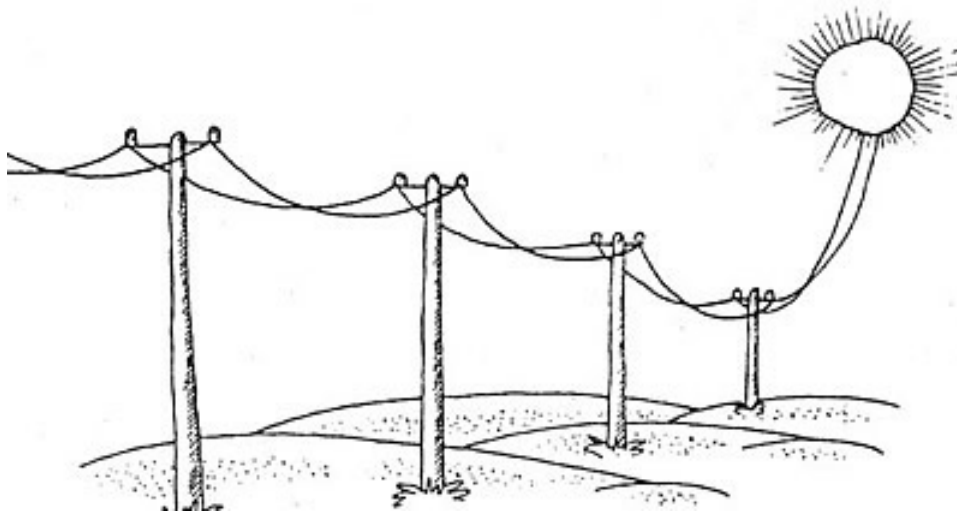


Die geologische und tatsächliche Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen für künftige Energietechnologien

L. Weber



Zur Frage der Abschätzung der Reserven / Ressourcen...

Zur Frage der Sinnhaftigkeit von Angaben über die Reichweite
("Lebensdauer") von Rohstoffen...

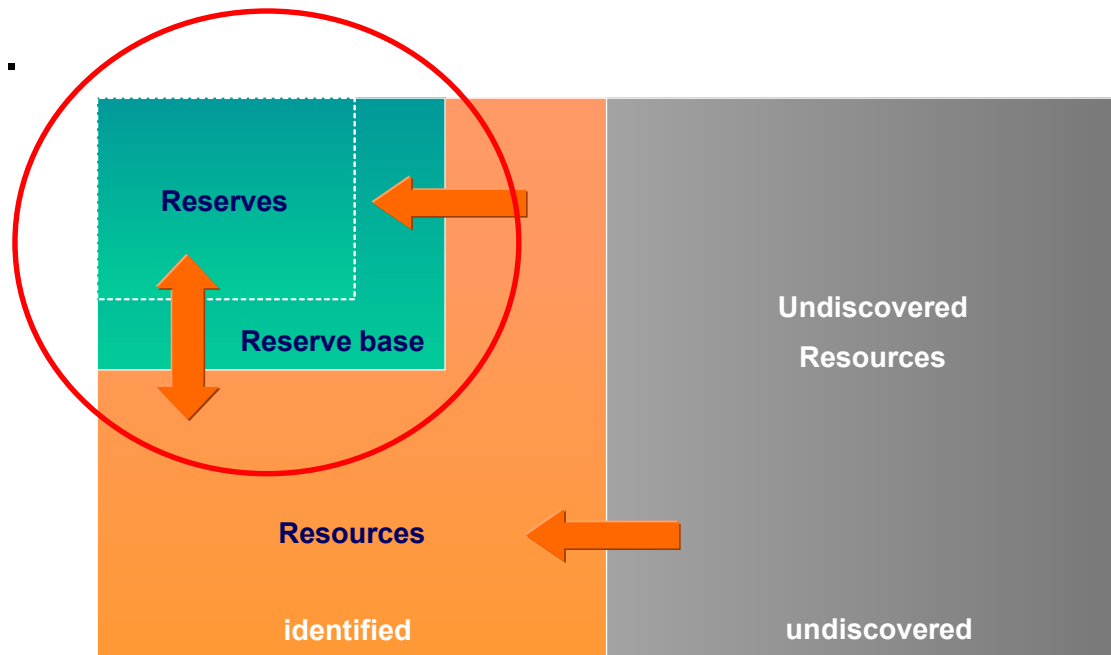
geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen der
Seltenen Erden...

geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen des
Lithiums...

Schlussfolgerung

Was sind Lagerstätten ?

Lagerstätten sind natürliche Anreicherungen von mineralischen Rohstoffen in oder auf der Erdkruste, die innerhalb eines bestimmten Zeitraumes wirtschaftlich gewinnbar sind.



Wie problematisch sind die Ressourcenschätzungen ?

Grauzone: ungenügende Kenntnis der Explorationserfolge....

Grauzone: unzureichendes Ressourcenaudit...

Grauzone: Nichtberücksichtigung der Nebenmetalle in Lagerstätte...

Grauzone: Nichtberücksichtigung von Wertstoffen in nichtkonventionellen Lagerstätten..

Grauzone: gestiegene Rohstoffpreise finden kaum Berücksichtigung in der Ressourcenabschätzung...

Beispiel porphyrische Lagerstätten:

Cu (Se)

bildet keine eigenen Lagerst.

Mo (Re)

bildet keine eigenen Lagerst.

Au

Ag

Beispiel Pb-Zn Lagerstätten:

Pb Ag

nur 25 % aus eigenen
Silberlagerstätten, Rest aus
Komplexerzlagerstätten

Zn Cd
Ga, Ge, In, Th

bilden keine eigenen Lagerst.

Beispiel Bauxit

Ga

bildet keine eigenen Lagerst.

Wie problematisch sind die Ressourcenschätzungen ?

Grauzone: ungenügende Kenntnis der Explorationserfolge....

Grauzone: unzureichendes Ressourcenaudit...

Grauzone: Nichtberücksichtigung der Nebenmetalle in Lagerstätte...

Grauzone: Nichtberücksichtigung von Wertstoffen in nichtkonventionellen Lagerstätten..

Grauzone: gestiegene Rohstoffpreise finden kaum Berücksichtigung in der Ressourcenabschätzung...

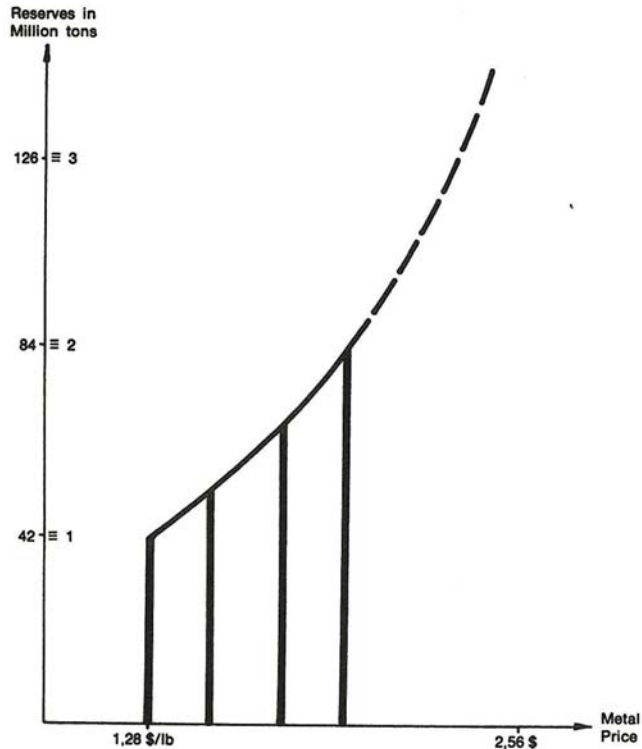


Abbildung 2: Weltnickelreserven als Funktion der Preise (USBM 1969). Zunahme der Vorräte bei steigenden Rohstoffpreisen.

Limitierende Faktoren:

Tiefe
Energiekosten

Wie problematisch sind die Ressourcenschätzungen ?

Grauzone: ungenügende Kenntnis der Explorationserfolge....

Grauzone: unzureichendes Ressourcenaudit...

Grauzone: Nichtberücksichtigung der Nebenmetalle in Lagerstätte...

Grauzone: Nichtberücksichtigung von Wertstoffen in nichtkonventionellen Lagerstätten..

Grauzone: gestiegene Rohstoffpreise finden kaum Berücksichtigung in der Ressourcenabschätzung...

Fazit:

Tatsächliche Ressourcen sind um ein Vielfaches höher...

Zur Frage der Abschätzung der Reserven / Ressourcen...

Zur Frage der Sinnhaftigkeit von Angaben über die Reichweite
("Lebensdauer") von Rohstoffen...

geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen der
Seltenen Erden...

geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen des
Lithiums...

Schlussfolgerung

D. & D. Meadows et al. 1972: Limits of growth, p. 137:

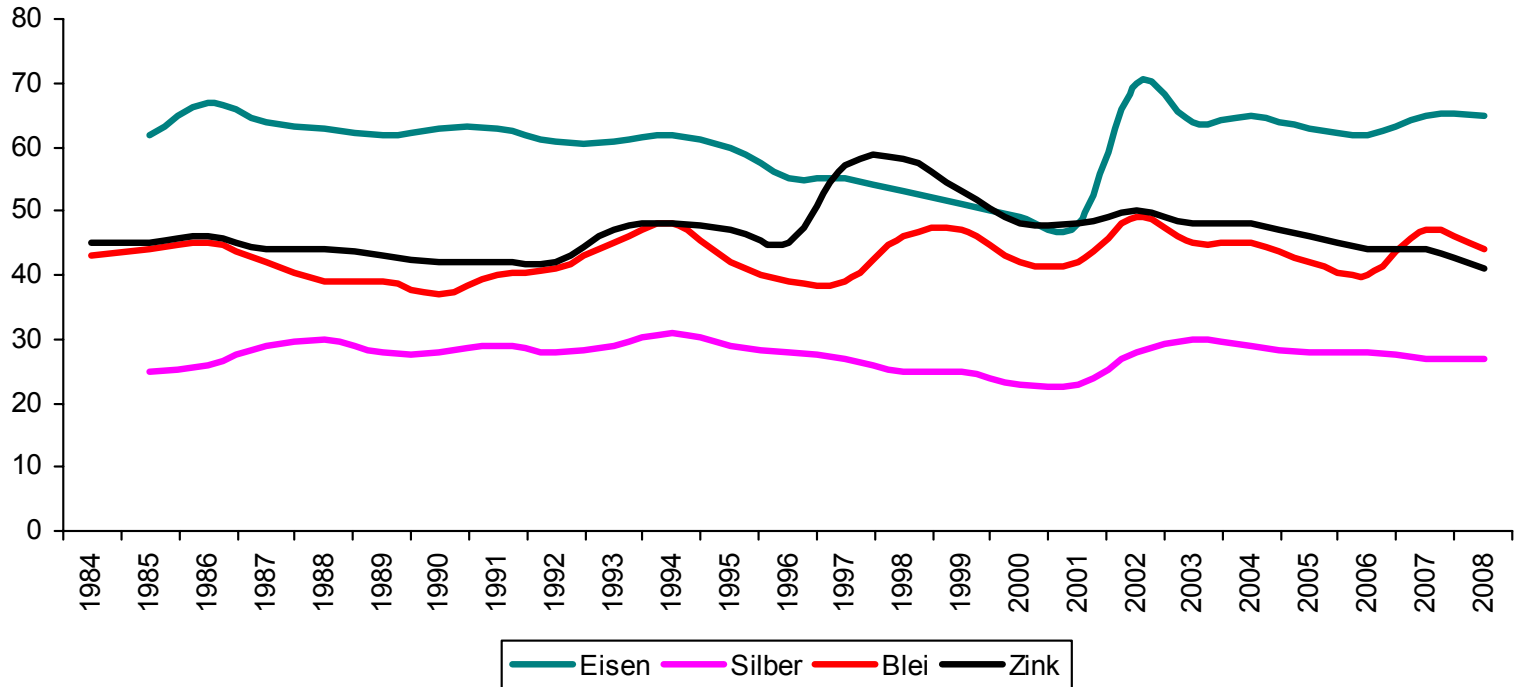
...Gold would run out in 1981,
silver and mercury in 1985,
zinc in 1990...

Die statische Reichweite ist immer nur eine Momentaufnahme in einem dynamischen System...

Durch die betriebliche Exploration („Hoffungsbau“) werden laufend Ressourcen zu Reserven erschlossen...

Angaben der Reichweite sind lediglich als Richtzahl zu interpretieren und spiegeln keineswegs die tatsächliche Vorhaltezeit wieder !

Abschätzung der Reichweite



Quelle: WEBER, L., ZSAK, G., REICHL, C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010
Reserve base: USGS

Zur Frage der Abschätzung der Reserven / Ressourcen...

Zur Frage der Sinnhaftigkeit von Angaben über die Reichweite
("Lebensdauer") von Rohstoffen...

geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen der
Seltenen Erden...

geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen des
Lithiums...

Schlussfolgerung

Seltene Erden:

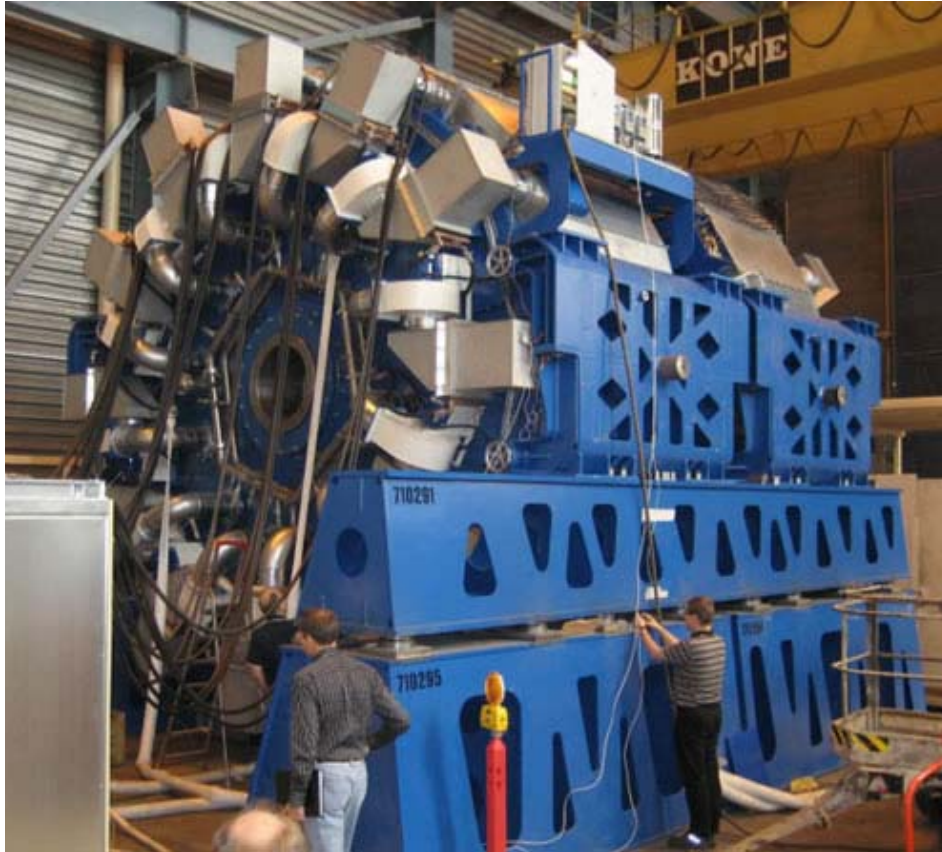
Gruppe von 17 Elementen:

Sc, Y und 15 Lanthanide (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Y, Lu)

Auf Grund der unterschiedlichen Eigenschaften werden die SEE in die

„leichten“ SEE (Cer-Gruppe) (La-Gd) und in die
„schweren“ SEE (Y-Gruppe) einschl. Sc und Y

untergliedert.



Generator für
Windkraftanlage
3,5 MW
(2008)

Permanentmagnet:
NdFeB
66% Fe; 29% Nd;
3% Dy; 1% B

1 MW ca. 1 t Nd



Elektromotor mit Permanentmagneten
ca. 1 kg Nd / KFZ

NiMH-Batterie:
ca. 10 – 15 kg La / KFZ

Li-Batterie:

0,6 kg Li-Karb / kWh
bis zu 15 kg Li-Karb/ Batterie

Abgaskatalysator: **Pt, Pd, Rh**

Elektrik, Elektronik: ca. 1000 m Kabel,
ca. 3000 Steck-verbindungen;
steigender Bedarf an Cu:
2000: ca. 20 kg;
2010: ca. 40 kg

mehrere Hundert Stellmotore
(Fensterheber, Steuerungen etc..)

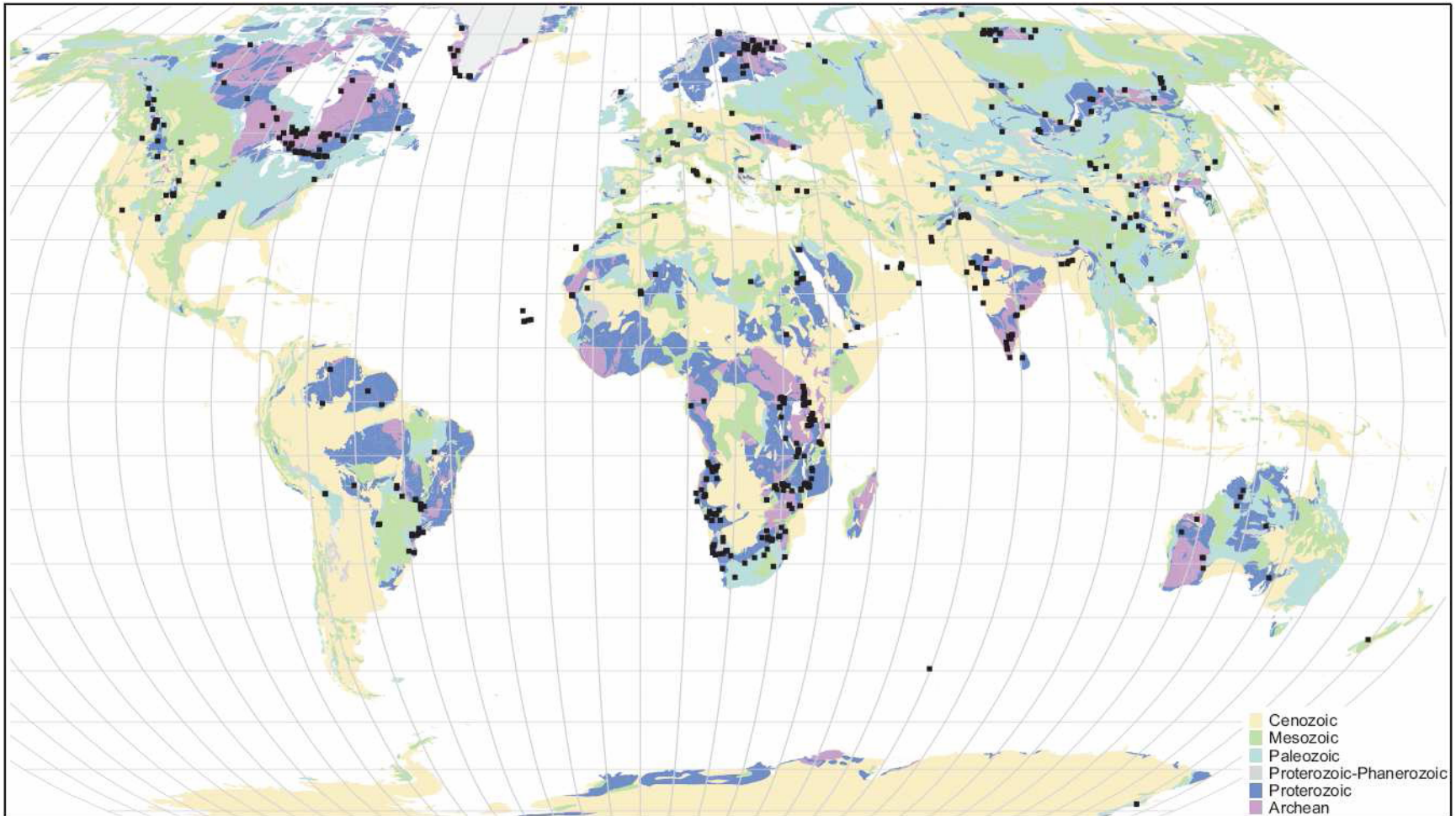
Lagerstättentypen

Karbonatite

Mountains Pass, Bayan Obo (Bastnäsit)



Karbonatite



Karbonatite Mountains Pass

www.bmwfj.gv.at



bmwfi

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

Bastnäsit
in Fe-Karbonat
Mountains Pass

Foto: L. WEBER

Lagerstättentypen



www.bmwfi.gv.at

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

Karbonatite

Mountains Pass, Bayan Obo (Bastnäsit)

Lateritische Verwitterungshorizonte

Xunwu, Longnan (Jiangxi, China)

Karbonatite

Mountains Pass, Bayan Obo (Bastnäsit)

Lateritische Verwitterungshorizonte

Xunwu, Longnan (Jiangxi, China)

Primäre Anreicherungen von Monazit / Xenotim

Nolans (Australien)

Karbonatite

Mountains Pass, Bayan Obo (Bastnäsit)

Lateritische Verwitterungshorizonte

Xunwu, Longnan (Jiangxi, China)

Primäre Anreicherungen von Monazit / Xenotim

Nolans (Australien)

Schwermineralseifen

Kerala, Orissa (Indien), Sri Lanka

Australien, Malaysia, Richards Bay (Südafrika)

Sekundäre Monazitvorkommen Richards Bay (Südafrika)

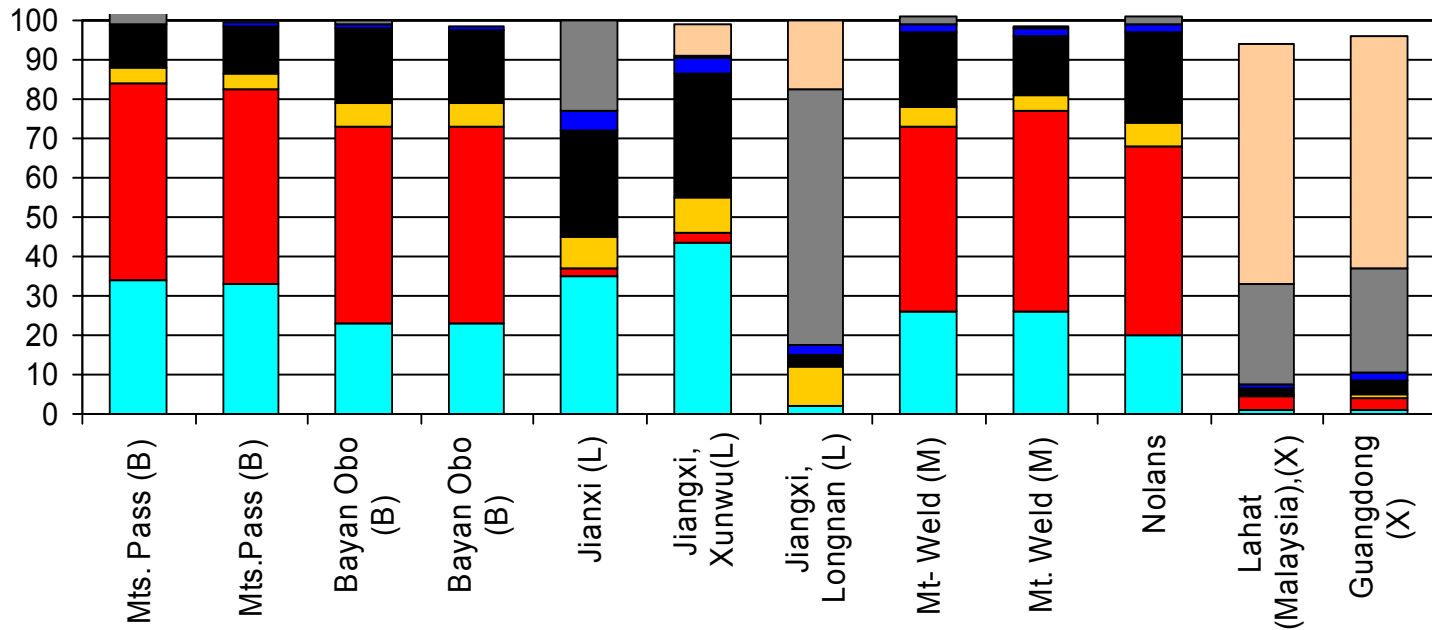


www.bmwfj.gv.at

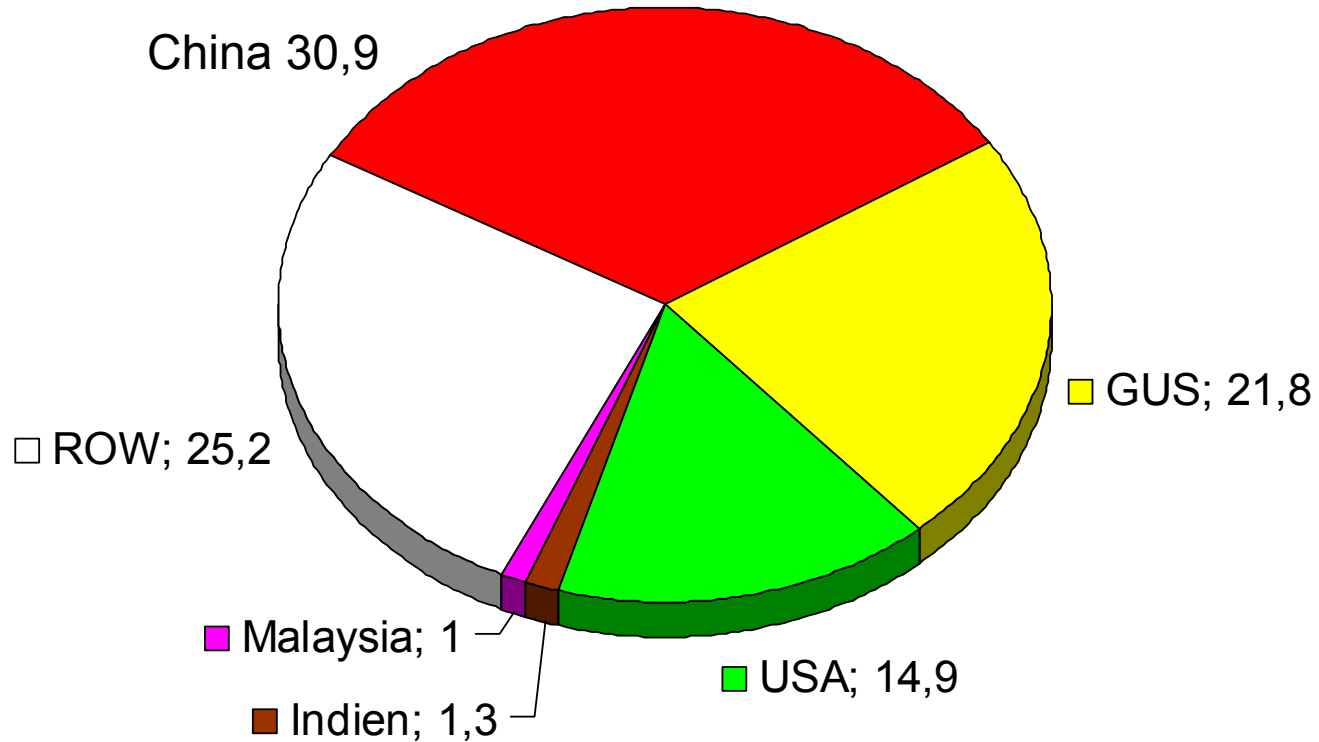
Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend



Lagerstättentypen



Verteilung der Ressourcen



Quelle: USGS

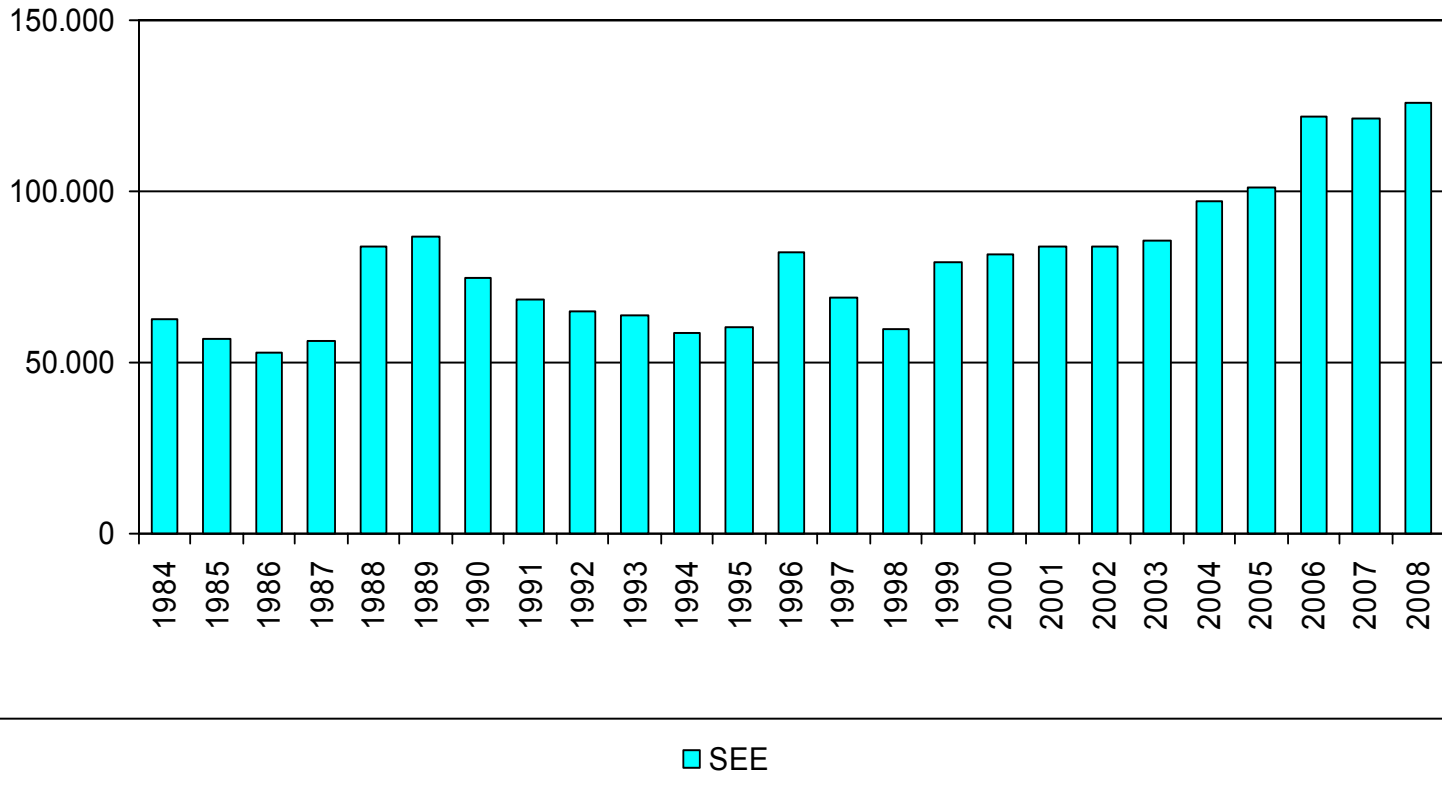
Reserve base USGS

2005	150 Mio t
2006	150 Mio t
2007	150 Mio t
2008	150 Mio t
2009	154 Mio t
2010	**

** nicht mehr erhoben

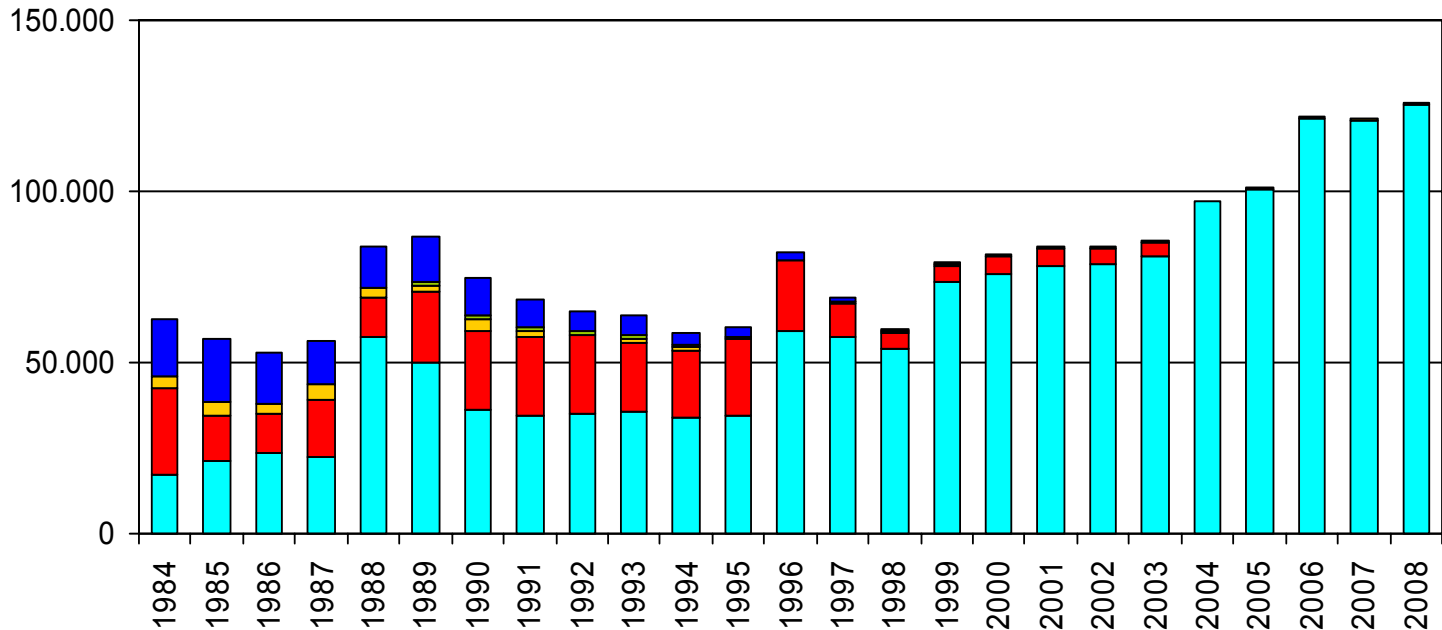
statische Reichweite (Berechnungsbasis 2008): ca. 1240 a

Weltproduktion an SEE in metr. t



Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

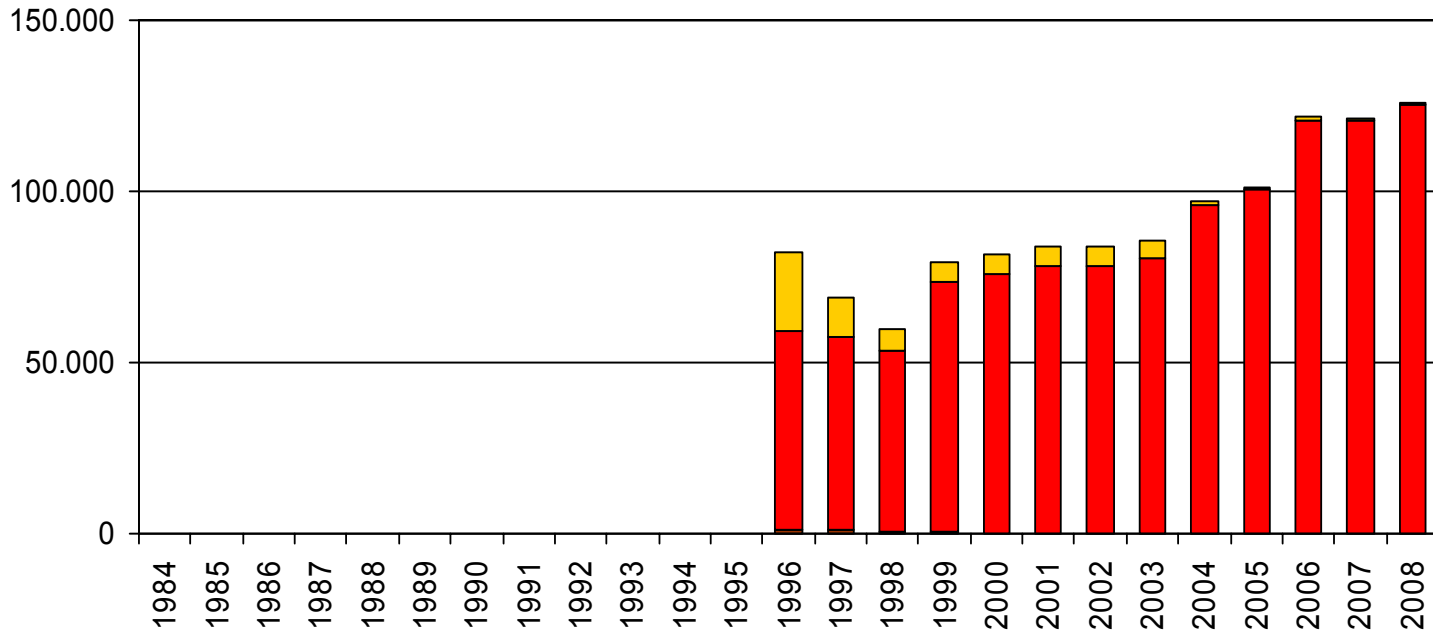
Weltproduktion an SEE in metr. t (nach Kontinenten)



Asien N-Amerika S-Amerika Afrika Australien Europa

Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

Weltproduktion an SEE in metr. t (nach politischer Stabilität)



extr- kritisch

kritisch

unauffällig

stabil

Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

Größte SEE-Produzentenländer (2008)



www.bmwfj.gv.at

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

		Anteil %	kumm.	HHI
China	125 000	99,46	99,46	
Brasilien	390	0,31	99,77	
Malaysia	233	0,19	99,96	
Total	125 673			9893

Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

(modifizierte) HHI - Indizes



www.bmwfj.gv.at

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

$$(1) \quad HHI_{(e)} = \sum_i (S_{if})^2$$

Herfindahl – Hirschmann
(enterprise concentration) Index
Wertebereich: 0-10.000

$$(2) \quad HHI_{(c)} = \sum_i (S_{if})^2$$

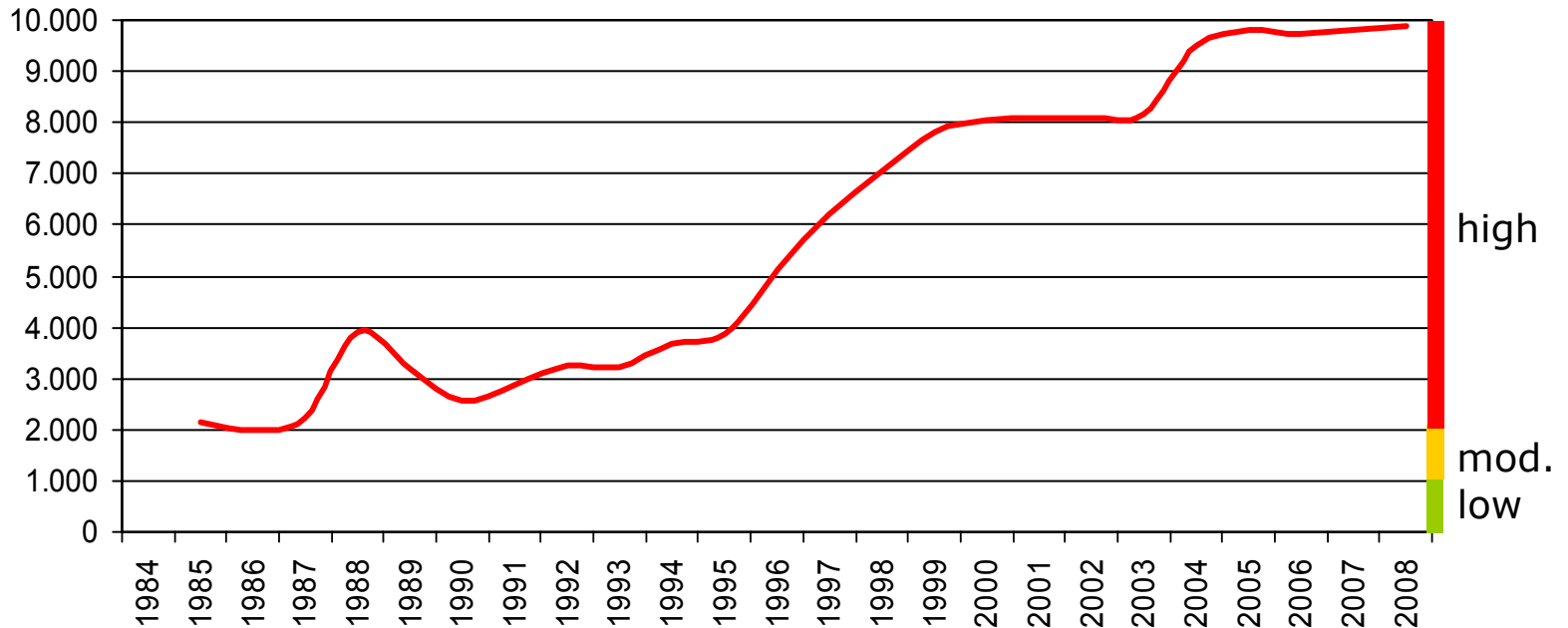
modifizierter Herfindahl – Hirschmann
(country concentration) Index
Wertebereich: 0-10.000

(modified) HHI Indices,

<1000: low concentration
1000-2000: moderate concentration
>2000: high concentration

e = enterprise concentration
c = country concentration

Entwicklung der Länderkonzentration Ausgedrückt als HHI



— HHI

Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

Zur Frage der Abschätzung der Reserven / Ressourcen...

Zur Frage der Sinnhaftigkeit von Angaben über die Reichweite
("Lebensdauer") von Rohstoffen...

geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen der
Seltenen Erden...

geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen des
Lithiums...

Schlussfolgerung

Li Gehalt:

Spodumen	$\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	3,73
Zinnwaldit	$\text{KLiFe}^{2+}\text{Al}[(\text{OH},\text{F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	1,59
Petalite		
Lepidolith		
Brines		200 – 1200 ppm
Erdöl-Formationswässer		ca. 700 ppm
Hectorit	$\text{Na}_{0,3}(\text{Mg},\text{Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$	1,38
Jadarite	$\text{NaLi}[\text{B}_3\text{SiO}_7(\text{OH})]$	3,16

Verwendung

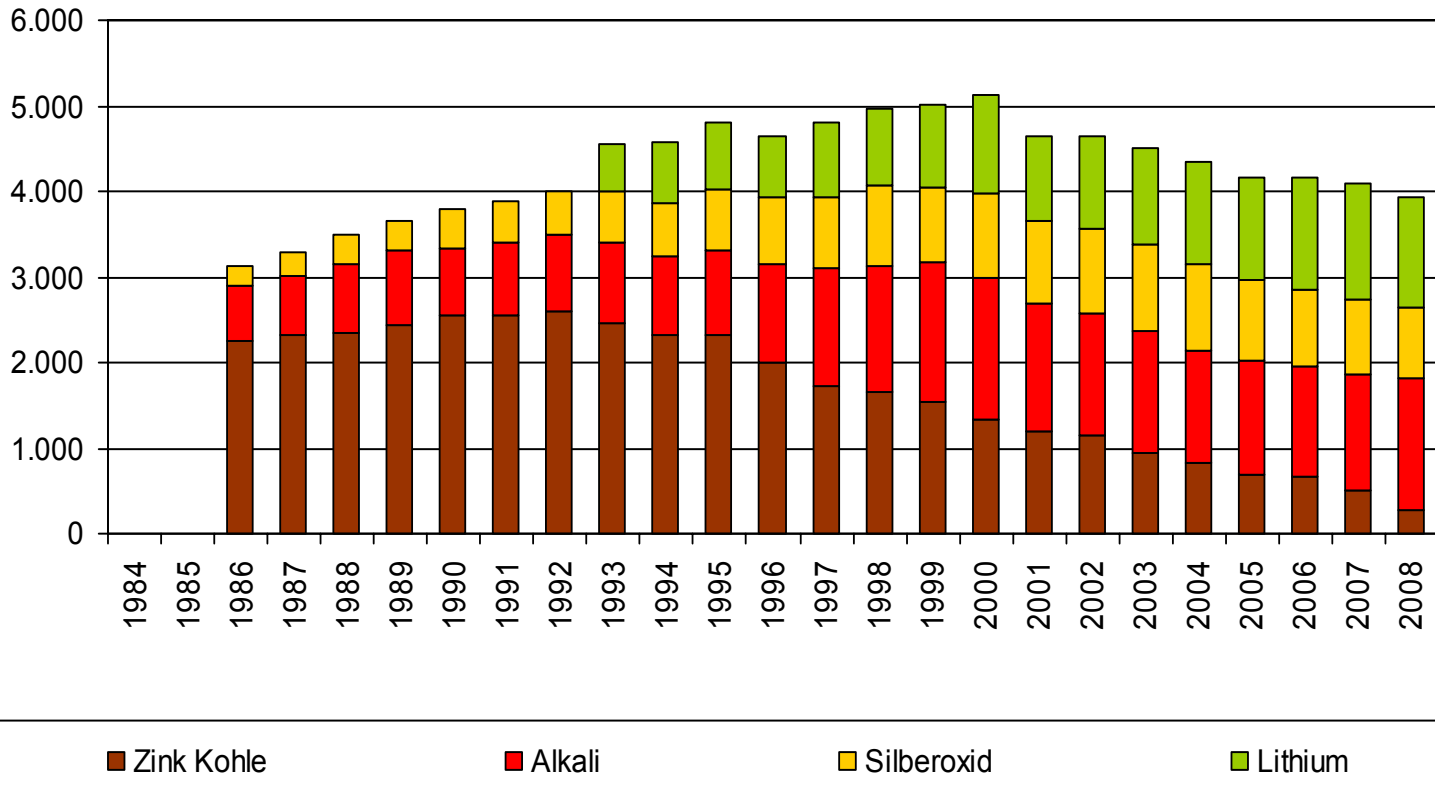


www.bmwfj.gv.at

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

Keramik, Glas	37%
Batterien	20%
Schmiermittel	11%
Al-Legierungen	7%
Klimaanlagen	5%
Gießerei	5%
Gummi, Kunststoffe	3%
Pharmazeutika	2%
Sonstiges	10%

Batterieerzeugung in Mio Einheiten (ohne KFZ Batterien)



Quelle: Battery Association of Japan

Lagerstättentypen

Solen (Brines) aus Salzseen

58,4%



Lagerstättentypen

Solen (Brines) aus Salzseen
Pegmatite

58,4%
25,4%



Lagerstättentypen

Solen (Brines) aus Salzseen	58,4%
Pegmatite	25,4%
Hectoritvorkommen	6,6%



Lagerstättentypen



www.bmwfj.gv.at

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

Solen (Brines) aus Salzseen	58,4%
Pegmatite	25,4%
Hectoritvorkommen	6,6%
Geothermalsysteme	3,3%
Jadarite	2,8%
Erdöl-Formationswässer	2,5%

Größte Lithiumproduzentenländer (2008)



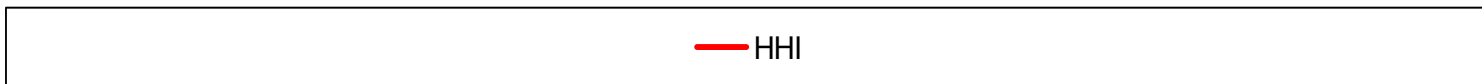
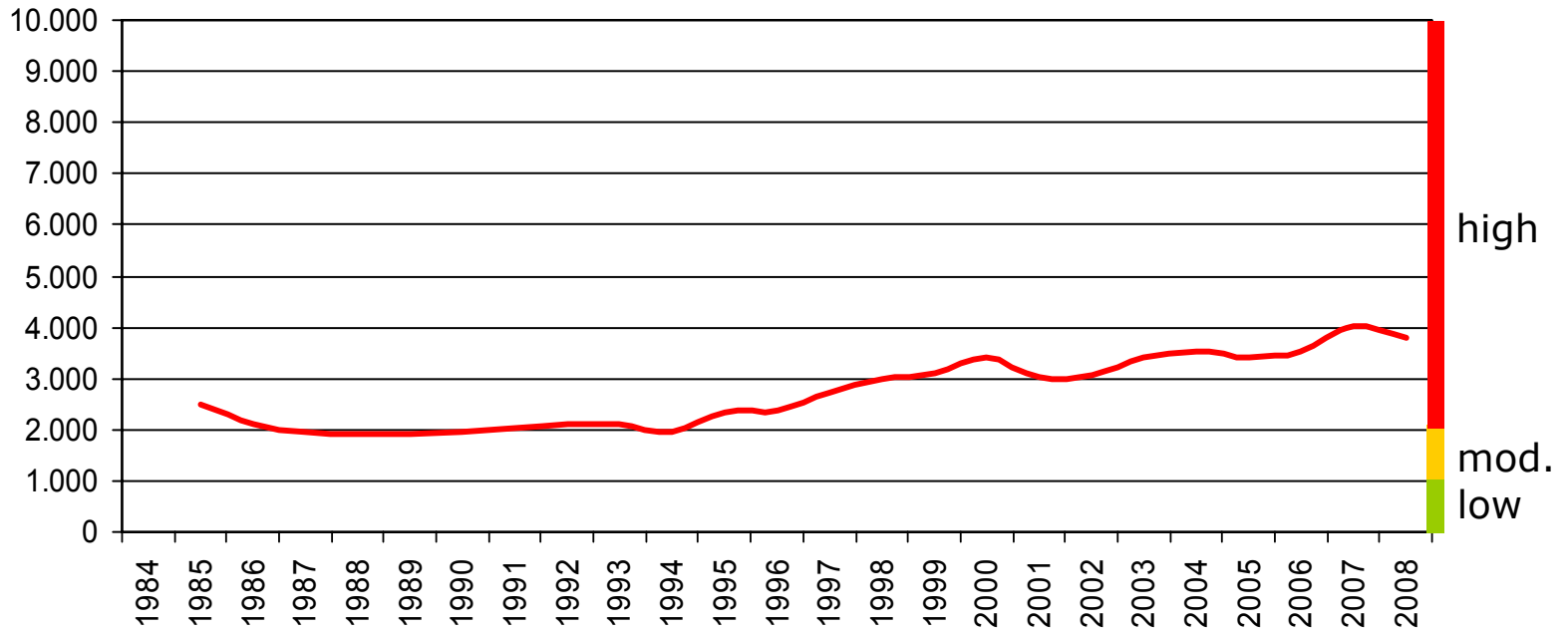
www.bmwfj.gv.at

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

		Anteil %	kumm.	HHI
Chile	22 997	53,71	53,71	
Australien	11 976	27,97	81,68	
USA	3 230	7,54	89,23	
Total	42 815 (Li ₂ O)			3781

Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

Entwicklung der Länderkonzentration ausgedrückt als HHI



Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

Größte Lithiumproduzenten (2008)



www.bmwfi.gv.at

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

	Anteil %	kumm.	HHI
SQM (CHILE)	27,49	27,49	
Talison (AUS)	23,78	51,27	
Rockwood / Chemmet (CHILE)	18,97	70,24	
FMC	13,99	84,23	
China	8,35	92,58	
Rockwood / Chemmet (USA)	3,11	95,69	
Andere (2)	2,15	97,84	
	2,15	100,00	1965

Li-Vorräte nach Lagerstättentypen in Mio metr. t Li-Metall (2008)



www.bmwfj.gv.at

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

Brines	(Evans)	(Tahil)
S. Atacama	6,9 Mio t	1,0
S. Unuyi	5,5 Mio t	0,6
China, Tibet	2,6 Mio t	1,33
Rincon	1,9 Mio t	0,25
S. Hombre Muerte	0,9 Mio t	0,4
Smackover	0,8 Mio t	--
andere		0,42
	18,6 Mio t	4 Mio t *
Pegmatite		
North Carolina	2,5 Mio t	--
Zaire	2,3 Mio t	--
Russland	1,0 Mio t	--
China	0,7 Mio t	--
Greenbushes	0,2 Mio t	--
andere	1,0 Mio t	--
Tone (Hectorite)		
Kings Valley	2,0 Mio t	--
	28,4 Mio t	

Entwicklung der Li-Vorräte in Mio metr. t Li-Metall

	K.Evans	Tahil	USGS
2008	28,40	17,30	11,0
2009	30,12		11,0
2010	34,50 *		**

* Li-Conference Las Vegas 2010

** nicht mehr erhoben

statische Reichweite (Berechnungsbasis 2008): ca. 1400 a

Li Projekte

Jahreskapazität Li-Karbonat

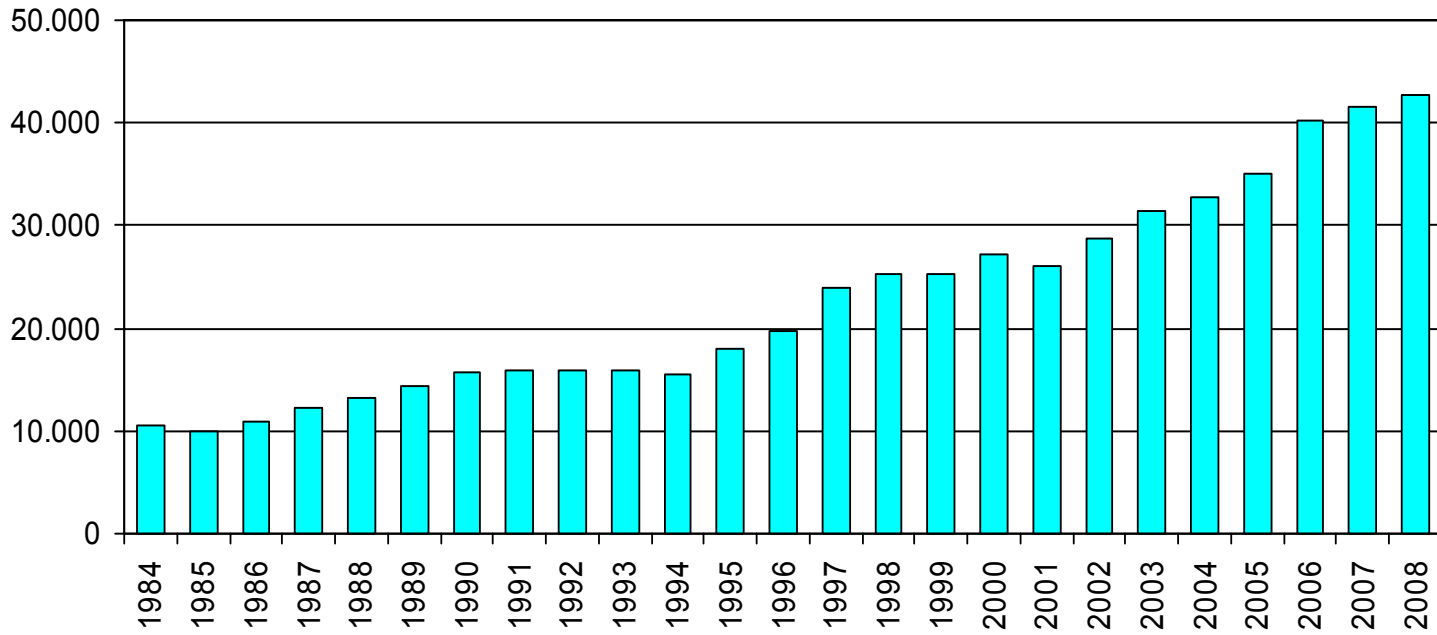


Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

www.bmwfi.gv.at

Salar del Rincon (Brine)	17.000
CITIC (Brine) China	35.000
Dangxioncuo (Brine) Tibet	5.000
Lake Zobayu (Brine) Tibet	5.000
Salar de Uyuni (Brine) Bolivien	??
Separation Rapids (Pegmatit) Kanada	5.000
Läntää (Pegmatit) Finnland	150.000
Jiajika (Pegmatit) China	5.000
Kings Valley (Pegmatit) USA *	
Covas do Borroso (Pegmatit) Portugal *	

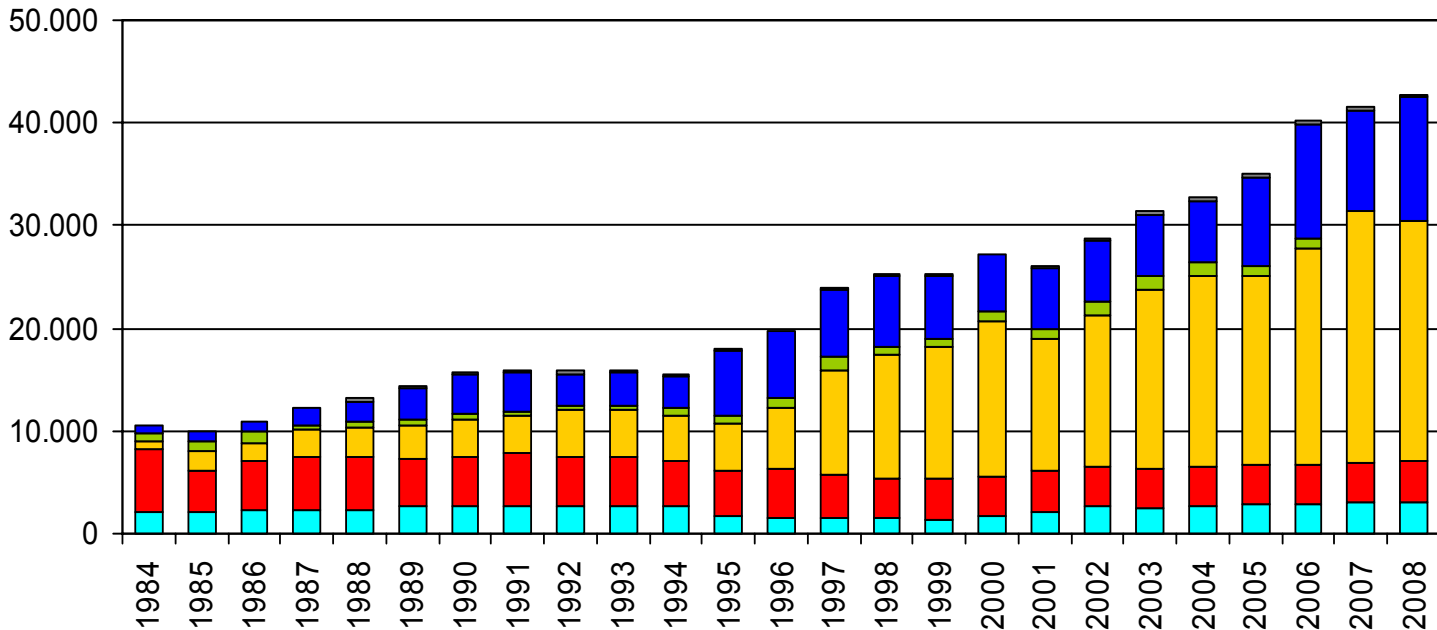
Weltproduktion an Li_2O in metr. t



■ Lithium

Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

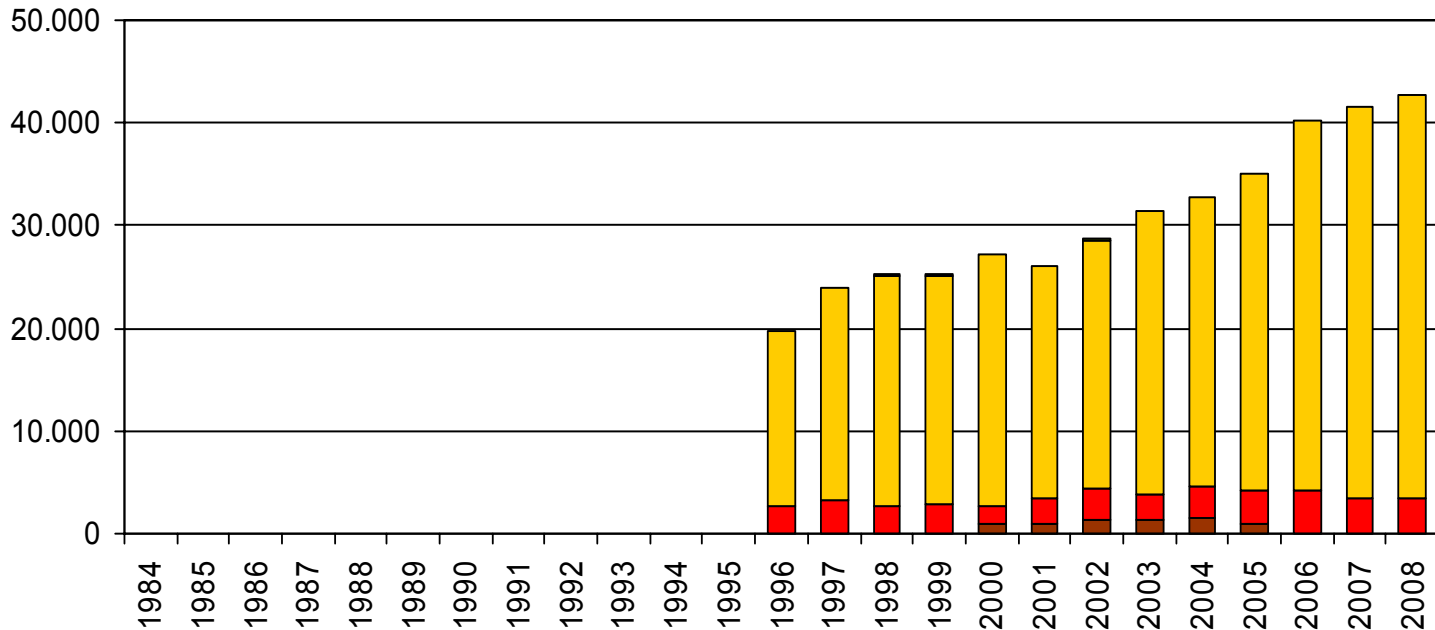
Weltproduktion an Li₂O in metr. t (nach Kontinenten)



Asien N-Amerika S-Amerika Afrika Australien Europa

Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

Weltproduktion an Li_2O in metr. t (nach politischer Stabilität)



extr-kritisch

kritisch

unauffällig

stabil

Quelle: WEBER, L., ZSAK G., REICHL C. & SCHATZ, M.: WORLD MINING DATA 2010

Seltene Erden:

- mehrere Lagerstättentypen
- neue Lagerstättentypen
- überdurchschnittlich hohe Vorratsbasis
- hohe Länderkonzentration
- hohes politisches Risiko der Produzentenländer
- mehrere Projekte im Anlaufen

**stark steigender Bedarf durch neue Technologien
(mittelfristige) Versorgungsengpässe nicht
auszuschließen...**

Lithium:

- mehrere Lagerstättentypen
- neue Lagerstättentypen
- überdurchschnittlich hohe Vorratsbasis
- neue Abbau- und Aufbereitungsmethoden können Vorratsbasis wesentlich erhöhen
- geringes politisches Risiko der Produzentenländer
- zahlreiche Projekte im Anlaufen

Erst im Steigen begriffener Bedarf, insbesondere bei Elektrofahrzeugen; keine Versorgungsengpässe erkennbar...

- Die Erde ist ein geschlossenes System...
- Lagerstätten erneuern sich nur in geologischen Zeiträumen...
- Sparsamer Umgang mit natürlichen Ressourcen durch Lagerstättenschutz (bergmännische Ressourcenschonung)
- Sparsamer Umgang mit den Materialien (Materialeffizienz)
- Verstärkte Rückgewinnung zur Schonung der natürlichen Ressourcen
- Forschung und Entwicklung
 - Lagerstättengeologie
 - Entwicklung neuer Abbaumethoden
 - Aufbereitungsmethoden
 - Verfahrenstechnik

Die geologische und tatsächliche Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen für künftige Energietechnologien

L. Weber

