

Seltene Erden und ihr Recycling

Dr. Doris Schüler

Dr. Matthias Buchert

Dipl.-Ing. Ran Liu

Dipl.-Ing. Cornelia Merz

Dipl.-Geogr. Stefanie Dittrich

**Berlin, Heinrich-Böll-Stiftung e.V.,
31. Januar 2011**



Ausgangspunkt:

- Rohstoffinitative der EU sowie andere Untersuchungen: Seltene Erden zählen den kritischen Metallen!
- Verschärfung einer möglichen Knappheit durch die aktuelle Entwicklung mit ständig steigender Nachfrage und chinesischen Exportrestriktionen

Thema dieser Studie:

- Konkretisierung: welche der insgesamt 17 Erden sind wirklich kritisch? Welche Zukunftstechnologien sind betroffen?
- Überblick über Versorgung, Anwendung und Umweltaspekte
- Nachhaltigkeitsstrategie

Die sieben kritischen Seltenen Erden

1 H Hydrogen 1.00794																	2 He Helium 4.003																												
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797																												
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050											13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948																												
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933200	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80																												
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29																												
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.9055	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.078	79 Au Gold 196.96655	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)																												
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (262)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)	113	114																																
<table border="1"> <tr> <td>58 Ce Cerium 140.116</td> <td>59 Pr Praseodymium 140.90765</td> <td>60 Nd Neodymium 144.242</td> <td>61 Pm Promethium (145)</td> <td>62 Sm Samarium 150.36</td> <td>63 Eu Europium 151.964</td> <td>64 Gd Gadolinium 157.25</td> <td>65 Tb Terbium 158.92534</td> <td>66 Dy Dysprosium 162.50</td> <td>67 Ho Holmium 164.93032</td> <td>68 Er Erbium 167.26</td> <td>69 Tm Thulium 168.93421</td> <td>70 Yb Ytterbium 173.04</td> <td>71 Lu Lutetium 174.967</td> </tr> <tr> <td>90 Th Thorium 232.0381</td> <td>91 Pa Protactinium 231.03588</td> <td>92 U Uranium 238.0289</td> <td>93 Np Neptunium (237)</td> <td>94 Pu Plutonium (244)</td> <td>95 Am Americium (243)</td> <td>96 Cm Curium (247)</td> <td>97 Bk Berkelium (247)</td> <td>98 Cf Californium (251)</td> <td>99 Es Einsteinium (252)</td> <td>100 Fm Fermium (257)</td> <td>101 Md Mendelevium (258)</td> <td>102 No Nobelium (259)</td> <td>103 Lr Lawrencium (262)</td> </tr> </table>																		58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)
58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967																																
90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)																																

Kritische REE

LREE Leichte SE
HREE Schwere SE

- Die **Welt-Produktion** beträgt ~ 124.000 t REO.
- Das ist eine relativ geringe Primärproduktion im Vergleich zu anderen Metallen (z.B. 39 Mio. t Aluminium oder 22 Mio. t Kupfer).
- Dennoch sind sie bedeutsam, da sie oft in geringen Konzentrationen eingesetzt werden und in vielen Anwendungen genutzt werden!

Welt-Primärproduktion in 2008 und 2009 (USGS 2010):

Country	t REO	Share
China	120 000	97.0%
Brazil	650	0.5%
India	2700	2.1%
Malaysia	380	0.3%
Kyrgyzstan	NA	
Total	124 000	100 %

Globale Produktion in 2009: 124.000 t
Reserven nach USGS: 99.000.000 t (Faktor 800)



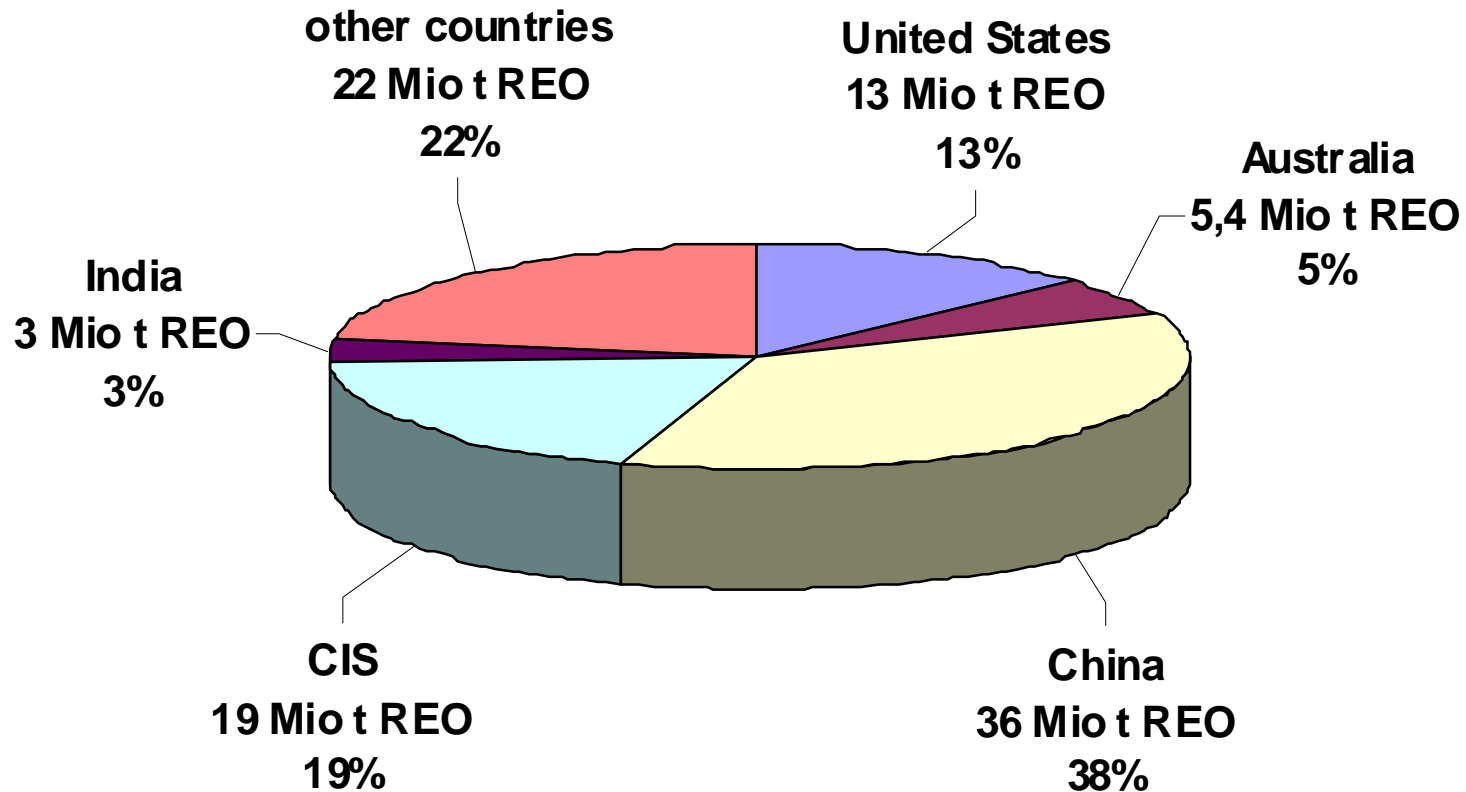
 **Förderung in
Minen 2009**

 **Kurzfristig geplante
Förderstätten**

 **Weitere große
Vorkommen**

Seltene-Erden-Reserven nach Ländern


(in Millionen Tonnen und Prozent, USGS 2010)



- **Radioaktive Stoffe**, die über Staub und Wasser Mensch und Umwelt schädigen
- **Rückstände aus der Erzaufbereitung (Flotationsberge):**
 - Enthalten radioaktive und toxische Stoffe aus dem Gestein und aus den chemischen Hilfsmitteln
 - Ablagerung in künstlichen Teichen
 - Kontinuierlicher Grundwassereintrag bei Undichtigkeiten
 - Risiko von Dammbürchen (siehe Rotschlamm in Ungarn)

Batou Obo Mine – die größte Selten Erden Mine


- Hauptprodukt: Eisen; Nebenprodukt: leichte SEE
- Umweltschäden: radioaktive Stäube, Lungenkrebs,
- Grundwasserverunreinigung



**Wichtige leichte SEE:
Neodym, Praseodym,
Lanthan, Europium**

Ionen-Adsorptions-Tone in Süd-China

- Hohe Gehalte an schweren SEE
- In-situ Laugung, hydro-geologisch nicht kontrollierbar



**Wichtige HREE:
Dysprosium, Terbium,
Yttrium**

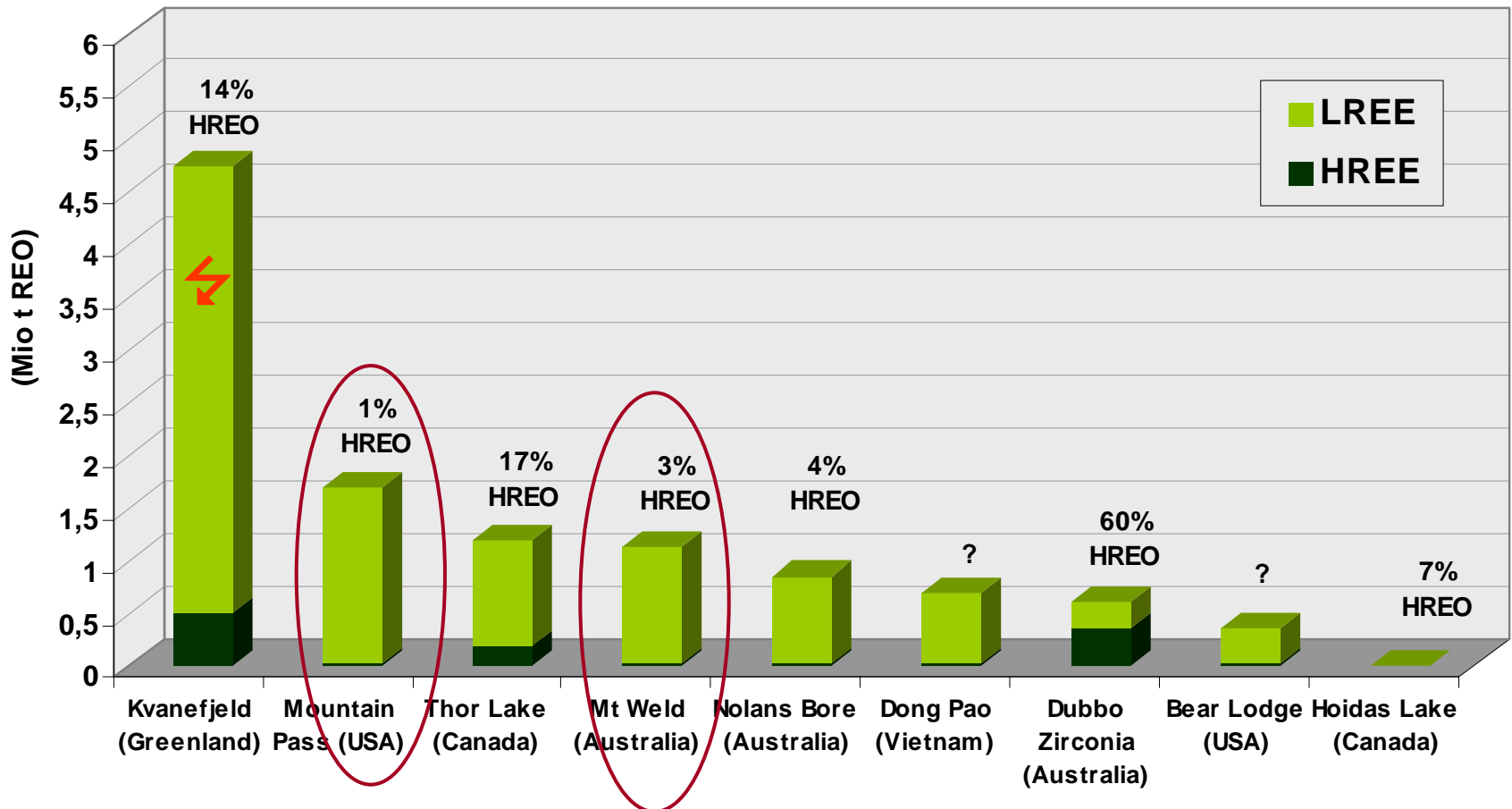
Zahlreiche kleine illegale Minen

- Schätzungsweise 20.000 t REO, die illegal abgebaut und exportiert wurden
- Vermutlich haben diese Minen keinerlei Umweltschutzvorrichtungen

Pläne der chinesischen Regierung

- Schließen der kleinen illegalen Minen. Konzentration und Konsolidierung der Seltenen Erden Wirtschaft
- Installation von Umweltschutztechnologien im Bergbau und in der Verarbeitung

Ausgewählte Reserven von leichten und schweren seltenen Erden außerhalb Chinas (nach dem JORC-code):



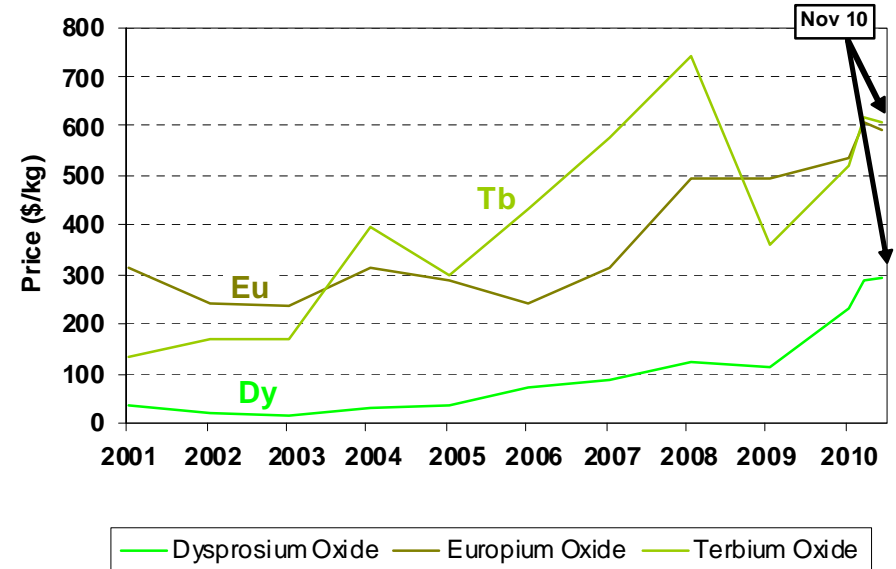
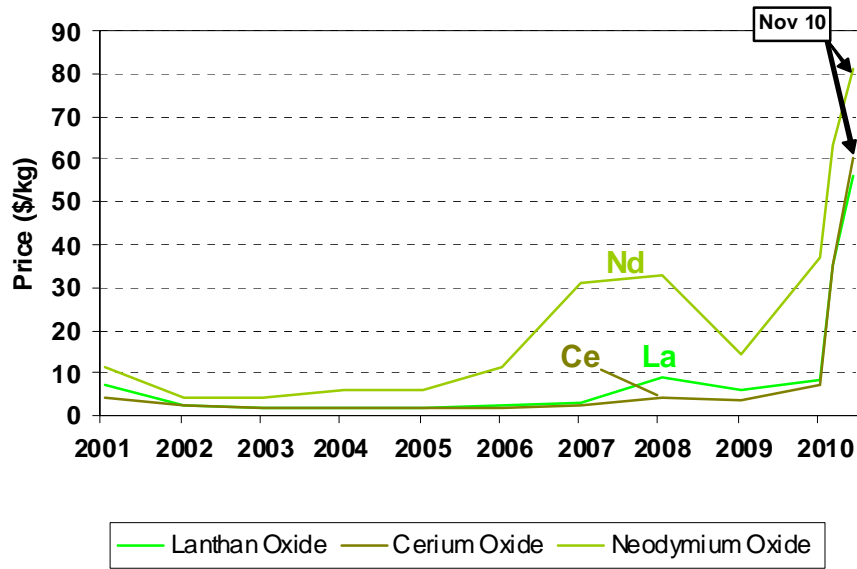
Chinesische Exporte

- Gehen zu mehr als 85 % an die drei Hauptverbraucher Japan (~ 34.000 t), Europa (~ 23.000 t) und USA (~ 20.000 t).
- Chinesische Exporte in 2010: - 29 % im Vergleich zu 2008. Anhaltende Exportrestriktionen sind zu erwarten.
- Offizielle Zahlen enthalten nicht die illegale Förderung und den illegalen Export von rund 20.000 t in 2008.

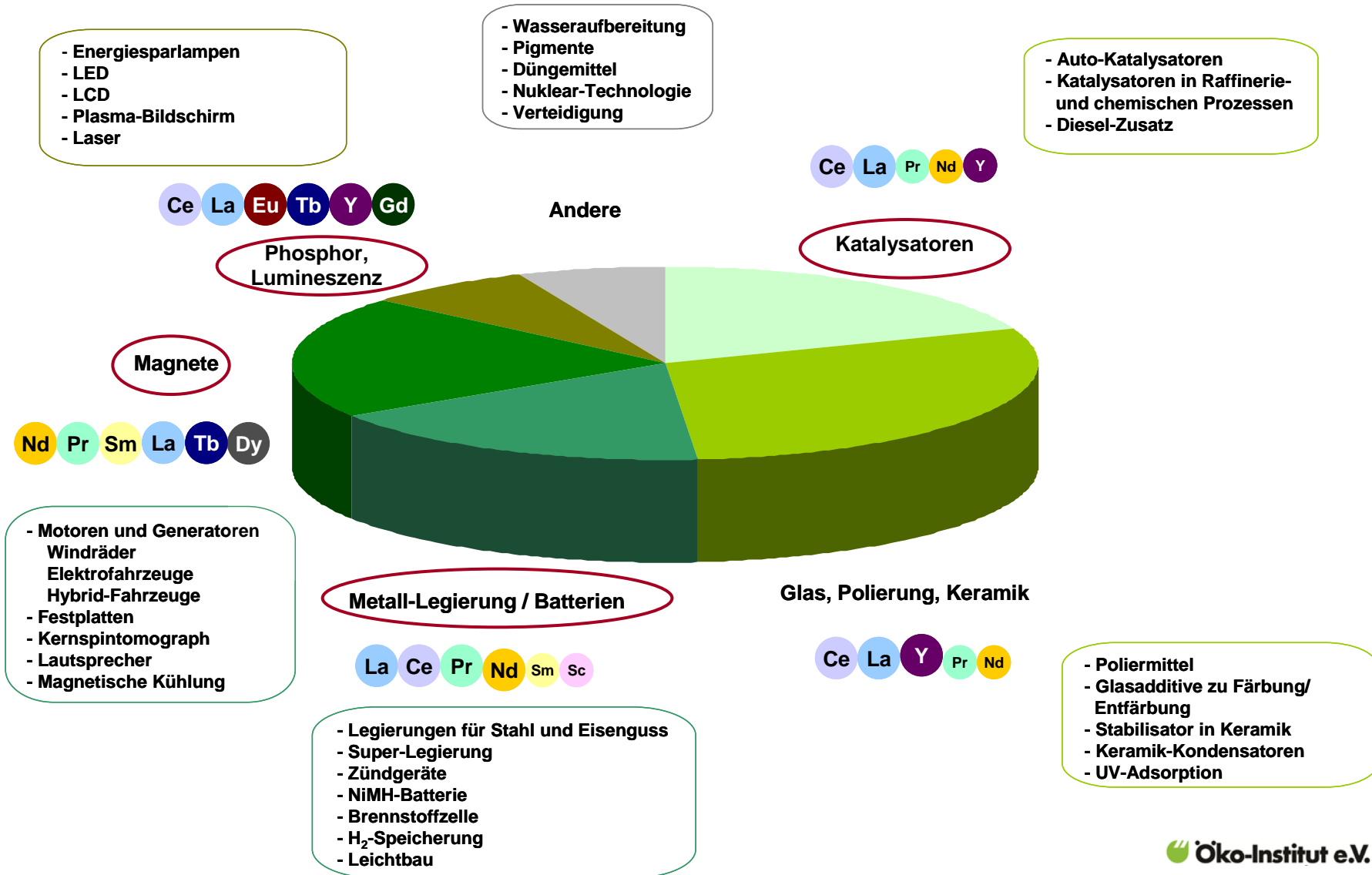
Geplante Produktion am Mountain Pass und Mt Weld:

- Zusammen rund 42.000 t (fast nur leicht seltene Erden)
- Vermutlich werden keine weiteren größeren Produktionskapazitäten in den nächsten 5 – 8 Jahren in Betrieb gehen!

Preisentwicklung



Anwendungsgebiete



Hohe Steigerungsraten in der Nachfrage sind zu erwarten!

- Nachfrage 2008: ~ 140.000 t → in 2014 ~ 170 – 200.000 t, Steigerung einzelner Elemente um 40 – 70 %!
- Hohe Steigerungsraten sowohl bei traditionellen als auch bei Zukunftstechnologien.

Die Produktion wird nur mäßig anwachsen

- Chinas Kurs für die nächsten Jahren zielt auf eine Konsolidierung und NICHT auf Wachstum.
- Außerhalb Chinas haben Mountain Pass und Mt Weld eine Genehmigung. Alle weiteren Projekt sind noch in frühen Stadien.
- Neue Projekte brauchen mindestens 6 – 10 Jahre. Hauptproblem: die Verarbeitung der seltenen Erden. Das Know-how muss erst aufgebaut werden!

Knappheit mit hoher Wahrscheinlichkeit

- Terbium, Dysprosium, Praseodym und Neodym
- Hauptanwendung: Permanentmagnete
- Betroffene grüne Techniken: Elektromotoren für Elektro (Hybrid)-Fahrzeuge, Windkraft, (magnetische Kälte), Ni-MH-Batterien
- Betroffene andere Techniken: Festplatten, Elektronikprodukte, industrielle Magnetanwendungen (Hebwerkzeuge)

Möglicherweise ebenfalls knapp:

- Lanthan, Yttrium und Europium
- Betroffene grüne Techniken: energiesparende Beleuchtung, Raffineriekatalysatoren, Ni-MH-Batterien

Wendepunkt für den Umgang mit Seltenen Erden

- **Erstmals hohe Preise!**
- **Erstmals eine reale Verknappung absehbar!**
- **Erstmals öffentliches Bewusstsein über die Umweltschäden**

Eckpunkte einer nachhaltigen Seltenen-Erden-Wirtschaft:

- **Effizienz**
- **Substitution**
- **Recycling**
- **Nachhaltige Primärproduktion**

Potentiale in Produktion und Verarbeitung

- Im chinesischen Bergbau gibt es ein hohes Potential für höhere Ressourceneffizienz (Teil der chinesischen Konsolidierungspläne).
- In der Verarbeitung gibt es teilweise hohe Verluste (z.B. in der traditionellen Magnetproduktion).
- Es laufen Forschungsprojekte zum effizienteren SEE-Einsatz, z.B. Hochleistungsmagnete mit geringerem und dennoch effektivem Einsatz von Terbium und Dysprosium (High-Tech-Verfahren nötig!)

Nanotechnologie für effizienteren Einsatz von seltenen Erden?

- Forschung hierzu im Bereich Magnete und Brennstoffzellen
- Begleitforschung zu Risiken unerlässlich!

Die Substitution von Seltenen Erden erfordert in der Regel ein ganz neues Produktdesign. Sie sind nicht einfach durch andere Stoffe zu ersetzen.

Substitutionen sind prinzipiell verfügbar für:

- **Elektromotoren für Hybridfahrzeuge, wenn Forschung hier intensiviert wird.**
- **Windkraftanlagen (z.Zt. Rund 86 % der Anlagen ohne Seltene Erden); traditionelle Anlagen haben aber eine Schwachstelle hinsichtlich der Zuverlässigkeit**
- **Ni-MH-Batterien für Hybridfahrzeuge werden bereits jetzt durch Li-Ionen-Batterien ersetzt.**

Substitutionen sind noch NICHT verfügbar für:

- Autokatalysatoren (vor allem Cer)
- Raffineriekatalysatoren (vor allem Lanthan)
- Energiesparende Beleuchtung (zahlreiche SEE wie Europium, Yttrium, Lanthan u.a.)
- ⇒ Forschung dringend notwendig!

Seltene Erden werden weltweit nur in sehr geringen Mengen recycelt! Haupthindernisse waren bisher:

- niedrige Preise
 - geringe Konzentrationen in vielen Anwendungen und insgesamt kleine Mengen
 - komplexe Chemie; kapitalintensive Anlagetechnik
 - Es fehlt Know-how!
 - teilweise aufwendige Demontage nötig.
- ➔ Wenn Europa jetzt beginnt, ist es möglich in 5-10 Jahre ein europäisches Recyclingsystem aufzubauen.

- **Die sekundären SEE fallen in Europa an.**
- **Geringere Abhängigkeit von ausländischen Lieferanten.**
- **Aufbau von Know-how zur SEE-Verarbeitung.**
- **Keine radioaktiven Abfälle in der Produktion.**
- **Reduzierte Umweltbelastungen (Luft, Wasser, Klima)**

Entwicklung einer Europäischen Recycling Strategie

Grundlagenforschung

Identifizierung der Stakeholder

Europ. Kompetenznetzwerk Seltene Erden

Europäische Stoffstromanalyse

Auswahl von Pilotprodukten, die recycelt werden sollen

Konzept für ein Sammel- und Vorbehandlungssystem

Aufbau von Pilotanlagen / F&E

Förderung von Wiederverwendung

Finanzielle Unterstützung

Schaffung des rechtlichen Rahmens in der EU

Einführung einer großflächigen Sammlung und Recycling von Pilotprodukten

Netzwerk & Grundlagenforschung

- Ein Europäisches Kompetenz-Netzwerk zu Seltenen Erden mit allen relevanten Stakeholdern wie Recycler, Hersteller, Behörden und Vertretern von Politik und Forschung ist essentiell für eine erfolgreiche Umsetzung.
- Grundlagenforschung ist notwendig. Nur wenige Firmen in Europa haben Know-how in der Raffination und Verarbeitung von Seltenen Erden in den ersten Stufen der Wertschöpfungskette.

Derzeit müssen nationale Rohstoffagenturen auf Schätzungen von wenigen Experten außerhalb Europas zurückgreifen.

- ➔ Eine europäische Stoffstromanalyse ist notwendig.
- Wer sind die wichtigsten Hersteller und Akteure entlang der Wertschöpfungskette?
 - Identifizierung der wichtigsten Materialströme.
 - Abschätzung der Seltenen-Erden-Gehalte in den wesentlichen Abfallströmen
 - Die Kooperation mit Unternehmen ist essentiell für fundierte Ergebnisse.

Mögliche Pre-Consumer Abfallströme

- **Magnetproduktion, Beleuchtungsindustrie, IT & Elektronikindustrie**
- **Seltene Erden verarbeitende Industrie (z.B. Herstellung von Legierungen)**

Mögliche Post-Consumer Abfallströme– größere Mengen!

- **Magnete von Elektromotoren und Generatoren (Hybridfahrzeuge, Windturbinen, Festplatten, e-bikes)**
- **Leuchtmittel (Energiesparlampen, Bildschirme, LED)**
- **Wiederverwendung von großen Magneten (MRT, Windturbinen)**
- **Verbrauchte industrielle Katalysatoren (evtl. auch Fahrzeug-Katalysatoren)**

Sammlung, Vorbehandlung & Pilot-Anlagen

- Die Behandlung vieler betroffener Abfälle ist bereits durch die Richtlinien für Elektro- und Elektronikabfälle, Alautos und Batterien geregelt. Die Sammlung der Abfälle, die Seltene Erden enthalten, muss in bestehende Sammlungssysteme integriert werden.
- Die Entwicklung von Pilotanlagen ist mit großen F&E-Projekten verbunden, um Know-how zu den komplexen chemischen Prozessen und zur benötigten innovativen Hochtechnologie für die Anlagentechnik zu erwerben.

Hohe finanzielle Risiken für Recycling-Anlagen:

- **Hohes Investment**
- **Es gibt eine Vielzahl geplanter Minenprojekte mit ungewissem Ausgang, die mittelfristig jedoch eine Überproduktion darstellen könnten.**
- **Allgemeine hohe Unsicherheit bei der Preisentwicklung. Unbekannte Einflüsse sind mögliche Metallvorräte und potentielle Spekulationen in einem relativ kleinen Markt.**
- ➔ **Eine finanzielle Unterstützung durch die Europäische Investitionsbank oder andere europäische Körperschaften könnte große Risiken für Investoren reduzieren.**

- ➔ **Identifizieren von Lücken im europäischen Rechtssystem hinsichtlich einer Seltenen-Erden-Kreislaufwirtschaft**
- ➔ **Modifizierung des Rechtssystems der EU, um Post-Consumer-Recycling zu optimieren.**

Hier können spezifische Themen adressiert werden, z.B. die Verhinderung von Abfallexporten oder die Verpflichtung zum Recycling von Magneten aus Windkraftanlagen.

- **Grundsätzliche Idee: Kooperation in großem Maßstab**
- **Runder Tisch mit Experten mit Auswahl einer konkreten Mine**
- **Ziel: Nachhaltige Bergbau von Seltenen Erden**
 - **Optimierung von Effizienz und Umweltstandards, Sanierung von verunreinigten Flächen, mögliche Gewinnung von Seltenen Erden aus alten Rückständen**
- **Die Europäische Kommission stellt eine Co-Finanzierung und Expertise**
- **Im Gegenzug liefert China eine adäquate Menge von Seltenen Erden an die EU**

Grüne Technologien sollten auf “Grünen Metallen” basieren

- **Es gibt zahlreiche Initiativen für nachhaltigen Bergbau.**
- **Unter ihnen sind Zertifizierungssysteme, die verschiedene Probleme adressieren:**
 - **Umwelt, Kleinbergbau, Sicherheit, Menschenrechte.**
- **Es besteht ein steigendes Interesse in Politik und Industrie an zertifizierten Mineralien.**
- **Die heutigen Minen-Gesellschaften könnten interessiert an Zertifikationen oder ähnlichen Kooperationen sein, um ihre Umweltanstrengungen zu belegen.**
- **Der Analytische Fingerabdruck ist ein Kontrollinstrument, wenn andere Kontrollmechanismen fehlschlagen.**

Es gibt große Bedenken, dass einige Projekte zu neuen Minen von Seltenen Erden mit hohen Umweltrisiken verbunden sind.

Beispiel: Kvanefjeld in Grönland

- In Grönland gibt es eine sehr große Lagerstätten von Seltenen Erden und Uran mit hohen Anteilen an knappen und teuren schweren SEE.
- Die Rückstände sollen in einem natürlichen See mit Verbindung zum Meer abgelagert werden.
- Es ist sehr fraglich, ob toxische Stoffe in allen Betriebsbedingungen zurückgehalten werden können, z.B. bei extremen Regenereignissen oder während der Schneeschmelze.
- ➔ Die EU sollte deutlich an die Grönländischen Behörden appellieren, umsichtig und verantwortlich zu handeln. Ein neue allgemeine Kooperation zwischen der Europäischen Umweltagentur (EEA) und Grönland könnte hierzu beitragen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

www.oeko.de

www.resourcefever.org