



Stand der Wissenschaft – kritische Rohstoffe

Helmut Antrekowitsch
15.01.2013

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



Montanuniversität Leoben
Department Metallurgie
Nichteisenmetallurgie



FFG



Inhalt

- Allgemeines
- Geologie und Bergbau kritischer Rohstoffe in Österreich
- Aufbereitung kritischer Rohstoffe in Österreich
- Metallurgie kritischer Rohstoffe in Österreich
- Sammlung und Stoffströme bei kritischen Rohstoffen in Österreich
- Zusammenfassung



Hintergrund

◇ Energierohstoffe

↳ Ölkrisen in den 1970er

↳ Verfügbarkeit wird seither genau beobachtet



◇ Sonstige Rohstoffe

↳ Preisniveau

↳ Bis vor einigen Jahren niedrig
→ wenig Aufmerksamkeit

↳ Technologiemetalle, etc.

↳ Rel. geringe Produktionsmengen
→ Konzentration auf wenige Produzenten weltweit
→ Monopolstellungen

↳ Alternativer Energiequellen, neue Technologien
(Windkraft, Photovoltaik, etc.)

↳ Stark steigender Bedarf an Technologiemetallen
→ Versorgungsengpässe, enorme Preisschwankungen, etc.





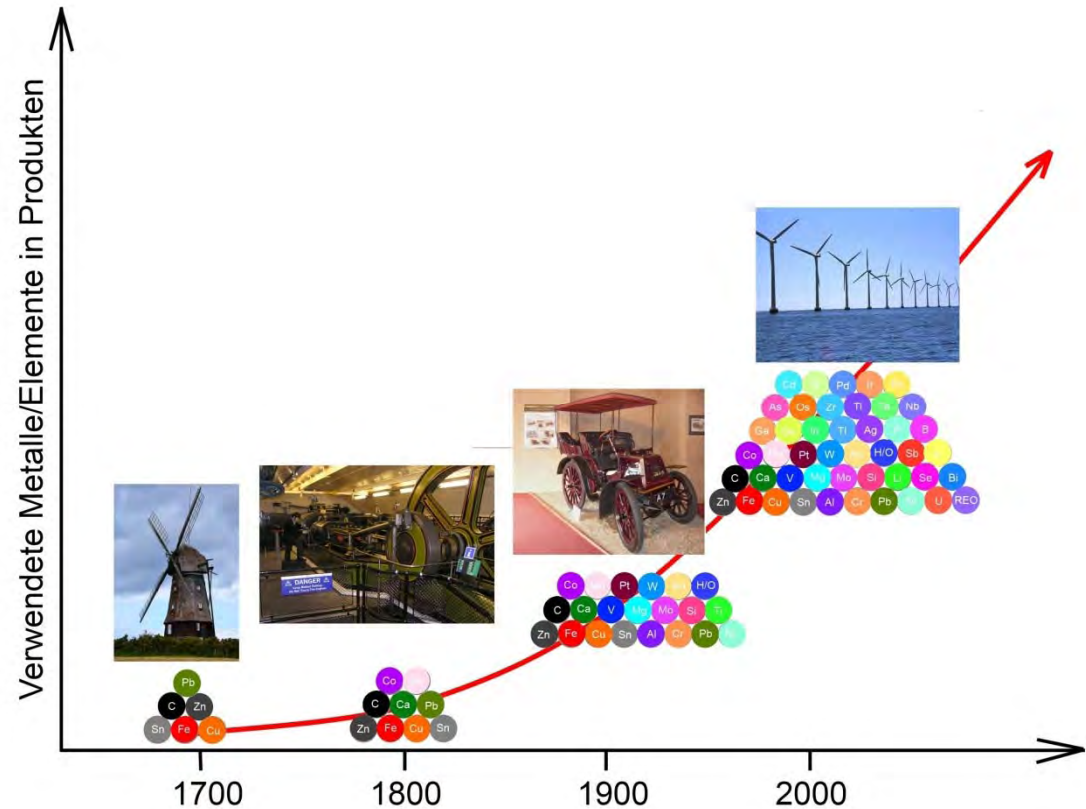
Hintergrund

◆ Herausforderungen

- ↪ Zunehmende Komplexität der Produkte
- ↪ Immer kürzere Produktlebenszyklen
- ↪ Bedarf an immer exotischeren Elementen
(in oftmals nur geringen Konzentrationen)

◆ Ziel

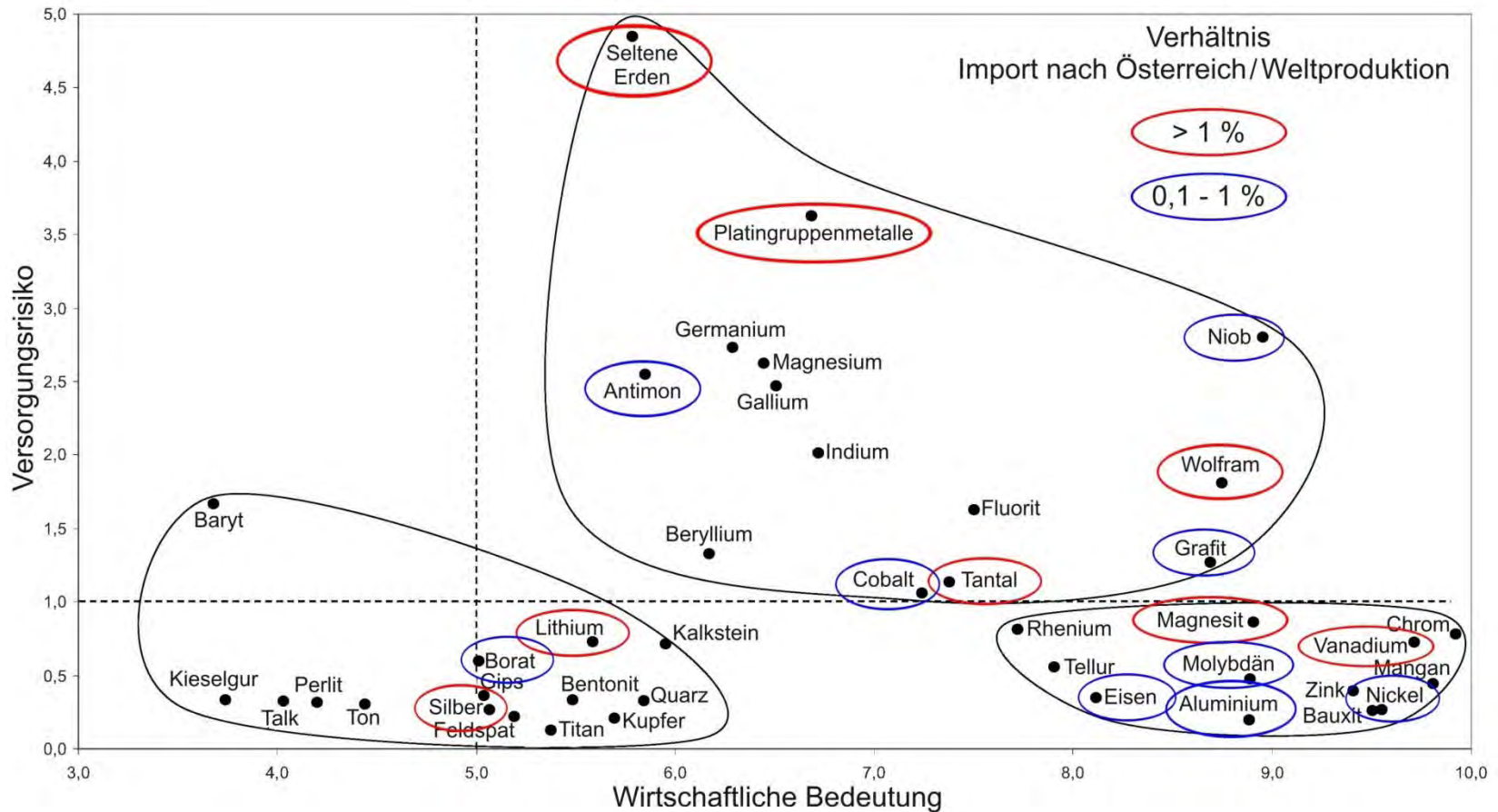
- ↪ Reduktion der Abhängigkeit von Importen



Quelle: Reuter, UNEP (in Druck)



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)

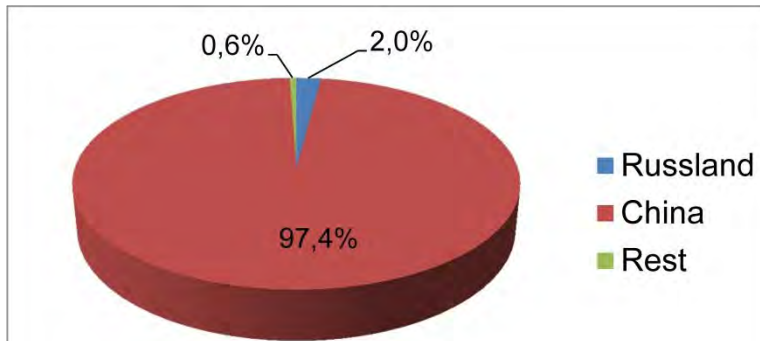


Anteil der österreichischen Importe

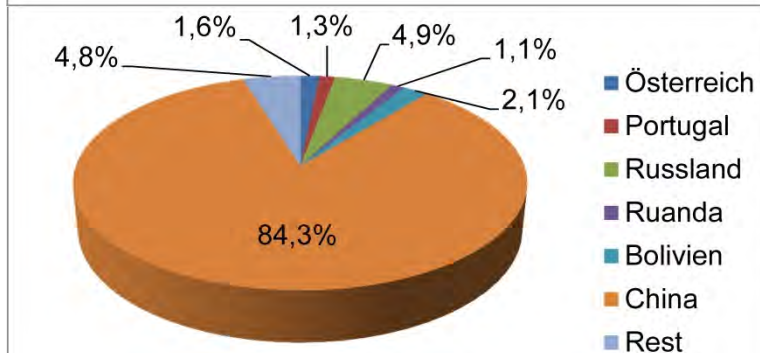
Rohstoff	Globale Produktion 2010 [t]	Import nach A 2010 [t]	HHI
SEO	122.100	5.691	9.586
Ta Nb	700 107.500	17 1.061	8.559
PGM	482	1,4	3.767 (Pd) 6.156 (Pt) 7.467 (Rh)
W	61.700	1.900	7.297
Sb	147.000	286	7.533
C	2.100.000	18.501	5.547
MgCO ₃ /MgO	21.800.000	273.080	4.866
Co	105.000	663	4.424
V	67.000	4.600	3.230



Verteilung der weltweiten Produktion

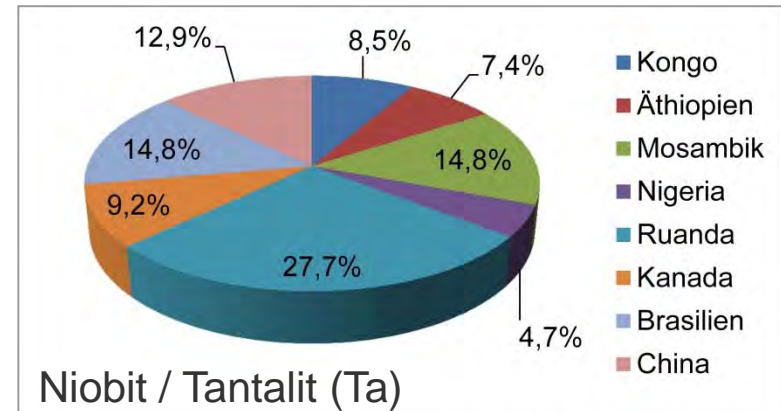


Seltene Erden

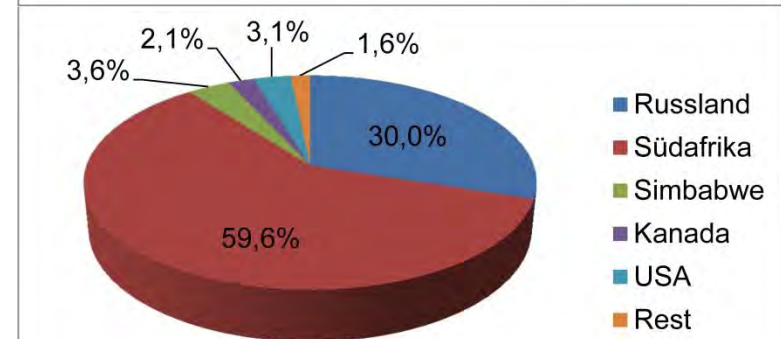


Wolfram

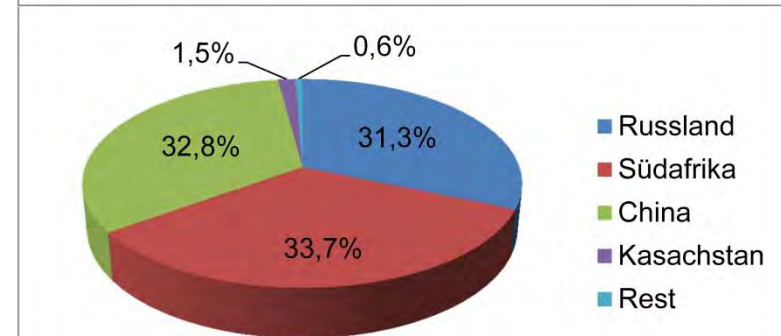
Quelle: World Mineral Production 2006-10 (BGS)



Niobit / Tantalit (Ta)



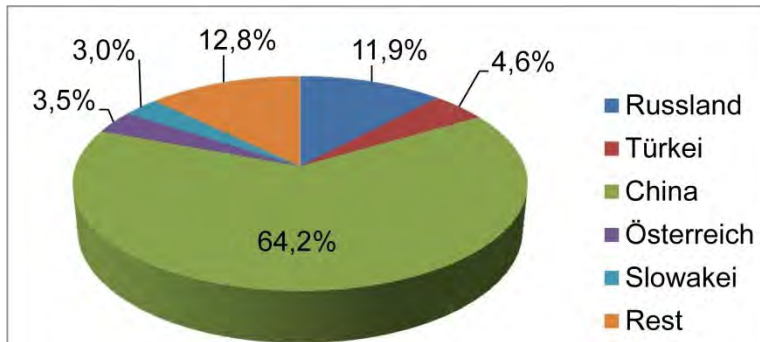
Platingruppenmetalle



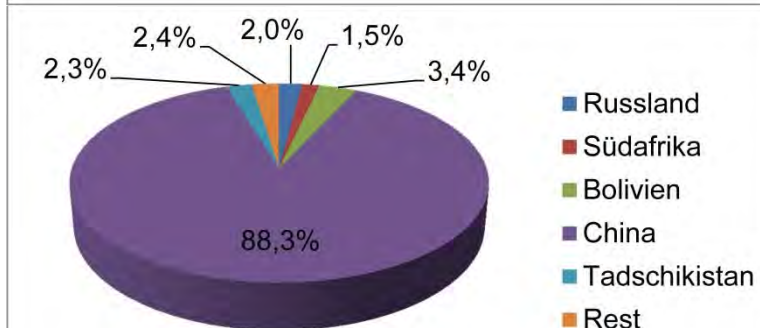
Vanadium



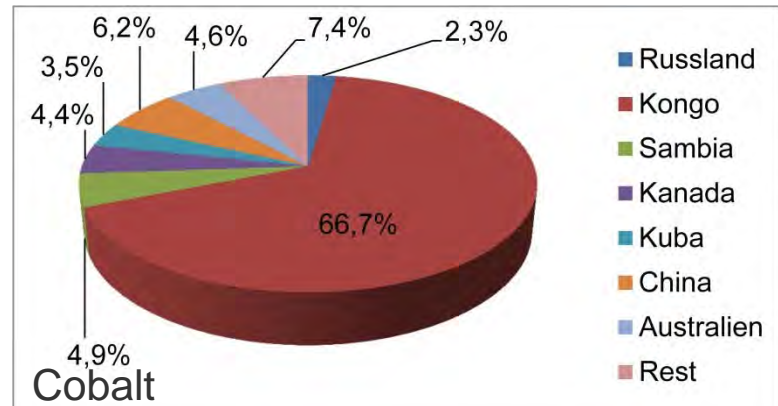
Verteilung der weltweiten Produktion



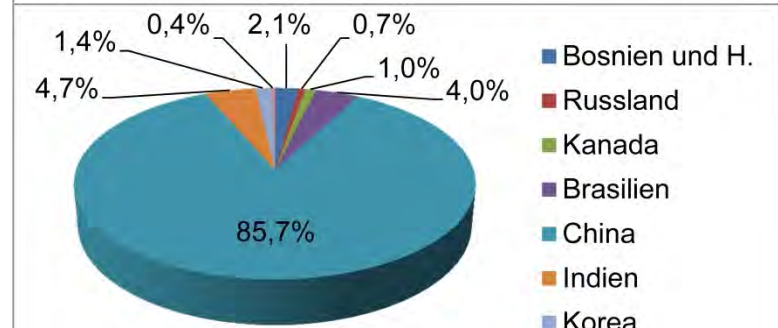
Magnesit



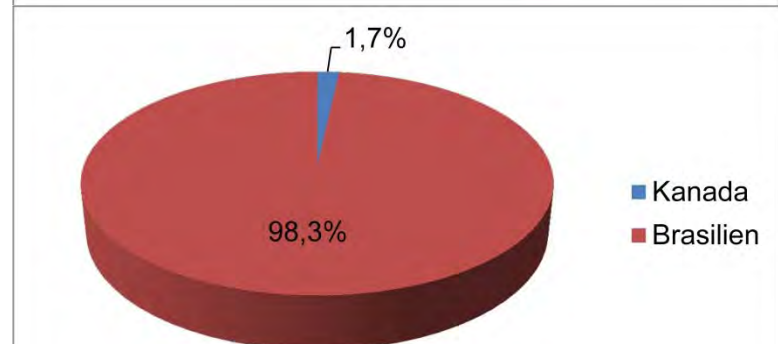
Antimon



Cobalt



Grafit



Pyrochlor (Nb)

Quelle: World Mineral Production 2006-10 (BGS)



Inhalt

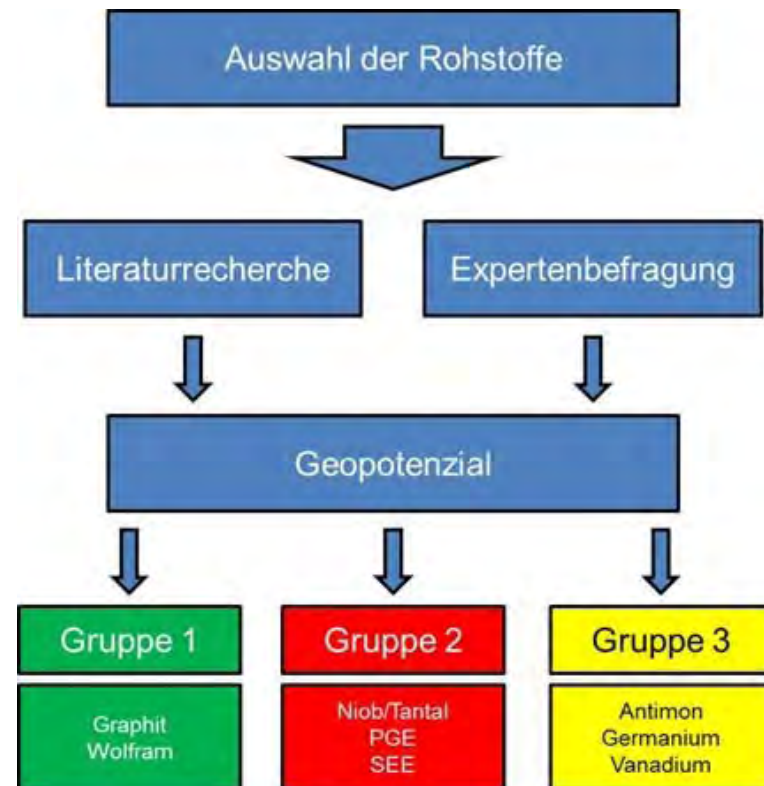
- Allgemeines
- Geologie und Bergbau kritischer Rohstoffe in Österreich
- Aufbereitung kritischer Rohstoffe in Österreich
- Metallurgie kritischer Rohstoffe in Österreich
- Sammlung und Stoffströme bei kritischen Rohstoffen in Österreich
- Zusammenfassung



Geologisches Potenzial

- ◇ Kein oder nur geringes Geopotenzial
 - ↳ Seltene Erden, Platingruppenelemente
 - ↳ Alkalisch-karbonatitische Komplexe in Österreich nicht vorhanden

- ◇ Vorhandenes Potenzial
 - ↳ Antimon, Germanium
 - ↳ Historische Förderung
 - ↳ Wolfram, Grafit
 - ↳ Aktiver Bergbau





Lagerstätten

Rohstoff, Geopot.	Lagerstätte, Vorkommen
Sb	Mehrere Vorkommen in der Kreuzeck- und Goldeckgruppe (Rabant, Gurskerkammer)
Ge	Bleiberg/Kreuth, Radnig, Jaucken, Pirkach, Hochobir, Lafatsch, Metnitz
Grafit	Kaisersberg, Sunk bei Trieben, verschiedene Vorkommen im Waldviertel
Nb/Ta	Kor- und Saualpe, Wölzer Tauern, Granite im Mühl- sowie Waldviertel (nicht wirtschaftlich)
PGM	Kraubath, Hochgrössen, Haidbachgraben (nicht wirt.)
SE	-
V	Öl- und Schwarzschiefer (z.B. Seefelder Schiefer), orthomagmatische Titanomagnetite im Mühl- und Waldviertel
W	Mittersill, Hochrast-Gumriaul, Tux, Schellgaden



Empfehlungen seitens Rohstoffmineralogie

- ↪ Holistische Untersuchungen heimischer W-Vorkommen und Prospektion (Habach-Komplex, unterostalpine Quarzphyllite)
- ↪ Detailuntersuchung der Sb-Lagerstätte im Gebiet Kreuzeck- und Goldeckgruppe, Evaluierung der Wiederöffnung des Sb-Bergbaus
- ↪ Weitere Exploration bekannter Grafit-Lagerstätten (Sunk bei Trieben, Kaisersberg)
- ↪ Erhebung des Potenzials von Vanadium in Öl- und Schwarzschiefern
- ↪ Detailuntersuchungen karbonatgebundener Pb-Zn-Lagerstätten (z.B. Drauzug)
- ↪ Untersuchungen heimischer Kaolin-Lagerstätten hinsichtlich möglicher Gehalte an SE



Primärseitige Handlungsempfehlungen

- ↪ Steigender Bedarf \Rightarrow Erhöhung der Ressourceneffizienz (Recycling, Nutzung sekundärer Quellen, Substitution) **und** Gewinnung aus primären Lagerstätten
- ↪ Verstärkung der Prospektions- und Explorationstätigkeiten auf kritische Rohstoffe mit entsprechendem Potenzial
- ↪ Bewertung heimischer Lagerstätten hinsichtlich bisher nicht berücksichtigter Rohstoffe
- ↪ Modellberechnungen, ab welchen Rohstoffpreisen eine Förderung wirtschaftlich wäre



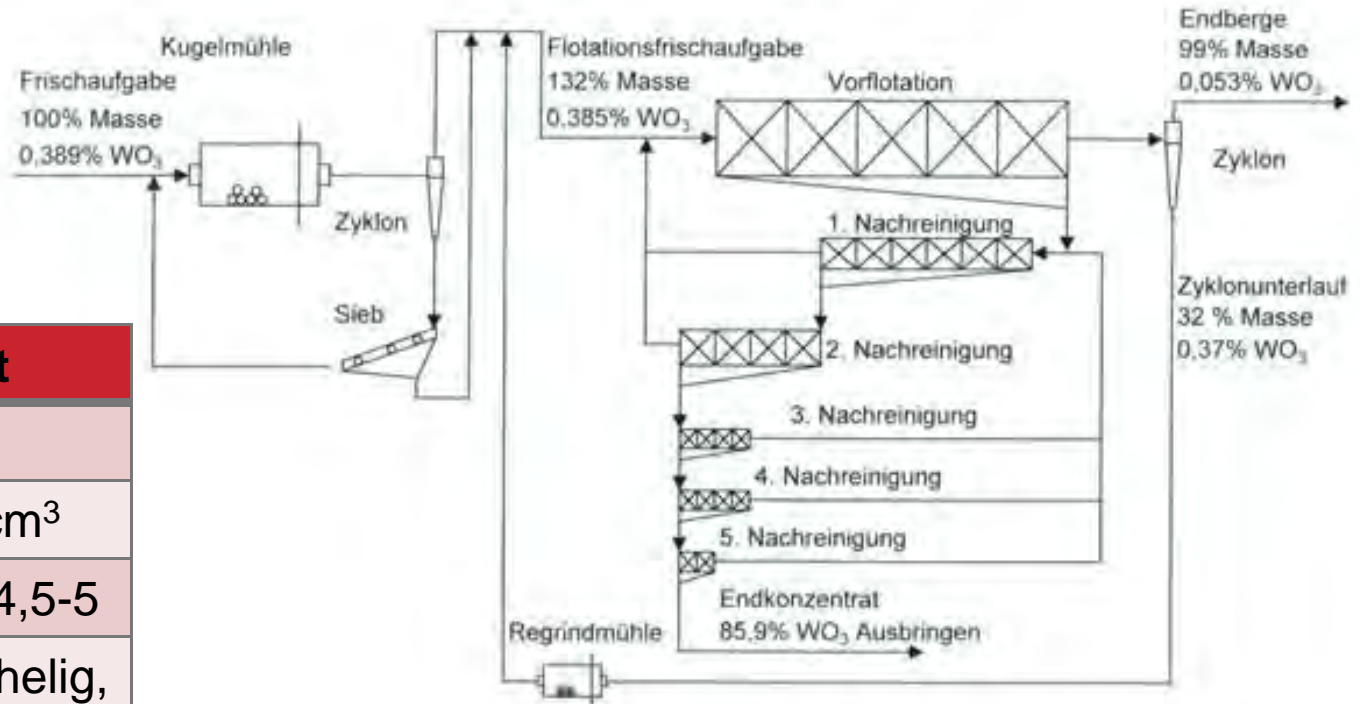
Inhalt

- Allgemeines
- Geologie und Bergbau kritischer Rohstoffe in Österreich
- Aufbereitung kritischer Rohstoffe in Österreich
- Metallurgie kritischer Rohstoffe in Österreich
- Sammlung und Stoffströme bei kritischen Rohstoffen in Österreich
- Zusammenfassung



Aufbereitung kritischer Rohstoffe in Österreich

Scheelit
CaWO_4
5,9-6,1 g/cm ³
Mohshärte: 4,5-5
Bruch: muschelrig, spröde
Diamagnetisch
Nichtleiter
Benetzbarkeit



◆ Primärseitig aktuell nur Scheelit (W)

- ↪ Felbertal, Mittersill
- ↪ Hohe Dichte ⇒ Dichtesortierung
- ↪ Magnetscheidung je nach Gangart
- ↪ Benetzbarkeit ⇒ Flotation



Aufbereitung prim./sek. Rohstoffe

◆ Primäre Rohstoffe, Minerale

- ↪ Jahrzehntelange Erfahrungen
- ↪ Grundsätzlich sehr guter Kenntnisstand
- ⇒ Abtrennung bisher nicht beachteter Nebenbestandteile?

◆ Sekundäre Rohstoffe

- ↪ Gebrauchte Konsumgüter, Produktionsabfälle, etc.
- ↪ Potenzial für weitere F&E
- ↪ Bsp: Altfahrzeuge
 - ↪ Abtrennung einer SE-Fraktion (Magnete aus E-Motoren), etc.
 - ↪ Li-Akkus aus E- und Hybrid-Fahrzeugen, neue Akkus-Systeme?
- ↪ Bsp: Elektro- und Elektronikschrott
 - ↪ Verwertung der Feinfraktion (Stäube, Schlämme)



Inhalt

- Allgemeines
- Geologie und Bergbau kritischer Rohstoffe in Österreich
- Aufbereitung kritischer Rohstoffe in Österreich
- Metallurgie kritischer Rohstoffe in Österreich
- Sammlung und Stoffströme bei kritischen Rohstoffen in Österreich
- Zusammenfassung

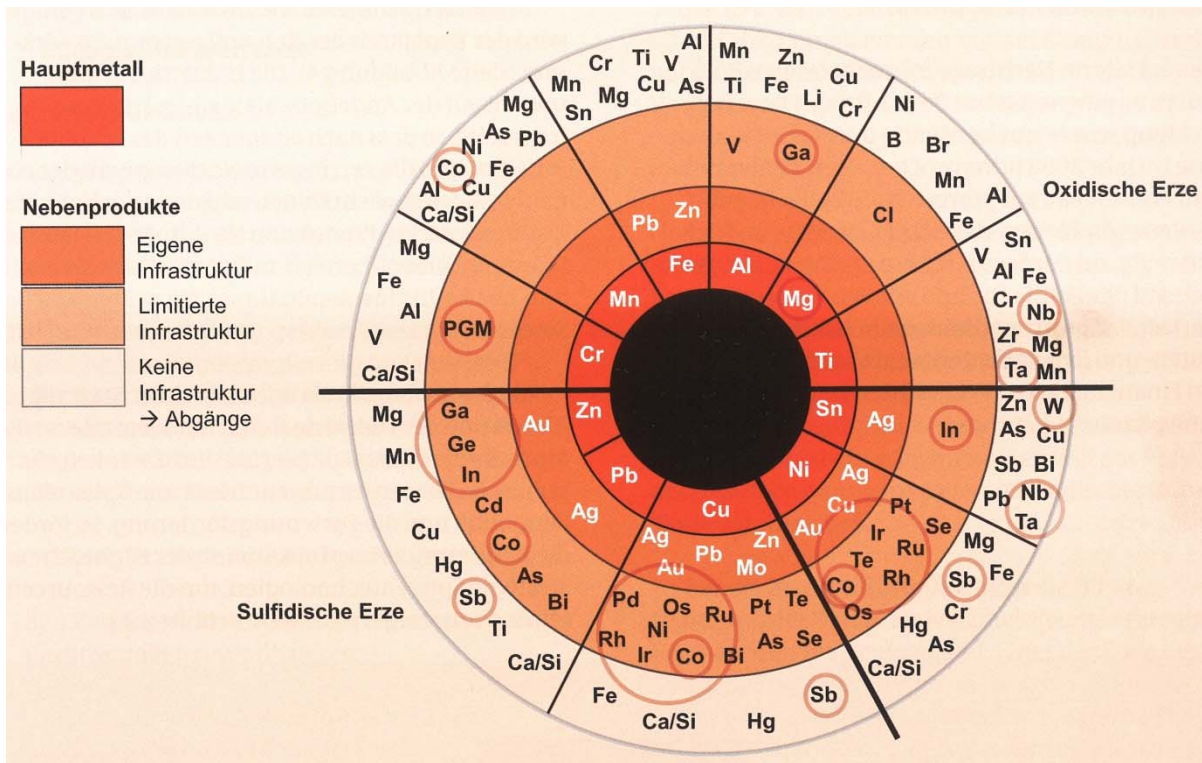


Grundlagen zur Metallurgie

◇ Bergbau, Hüttenbetriebe

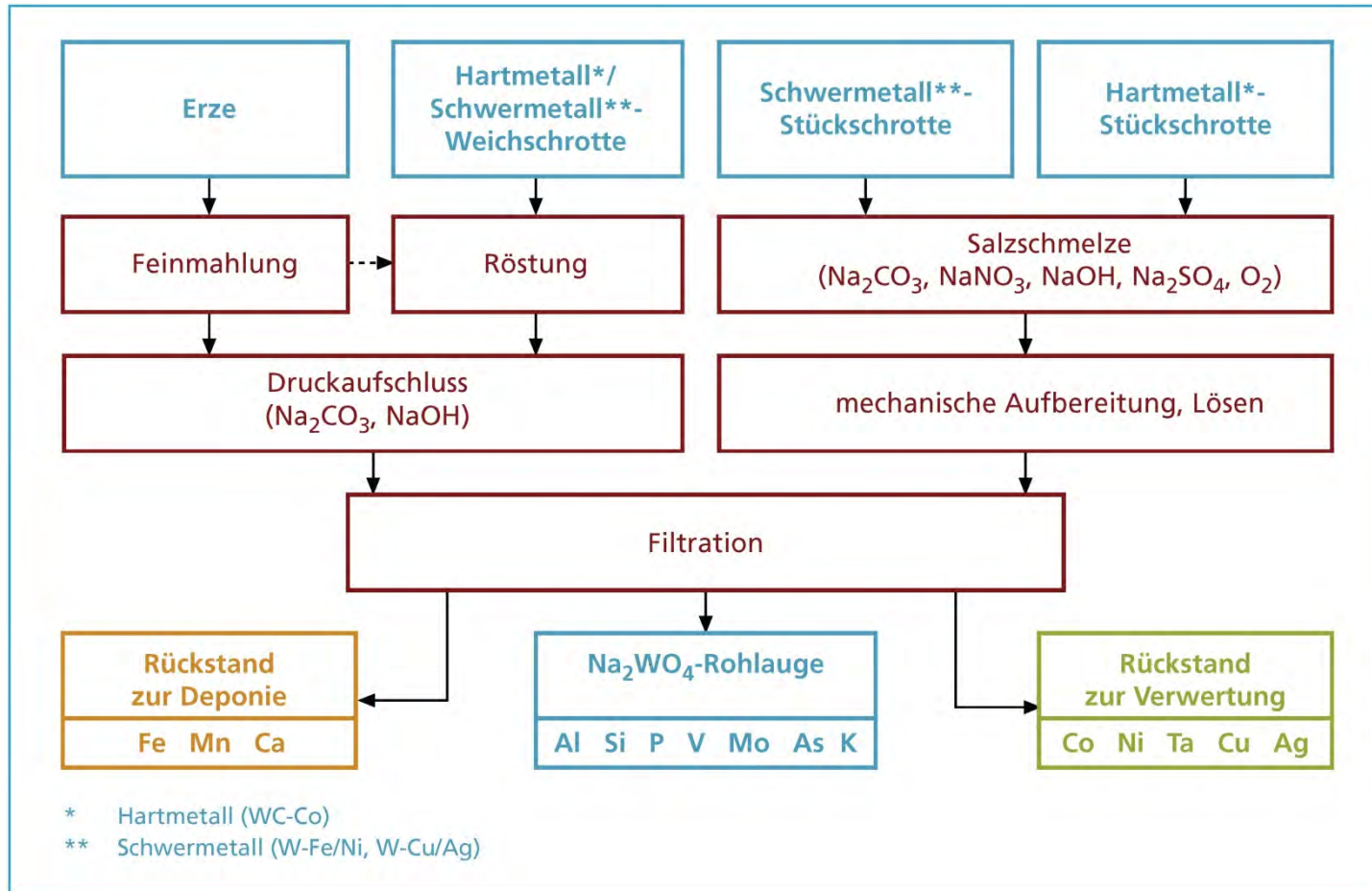
- ↪ 1. Hauptmetalle, auf die Anlagen ausgelegt sind
- ↪ 2. Berücksichtigte und mitgewonnene Nebenmetalle
- ↪ 3. Nebenelemente mit eingeschränkter Infrastruktur
- ↪ 4. Nebenelemente, die in Abgängen, Schlacken, etc. verbleiben

Quelle: Wellmer et al. (2012)





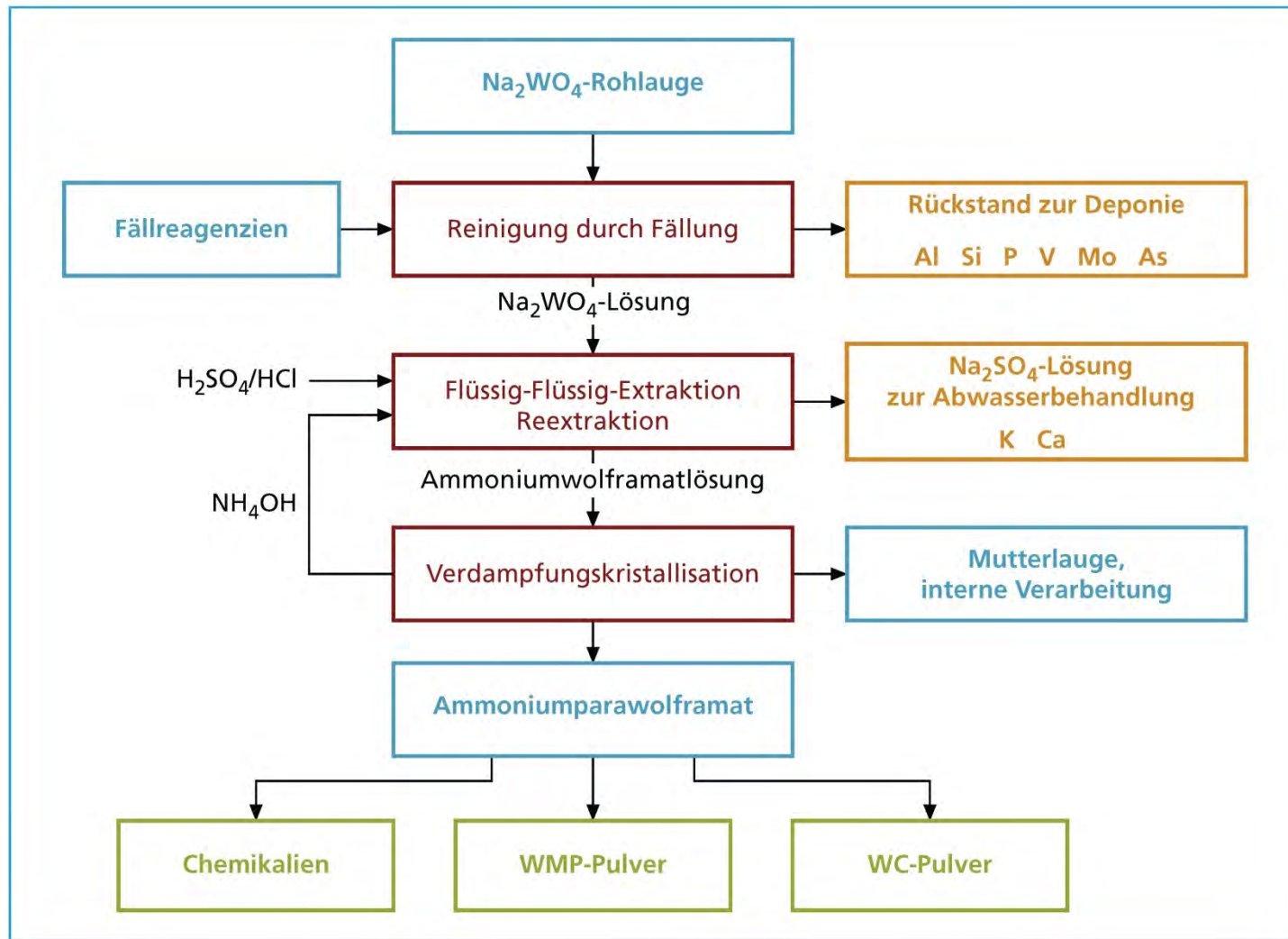
Metallurgie von Wolfram



Quelle: Gille, G. & Meier, A.: Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 2012



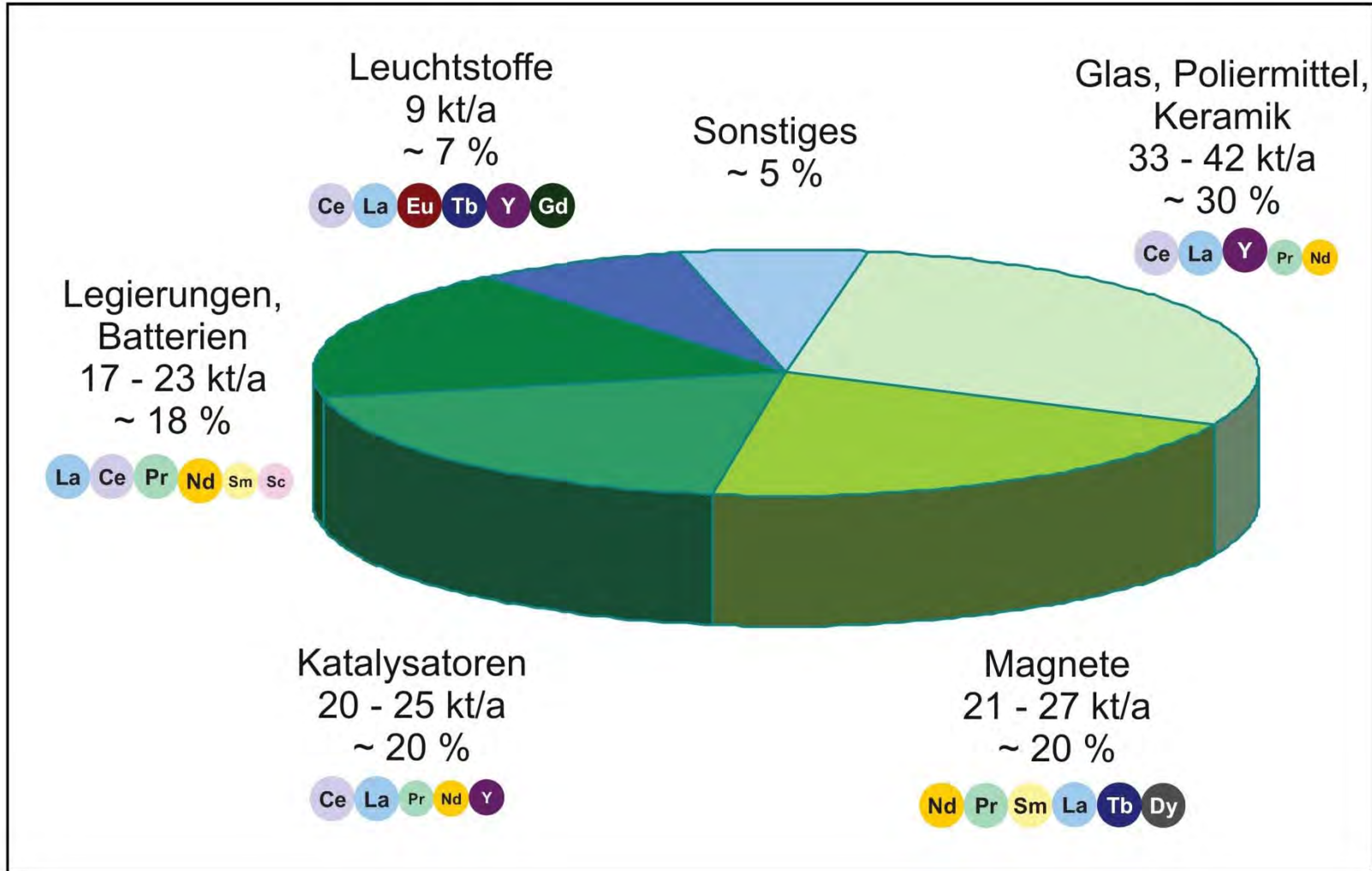
Metallurgie von Wolfram



Quelle: Gille, G. & Meier, A.: Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 2012

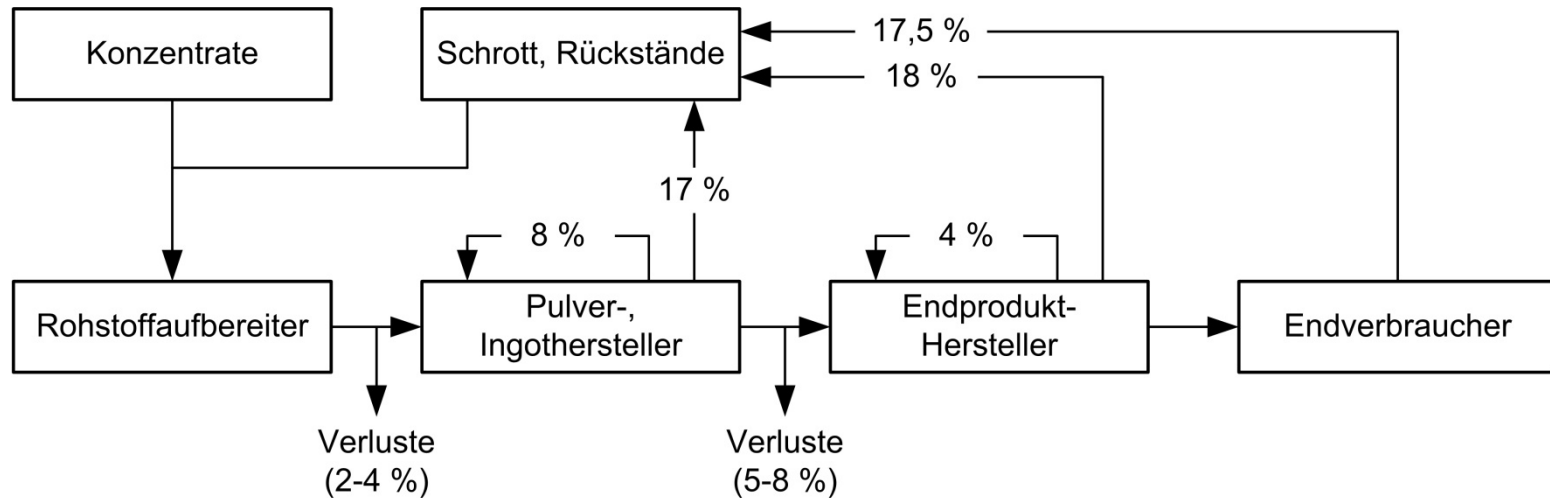


Anwendungen für Seltene Erden





Anwendungen von Ta



Tantalit
Niobit
Zinnschlacken
Schrotte
Rückstände

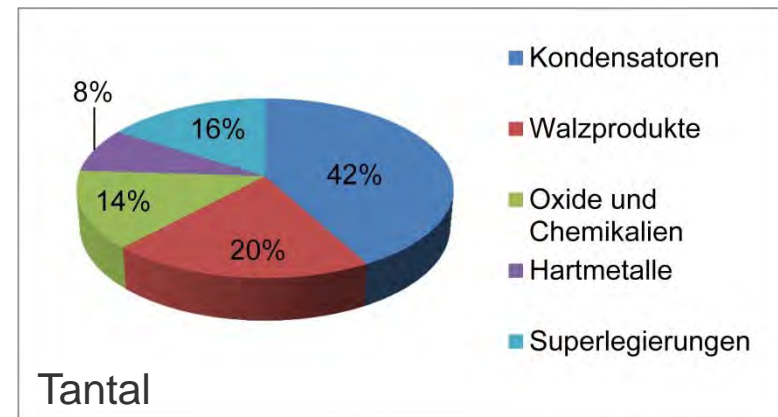
Ta-Metall-Pulver
Ta-Oxid-Pulver
Ta-Chemikalien
Sinteringots
Schmelzingots

Kondensatoren,
Einkristalle, Linsen,
Superlegierungen,
Sputtertargets,
Wärmetauscher

Elektronik, Optik,
Informationstechnik,
Energietechnik,
Halbleitertechnik,
Anlagenbau

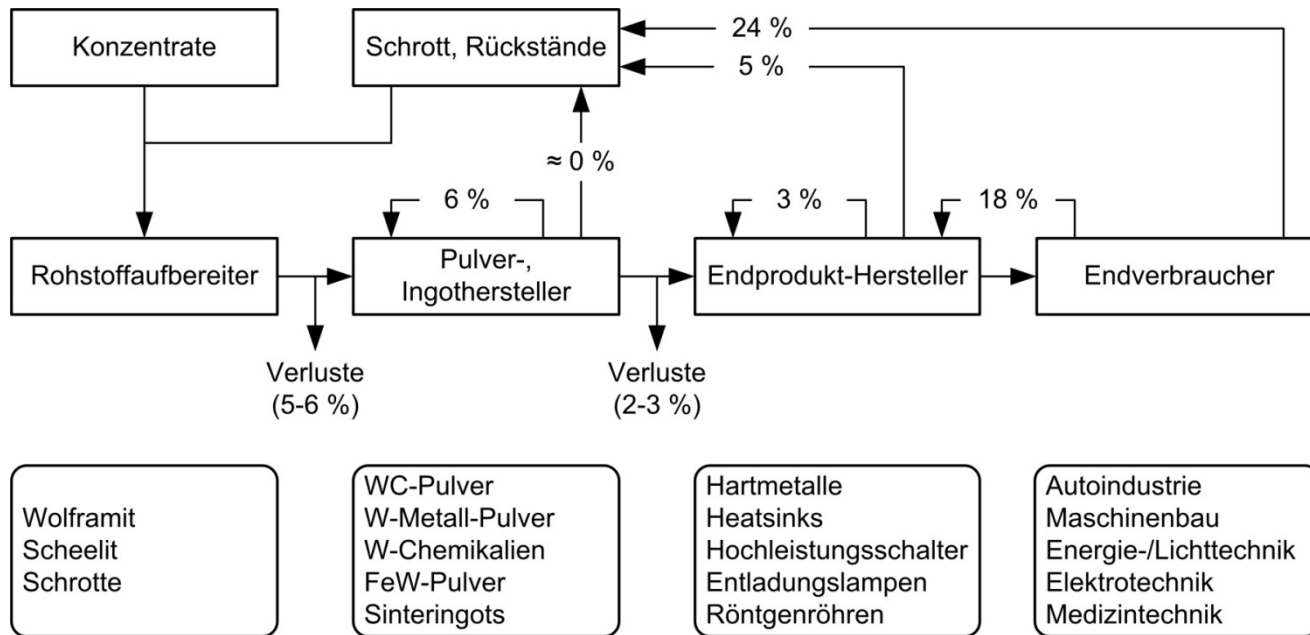
Quelle: Gille, G. & Meier, A.: Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 2012

↪ Verbrauch 2011: 1850 t





Anwendungen von W



Wolframit
Scheelit
Schrotte

WC-Pulver
W-Metall-Pulver
W-Chemikalien
FeW-Pulver
Sinteringots

Hartmetalle
Heatsinks
Hochleistungsschalter
Entladungslampen
Röntgenröhren

Autoindustrie
Maschinenbau
Energie-/Lichttechnik
Elektrotechnik
Medizintechnik

Quelle: Gille, G. & Meier, A.:
Berliner Recycling- und
Rohstoffkonferenz 2012

Anteil der Rückläufe:

↪ Stark vom jeweiligen
Prozess bzw. Produkt
abhängig

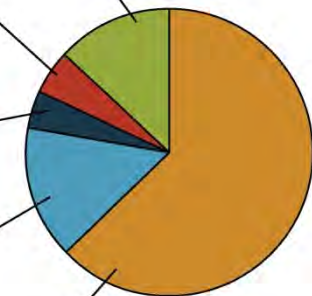
W-Metall Walzprodukte
und Schwermetalle
13 %

Chemikalien
5 %

Superlegierungen
4 %

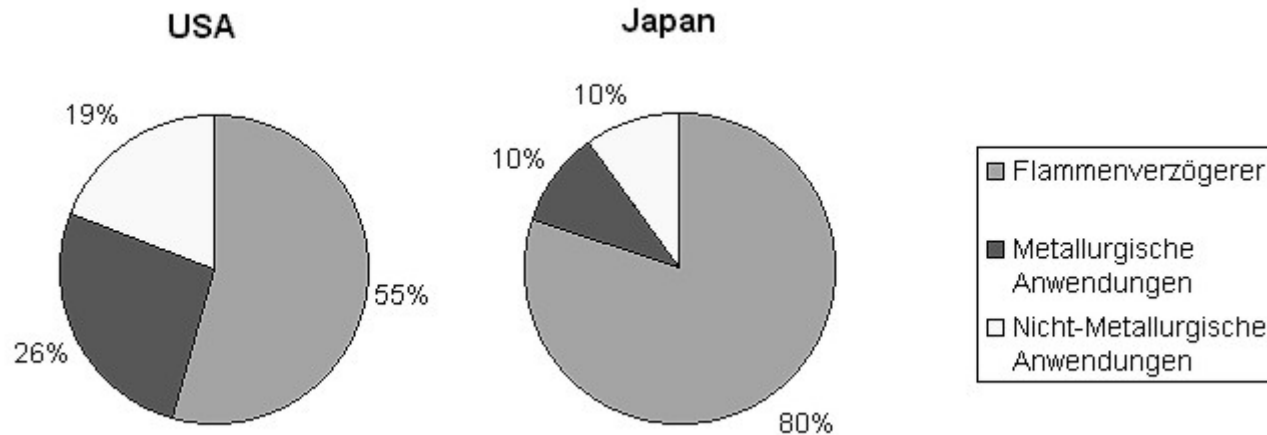
Stähle
15 %

Hartmetalle
und Spritzpulver
63 %





Anwendungen von Sb



Quelle: Ottenschläger, L.:
Thallium und Antimon –
Umweltgeochemisches
Seminar

◆ Metallurgie:

↪ Leg.-Element für Pb und Sn (Hartblei, Weichlot, etc.)

◆ Sonstige Anwendungen

- ↪ Flammenverzögerer, Stabilisator für PVC, etc.
- ↪ Keramik-, Glas- und Pigmentproduktion
- ↪ Katalysator zur Polyester und PET-Herstellung
- ↪ Bremsbeläge (Sb_2S_3)
- ↪ Halbleiter, ATO (Antimon-Zinn-Oxid)



Anwendungen von Platingruppenmetallen

	Au	Ag	Pt	Pd	Rh	Ir	Os	Ru
Katalyse	○	×	xx	xx	×	○	○	○
Schmuck	xx	xx	xx	×	○	○		○
Dentaltechnik	xx	○	○	×		○		
Elektronik/Elektrotechnik	xx	xx	×	xx	○	○		○
Dünnschichttechnik	xx	xx	×	×	×			○
Fotografie		xx						
Löttechnik	×	xx						
Messtechnik			xx		×			
Glasindustrie			xx		×			
Medizintechnik			xx			×	○	○

(xx = sehr starke Bedeutung; × = starke Bedeutung; ○ = spezielle Verwendung/für jeweiliges Anwendungsfeld)


Quelle: Winnacker / Küchler: Chemische Technik, Band 6b, 5. Auflage



Edelmetalle in WEEE

Weltweite Verkäufe, 2009:

a) Mobiltelefone:

1300 Mio Stück 


- x 250 mg Ag \approx 325 t Ag
- x 24 mg Au \approx 31 t Au
- x 9 mg Pd \approx 12 t Pd
- x 9 g Cu \approx 12,000 t Cu

1300 Mio Akkus*

- x 3.8 g Co \approx 4900 t Co

* Li-Ion Typ

b) PC & Laptops

300 Mio Stück 

- x 1000 mg Ag \approx 300 t Ag
- x 220 mg Au \approx 66 t Au
- x 80 mg Pd \approx 24 t Pd
- x \approx 500 g Cu \approx 150,000 t Cu

\approx 140 Mio Laptop Akkus*

- x 65 g Co \approx 9100 t Co

** Li-Ion Typ (heute Standard)

Welt Minen / a+b Produktion / Anteil

Ag: 21,000 t/a \blacktriangleright 3%
 Au: 2,400 t/a \blacktriangleright 4%
 Pd: 220 t/a \blacktriangleright 16%
 Cu: 18 Mio t/a \blacktriangleright <1%
 Co: 75,000 t/a \blacktriangleright 19%

Quelle: Bardt, H.: Keine Zukunft ohne Rohstoffe, Ergebnisse der Studie für die vbw



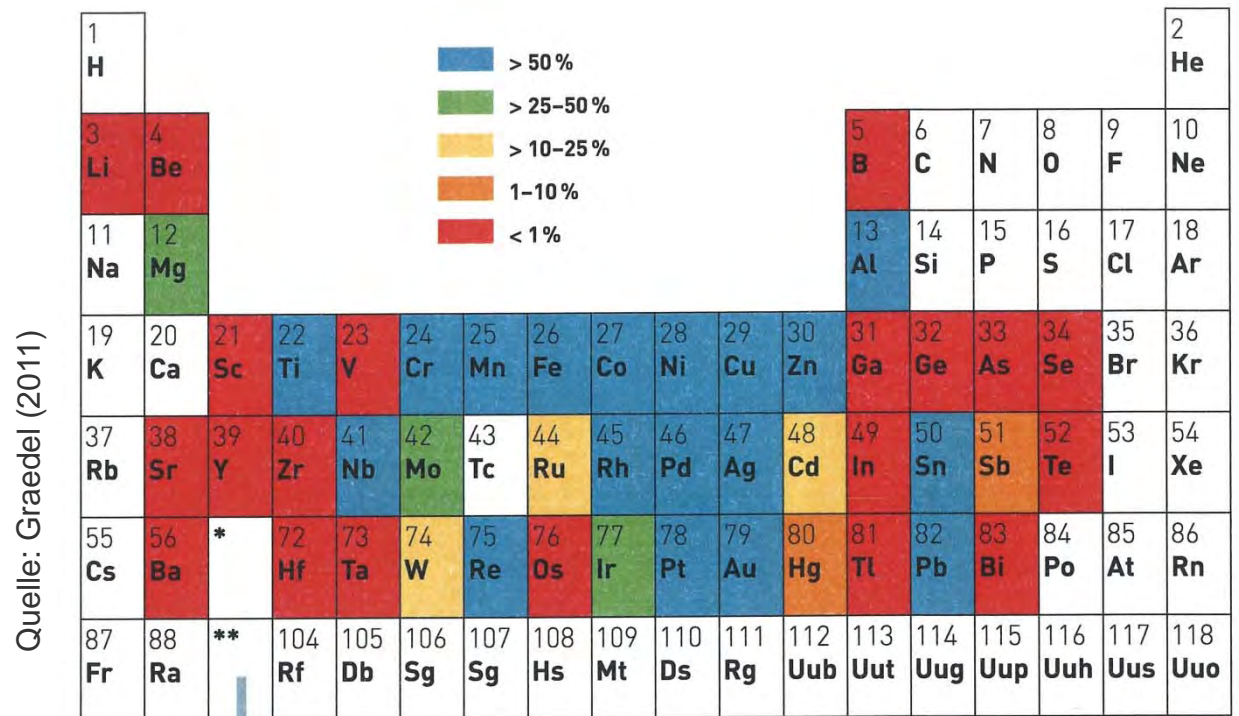
Material	Gewicht	Material	Gewicht
Silizium	24,8803	Bismut	0,0063
Kunststoff	22,9907	Chrom	0,0063
Eisen	20,4712	Quecksilber	0,0022
Aluminium	14,1723	Germanium	0,0016
Kupfer	6,9287	Gold	0,0016
Blei	6,2988	Indium	0,0016
Zink	2,2046	Ruthenium	0,0016
Zinn	1,0078	Selen	0,0016
Nickel	0,8503	Arsen	0,0013
Barium	0,0315	Gallium	0,0013
Mangan	0,0315	Palladium	0,0003
Silber	0,0189	Europium	0,0002
Beryllium	0,0157	Niob	0,0002
Kobalt	0,0157	Vanadium	0,0002
Tantal	0,0157	Yttrium	0,0002
Titan	0,0157	Platin	in Spuren
Antimon	0,0094	Rhodium	in Spuren
Kadmium	0,0094	Terbium	in Spuren

Quelle: Hageleuken, C.: Edelmetalle in der Stadt – Chancen & Herausforderungen des Recyclings, 2011



Recyclingraten von Metallen

◇ Recyclingrate aus gebrauchten Konsumgütern



* Lanthanides

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
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

** Actinides

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
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------



Recycling von Seltenen Erden

- ◇ Industriemaßstab: nur Rhodia, Frankreich
 - ↪ NiMeH-Akkumulatoren
 - ↪ Leuchtstoffe
 - ↪ Permanentmagnetmaterial
 - ↪ Trennung der einzelnen Elemente der Seltenen Erden

- ◇ Untersuchungen
 - ↪ Hauptsächlich SE-Gewinnung aus Leuchtstoffen und Batt.
 - ↪ Nur wenige Veröffentlichungen hinsichtlich Magnete, Katalysatoren, Glas und weitere Sekundärrohstoffe
 - ↪ Alternative Quellen (Rotschlamm, U/Nb/Zr-Erze, Tiefenwasser, etc.)?



Herausforderungen in der Metallurgie

◆ Klassische Rohstoffe

↪ Etablierte Prozesse, jahrzehntelange Erfahrungen

◆ Zukünftige Entwicklung

↪ Primäre/sekundäre Einsatzstoffe mit abnehmender Qualität

↪ Oftmals komplex aufgebaut

↪ Neuartige Kombination von Elementen

↪ Stark schwankende Zusammensetzung (kurz- und langfristig)

↪ → Limitiertes Wissen über bisher unübliche Stoffsysteme erfordert Grundlagenarbeiten (Thermodynamik, etc.)

↪ → Flexible, anpassungsfähige Prozessschritte und -routen

↪ → Stärkere Vernetzung, um neben den Hauptelementen auch gering konzentrierte Metalle zurückzugewinnen



Inhalt

- Allgemeines
- Geologie und Bergbau kritischer Rohstoffe in Österreich
- Aufbereitung kritischer Rohstoffe in Österreich
- Metallurgie kritischer Rohstoffe in Österreich
- Sammlung und Stoffströme bei kritischen Rohstoffen in Österreich
- Zusammenfassung

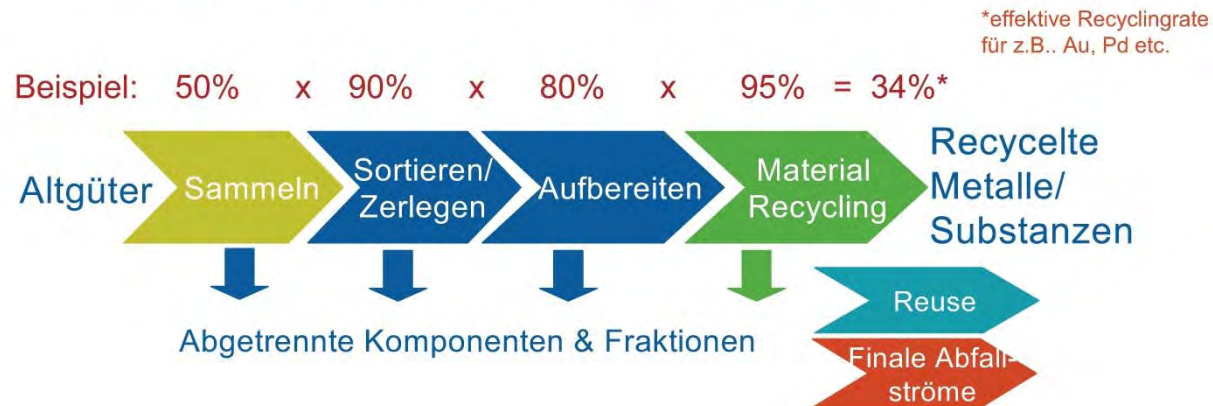


Recycling

◇ Gesamteffizienz = Produkt der individuellen Wirkungsgrade der Teilschritte

↪ **Schwächste Schritt hat größte Auswirkung!**

Recyclingkette – der Systemansatz entscheidet



Quelle: Hagelüken (2010)

◇ Einflussfaktoren auf Recyclingfähigkeit

↪ Inhalt an Wertmetallen und deren Preise

↪ Zusammensetzung, Rückgewinnungsrate, Technologie, Kosten

↪ Anwendungssegment, Lebenszyklus, Logistik



Altfahrzeuge

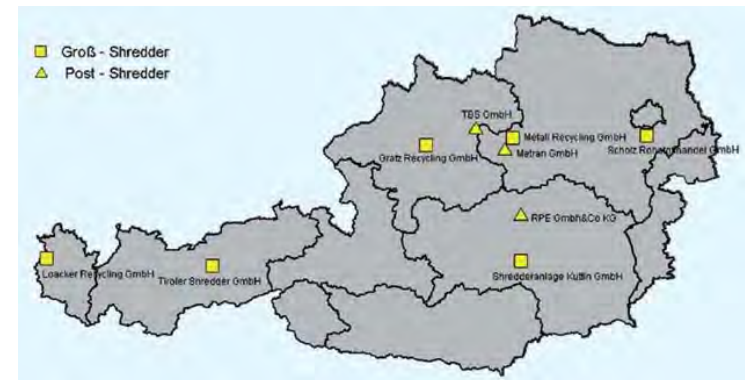
◆ Richtlinie 2000/53/EG

- ↪ Flächendeckende Sammelsysteme, kostenlose Rückgabe
- ↪ Verwertungsnachweis, -quote (2015: 95 %, stofflich 85 %)
- ↪ Demontage-Handbücher vom Hersteller, etc.

◆ Schredderanlagen

Bundesland	Betreiber	Kapazitäten in t/Jahr
Niederösterreich	Metall Recycling GmbH, Amstetten	65.000
Niederösterreich	Scholz Rohstoffhandel GmbH, Laxenburg	135.000
Oberösterreich	Gebrüder Gratz GmbH, Lambach	80.000
Steiermark	Fritz Kuttin GmbH, Knittelfeld	120.000
Tirol	Tiroler Shredder GmbH, Hall	50.000
Vorarlberg	Loacker Recycling GmbH, Götzis	80.000

Quelle: BAWP 2011





Elektrofahrzeuge

◆ Prioritäre Rohstoffe für E-PKW (ohne Batterie)

↪ Hoher Materialbedarf

↪ Mögliche stark wachsende konkurrierende Anwendungen

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				



Windkraftanlagen

◆ Anwendungsgebiete für Nd:

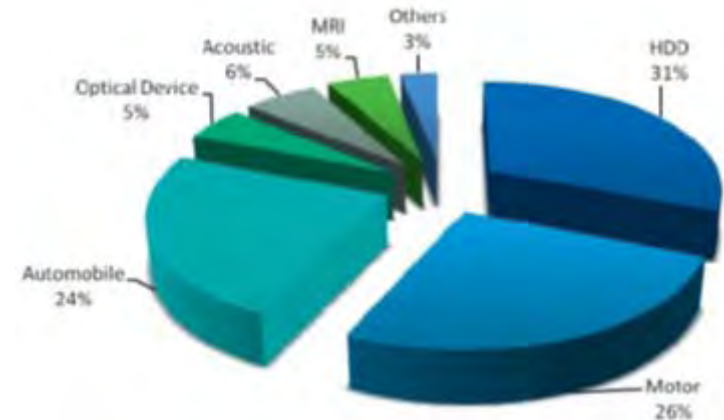
- ↪ Großteil: FeNdB-Magnete
(Wachstum: 12,5 % pro Jahr)

◆ Windkraftanlagen (WKA)

- ↪ EU: 132 TWh im Jahr 2009
- ↪ 15 % getriebelose Anlagen
- ↪ Ein Teil davon mit FeNdB-Magnete
(66-69 % Fe, 28-30 % Nd, 2-4 % Dy, 1 % B)
- ↪ Spez. Nd-Bedarf: 150-300 kg/MW

◆ Demontage von WKA

- ↪ Deutschland, 2010: 116 Windräder mit 56 MW (Repowering)
- ↪ Ersatz durch größere Anlagen nach 12-15 Jahren wirtschaftlich
⇒ 2015: Ersatz von 9500 Windrädern mit 6000 MW



Quelle: SHIN-ETSU, 2009



Inhalt

- Allgemeines
- Geologie und Bergbau kritischer Rohstoffe in Österreich
- Aufbereitung kritischer Rohstoffe in Österreich
- Metallurgie kritischer Rohstoffe in Österreich
- Sammlung und Stoffströme bei kritischen Rohstoffen in Österreich
- Zusammenfassung



Zusammenfassung

- Langfristige Rohstoffpolitik in Europa zur Sicherung des Hochtechnologiestandortes
- Vernetzung des Recyclings mit der Logistik, Aufbereitung, Primärmetallurgie und der Werkstofftechnik
- Erfassung (Charakterisierung) möglicher Sekundärmaterialien (Urban Mining)
- Optimierung bestehender oder die Entwicklung neuer Recyclingtechnologien
- Strategische Partnerschaften mit Rohstoffländern sowie Ausschöpfen von Substitutionspotenzialen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Montanuniversität Leoben
Department Metallurgie
Nichteisenmetallurgie

