



Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich

Stefan Luidold
Endpräsentation, BMVIT
13.02.2013

Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie, MUL
Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft, MUL
Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredelung, MUL
Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie, MUL
Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, MUL
Außeninstitut, MUL
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien
Institut für Abfallwirtschaft, BOKU Wien



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie



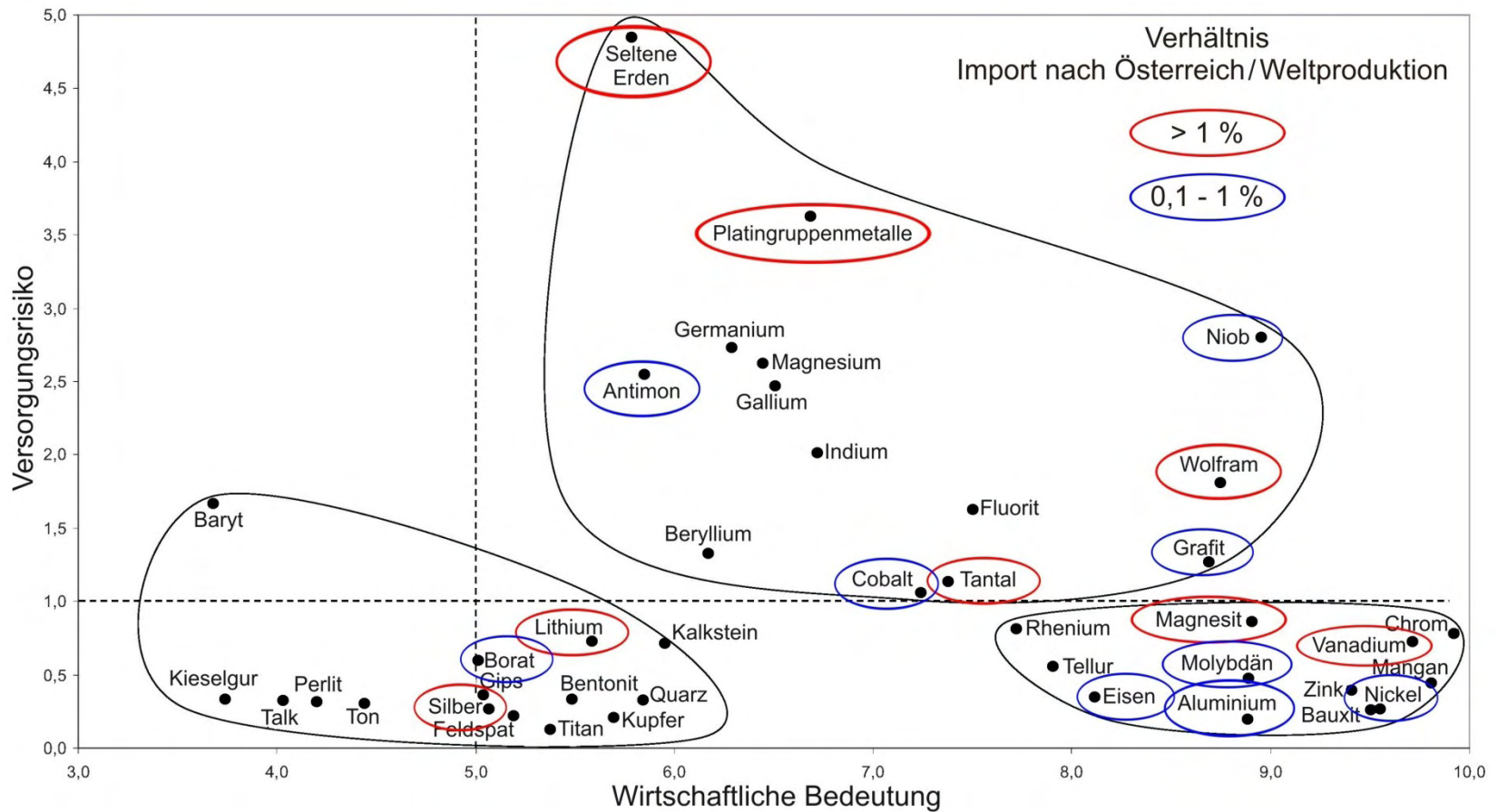
FFG



Montanuniversität Leoben
Department Metallurgie
Nichteisenmetallurgie



Kritische Rohstoffe für die EU bzw. Österreich



Quellen: Critical raw materials for the EU (http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_de.htm)
 European Mineral Statistics 2006-10 (BGS)
 World Mineral Production 2006-10 (BGS)



Geologisches Potenzial

◇ Hohes Potenzial

↪ Wolfram, Grafit

↪ Aktiver Bergbau in Österreich

↪ Prospektion, Exploration → Entdeckung neuer Lagerstätten

◇ Kein Potenzial

↪ PGM, SE

↪ Keine Lagerstätten zu erwarten → Nur Import oder Recycling

◇ Unsicheres Potenzial

↪ Sb, Ge, Nb/Ta, V

↪ Historischer Sb-Bergbau, heute unbedeutend

↪ Polymetallische Lagerstätten: Sb mit Edelmetallen (Au)

↪ Lithiumpegmatite (Ostalpen): Anreicherung von Nb/Ta?

↪ Ge, Ga, In: Wiederaufnahme des Pb/Zn-Bergbaus?

↪ V: Genauere Untersuchung von Öl- und Schwarzschiefer



Sb-Lagerstätten

◇ Antimon

↪ Schlaining (bis 1990 in Betrieb)

↪ Rabant

↪ 13.000 t mit 7 Gew.-% Sb,
aber nur 9.000-10.000 t mit 4-4,5 Gew.-% gewinnbar

↪ Goming

↪ Unzureichend untersucht, eventuell weitere Vererzungen

↪ Zukünftige Neubewertung

↪ Gehalt an Edelmetallen (Au) ist wesentlicher Faktor

↪ Keine systematische Studie zur Goldführung bekannt



Ge-Lagerstätten

◇ Germanium

↪ Pb/Zn-Bergbau bei Bleiberg/Kreutz (bis 1993)

↪ Förderung: $1,1 \cdot 10^6$ t Pb, $1,1 \cdot 10^6$ t Zn

↪ **Gewinnung von 172 t Ge**

↪ Vorratspotenzial

↪ Gesichert: 35,7 t Ge (\varnothing 200 ppm im Erz)

↪ Geschätzt: 65,9 t Ge (\varnothing 150-1.500 ppm in den Erzen)

↪ Primärgewinnung

↪ Nur durch Wiederaufnahme des Pb/Zn-Bergbaus

↪ Lagerstätte Jauken: sehr hohe Ge-Gehalte

→ eventuell untersuchungswürdig

↪ Kohleaschen

↪ Salzach-Braunkohlerevier: bis 110 ppm Ge

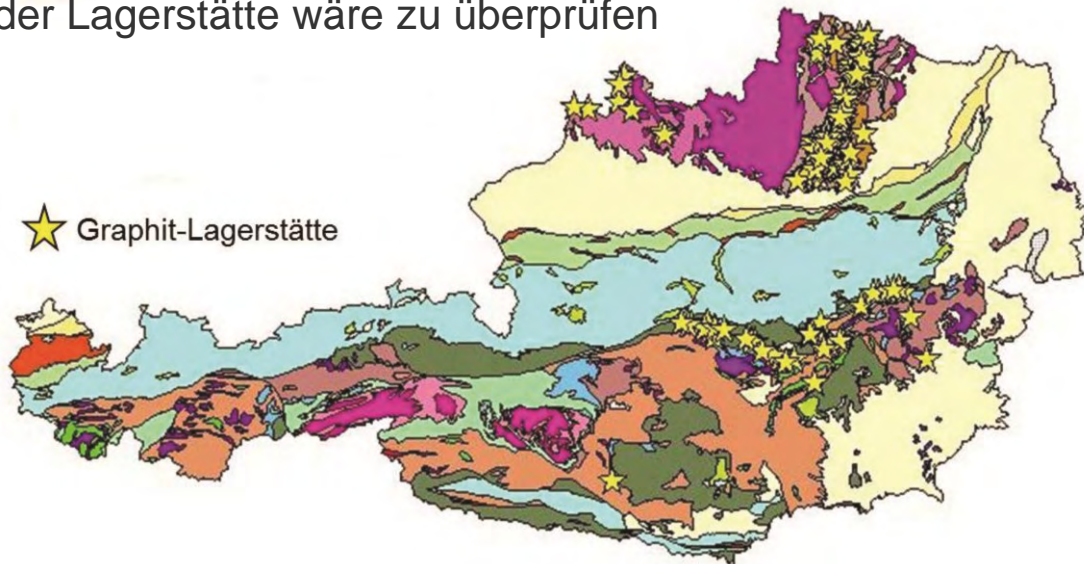
↪ Glanzbraukohlen der Melker Sande: bis 200 ppm Ge



Grafit-Lagerstätten

◇ Grafit

- ↪ Bunte Serie in der Böhmischer Masse (NÖ)
 - ↪ Kleinbergbau im 19. Jhd.
 - ↪ Kaum wirtschaftliche Bedeutung (SiO_2 -reich → Aufbereitbarkeit)
- ↪ Veitscher Decke der östlichen Grauwackenzone
 - ↪ Sunk bei Trieben: Hohe Qualität (81-87 Gew.-%)
→ Untersuchung der Wiederaufnahme
 - ↪ Kaisersberg bei St. Stefan ob Leoben (seit 2008 wieder in Betrieb)
Untertagebergbau: 420 t Rohgrafit (60 Gew.-% C) in 2010
Erweiterung der Lagerstätte wäre zu überprüfen



Quelle: Geologische Übersichtskarte Österreichs [abgeändert nach GBA 2005/2009]



Nb/Ta-Lagerstätten

◇ Niob und Tantal

- ↪ Keine wirtschaftlichen Vorkommen
- ↪ Spodumen-Pegmatite (Lithium)
 - ↪ Akzessorisch Nb/Ta/Sn-Phasen
 - ↪ Weinebene/Koralpe: Columbit und Nb-haltiger Rutil
< 100 ppm Ta bzw. Nb → nicht wirtschaftlich
 - ↪ Wölzer Tauern
Columbit, Tantalit, Pyrochlor, etc. (< 100 ppm Nb bzw. Ta)
- ↪ Muskovit-Granite (Böhmische Masse)
 - ↪ Columbit als disseminierte Einschlussphase in Kassiterit
 - ↪ Homolka-Granit: 30-150 ppm Nb und bis 60 ppm Ta
 - ↪ Phyrabruck-Granit: bis zu 340 ppm Nb
 - ↪ Nb/Ta/Ti-Phasen in Bachsedimenten und eluvialen Seifen
- ↪ Ostalpine Einheiten
 - ↪ Nb-Anomalien durch Rutil und Ilmenit
 - ↪ Südliche Saualpe: Rutil mit bis zu 9.000 ppm Nb und 400 ppm Ta



PGM- bzw. SE-Lagerstätten

◇ Platingruppenmetalle

- ↪ Keine wirtschaftlichen Vorkommen (0,7-0,8 ppm)

◇ Elemente der Seltenen Erden

- ↪ Keine bekannten Vorkommen

- ↪ Alternative primäre Quellen (nicht bzw. kaum untersucht)

- ↪ Kaolin-Vorkommen der Böhmisches Masse
(vgl. Ionenadsorptionston-Lagerstätten in China)

- ↪ Scheelit-Lagerstätte Felbertal

aktives Westfeld: 1.100-3.400 ppm SEE

heimgesagtes Ostfeld: 750-1.500 ppm SEE

Weiterführende Untersuchungen → Gewinnung als Beiprodukt?

- ↪ Polymetallische Lagerstätten des Eisenoxid-Kupfer-Gold-Typs

Auftreten in den Ostalpen unbekannt

SE-Gehalt historischer Edelmetall- und Cu-Lagerstätten unbekannt

- ↪ Marine (Meta)sedimente → metamorphe Gesteinsserien in den Alpen

Potenzial der SEE-Vererzungen ist unbekannt



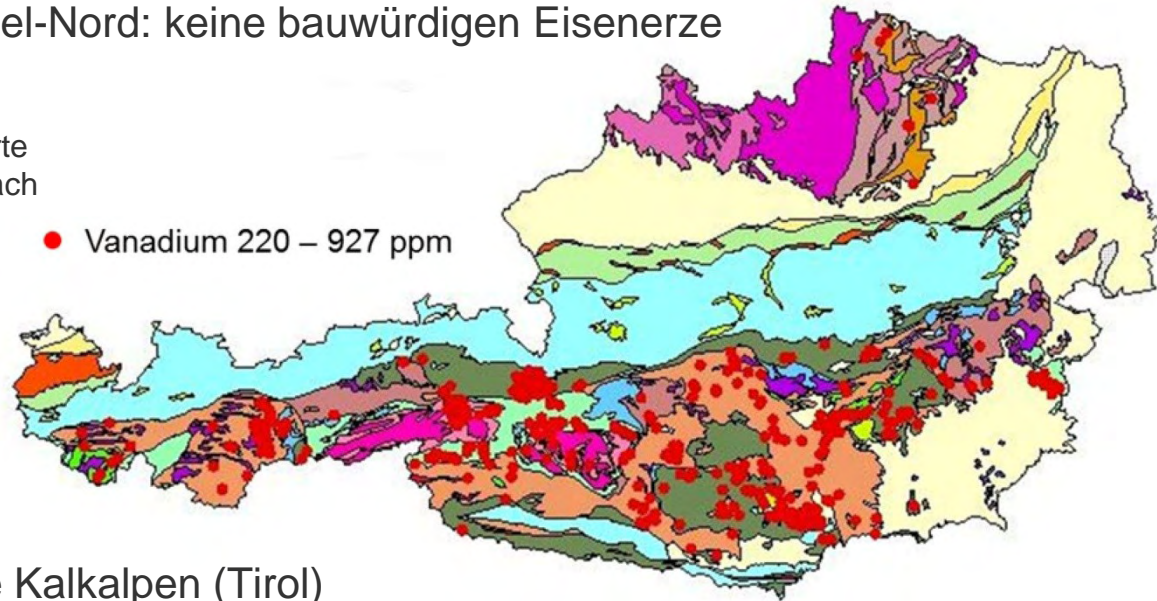
V-Lagerstätten

◇ Vanadium

- ↪ EU: nicht als kritisch beurteilt; hohe österreichische Bedeutung
- ↪ Keine eigenständigen Lagerstätten in Österreich bekannt
 - ↪ Jedoch Magnetit-Lagerstätten
 - ↪ Waldviertel-Nord: keine bauwürdigen Eisenerze

Quelle: Geologische Übersichtskarte Österreichs [abgeändert nach GBA 2005/2009]

● Vanadium 220 – 927 ppm



↪ Ölschiefer

- ↪ Nördliche Kalkalpen (Tirol)
- ↪ Obertägige Betriebsstätte im Bächental: 176 t im Jahr 2010
- ↪ Seefelder Schiefer: bis 850 ppm V



W-Lagerstätten

◇ Wolfram

- ↪ Zahlreiche bekannte Vorkommen in Österreich
 - ↪ Außer Felbertal wahrscheinlich alle unwirtschaftlich – Klärung durch detaillierte Exploration
- ↪ Scheelit-Bergbau Felbertal:
 - ↪ 430.000 t Erz mit 0,5 Gew.-% WO_3 (2010)
- ↪ Gold-Lagerstätten Schellgaden
 - ↪ Historische Lagerstätte
 - ↪ W nur Nebenelement, bedeutender Ag und Au
- ↪ Ostalpiner Thurntaler Quarzphyllitkomplex
 - ↪ Entlang des Grenzkammes Hochrast-Gumriaul (Osttirol)
 - ↪ Z.T. gemeinsam mit Arsenopyrit und anderen Sulfiden
- ↪ Scheelit-Lagerstätte Tux
 - ↪ Magnesit-Scheelit-Abbau bis 1976
 - ↪ Exploration durch Voestalpine AG:
 - Reserven von 500.000 t Scheeliterz mit 0,9 Gew.-% WO_3 vermutet
 - ↪ Ungewöhnliche Assoziation W-Magnesit: auch Mallnock (Kärnten)



Primärseitiger Handlungsbedarf

- ↪ Steigender Bedarf erzwingt Primärgewinnung neben Erhöhung der Ressourceneffizienz (Recycling, etc.)
- ↪ Verstärkte Prospektion und Exploration für kritische Rohstoffe mit hohem (W, C, etc.) oder unsicherem (z.B. Nb/Ta) Geopotenzial
- ↪ Bewertung der Lagerstätten hinsichtlich bisher für den Betreiber nicht relevanter Nebenprodukte
- ↪ Geowiss. Untersuchungen zur eindeutigen Bewertung der derzeit als „bedingt sicherungswürdig“ eingestuft Rohstoffvorkommen
- ↪ Standortspez. Modellrechnungen, ab welchem Rohstoffpreis eine Förderung aus sicherungswürdigen Vorkommen wirtschaftlich ist



Primärseitiger Handlungsbedarf

- ↪ W: Holistische Untersuchung heimischer Vorkommen, Prospektion in bekannten W-führenden geol. Einheiten
- ↪ C: Weitere Exploration bekannter Grafit-Lagerstätten
- ↪ Sb: Detailuntersuchung der Lagerstätte im Gebiet Kreuzeck- und Goldeckgruppe, Evaluierung der Wiedergewältigung des Sb-Bergbaus in Schlaining
- ↪ Nb/Ta: Untersuchung des Geopotenzials; Entwicklung verbesserter Explorationsverfahren
- ↪ V: Erhebung des Potenzials in Öl- und Schwarzschiefer
- ↪ In, Ga, Ge: Detailuntersuchung der Pb/Zn-Lagerstätten, Verteilung der Elemente, etc.
- ↪ SE: Untersuchung heimischer Kaolin- und Tonlagerstätten



Aufbereitbarkeit von Rohstoffen

- ◆ Mineralbestand
 - ↪ RFA, nasschemische Analyse, RDA
- ◆ Verwachsungsverhältnisse
 - ↪ Bestimmt Partikelgröße (Zerkleinerung) für Sortierprozesse
- ◆ Mineraleigenschaften
 - ↪ Zerkleinerung: Bruchcharakteristik, Härte, Abrasivität
 - ↪ Sortierung: Dichte, Magnetisierbarkeit, elektrische Leitfähigkeit, Benetzbarkeit, optische Eigenschaften
 - ↪ Chem. Aufbereitung: Löslichkeit, etc.

 - ↪ Flockengrafit: grobkörnig, C-Gehalt im Rohgut: 10-12 Gew.-%
 - ↪ Mikrokristalliner Grafit: C-Gehalt im Rohgut: 80-85 Gew.-%
 - ↪ Kristalliner Grafit: sehr selten, C-Gehalt im Rohgut bis 95 Gew.-%
 - ↪ Synthetischer Grafit: Rückstand der Erdölverarbeitung
C-Gehalt: bis 99 Gew.-%, keine Aufbereitung notwendig



Aufbereitung sekundärer Rohstoffe

◇ Allgemein

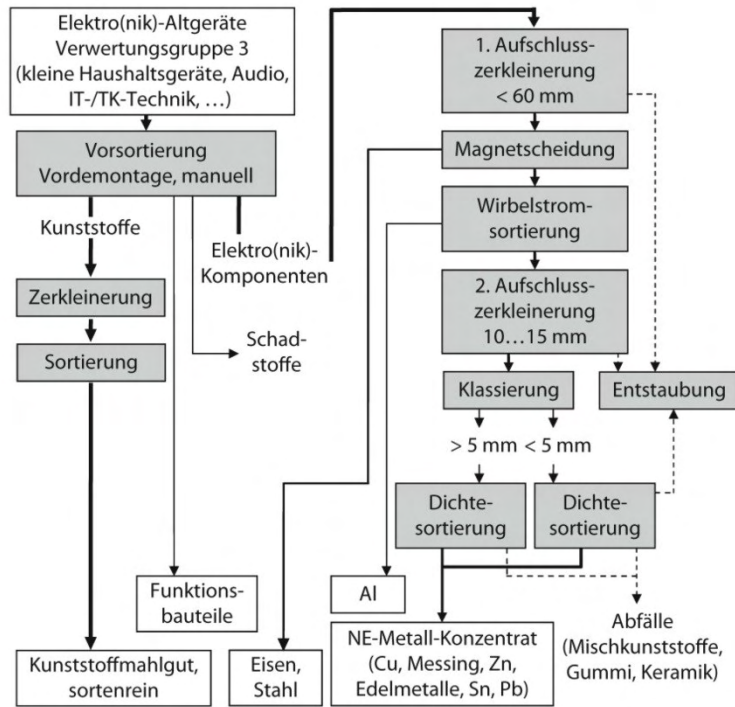
- ↪ Gesamter Bereich der klassischen mechanischen Aufbereitung
- ↪ Weit verbreitet: Magnetscheidung, sensorgestützte Verfahren
- ↪ Viel höhere Notwendigkeit der Weiterentwicklung als im Primärbereich (rel. junger Forschungszweig)

◇ Herausforderungen

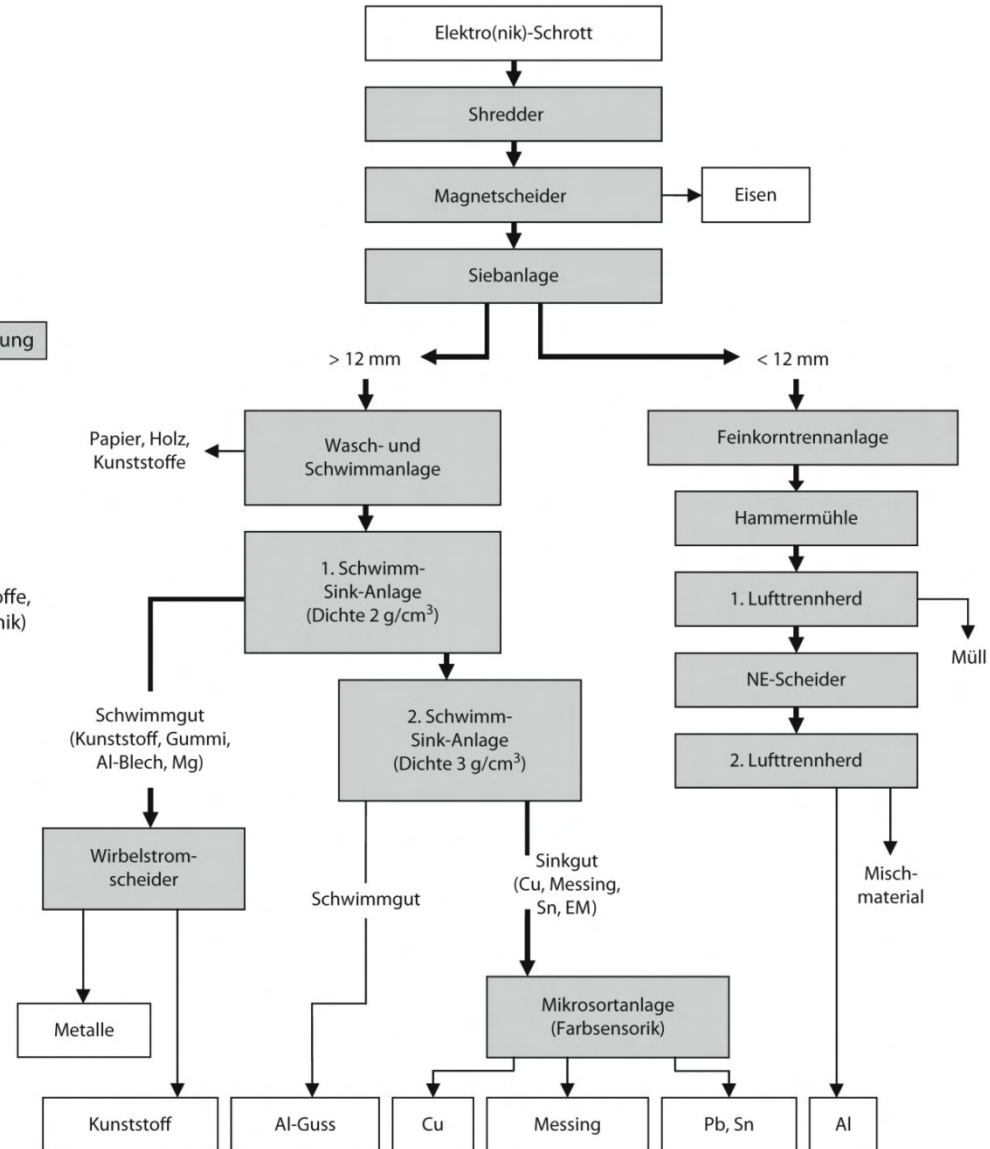
- ↪ Schwankungen der Zusammensetzung
- ↪ Oft äußerst komplexe Verfahrensketten
- ↪ Partikelform (Sortierprozesse) – nicht nur annähernd sphärisch
- ↪ Werkstoffkombinationen:
 - ↪ Z.B. harte metallische Teile mit Kunststoffen und Isolationsmaterial
 - ↪ Elektro- und Elektronikschrott
 - ↪ Schredderleichtfraktion (KFZ-Aufbereitung)
sehr hohe Materialdiversität



Aufbereitung von Elektrokleingeräte



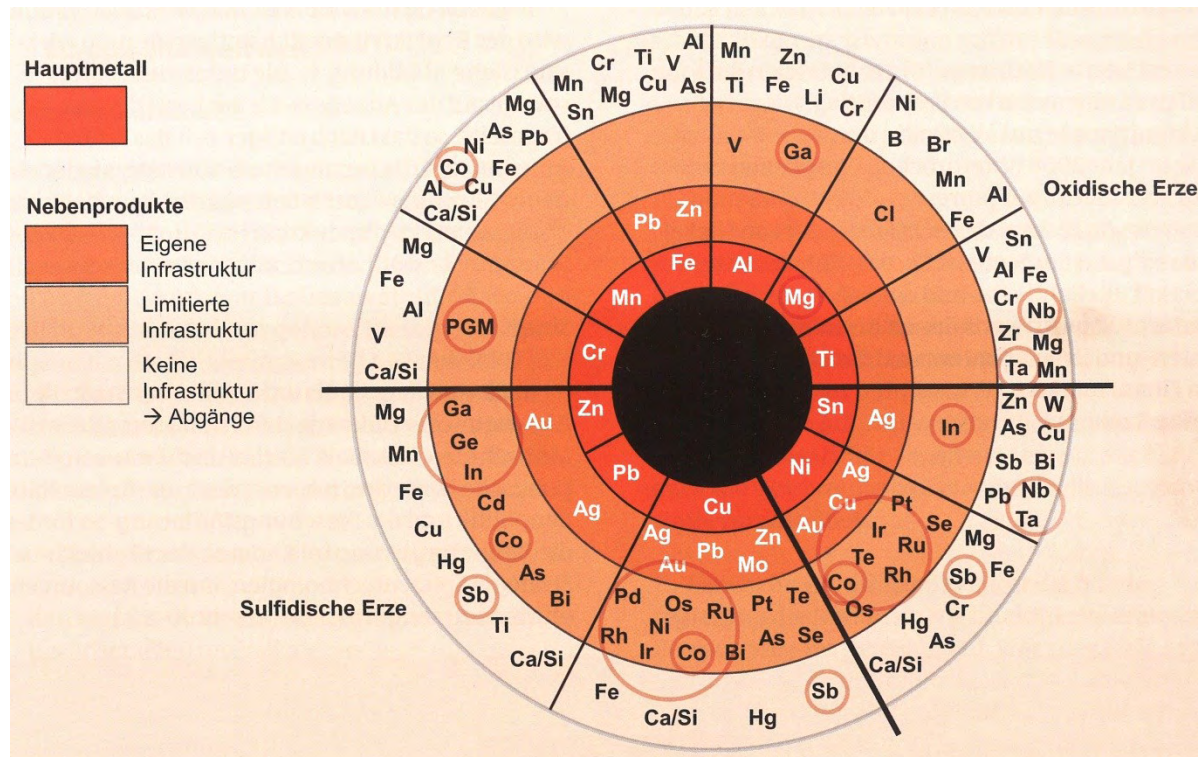
Quelle: Schwarz, H. (2013)



Metallurgische Infrastruktur

◇ Allgemeine Problemfelder

- ↪ Technologiemetalle sind oftmals Nebenprodukte
- ↪ Ausbau der Infrastruktur ist sehr zeit- und kapitalintensiv
- ↪ Fehlende Grundlagen (thermodyn. Daten für SE- bzw. RM-haltige Schlackenphasen, etc.)



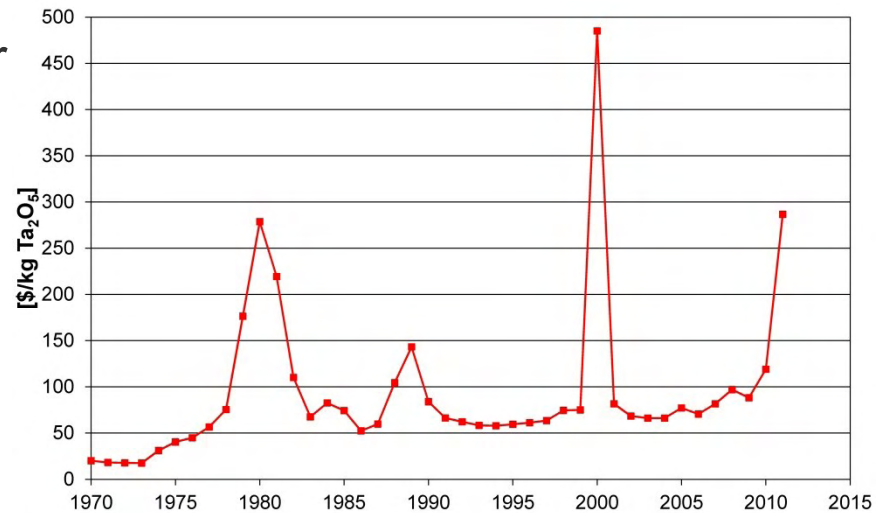
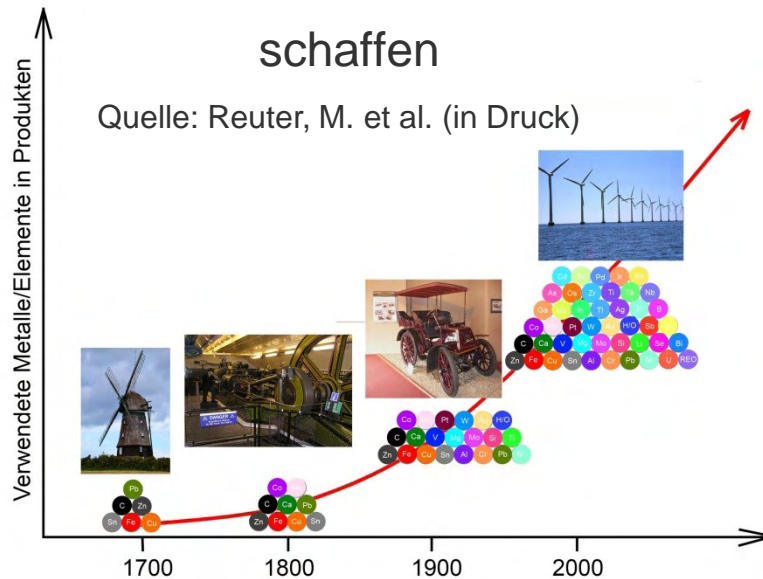
Quelle: Wellmer, F.-W. (2012)

Metallurgische Infrastruktur

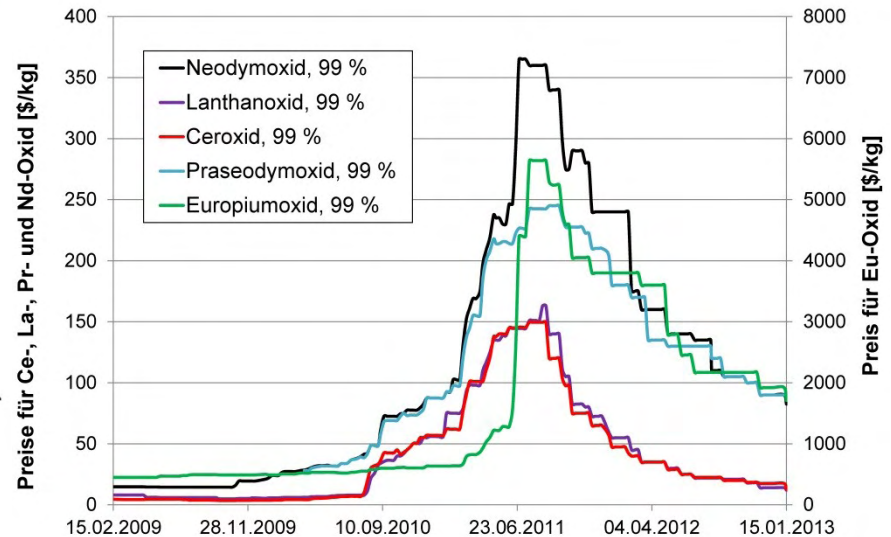
◇ Allgemeine Problemfelder

- ↪ Komplexität moderner Produkte
 - ↪ Langfristige Preisentwicklung kaum vorhersehbar
- Anreiz für F&E schaffen

Quelle: Reuter, M. et al. (in Druck)



Quelle: minerals.usgs.gov
Quelle: www.indmin.com



Dissipation in den Anwendungen (z.B. SE)

- Energiesparlampen
- LED
- LCD
- Plasma-Bildschirm
- Laser

- Wasseraufbereitung
- Pigmente
- Düngemittel
- Nuklear-Technologie
- Verteidigung

- Auto-Katalysatoren
- Katalysatoren in Raffinerie- und chemischen Prozessen
- Diesel-Zusatz

Ce La **Eu** Tb Y Gd

Phosphor,
Lumineszenz

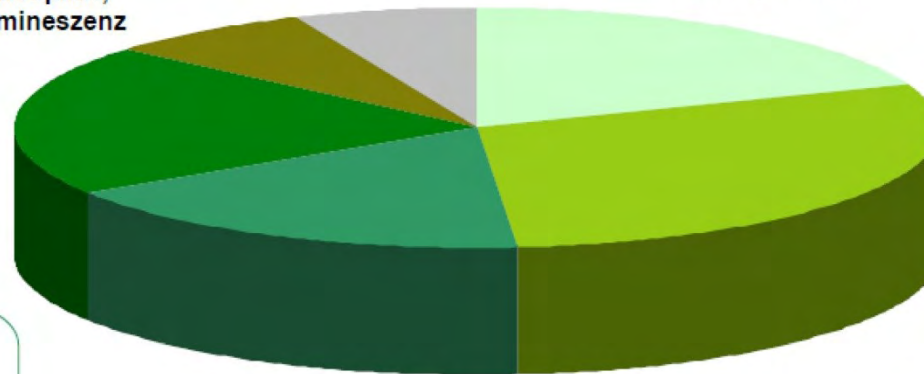
Ce La Pr Nd Y

Katalysatoren

Magnete

Nd Pr Sm La Tb Dy

- Motoren und Generatoren
- Windräder
- Elektrofahrzeuge
- Hybrid-Fahrzeuge
- Festplatten
- Kernspintomograph
- Lautsprecher
- Magnetische Kühlung



Metall-Legierung / Batterien

La Ce Pr Nd Sm Sc

Glas, Polierung, Keramik

Ce La Y Pr Nd

- Legierungen für Stahl und Eisenguss
- Super-Legierung
- Zündgeräte
- NiMH-Batterie
- Brennstoffzelle
- H₂-Speicherung
- Leichtbau

- Poliermittel
- Glasadditive zu Färbung/ Entfärbung
- Stabilisator in Keramik
- Keramik-Kondensatoren
- UV-Adsorption

Öko-Institut e.V.

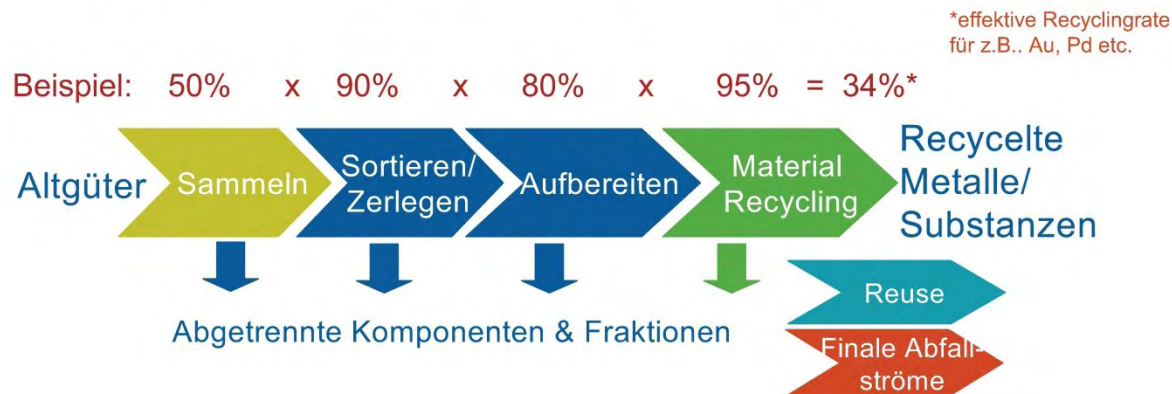
Recycling

- ◆ Gesamteffizienz = Produkt der individuellen Wirkungsgrade der Teilschritte

↪ **Schwächste Schritt hat größte Auswirkung!**

↪ Bsp.: Gold aus Elektronik

Recyclingkette – der Systemansatz entscheidet



Quelle: www.nachhaltigwirtschaften.at

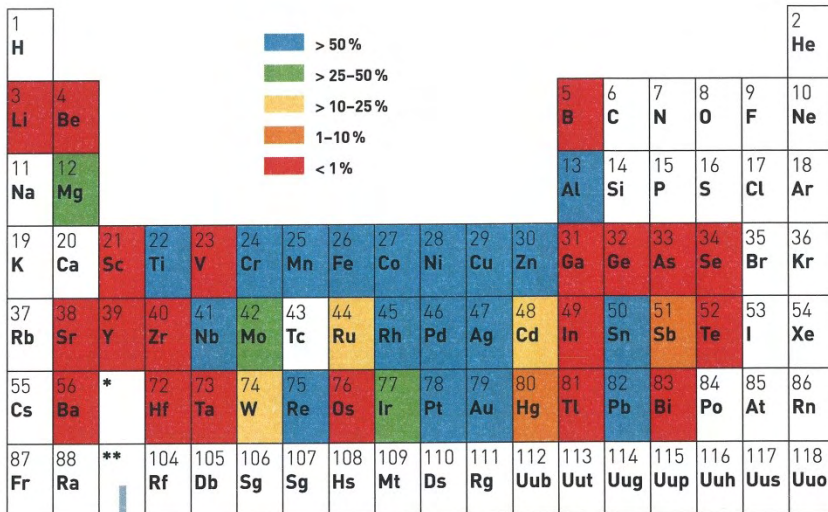
- ◆ Einflussfaktoren auf Recyclingfähigkeit

↪ Inhalt an Wertmetallen und deren Preise

↪ Zusammensetzung, Rückgewinnungsrate, Technologie, Kosten

↪ Anwendungssegment, Lebenszyklus, Logistik

Recyclingraten



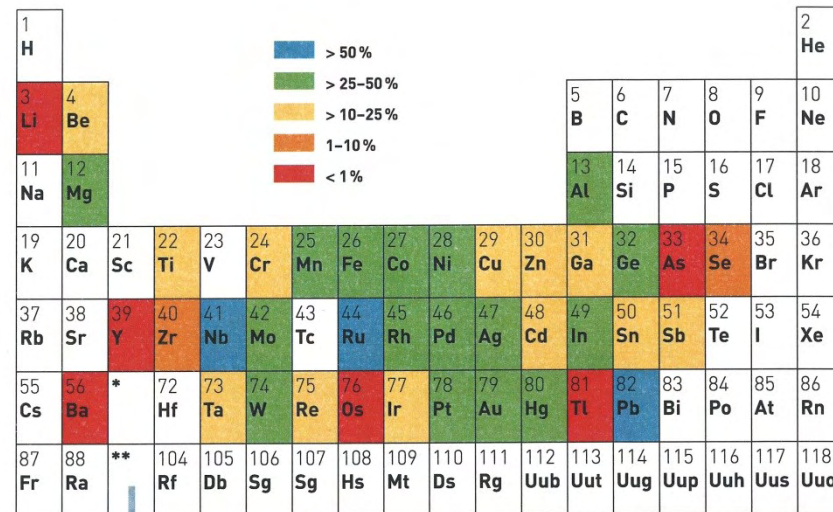
* Lanthanides

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

** Actinides

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Recyclingraten aus
gebrauchten Konsumgütern



* Lanthanides

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

** Actinides

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Anteil an Sekundärmaterial
am Gesamtbedarf

Quelle: Graedel, T. et al. (2011)



Verwertung W-haltiger Reststoffe

- ◆ Recycling (Gewinnung von reinem Wolfram)
 - ↪ Einige Spezialverfahren (Zink-Prozess, etc.)
 - ↪ Nur für bestimmte, sortenreine Schrotte
 - ↪ Vorbehandlung und Einschleusung in die Primärmetallurgie
 - ↪ Sehr viele Prozessstufen (hoher Aufwand)
- ◆ Direkter Einsatz anstelle von Primärmaterial (Downcycling)
 - ↪ Nur hochwertige Schrotte (vgl. Tabellen)

Produkt	bevorzugte Schrottarten (gemäß Nr. in Tabelle 10)
Superlegierungen	1
Stellite	1, 3, 6, 9
Eutektisches Schmelzkarbid	1, 6
Menstruum WC	4, 6, 9, 11, 12
Werkzeugstahl	1, 2, 4, 7, 11, 12
Ferrowolfram	1, 2, 4, 6, 7, 11, 12
Schmelzzusatz	1-4, 6-12

Quelle: Lassner, E. und W.-D. Schubert (1999)

Nr.	Schrottart	W-Gehalt [Gew.-%]	Gruppe
1	Hochreines W	≥ 99	Hartschrott
2	Oxidpartikelverstärkte W-Legierungen (ZrO ₂ , CeO ₂ , La ₂ O ₃)	96-98	
3	Hartmetallstücke (enthalten auch Co und Ta)	60-97	
4	Schwermetall-Wolframlegierungen	92-94	
5	Wolfram-Kupfer	60-90	
6	Reine W-Pulver	98-100	Weichschrott
7	W-Schleifschlämme	30-60	
8	W-Schneidrückstände	70-80	
9	Hartmetallpulver	60-95	
10	Hartmetall-Schleifschlamm	15-60	
11	Schwermetallpulver	92-97	
12	Schwermetallspäne	92-97	
13	W-Cu-Pulver und Grünlinge	50-90	
14	Kehricht (aus verschiedenen Quellen)	40-60	



Recycling anderer Technologiemetalle

◆ PGM

- ↪ Rel. gut entwickelt, z.B. über Cu-Metallurgie
- ↪ Weiteres Optimierungspotenzial (Ausbeute, etc.) vorhanden

◆ Niob

- ↪ Geringes Potenzial (> 90 % Verwendung in Stählen)
- ↪ Recycling aus WEEE, Superlegierungen, etc.?

◆ Tantal

- ↪ Technologien nur für ausreichend reine Schrotte
- ↪ WEEE: Kondensatoren → Konkurrenz zu Edelmetallen

◆ Vanadium

- ↪ Recycling nur aus Katalysatoren
- ↪ Gewinnung aus Sekundärquellen

◆ SE

- ↪ Nur im Labor- und Pilotmaßstab verfügbar
(NiMeH-Akkus, Leuchtstaub bzw. Magnetschrott)



Relevante Abfälle (BAWP 2011) (Schlüsselnummern nach ÖNORM S2100)

SN	Bezeichnung	Menge [kg]
35107	Kfz- und andere Edelmetall-Katalysatoren	k.A.
35201	Elektrische und elektronische Geräte und Geräteteile, mit umweltrelevanten Mengen an gefährlichen Abfällen oder Inhaltsstoffen	2.140.000 Aufkommen (2009)
35207	Leiterplatten, bestückt	k.A.
35208	Leiterplatten, entstückt oder unbestückt	k.A.
35209	Elektrolytkondensatoren	k.A.
35210	Bildröhren (nach dem Prinzip der Kathodenstrahlröhre)	2.690.000 Export (2010)
35230	Elektro- und Elektronik-Altgeräte – Kleingeräte mit einer Kantenlänge kleiner 50 cm, mit gefahrenrelevanten Eigenschaften	13.000.000 Behandelt (2009)
35337	Lithiumbatterien	35.000 Export (2009)
Etc.



Alt-KFZ

◇ Altfahrzeugeverordnung

- ↪ Rücknahmepflicht, Schadstoffentfrachtung
- ↪ Behandlung zur Verbesserung der Verwertung
 - ↪ Abtrennung von Cu, Al, Mg, Reifen, große Kunststoffteile, Glas
 - ↪ Schredderleichtfraktion:
weitere Rückgewinnung von Me-Fractionen erforderlich

◇ Fahrzeugbestand (Österreich)

- ↪ 4,51 Mio. PKWs
- ↪ 0,44 Mio. landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge
- ↪ 0,37 Mio. leichte Nutzfahrzeuge < 3,5 t
- ↪ 0,71 Mio. Motorräder und Motorfahräder
- ↪ 6.056 Hybridfahrzeuge (Dez. 2011)

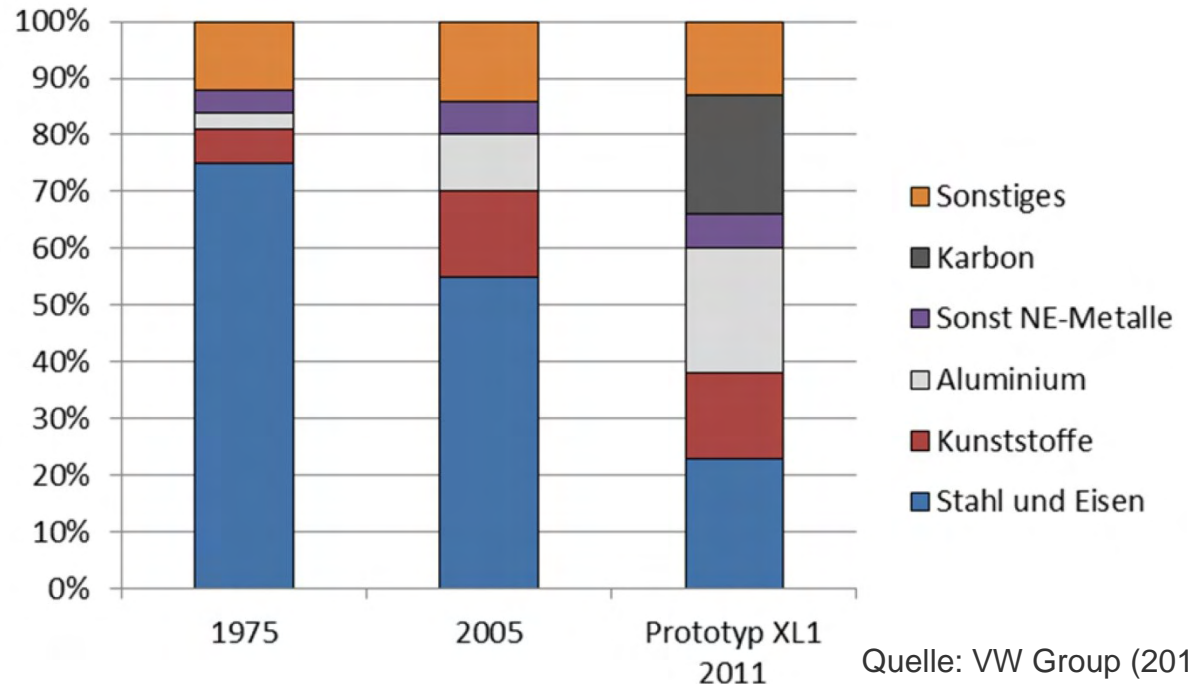
- ↪ 2.044 E-Autos im Jahr 2011 in Deutschland zugelassen
- ↪ **LKW: kein systematisches Recycling in Europa**



Kritische Rohstoffe im KFZ

◇ Zusammensetzung von PKWs

- ↪ Gehalt an krit. Rohstoffen nicht in kompakter Form verfügbar
 - ↪ Nur Einzelangaben
 - ↪ IDIS Demontageinformationssystem (50 Produzenten und Zulieferer) → modellspez. Information, nicht allg. zugänglich
- Zusammensetzung der Komponenten ebenso nur qualitativ und unvollständig → Potenzial für krit. Rohstoffe?



Quelle: VW Group (2011)



Kritische Rohstoffe im KFZ

◇ Abgas-Katalysator

- ↪ Träger: Cordierit $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ (oder Fe-Cr-Al-Geflecht)
- ↪ Washcoat: Al_2O_3
mit Pt, Rh, Pd sowie Ce-, (Ba-, Zr- und La-) Oxide
- ↪ Ca. 1-3 g Edelmetall pro PKW
- ↪ Pt-Verluste:
 - ↪ 0,1-0,13 g pro PKW (200.000 km) während der Lebensdauer
 - ↪ Zerlegung und Aufbereitung
 - ↪ Pyrometallurgische Rückgewinnung: Pt bis 95 %, Rh bis 80 %
Ce, Zr, etc. gehen in der Schlacke verloren → neue Technologie?

◇ Fensterglas

- ↪ Elektrisch leitfähige Beschichtung: ITO (15-310 nm)
 - ↪ Rückgewinnung nicht wirtschaftlich (max. 7-8 kg/a In falls alle Altfahrzeuge mit derartigen Frontscheiben ausgerüstet wären)
- ↪ Photovoltaik: CIS, CIGS – höhere Schichtdicken
→noch keine Technologie verfügbar



Kritische Rohstoffe im KFZ

◆ Elektromobilität

	Elektroantrieb	Hybridantrieb, und Plug-in- Hybridantrieb	Gasmotor
Neue ressourcenintensive Bauteile	Elektromotor, Hochleistungs-Batterien, Elektronik	Elektromotor, Hochleistungs-Batterien, Elektronik	Gastank, Elektronik
Hauptelemente und kritische Ressourcen	Fe, Mn, Cu, Nd, Sm, Dy, Tb, In, Ga, Ge, Au, Li, Co, Ni, Ce, La	Fe, Mn, Cu, Nd, Sm, Dy, Tb, In, Ga, Ge, Au, Li, Co, Ni, Ce, La, Pt, Pd, Rh	Fe, Mn, Cu, Tb, In, Ga, Ge, Au, Pt, Pd, Rh

Quelle: Buchert, M. et al. (2011)

◆ Sonstige Bauteile bzw. Materialien

- ↪ λ-Sonde, LED-Lampen, Zündkerzen (Pt, Ag oder Y, etc.),
- ↪ Polituren (Ce-Oxid-Nanopartikel, etc.)



Aufbereitung von Alt-KFZs

◇ Massenbilanz der KFZ-Schredderanlagen in Österreich

↪ Demontageteile:

- ↪ Motoren, Reifen, Felgen, Batterien, Getriebe, Sicherheitsglas
- ↪ Leiterplatten (57 g), LCD-Anzeigen (10 g), Gasentladungslampen (3 g) → **Unterschätzung des Potenzials**

↪ Schredderschwerfraktion

- ↪ Zwei Post-Schredder-Anlagen in Österreich
- ↪ keine Abtrennung kritischer Rohstoffe, nur Fe- und NE-Fractionen

Input bzw. abgetrennte Fraktion	Masse [kg]	Anteil [%]	Anteil [%]
Fahrzeug nach Trockenlegung	843	100,0	
Demontage (Entnahmen)	151	17,9	
Input in den Schredderprozess	692	82,1	100,0
Schredderschrott	490	58,1	70,8
NE-Fraktion	33	3,9	4,8
Schredderschwerfraktion (SSF)	48	5,7	6,9
Schredderleichtfraktion (SLF)	121	14,4	17,5

Quelle: Kletzmayr, W. und Gratz, M. (2012)



Elektrofahrzeuge

◆ Akkumulator

↪ Je nach Zelltyp: Li, Co, Ni, Mn, SE

↪ Entwicklung neuer Akkus mit veränderter Chemie?

◆ E-Fahrzeug ohne Akkumulator

Element	Au	Ag	Cu	Ga	In	Ge	Pt	Pd	Nd	Pr	Dy	Tb
Elektromotor			kg	mg					g	g	g	g
Leistungs-Elektronik	mg	g	kg	mg	mg	mg		mg				
Batterie / Kabel			kg									
Brennstoffzellen-Komponenten			kg	mg			g		g	g	g	g
Standardverkabelung		g	kg									
Ladestation und -kabel		mg	kg	mg	mg	mg						
Elektronik für Lenkung, Bremsen, sonstige Elektronik			kg									
Katalysator, V-Motor, Lichtmaschine			kg				g	g				



Elektroaltgeräte

- ◆ SEE-Gehalte in PCs
Laptops und Mobiltelefone
↳ Magnetmaterial

Quelle: Westphal, L. und Kuchta, K.(2012)

Bauteil Mobiltelefon	Nd-Inhalt [mg]
Vibrationsmotor	32,5
Lautsprecher	29,9

- ◆ SEE-Gehalt in Flachbildschirmen
↳ Leuchtstoff

Quelle: Buchert, M. et al. (2011)

Bauteil PC	Masse [g]	Nd-Inhalt [mg]
Festplatte	593	3.621
Lautsprecher	30	310
CD-Laufwerk	905	977
Lüfter (Mainboard)	500	4,5
Lüfter (Netzteil)	500	3,8
Diskettenlaufwerk	373	116

SEE	Notebook [mg]	Monitor [mg]	TV [mg]
Y	1,8	16	110
Eu	0,13	1,2	8,10
La	0,11	1,0	6,8
Ce	0,076	0,68	4,5
Tb	0,038	0,34	2,3
Gd	0,011	0,095	0,63



Elektroaltgeräte (Ag, Au, Sb etc.)

Schrottsorte	Einheit	Tastatur	PC-Schrott		Leiterplatten				typischer E-Schrott	
			4)	4)	2)	1)	4)	2)	3)	2)
Silber	ppm	500	90	189	1.053	3.000	639	1.084	210	738
Gold	ppm	50	10	16	70	80	566	179	150	60
Palladium	ppm	20	4	3			124	75	20	30
Kupfer	Ma.-%	13,0	7,0	7,0	3,0	25,0	14,3	18,1	16,4	17,8
Eisen	Ma.-%	3,0	< 0,1	20,0	7,7	5,0	4,5	5,6	27,3	2,9
Zink	Ma.-%	3,0	1,2		1,4	1,5		1,4		1,2
Nickel	Ma.-%	0,6	0,2	0,9	0,2	0,5	1,1	0,5		0,3
Blei	Ma.-%	0,3	1,5	6,0	1,0		2,2	1,0	1,4	2,3
Aluminium	Ma.-%	18,0	11,0	14,0	4,8	3,0	2,8	7,3	11,0	2,3
Antimon	Ma.-%	0,3	0,5		0,4	0,1		0,5		0,2

Quellen:

- 1) Bernardes, A.; Bohlinger, I.; Rodriguez, D.; Milbrandt, H.; Wuth, W.: Recycling of printed circuit boards by melting with oxidising/reducing top Blowing process. In: The Minerals, Metals & Materials Society (1997), EPD Congress, S. 363-375
- 2) Cui, J.; Zhang, L.: Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. In: Journal of Hazardous Materials (2008), Band 158, S. 228-256
- 3) Maurell-Lopez, S.; Gül, S.; Friedrich, B.; Ayhan, M.; Eschen, M.: Metallurgical Fundamentals for an Autothermic Melting of WEEE in a Top Blown Rotary Converter. Proceedings of European metallurgical Conference EMC 2011, Clausthal-Zellerfeld
- 4) Waltritsch, S.: Electronic Scrap Processing. In: BHM 148. Jg. (2003); Heft 1, S. 10-12



Sammlung von Elektroaltgeräten

- ◆ **Sammel- und Verwertungssysteme**
 - ↪ Koordination und Berichtswesen durch Elektroaltgerätekoordinierungsstelle (EAK)
- ◆ **Inverkehrbringung**
 - ↪ EKG: 45.300 t; Lampen: 1.550 t
- ◆ **Sammelmengen**
 - ↪ EKG: 23.700 t; Lampen: 880 t → Lebensdauer, Sammelquote?
 - ↪ Restmüll: geschätzt 8.400-11.200 t
- ◆ **Intensivierung der Sammlung**
 - ↪ Förderung der haushaltsnahen Sammlung
 - ↪ Stärkere Erfassung beim Handel
 - ↪ Nutzung der Problemstoffsammlung für EKG



Windkraftanlagen in Österreich

◇ Altersstruktur (Repowering)

↪ Bisher nicht ermittelt
(> 110 Standorte mit
> 700 Anlagen)

◇ Anlagen mit Nd

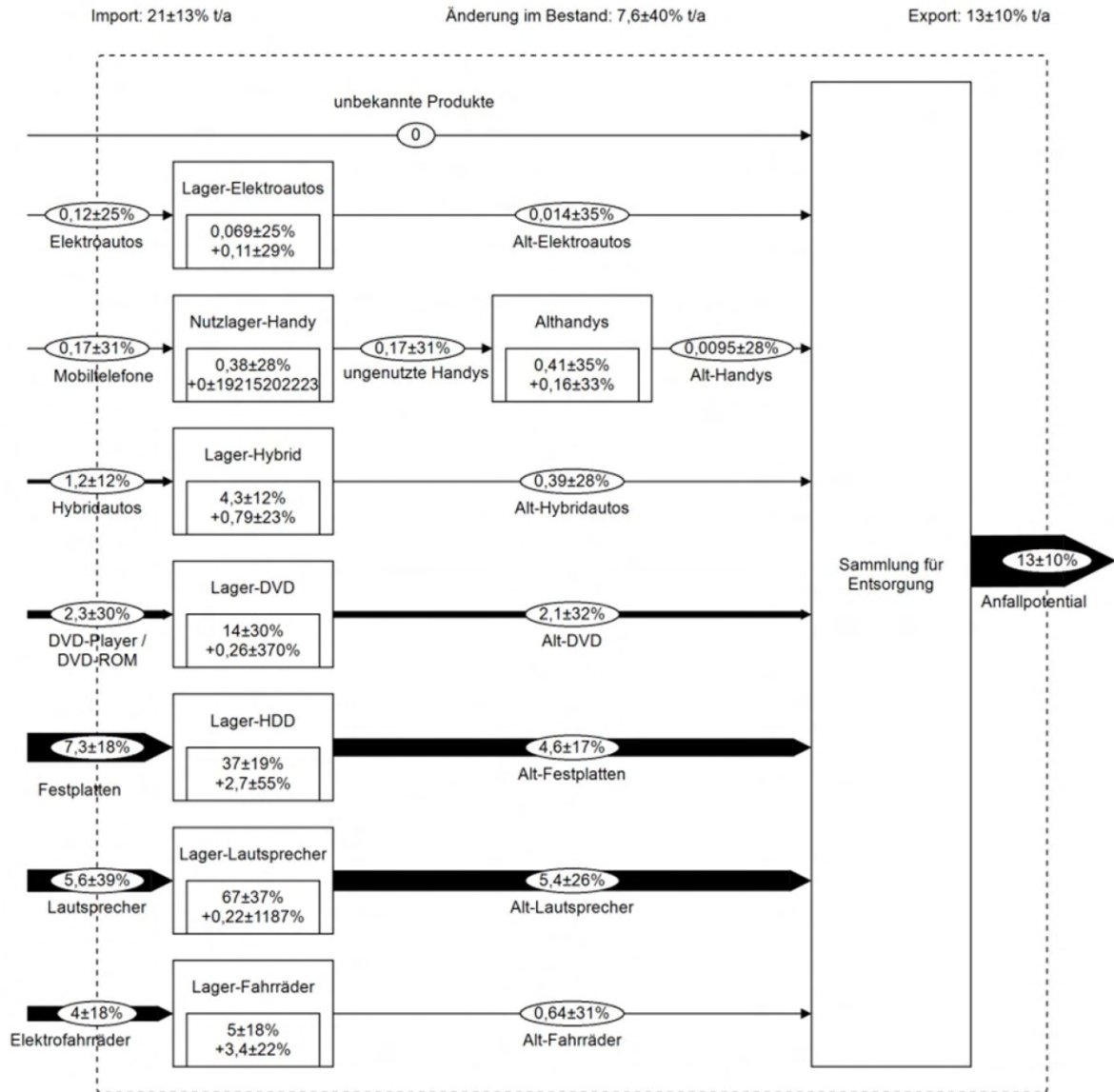
↪ Ca. 214 MW
↪ → 42 t Nd

Hersteller	Marktanteil in Österreich [%]	FeNdB-Technologie
Enercon	43	nein
Vestas	39	k.A.
DeWind	7	k.A.
Siemens (Bonus)	5	nein
General Electric	2	k.A.
Repower	1,1	nein
Nordex	0,14	nein
Windtec	0,2	k.A.
Fuhrländer	0,2	k.A.
Leitwind	0,3	ja
Lagerway	0,6	ja
Seewind	0,7	k.A.



Stoffflussanalyse für Neodym in Österreich

Subsystem Private Haushalte



Neodym in Österreich, 2011

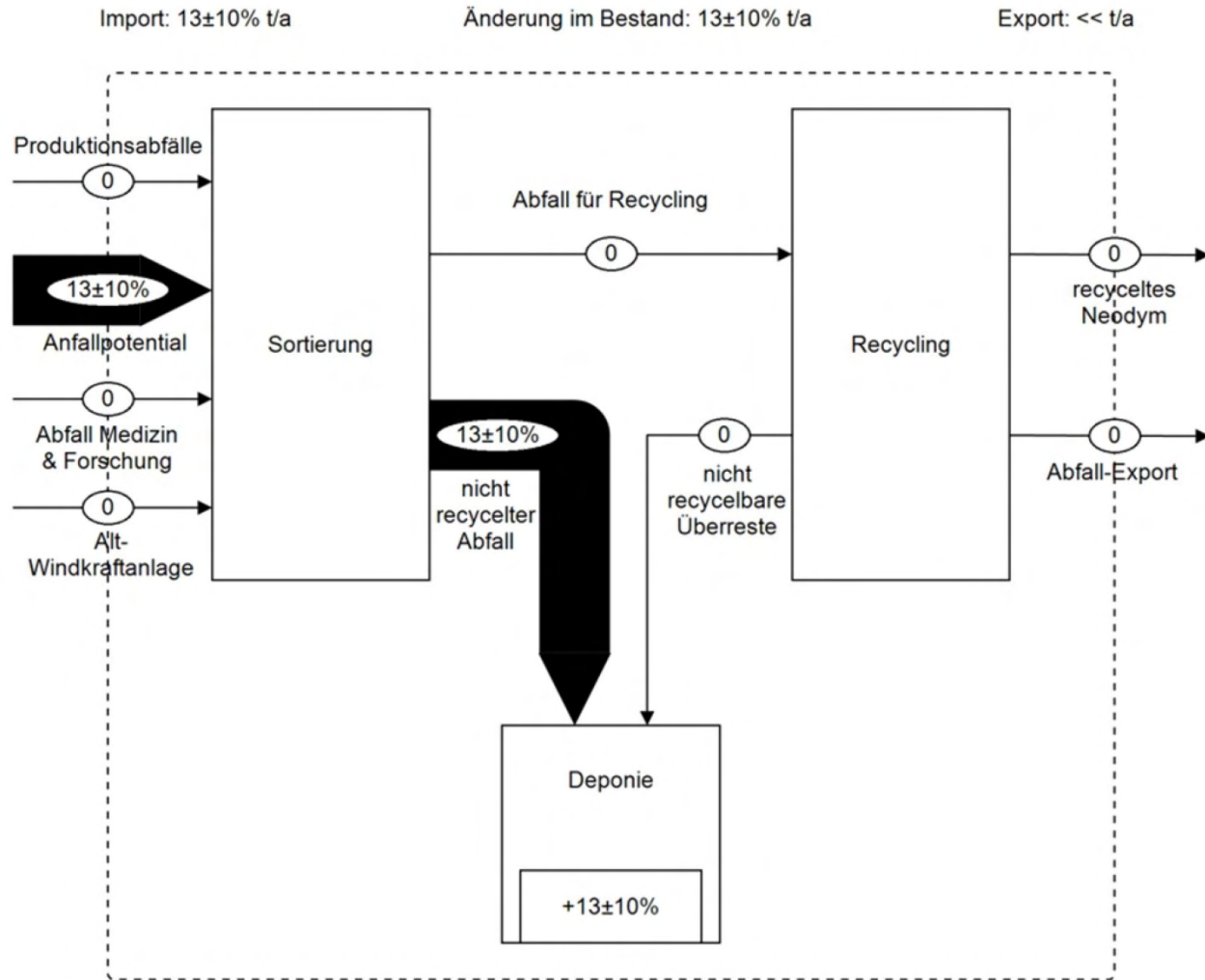
Flüsse [t/a]
Lager [t]
"<<" = nicht zu bestimmender Fluss



Stoffflussanalyse für Neodym in Österreich



Subsystem
Abfallwirtschaft



Neodym in Österreich, 2011

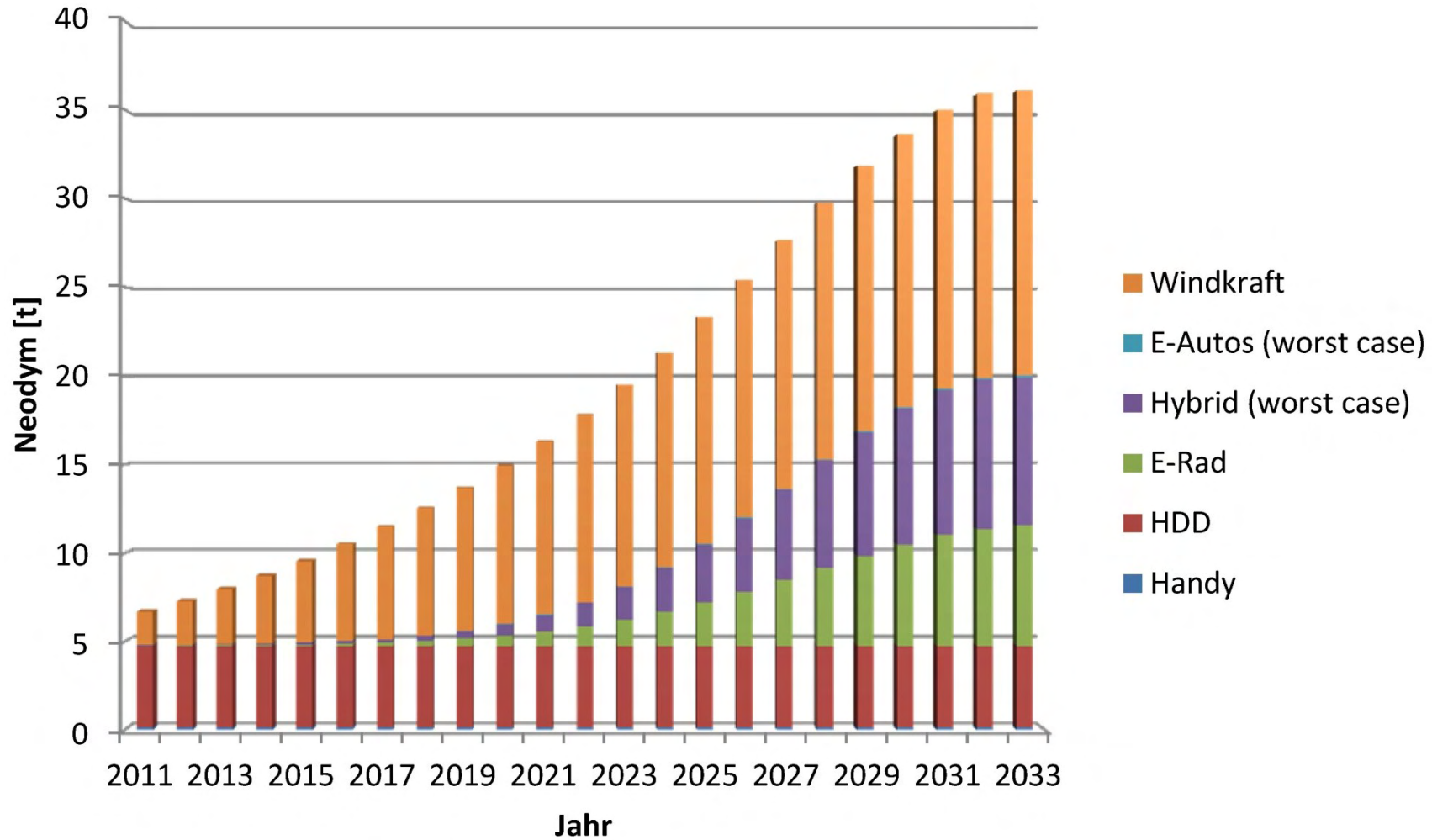
Flüsse [t/a]

Lager [t]

"<<" = Fluss nicht zu bestimmen oder Wert sehr klein

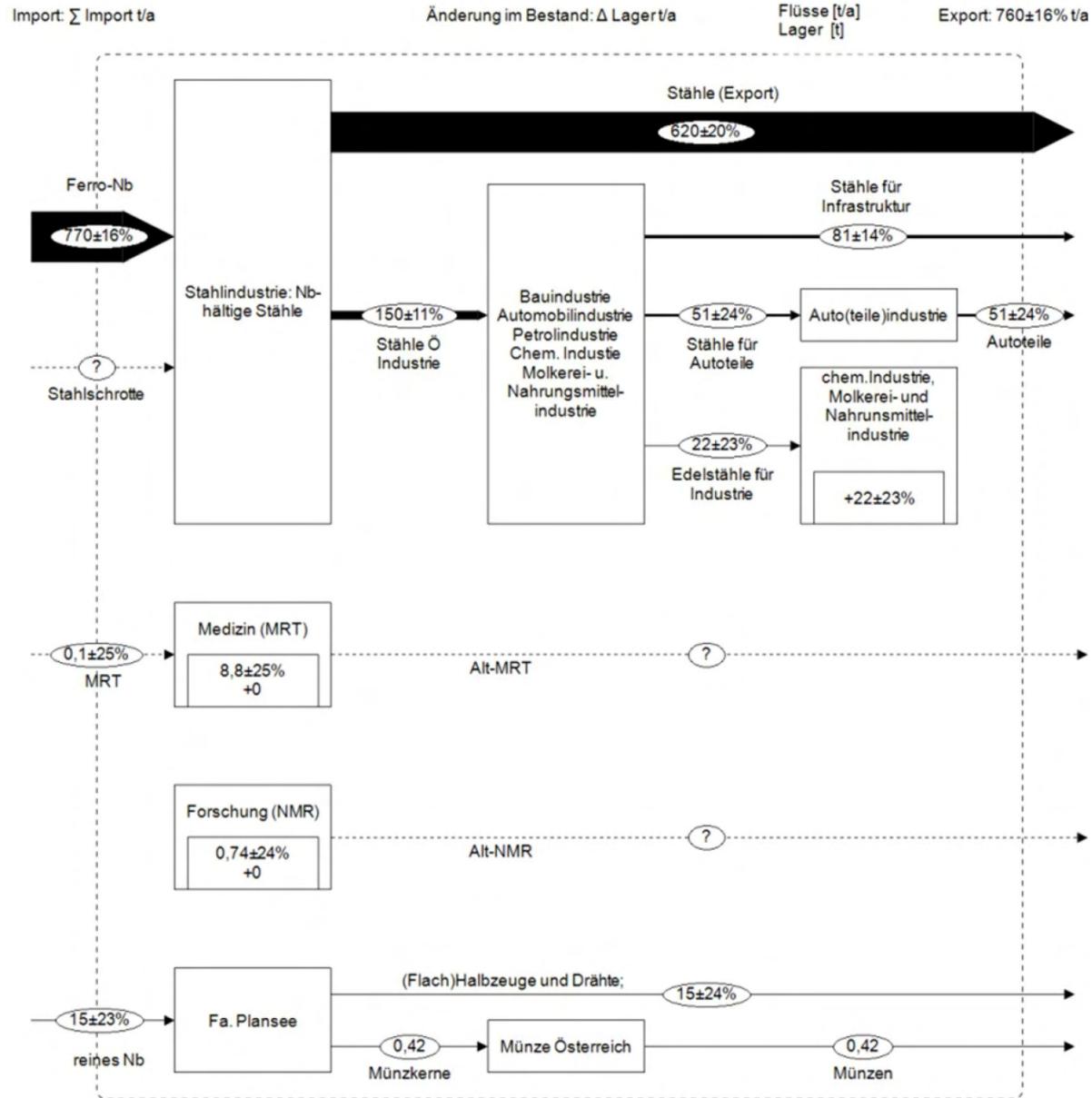


Recyclingpotenzial für Neodym in Österreich



Stoffflussanalyse für Niob in Österreich

Subsystem
Industrie und
Gewerbe

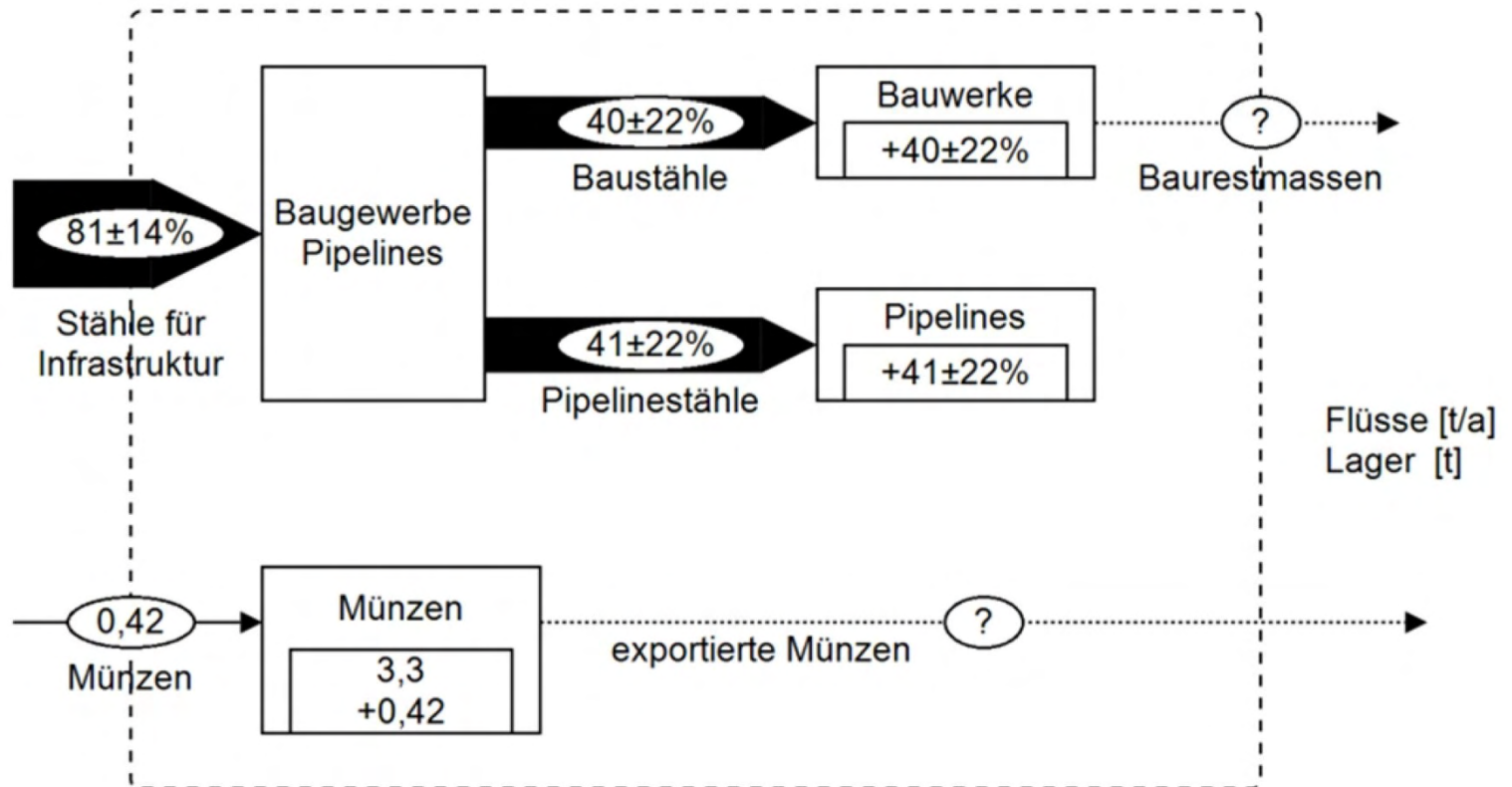


Stoffflussanalyse für Niob in Österreich

Import: $81 \pm 14\%$ t/a

Änderung im Bestand: Δ Lager t/a

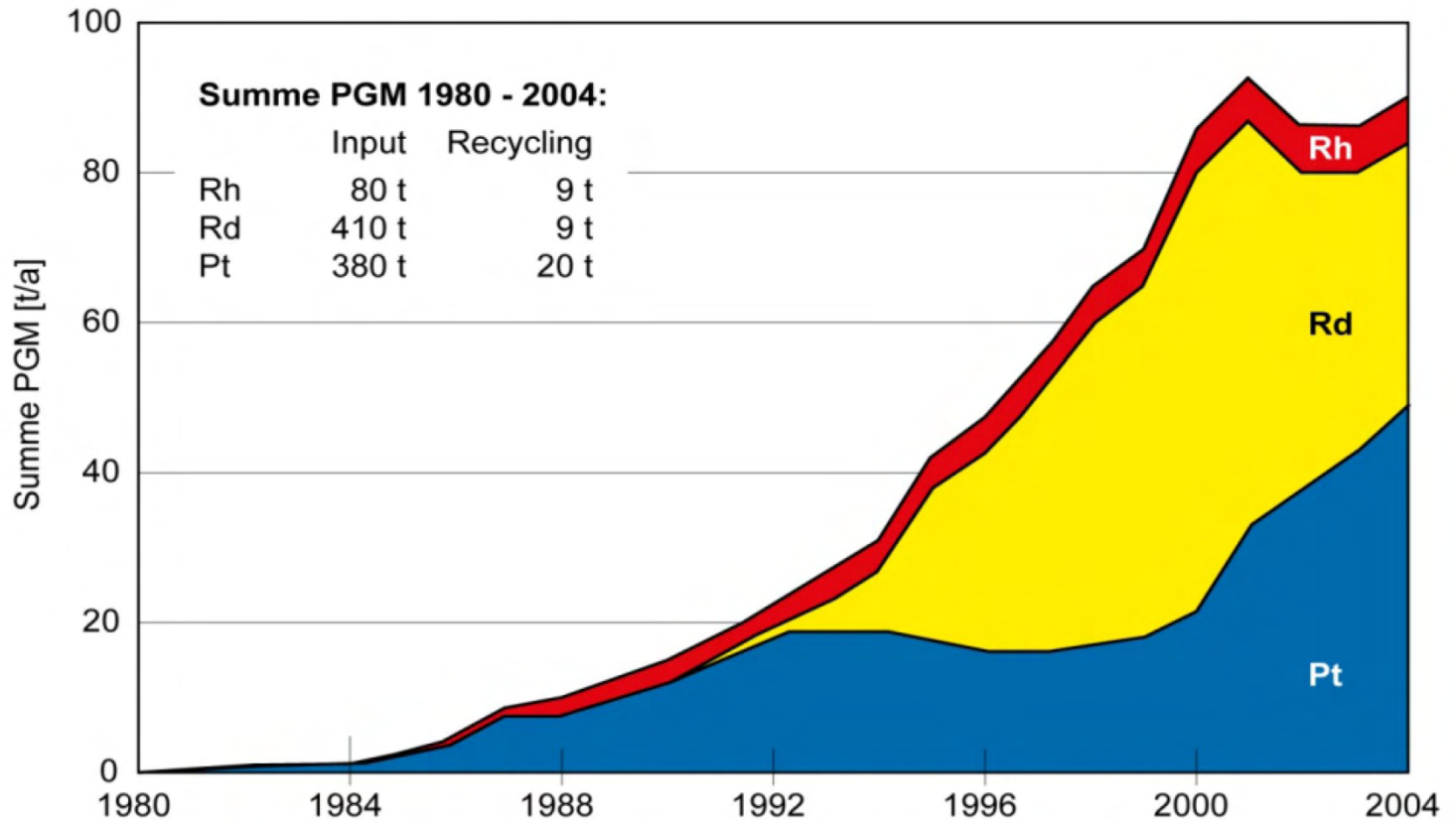
Export: Σ Export t/a



Subsystem

Private Haushalte und Infrastruktur

PGM-Bedarf für KFZ-Katalysatoren in Europa

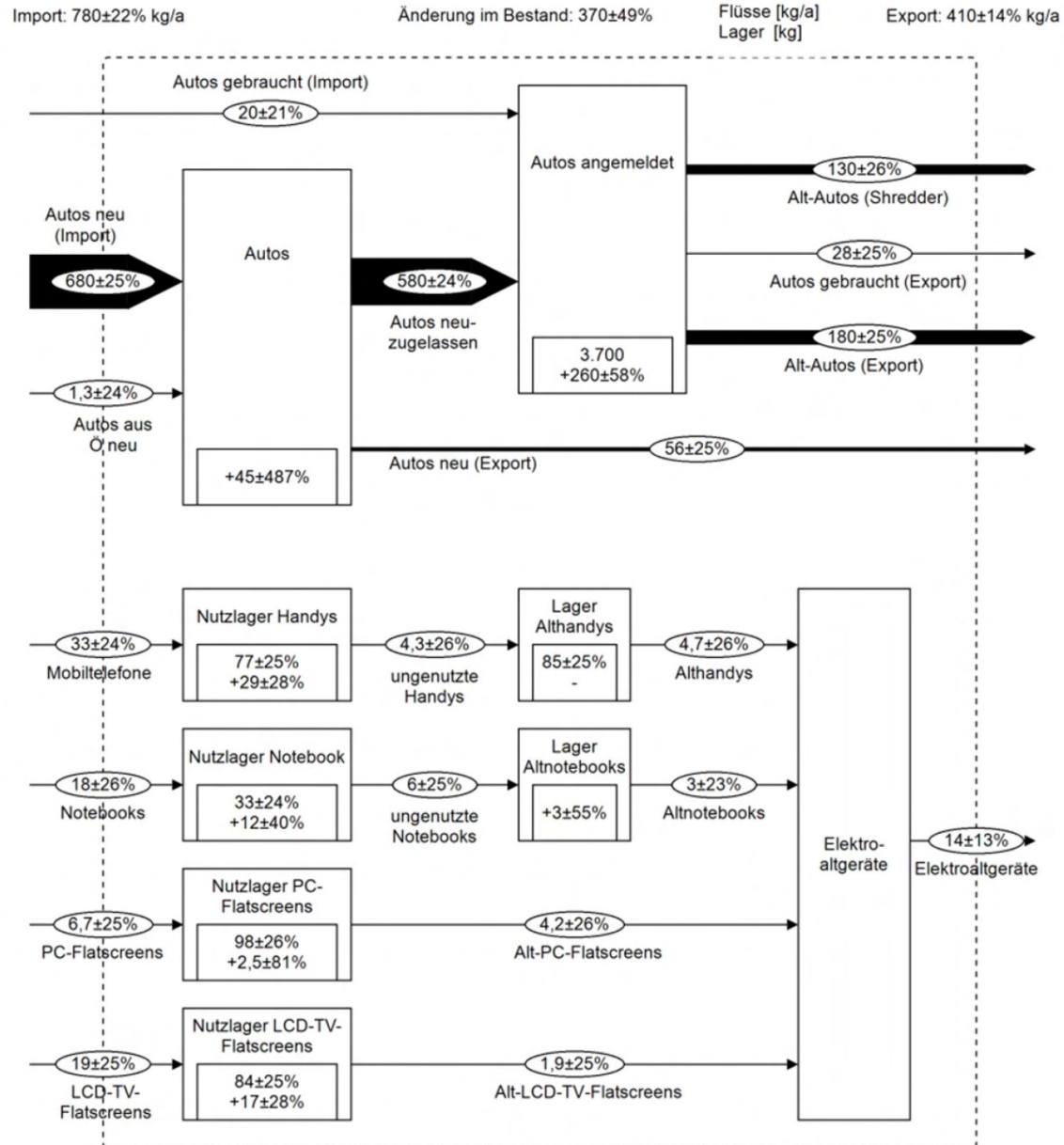


Quelle: Hagelüken, C. (2005)



Stoffflussanalyse für Palladium in Österreich

Subsystem Private Haushalte



Schlussfolgerungen aus den SFA

- ◆ Verbesserung der Datenlage → Identifikation und Nutzung vorhandener Sekundärrohstoffpotenziale
- ◆ Getrennte Sammlung bestimmter Produktgruppen
 - ↪ Nd: Permanentmagnete
 - ↪ Nb: geschlossene Recyclingsysteme für Nb-haltige Stähle (Pipelines, etc.)
 - ↪ Pd: Export von Alt-KFZs unterbinden
- ◆ Besseres Verständnis der Abfallwirtschaftssysteme in Bezug auf Hochtechnologierohstoffe → verstärktes Recycling
- ◆ Dynamische Stoffflussanalysen, um zukünftige Rohstoffpotenziale zuverlässig zu bestimmen



Diskussionspunkte - Abfallwirtschaft

◆ DeponieVO

- ↪ Leuchtstäube, Schlacken: in Österreich gefährlicher Abfall
→ Verfestigung und Deponie: verhindert Rückgewinnung
→ Revision der DeponieVO?
- ↪ Monodeponien: Vorteil für zukünftige Recyclingtechnologien?

◆ Besitzfrage

- ↪ Rohstoffabbau: klare Regelung
- ↪ Abfallwirtschaft: Rechtsunsicherheit
→ verhindert Entwicklung von Recyclingtechnologien
- ↪ Leasing- bzw. Pfandsysteme

◆ Schließung des Recyclingkreislaufs

- ↪ Oftmals in Österreich nicht geschlossen
- ↪ Al: keine Salzschlackenaufbereitung



Diskussionsspunkte - Abfallwirtschaft

◆ AWG

- ↪ Schutzziele gut ausformuliert, Ressourcenziele hingegen nicht
- ↪ Verringerung der Bürokratie
- ↪ Altfahrzeug-RL: widersprüchlich, keine Regelungen zum Export
- ↪ Erfassung und Sammlung von sortenreinen Abfällen
- ↪ Inhaltsangaben: interne Daten wesentlich detaillierter als veröffentlichte
- ↪ Materialdatensysteme (vgl. Automobilindustrie)
Klein- und Mittelunternehmen sind damit vermutlich überfordert
- ↪ Rechtlicher Rahmen soll fördern, nicht hindern



Zusammenfassung

◇ Allgemein

- ↪ Recycling kann Rohstofffrage nicht vollständig lösen, aber Abhängigkeiten verringern
- ↪ Abfallwirtschaft gewinnt Konzentrate (regionale, kleinere Anlagen)
- ↪ Produktion einzelner Metalle: sehr aufwändige, industrielle Prozesse, oft nur in Großanlagen wirtschaftlich
- ↪ Entwicklung abhängig vom Preis des Primärrohstoffs
→ Anreizsysteme (Förderungen und Gesetze)
- ↪ Vernetzung und Gewinnung mehrerer Metalle notwendig
- ↪ Nur z.T. vorhandene Recyclingtechnologien
- ↪ Export sollte unattraktiv sein
- ↪ Rechtliche Rahmenbedingungen behindern/verzögern innovative Recyclingtechnologien



Zusammenfassung

◇ Metallurgie

↪ Seltene Erden

↪ Rückgewinnung steckt in den Kinderschuhen

NiMeH, Leuchtstaub, Magnete: Labor-/Pilotmaßstab

Elektronikschrott → Konkurrenz zu Edelmetallen

↪ Edelmetalle

↪ Optimierung der Prozesstechnik in der Cu-Metallurgie
(Schlackenmetallurgie, Raffinationselektrolyse, etc.)

↪ Schwermetallhaltige Reststoffe

↪ Fluor-/Chlorproblematik noch nicht zufriedenstellend gelöst

↪ Grundlagen

↪ Recycling von Technologiemetallen bedingt oftmals Handhabung
neuartiger Stoffsysteme, welche unzureichend untersucht sind
(thermodynamische Daten, Schmelzverhalten, etc.)



Zusammenfassung

◆ Beispiel: Altfahrzeuge

- ↪ Katalysatorrecycling etabliert (nahezu 100 %)
- ↪ Hybrid- und Elektroautos?
- ↪ Entnahme krit. Rohstoffe im Schredderbetrieb:
nur Katalysator und λ -Sonde

◆ Beispiel: MVA-Schlackenaufbereitung

- ↪ Grobfraction (> 5 mm) etabliert
- ↪ Feinfraction (< 5 mm) vernachlässigt
- ↪ Inhalt an Cu, Pb, Ni, Cr, Ag, Au, etc. → Innovationen notwendig

◆ Ressourceneffizienz

- ↪ Bewusstseinsbildung, Information, Beratung
- ↪ Problem: Wirtschaftlichkeit, Mangel an Technologie
→ Förderung von Forschung und Entwicklung
- ↪ Bonus für eingesparte Rohstoffe (Vergleich mit best practice)
- ↪ Innerbetriebliche Kreislaufführung, verbessertes Recycling



Zusammenfassung

◇ Recyclinggesellschaft

- ↪ EU: Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Abfallaufkommen
- ↪ Entwicklung geeigneter Technologien
 - ↪ Flexibilität hinsichtlich Schwankungen der Zusammensetzung, etc.
 - ↪ Recyclingkompetenzzentrum aufbauen
- ↪ „Design for Recycling“
- ↪ Ökosoziale Lenkungssteuern
- ↪ Nicht nur quantitative (WEEE, Alt-Kfz), auch qualitative Recyclingziele; besonders bei den kritischen Rohstoffen

◇ Rohstoffplan

- ↪ Österreich ist arm an primären Rohstoffen
- ↪ Erweiterung auf sekundäre Ressourcen (E-Geräte, etc.)
- ↪ Materialbilanzen: wenig Daten bezüglich krit. Rohstoffe
→ Vernetzung der Akteure, standardisierte Materialbilanzen





**Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit und
Diskussionsbereitschaft!**
