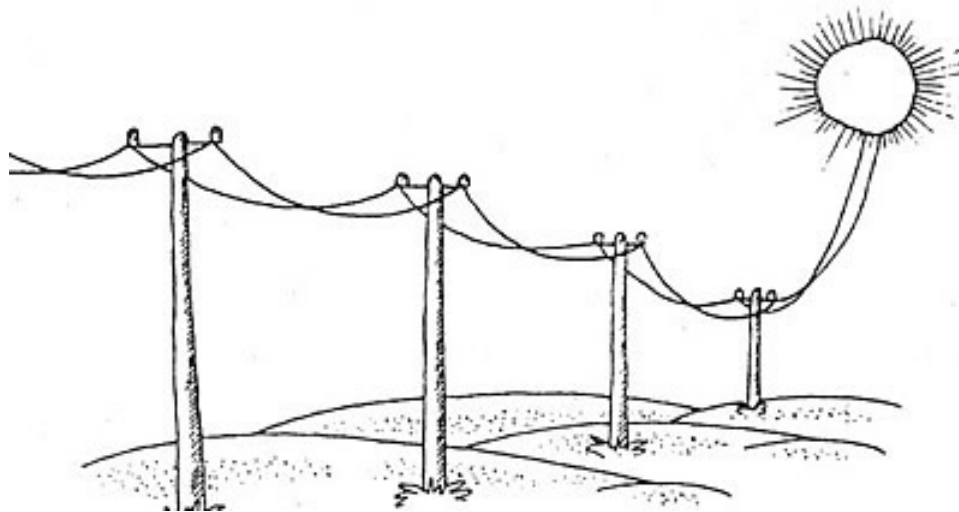


# Die geologische und tatsächliche Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen für künftige Energietechnologien

L. Weber



Zur Frage der Abschätzung der Reserven / Ressourcen...

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

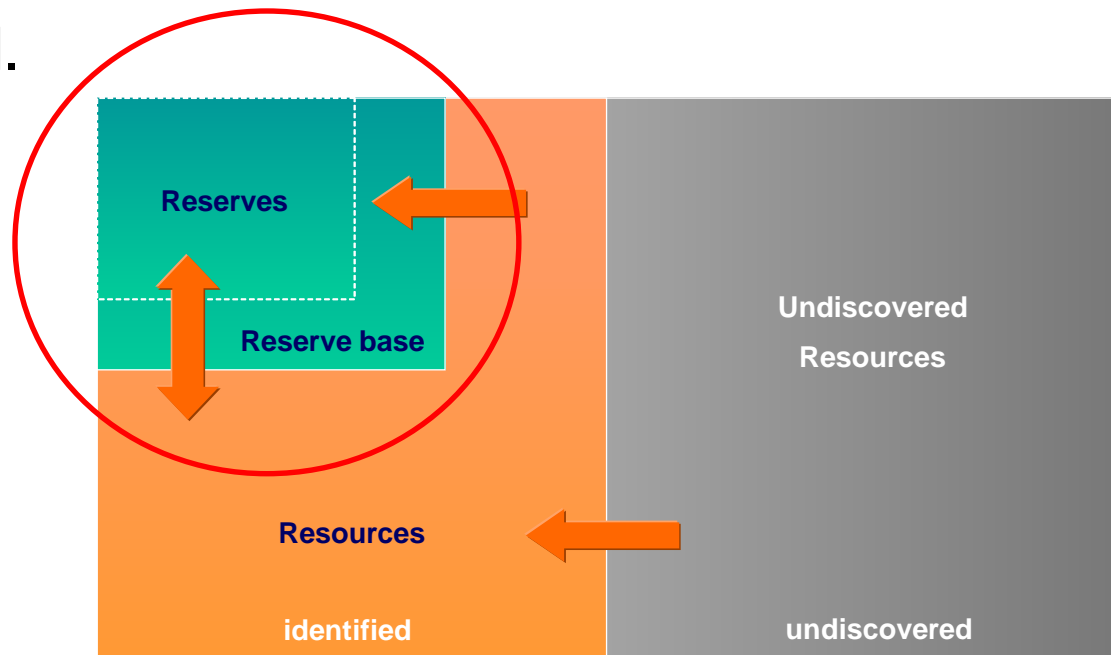
geologische bzw. tatsächliche Verfügbarkeit von Rohstoffen der  
Seltenen Erden...

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...

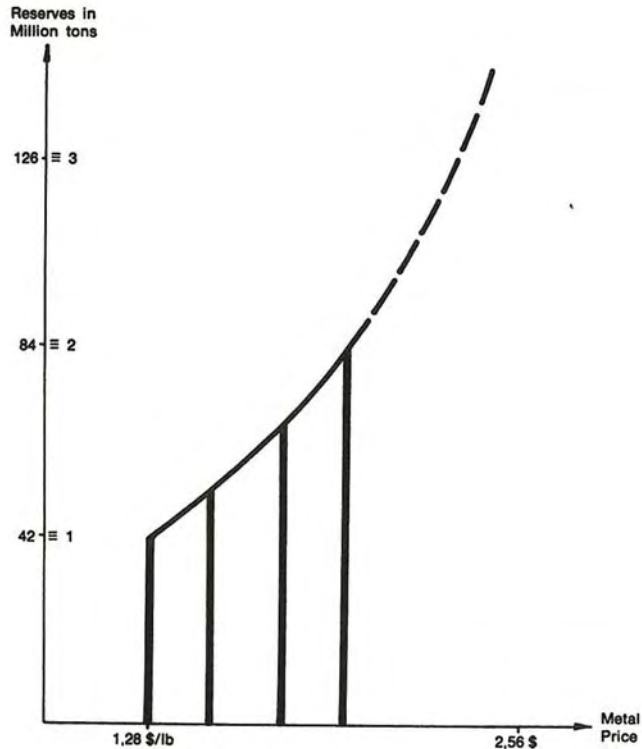


Abbildung 2: Weltnickelreserven als Funktion der Preise (USBM 1969). Zunahme der Vorräte bei steigenden Rohstoffpreisen.

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:

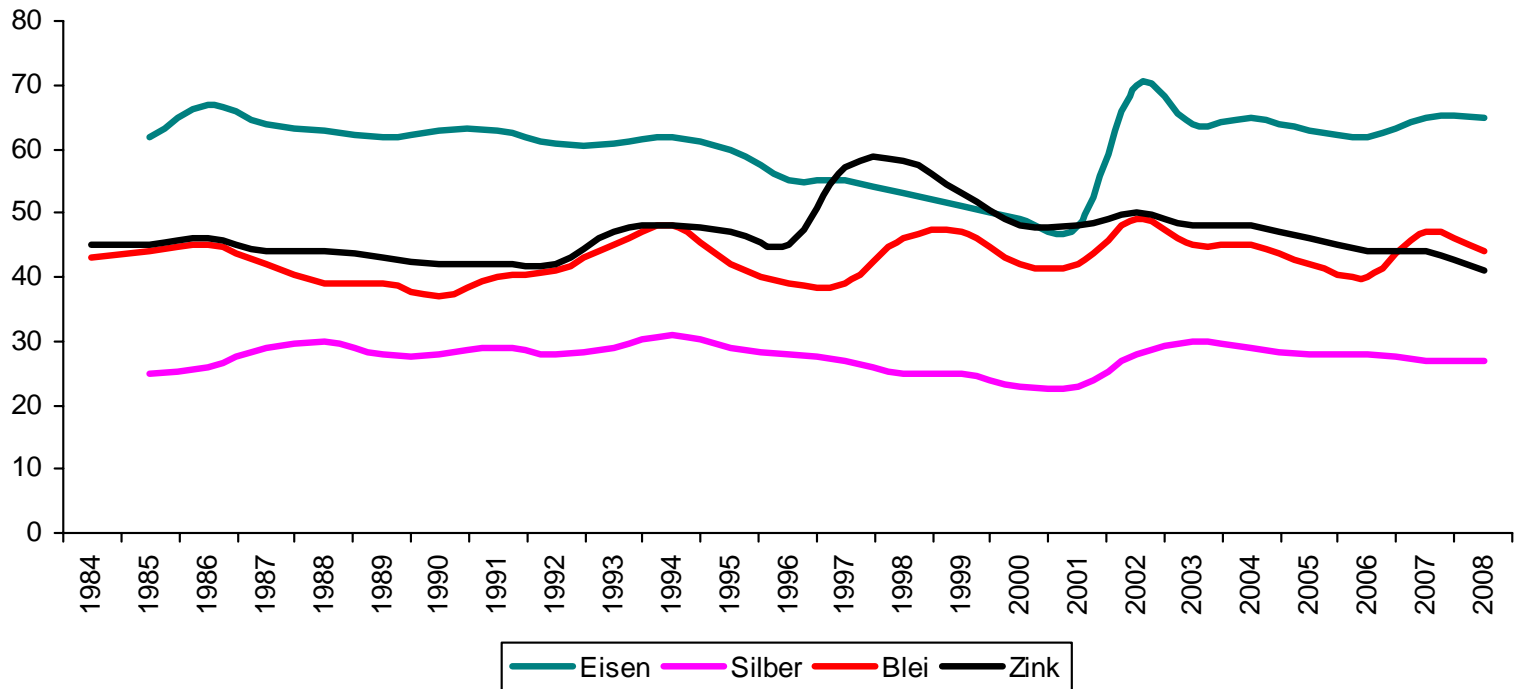
**...Gold would run out in 1981,  
silver and mercury in 1985,  
zinc in 1990...**

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:

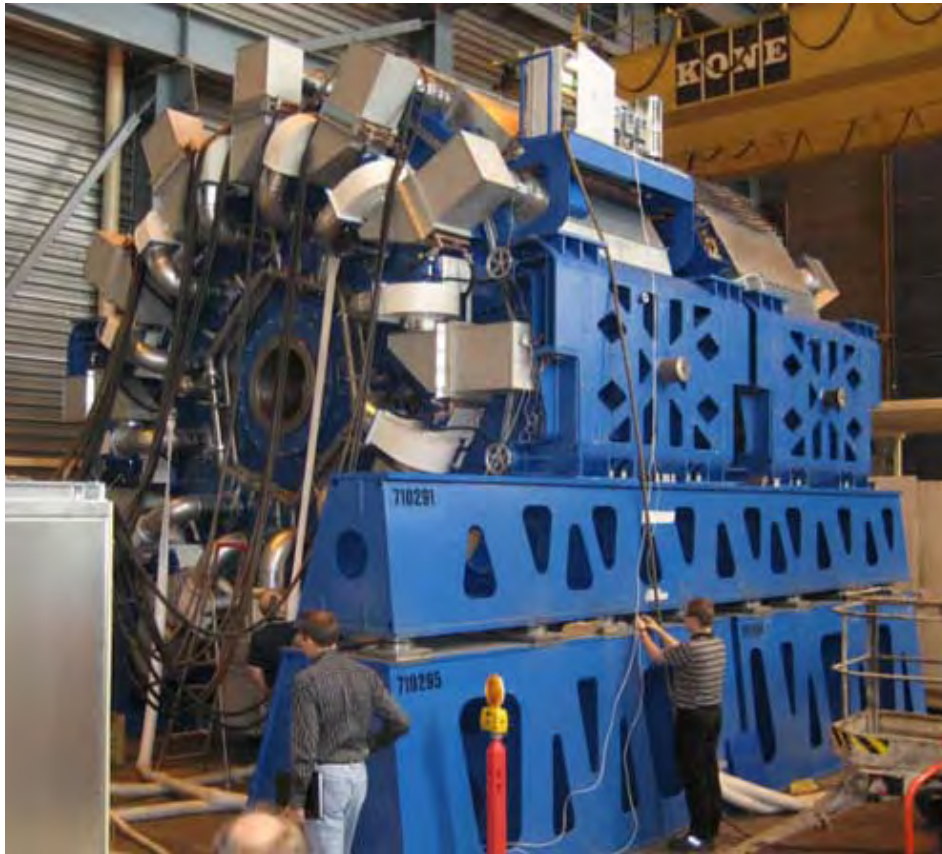
Gruppe von 17 Elementen:

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..)



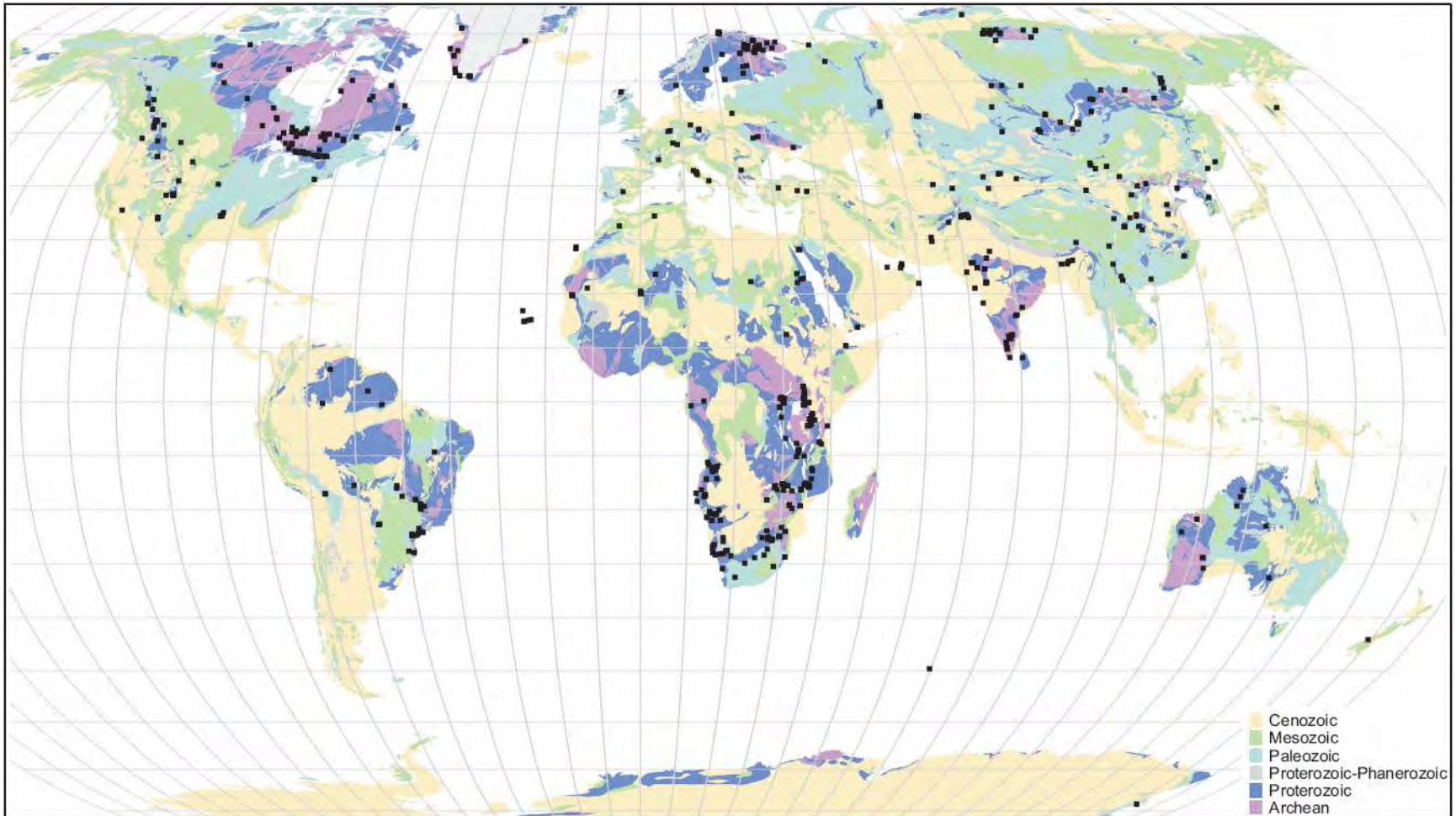
# Lagerstättentypen

## Karbonatite

Mountains Pass, Bayan Obo (Bastnäsit)



# Karbonatite



# Karbonatite Mountains Pass

[www.bmwfj.gv.at](http://www.bmwfj.gv.at)



**bmwfi**

Bundesministerium für  
Wirtschaft, Familie und Jugend

Bastnäsit  
in Fe-Karbonat  
Mountains Pass

Foto: L. WEBER



# Lagerstättentypen



---

[www.bmwfj.gv.at](http://www.bmwfj.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)

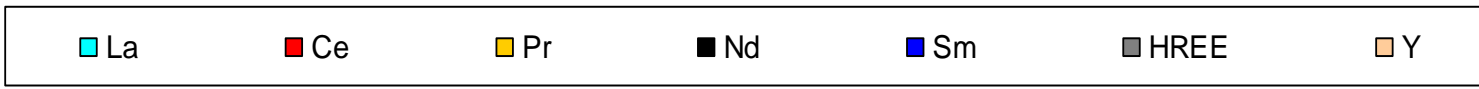
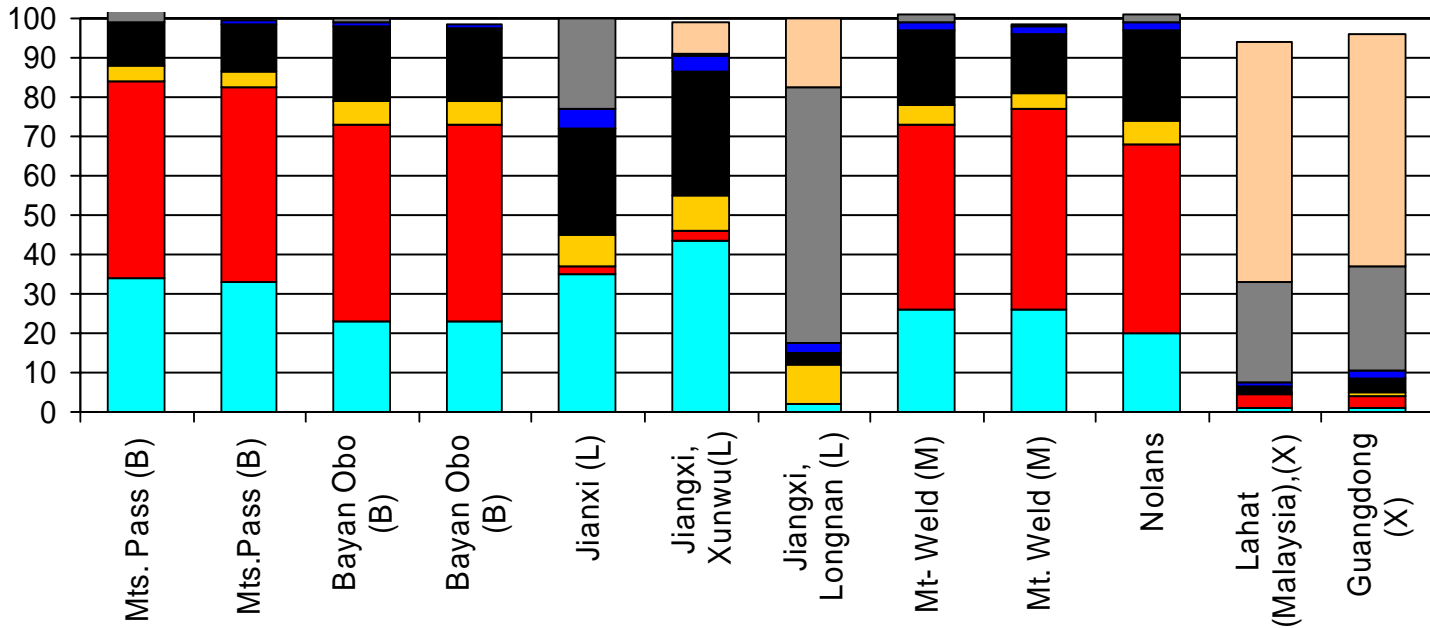


[www.bmwfj.gv.at](http://www.bmwfj.gv.at)

Bundesministerium für  
Wirtschaft, Familie und Jugend

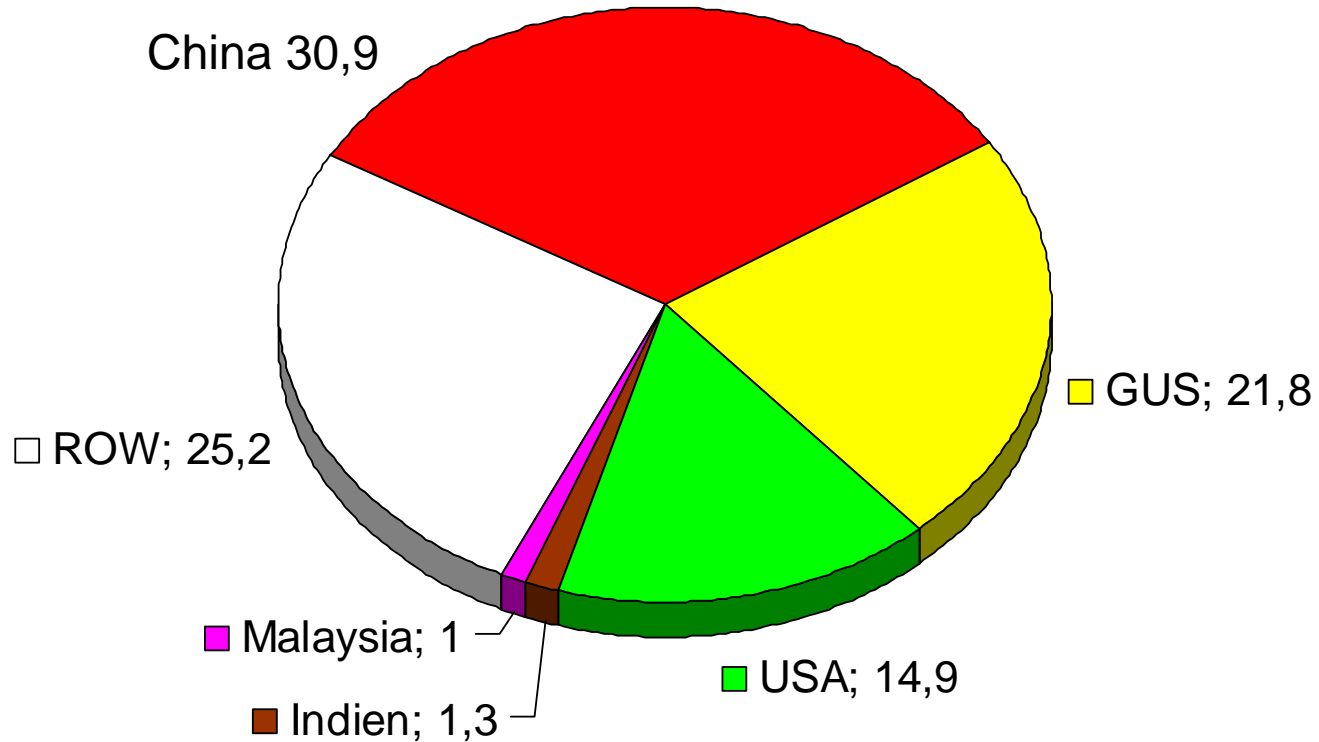


# Lagerstättentypen





# Verteilung der Ressourcen



Quelle: USGS

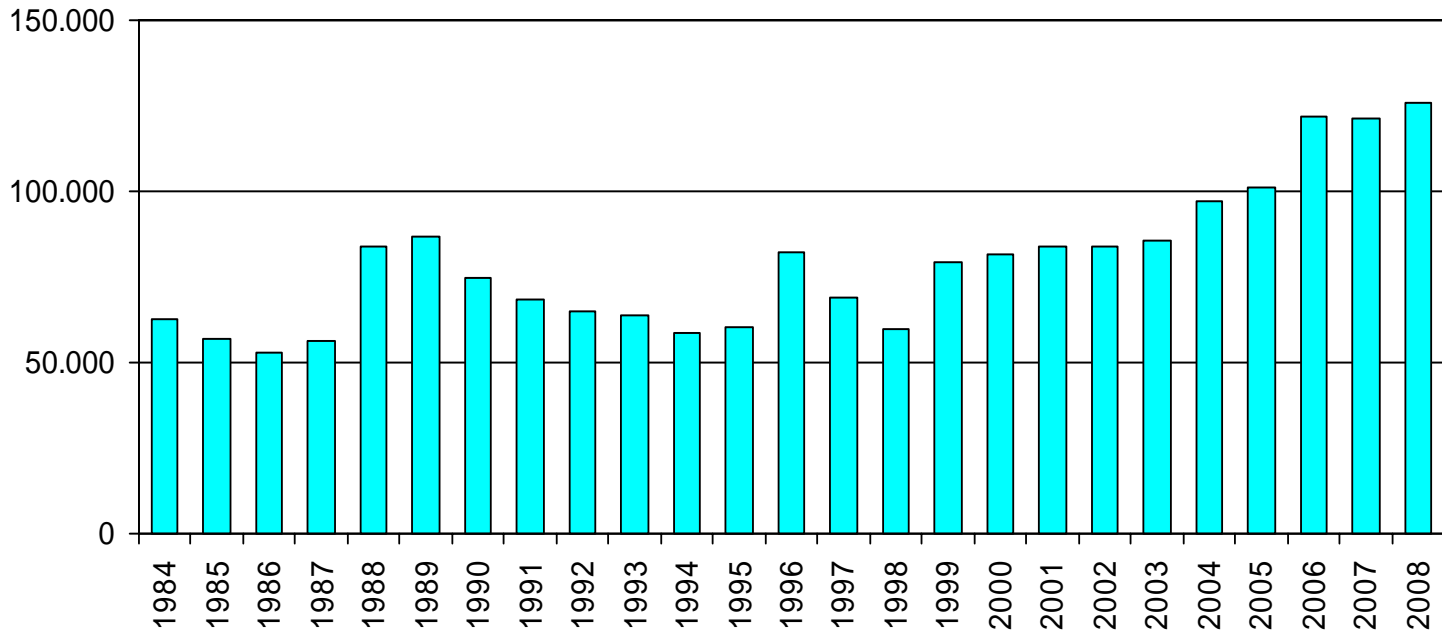
## Reserve base **USGS**

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**

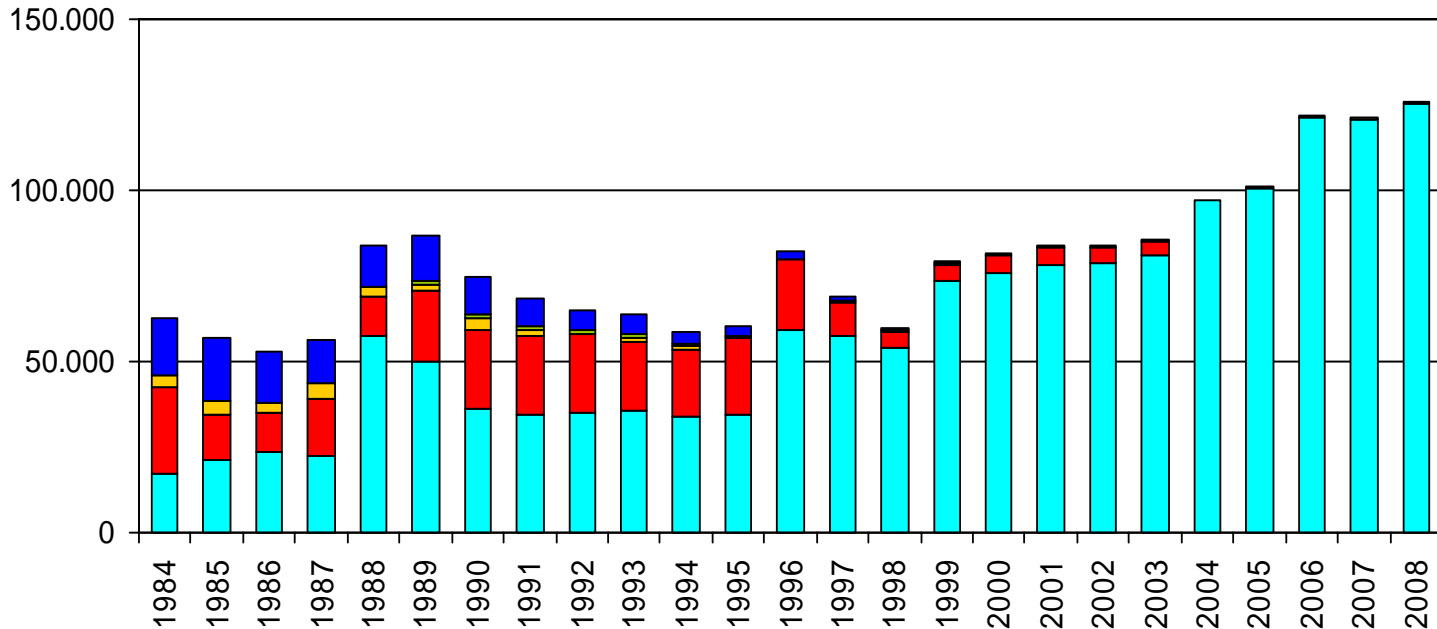
# Weltproduktion an SEE in metr. t



■ SEE

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

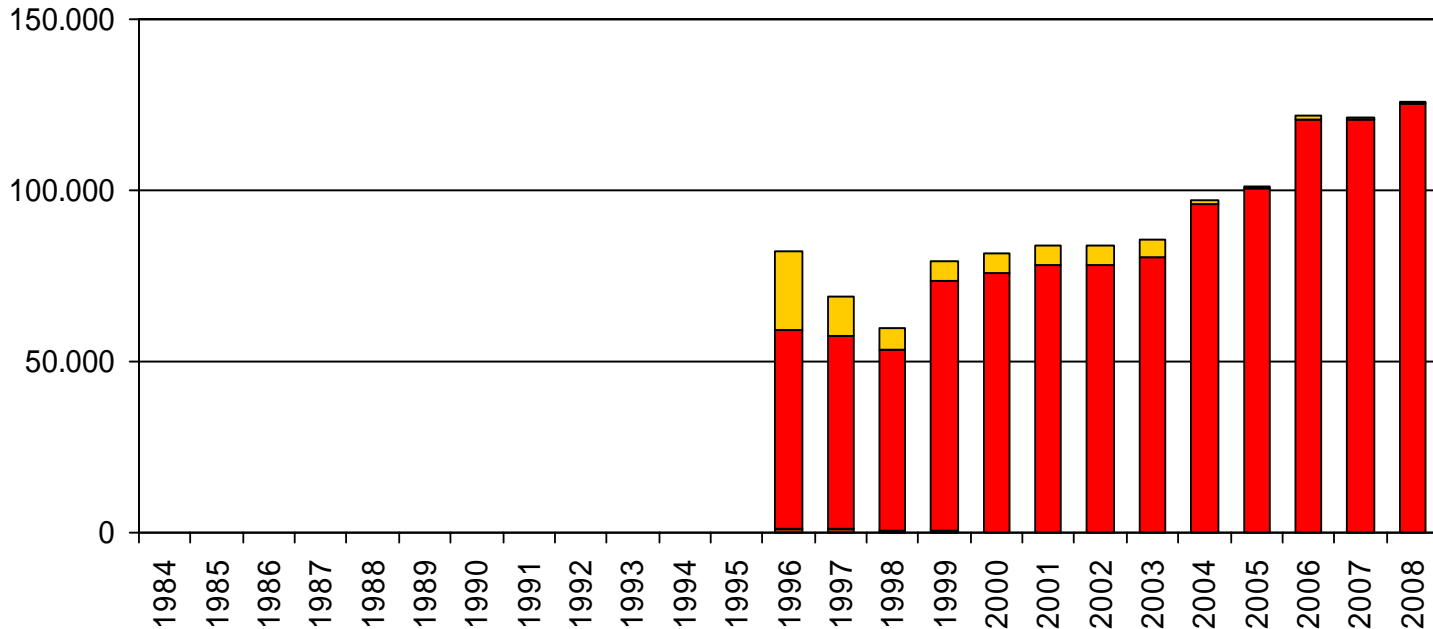
# Weltproduktion an SEE in metr. t (nach Kontinenten)



■ 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](http://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			<b>9893</b>

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

## (modifizierte) HHI - Indizes



[www.bmwfj.gv.at](http://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**

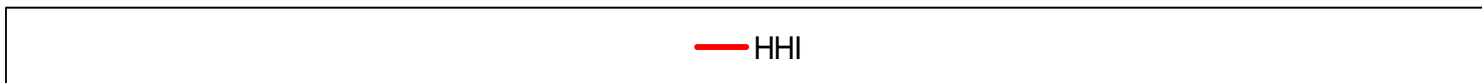
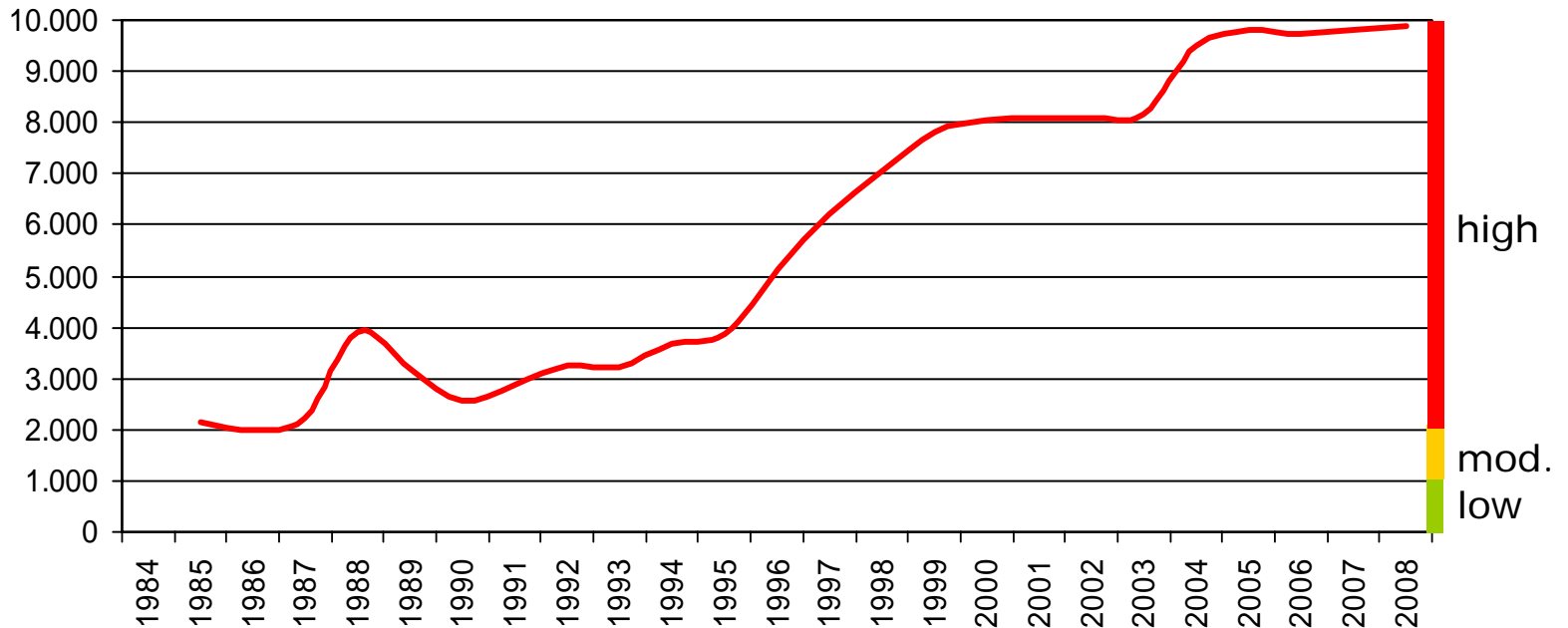
e = enterprise concentration  
c = country concentration

# Entwicklung der Länderkonzentration Ausgedrückt als HHI



www.bmwfj.gv.at

Bundesministerium für  
Wirtschaft, Familie und Jugend



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...**

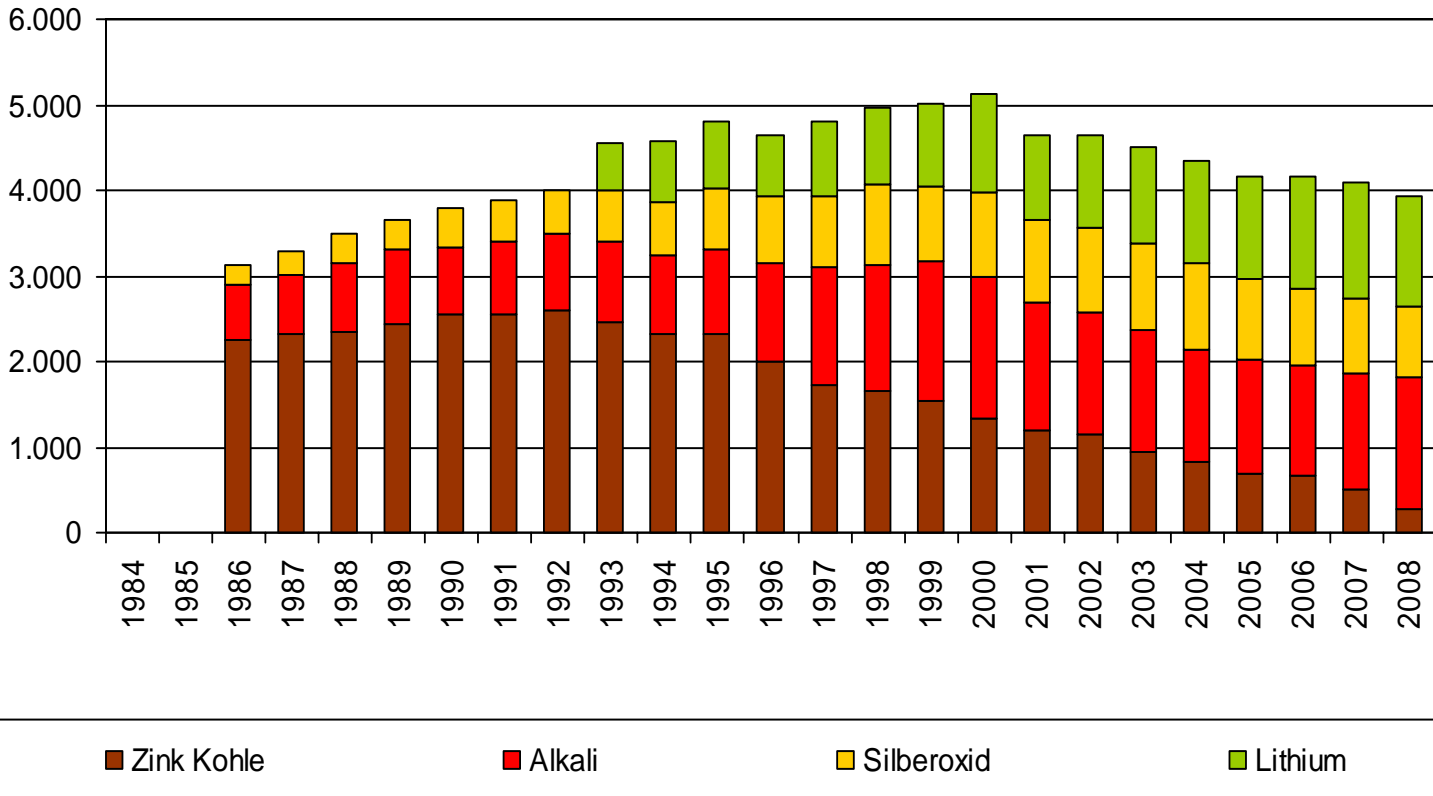
Schlussfolgerung

## 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

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	58,4%
Pegmatite	25,4%



# Lagerstättentypen

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



# Lagerstättentypen



[www.bmwfj.gv.at](http://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)



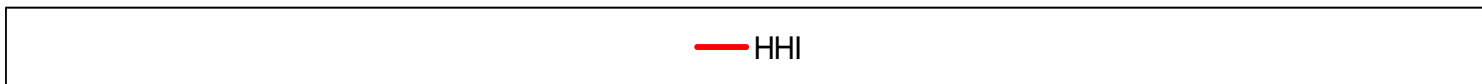
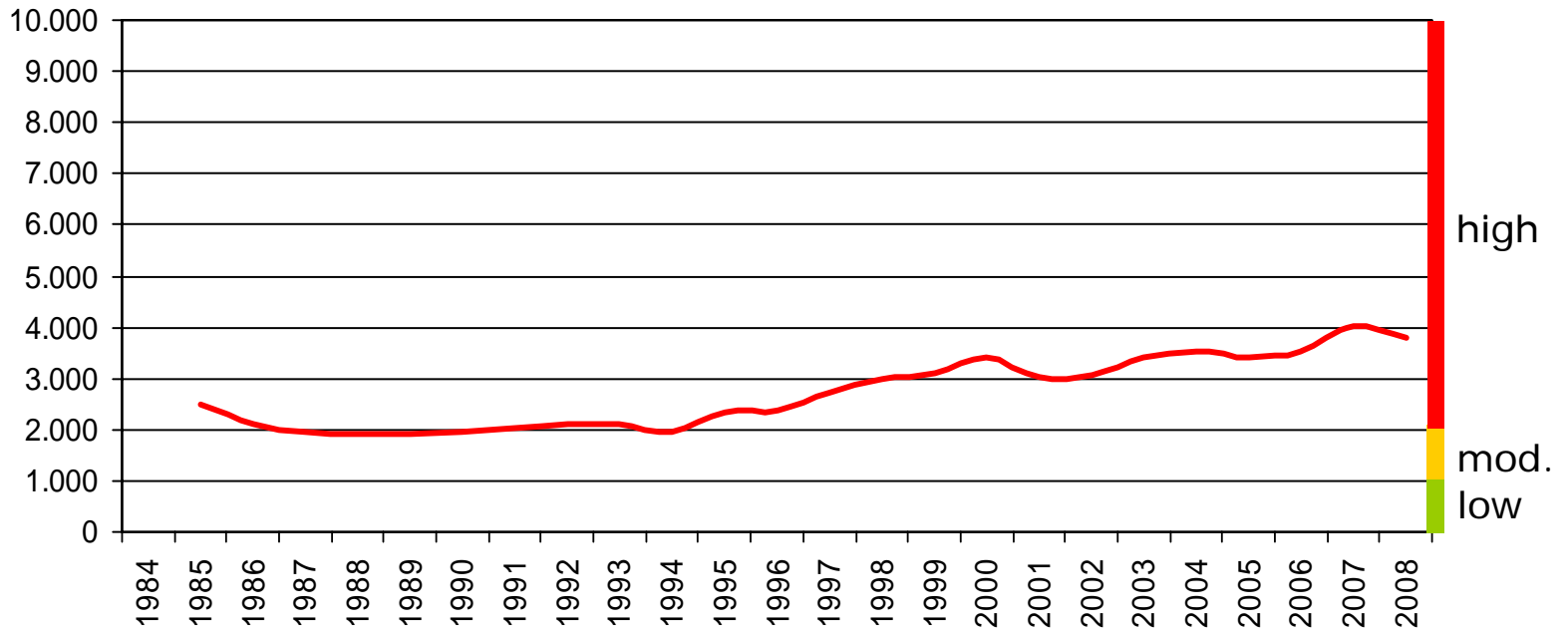
[www.bmwfj.gv.at](http://www.bmwfj.gv.at)

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 <sub>2</sub> O)			<b>3781</b>

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](http://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	<b>1965</b>

# 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



Bundesministerium für  
Wirtschaft, Familie und Jugend

[www.bmwfj.gv.at](http://www.bmwfj.gv.at)

	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

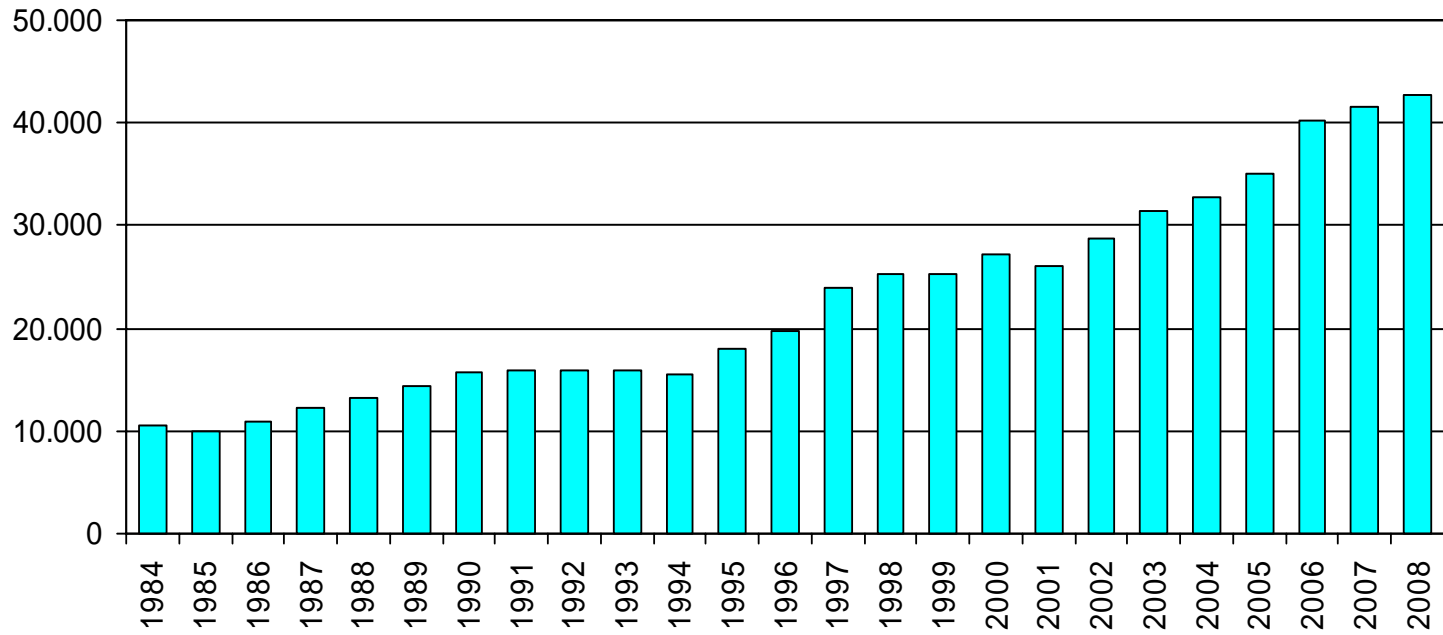


[www.bmwfj.gv.at](http://www.bmwfj.gv.at)

Bundesministerium für  
Wirtschaft, Familie und Jugend

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 *	

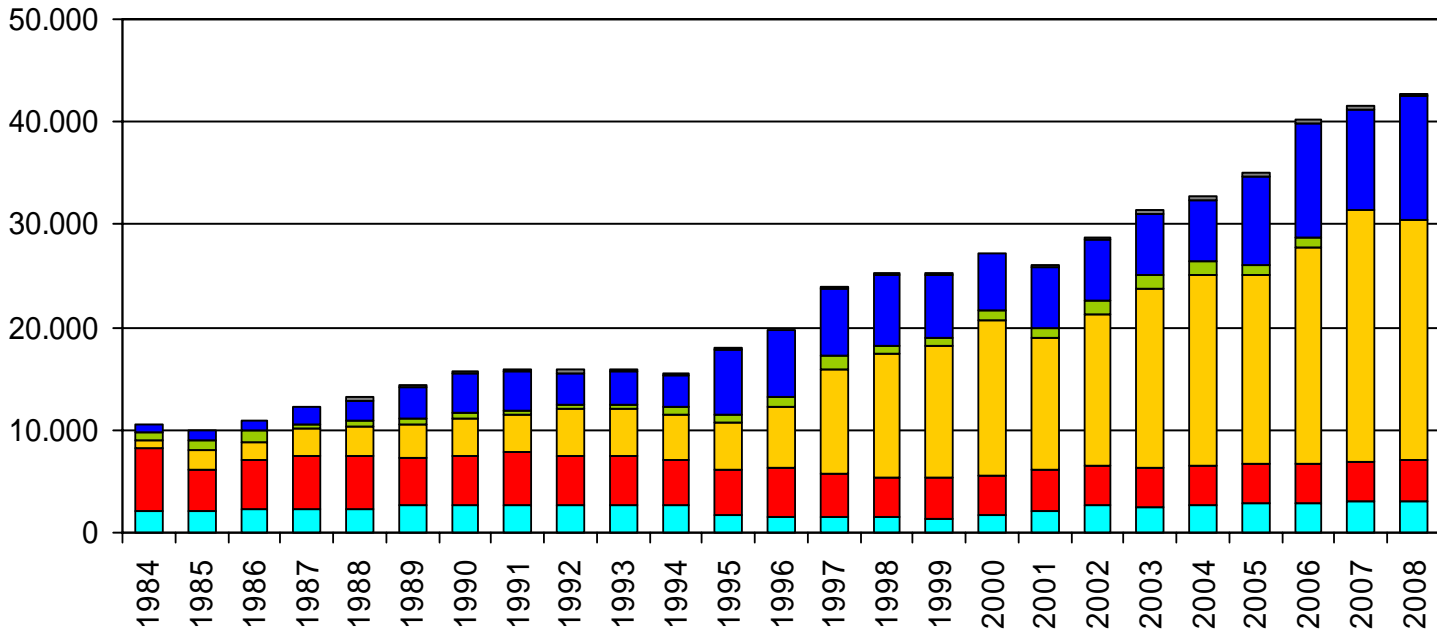
# Weltproduktion an Li<sub>2</sub>O in metr. t



■ Lithium

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

# Weltproduktion an $\text{Li}_2\text{O}$ in metr. t (nach Kontinenten)

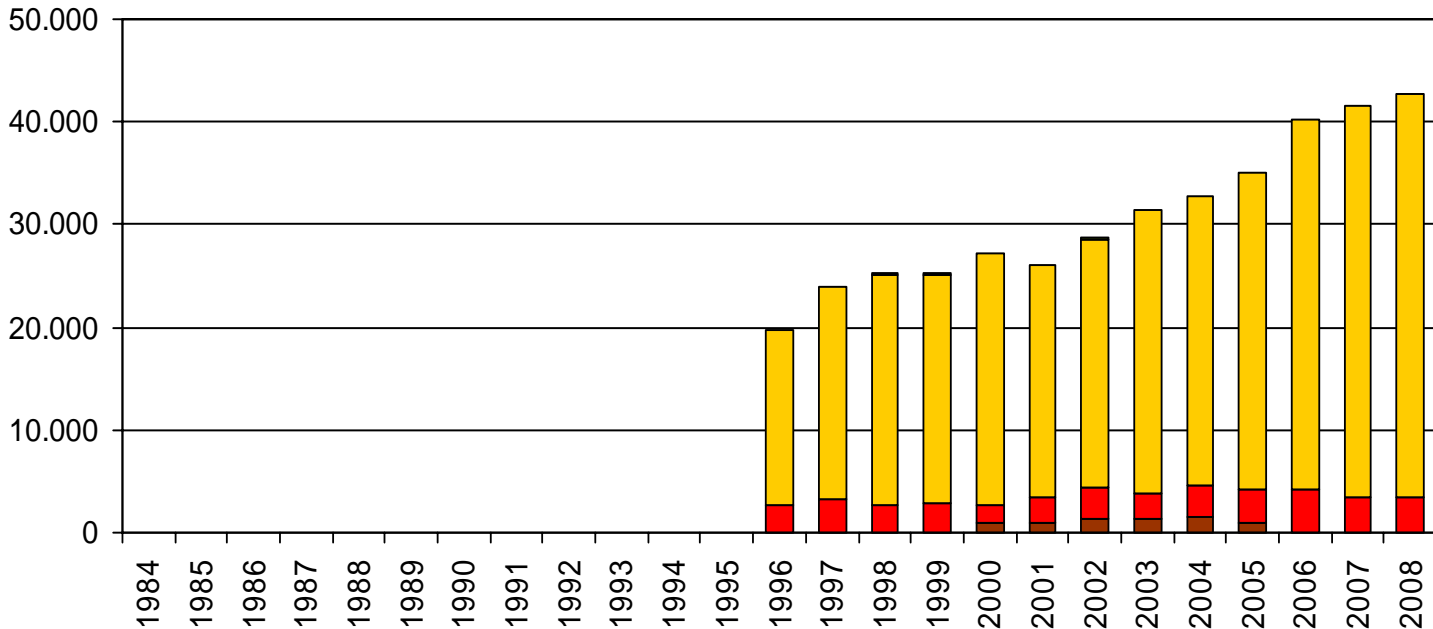


Asien N-Amerika S-Amerika Afrika Australien Europa

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



# Weltproduktion an Li<sub>2</sub>O 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

