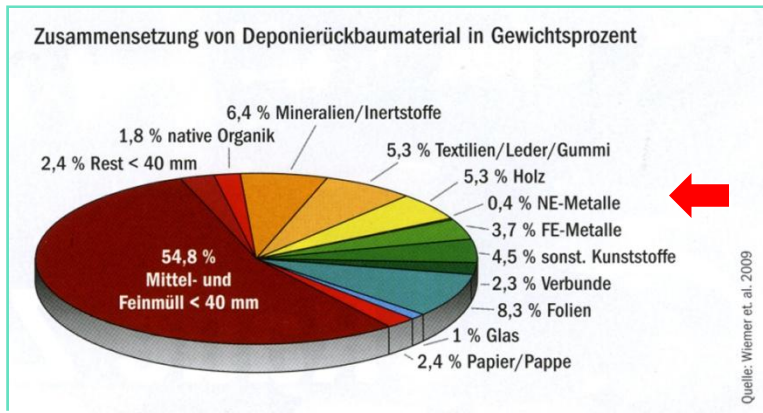
ca. 350 Mio. t/a



Stand: 2001, Quelle Statistisches Bundesamt 2003

gerade zur Kategorie Siedlungsabfällen bzw. „Siedlungsabfall-ähnliche Abfälle“ zählen eine Reihe von Stoffströmen, deren Wertpotential noch nicht gehoben ist.

Auch auf Deponien schlummert ein beträchtliches Rohstoff-Potential



Mengenabschätzung einzelner Stoffgruppen auf Abfalldeponien

nach Mocker et al. 2009

... zuzüglich beachtlicher anthropogener Lagerstätten aus abgelagerten Abfällen !



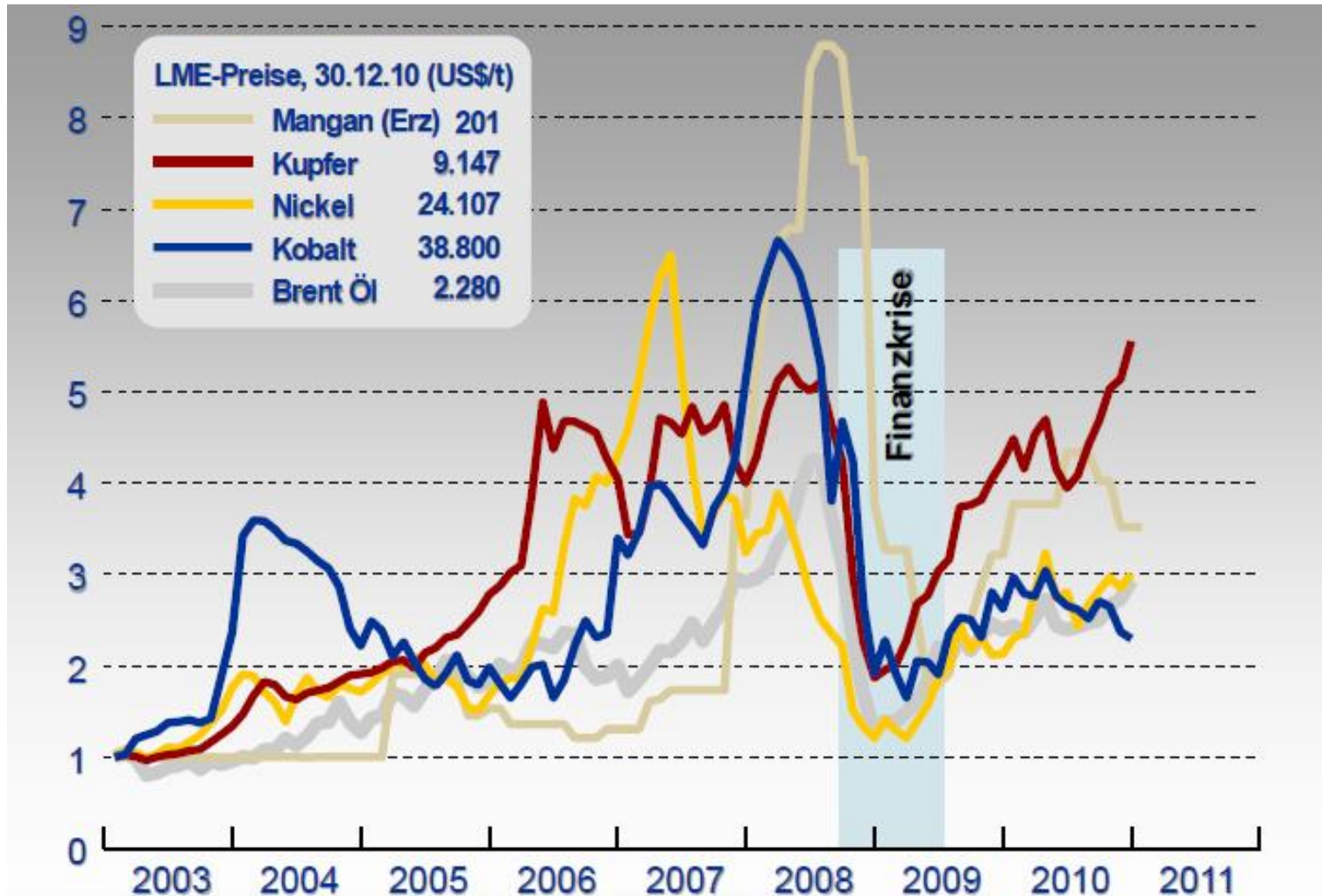
Rohstoffe

**vom Angebotsmarkt
zum Nachfragemarkt**

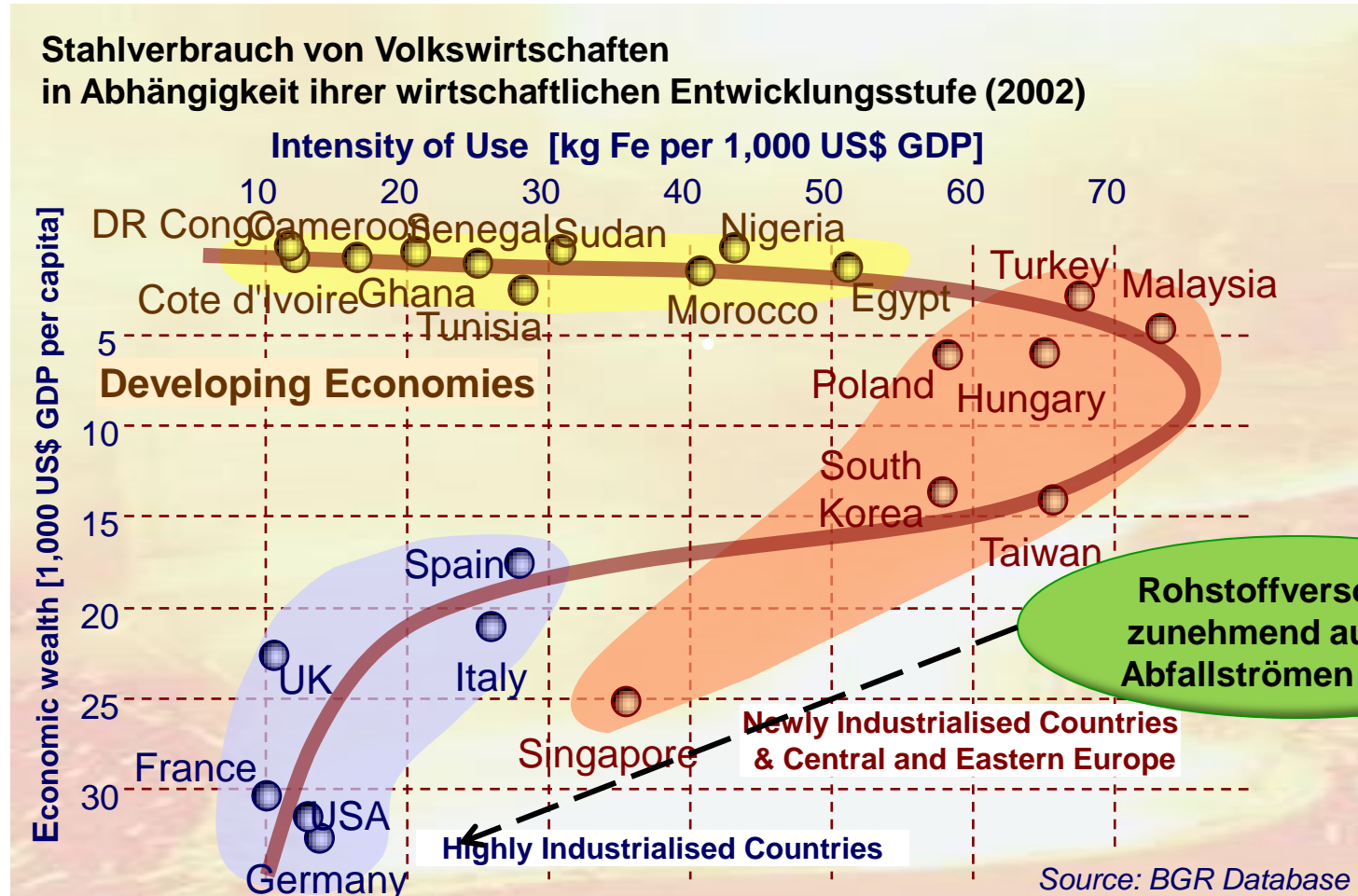
**...und das auch
für werthaltige Abfallströme !**

Relative Preisentwicklung der LME-Metalle

(Monatsdurchschnitt, Januar 2003 = 1)



Wann und wo ist mit recycelbaren Abfallströmen zu rechnen? Herleitung aus den Tendenzen für den weltweiten Primär-Rohstoffverbrauch am Beispiel von Kuznet s Kurve für Stahl



Neben dem Anstieg des Wohlstandsniveaus sind Umwelt- und Ressourcenbewusstsein, Verfügbarkeit von Technologien und industrieller Infrastruktur Voraussetzung hierfür

Rohstoffversorgung daher auch aus „komplexen Sekundär-Erzen“



Kabel-Recycling in Ghana

Bleischrott-Recycling in Indien

.... zunehmend unter Exportdruck

Für die Rohstoffsicherung aus Abfällen gilt daher:

- ◆ **Breitbandiger mit Abfallströmen befassen**
zunehmend aus dem Blickwinkel der Versorgung gegenüber dem Blickwinkel der Entsorgung
- ◆ **Exportdruck für Abfallströme**
wird weitgehend bestimmt durch
Masse, Homogenität, Werthaltigkeit und Anfallstruktur
- ◆ **Wettbewerbssituation bei werthaltigen Abfallströmen**
für regionale/nationale Strukturen um so besser
je höher die Komplexität zur Wertstoffrückgewinnung in
Technologie und Logistik
gegenüber Ländern mit geringen Lohn- und Umweltstandards



Rohstoffquelle Abfall

Lagerstättenkunde der anderen Art

Produkte von heute – Abfälle von morgen

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 Herstellung neuer Produkte, Anlagen und Infrastrukturen geführt, unter anderem:

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

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

* Energie- und Landschaftsverbrauch

Periodensystem der Elemente

© Peter Woch - Experimentatchemie.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



- ◆ 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

Rohstoff	2006	2030	Zukunftstechnologien (Auswahl)
Gallium	0,28	6,09	Dünnschicht-Photovoltaik, IC, WLED
Neodym	0,55	3,82	Permanentmagnete, Lasertechnik
Indium	0,40	3,29	Displays, Dünnschicht-Photovoltaik
Germanium	0,31	2,44	Glasfaserkabel, IR optische Technologien
Scandium	gering	2,28	SOFC Brennstoffzellen, Al-Legierungselement
Platin	gering	1,56	Brennstoffzellen, Katalyse
Tantal	0,39	1,01	Mikrokondensatoren, Medizintechnik

Globaler Rohstoffbedarf für ausgewählte Zukunftstechnologien und Rohstoffe im Jahr 2006 und 2030 im Verhältnis zur gesamten heutigen Weltproduktionsmenge des jeweiligen Rohstoffs

Quelle: Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“ Fraunhofer ISI 2009

Je nach Anwendung und Produktlebensdauer können diese Rohstoffe unterschiedlich schnell durch Recyclingprozesse rückgewonnen und wieder eingesetzt werden



Systematische Ansätze zur Identifikation regionaler Sekundärrohstoffpotentiale

Zur Ermittlung regionaler Sekundärrohstoffpotentiale und Strukturen für die Rückgewinnung/Nutzung von Ressourcen sind folgende Fragestellungen bedeutsam:

- ◆ Was wird in einer Region produziert und welche Produktionsabfälle fallen an? **(Post-Production-Abfälle) -> Potential: Vernetzung industrieller Infrastrukturen**
- ◆ Welche Abfallströme fallen in Handels- und Dienstleistungsunternehmen/-strukturen an? **(Post-Industrial-Abfälle) -> Potential: Logistik-Optimierung**
- ◆ Was wird an Produkten auf den Markt gebracht und welche Abfallströme fallen nach Nutzung/Konsum an? **(Post-Consumer-Abfälle) -> Verhältnis Produktion/Konsum**
- ◆ Welche Rohstoffpotentiale sind in „aktiven anthropogenen Strukturen“, etwa im Gebäudebestand gebunden, wann und wie lassen diese sich künftig erneut nutzen? **(urban mining) -> Werthaltigkeit und Altersstruktur**
- ◆ Welche Rohstoffpotentiale sind in „passiven anthropogenen Strukturen“, etwa auf Deponien und Abraumhalden vorhanden und wie lassen sich diese erschließen? **(landfill mining) -> langfristiger regionaler Umgang mit Rohstoff- und Flächenressourcen**



Vom Abfall zum Sekundärrohstoff

Strukturen der Sekundärrohstoff-Wirtschaft

Voraussetzungen für eine effiziente Rückführung von Sekundärrohstoffen in den Markt

- ◆ **Substitution primärer Rohstoffe**
im Wirtschaftskreislauf aus Abfall-abgeleiteten Fraktionen

- ◆ **Geeignete Absatzkanäle** im Hinblick auf
 - maximale Nutzung von Materialeigenschaften
 - Qualitätsanforderungen und Prozessstabilität gegen Schwankungen
 - Aufnahmekapazität

- ◆ **Optimale Dimensionierung und Lokalisierung**
der Glieder der Wertungskette im Hinblick auf
 - Anfall von Materialströmen in der Prozesskette
 - Anforderungen der finalen Abnehmer

- ◆ **Anpassbar und erweiterbar** an / auf
 - ähnliche Stoffströme
 - sich ändernde Marktanforderungen
 - verschiedene Märkte



Vom Abfall her kommend:

Technische Herausforderungen an die Weiterentwicklung von Recyclingtechnologien und -strukturen

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind folgende Maßnahmen von besonderer Bedeutung:

- ◆ **Entwicklung von Strukturen und Prozessen**
die auch die Rückführung von zunehmend mehr Wertstoffen, die über **komplexe Produkte diffus im Markt** verteilt werden, ermöglicht
- ◆ **Optimierung von Verfahren und Schnittstellen zwischen Aufbereitung und Metallurgie**
um Rückgewinnungsquoten für bestimmte Wertstoffe zu optimieren
- ◆ Entwicklung neuer Aufbereitungstechnologien zum **Recycling neuartiger Produkte**
bzw. der daraus künftig anfallenden Altprodukte



Volks- und betriebswirtschaftliche Herausforderungen

Neben technischen Lösungen sind Antworten auf folgende Fragen erforderlich:

- ◆ **Kürzer werdende Zeitintervalle zwischen neuen Produktgenerationen**
Eine besonders große Herausforderung ergibt sich daraus, dass in immer kürzeren Zeitintervallen neue Produktgenerationen mit veränderten Konstruktionen und Inhaltsstoffen, z.B. im Bereich der Unterhaltungselektronik auf den Markt kommen.

Lassen sich hierfür „mitwachsende“ **flexible Recyclingtechnologien** entwickeln?
- ◆ **Schnelle Marktdurchdringung neuer Technologien**
Ebenfalls in immer kürzeren Zeitabständen kommen völlig neue Produkte auf den Markt, die neue Recyclingtechnologien benötigen, z.B. Lithium-Ionen-Traktionsbatterien für die Elektromobilität, neue Photovoltaik-Systeme oder LCD- und LED-Technologien.

Gelingt es rechtzeitig, wirtschaftlich tragfähige Recyclingtechnologien hierfür zu entwickeln und sie so industriell umzusetzen, dass diese möglichst schnell einen **Rohstoff-Rückführungsbeitrag für die Verbreitung** der neuen Technologien leisten können?

Beispiel: Optimierungspotentiale bei der Verwertung von Produktionsrückständen

Anfall von Stanzrückständen bei der Automobilproduktion



allein im VW-Werk Wolfsburg

fallen pro Tag 1000 t Stanzrückstände an



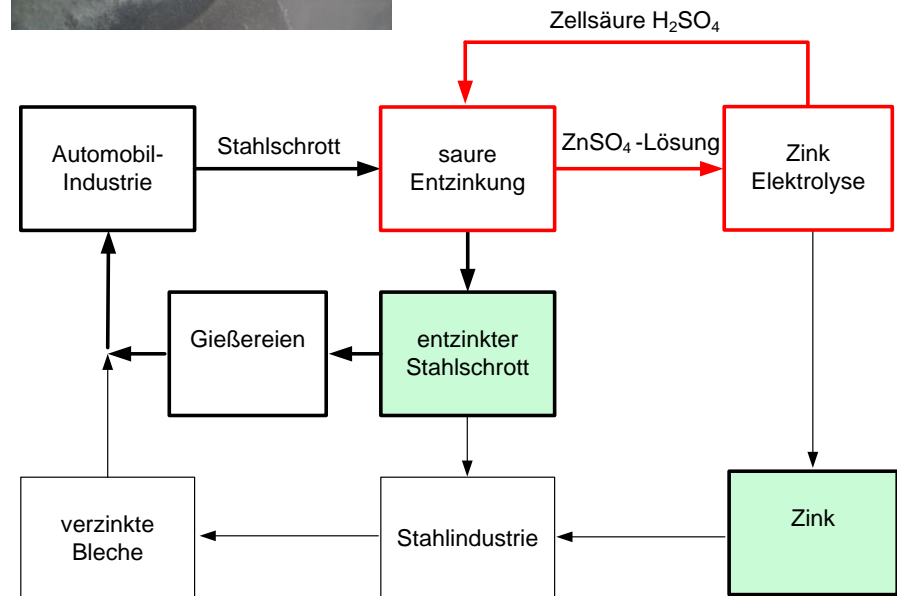
Direktentzinkung von Stahlschrott durch Einsatz speziell adaptierter Laugeverfahren



Kaltes Entzinkungsverfahren für Stahlschrott mit Hilfe von Endelektrolyten aus der Primärzinkindustrie. Weitgehend entzinkte Elektrolytlösungen werden im Bypass einer kontinuierlich arbeitenden Anlage zur kalten Entzinkung zugeführt.



Die mit Zink beladene Säure wird in den Massenstrom der Zinkhütte zurückgeschleust, dort erfolgt die Gewinnung von Zink durch Elektrolyse





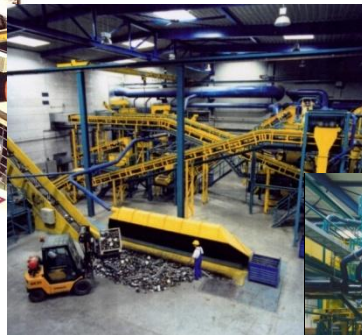
Beispiel:

Weiterentwicklung bei der Verwertung von Post-Consumer-Abfällen

Elektronikschrott – Aufbereitung heute

Hohe Wertschöpfung durch moderne Verfahren

...und doch noch lange nicht ausgereizt



Quelle: Electroycling GmbH

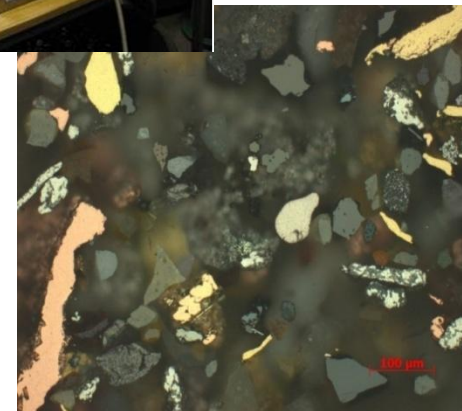


Aufbereitung von Stäuben aus der E-Schrott-Aufbereitung:

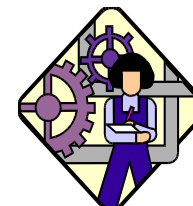
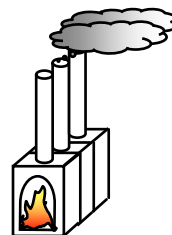
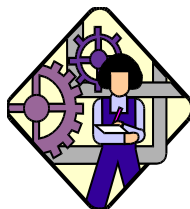
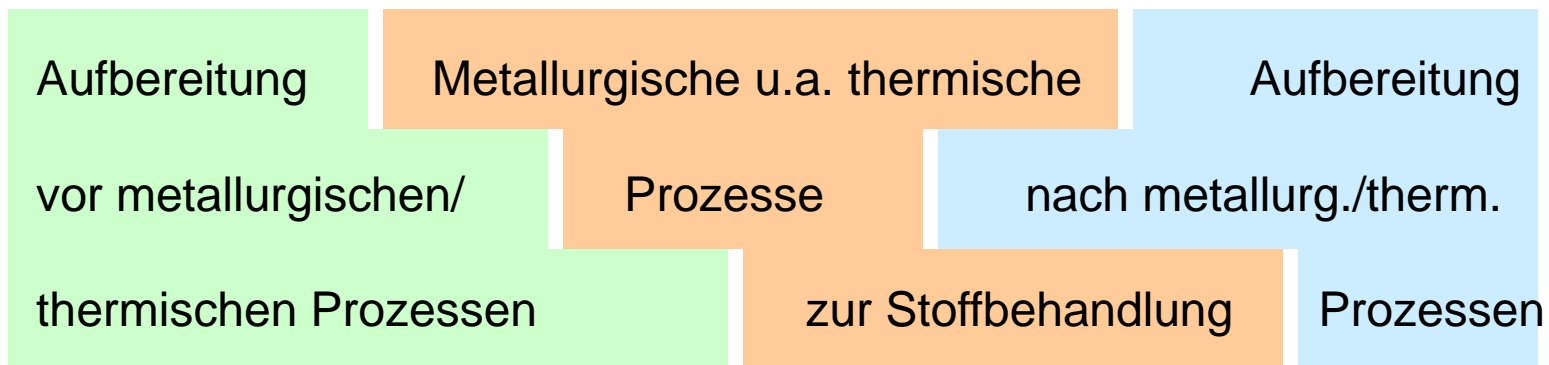


Rückgewinnung von Bunt-
Edelmetallen im Feinstkorn

Erhöhung des Wertstoffausbringens



Beispiel: Verzahnung mechanischer und chemischer Aufbereitungsprozesse mit metallurgischen und thermischen Prozessen zur Stoffbehandlung



**Eine intensivere Abstimmung von Schnittstellen
und eine Erweiterung und Adaption thermischer Prozesse
auch für eine optimierte Weiter-Aufbereitung von Rest- und Nebenströmen dieser Prozesse
rückt künftig noch stärker in den Fokus**

Beispiel: Müllverbrennungsschlacken als Kupfer-Quelle



Im Jahre 2006 wurden in Deutschland
18 Mio. t Siedlungsabfälle verbrannt

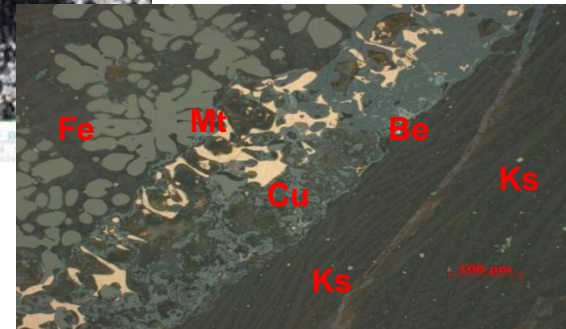


Bei der Verbrennung dieser Mengen
fallen je nach Input 4,5 – 6,3 Mio. t
MVA-Aschen, -Schlacken und
unverbrannte Rückstände an

Der Cu-Gehalt dieser Schlacken steigt tendenziell
Gehalte bis zu 0,4 % (0,7%) werden berichtet



Mineralogische Unter-
suchungen zeigen, dass
sich Cu in speziellen
Phasen konzentriert



Die Entstehung **synthetischer Erze**
in Abfällen/Rückständen thermischer Prozesse
aus der Verwertung verbleibender Mischabfälle
aber auch aus Verwertungsrückständen
wie Hüttenschlacken



Vielen Dank



für Ihre Aufmerksamkeit !