

# **Das Rohstoffangebot der Erde**

von

Leopold Weber

---

Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten;  
Grundlagen der Rohstoffversorgung, Heft 9,  
Neue Rohstoffe für neue Technologien – Symposium in Wien  
am 21. und 22. März 1988, Wien 1988.



# Das Rohstoffangebot der Erde

L. Weber

## Der Club of Rome

Vor nunmehr rund 20 Jahren, im Jahre 1968 trafen in Rom 70 Wissenschaftler, Industrielle, Wirtschaftsexperten und Humanisten zusammen, um die Ursachen und inneren Zusammenhänge der sich immer stärker abzeichnenden Probleme in Zusammenhang mit dem Wachstum der Menschheit zu ergründen.

Im Bericht des "Club of Rome" zur Lage der Menschheit wurde unter anderem ein recht düsteres Szenarium bezüglich der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe gemalt:

*"Auch wenn man die wirtschaftlichen Faktoren wie Preiserhöhungen bei Verknappungen nicht in Betracht zieht, erscheinen uns die gegenwärtigen Vorräte an Platin Gold, Zink und Blei nicht mehr ausreichend, um die Nachfrage zu befriedigen. Bei der gegenwärtigen Expansionsrate können Silber, Zink und Uran selbst bei sehr hohen Preisen noch in diesem Jahrhundert knapp werden. Bei der gegenwärtigen Verbrauchsrate ist zu erwarten, daß um 2050 die Vorkommen weiterer Minerale erschöpft sind.*

*Zwar wurden erst in jüngster Zeit neue Vorkommen entdeckt, aber es gibt nicht mehr viel Gebiete, in denen die Suche nach Mineralien noch sinnvoll ist. Die Ansichten der Geologen über die Chancen, auf neue, ergiebige Erzlagerstätten zu stoßen, gehen auseinander. Es wäre auf lange Sicht unklug, sich auf Neuentdeckungen zu verlassen."*

Heute wissen wir, daß die recht pessimistischen Annahmen nicht realistisch waren. Einer der Ursachen für diese Fehleinschätzung war sicherlich die völlig unzureichende Berücksichtigung und Einbeziehung der Erkenntnisse der modernen Rohstoffgeologie sowie der Prospektionstechnik, Fehleinschätzungen über Zuwachsraten, von Verbrauch und Nachfrage, sowie der Entwicklung moderner rohstoffsparender Technologien.

Eine der krassesten Fehleinschätzungen betrafen sicher die Metalle Silber und Zinn:

Unter Annahme einer statischen Entwicklung (auf Basis Mitte der 60-er Jahre) wären lediglich Silbervorräte für 16 Jahre, Zinnvorräte für 17 Jahre, bei dynamischer Betrachtung gar nur Silber für 13 und Zinn für 15 Jahre verfügbar gewesen. Derartige Angaben einer "Lebensdauer" eines Rohstoffes ausgedrückt in Jahren sind allein aus geologischer Sicht abzulehnen und sollten eher als Kennziffer verstanden werden.

Beide Metalle dürften uns heute aus natürlichen Rohstoffvorkommen nicht mehr zur Verfügung stehen. Tatsache aber ist, daß die heute bekannten und verfügbaren Vorräte beider Metalle für die nächsten Jahrzehnte ausreichen. Aus dem Preisniveau beider Rohstoffe läßt sich ebenfalls keineswegs eine drohende Verknappung ableiten.

Uns wurde aber deutlich vor Augen geführt, und dies war und ist sicherlich kein Irrtum, daß Rohstoffvorkommen endlich sind, und eine sparsame Nutzung geboten ist.

An Hand einiger wichtiger Rohstoffe sollen die unterschiedlichen Entwicklungen, vor allem aber einige interessante Interdependenzen vor Augen geführt werden, wobei versucht werden soll, auch auf die Rohstoffe für die Hochtechnologie etwas einzugehen.

Aufgerüttelt durch die zum Teil alarmierenden Prognosen begannen Bergbauunternehmungen weltweit in nicht immer edlem Wettstreit ihre Rohstoffbasis im eigenen Lande, in erster Linie aber im Ausland abzusichern.

### **Angebot sucht Nachfrage**

Die Folge des Explorationsbooms der vergangenen beiden Jahrzehnte:

Der integrative Einsatz verschiedenster Prospektions- und Explorationsmethoden hat, aufbauend auf geologisch fundierten Suchkonzepten, zum Beispiel Plattentektonik, zu einem bemerkenswerten Anstieg der Rohstoffvorräte geführt. Völlig unberücksichtigt sind dabei aber noch jene Mengen, die jährlich abgebaut wurden.

Bei einer Reihe von wichtigen mineralischen Rohstoffen sind heute mehr Vorräte bekannt als je zuvor. Es wurden aber in den beiden vergangenen Jahrzehnten nicht nur die Vorräte deutlich erhöht, sondern auch die Produktionskapazitäten, um bei sinkenden Metall-

gehalten überhaupt rentabel produzieren zu können. Dies hat aber in bestimmten Sektoren dazu geführt, daß aus einer nunmehr eingetretenen Disproportionalität zwischen Angebot und Nachfrage Rohstoffe nicht mehr in vollem Umfang abgesetzt werden können. Das Überangebot manifestiert sich dabei heute recht deutlich im gedrückten Rohstoffpreisniveau. Viele renommierte Bergbaue mußten in den letzten Jahren zeitweilig stillgelegt oder überhaupt geschlossen werden. Die letzten Jahre waren von derartigen Schließungen geprägt, eine Entwicklung, die fatal an jene des Jahres 1929 erinnert, wo als Folgewirkung der Weltwirtschaftskrise eine Reihe von Bergbauen, und n i c h t als Folge einer Vorratsverknappung schließen mußten.

Auch fertig explorierte Lagerstätten werden heute angesichts der Unabsetzbarkeit der Rohstoffe einfach nicht mehr aufgeschlossen oder Projekte trotz erfolgreichen Verlaufes abgebrochen, einfach deswegen, weil, wie SAMES es in seinem Buch "Anaconda" ausdrückte, die Geologen "too bloody good" arbeiteten und eine Unzahl von bislang unbekanntem, ja sogar unerwarteten Vorkommen entdeckten. So fällt bereits heute auf jeden produzierenden Kupfererzbergbau eine komplett explorierte oder sogar bereits erschlossene Kupfererzlagerstätte.

Es darf nämlich nicht übersehen werden, daß die Projekte in günstigen Zeiten begonnen wurden. Bis ein auf der "grünen Wiese" entdecktes Vorkommen ausreichend prospektiert, exploriert und aufgeschlossen ist, kann oft ein Jahrzehnt verstreichen, ein Zeitraum, in denen sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen oft grundlegend ändern können.

**Sind Rohstoffprognosen überhaupt möglich?**

Rohstoffproduktion: Bekannte oder Unbekannte?

Eine wichtige Voraussetzung für Rohstoffprognosen stellen ausreichend sichere Angaben über die Produktion, Vorräte sowie andere lagerstätten- und bergbauspezifische Einzelheiten dar. Viele berufene, aber auch weniger kompetente, selbsternannte Experten befassen sich damit. Bisweilen werden Produktionsangaben ohne ausreichende Hinterfragung sorglos addiert, und nicht unter Hauwerk, Konzentrat oder Metallinhalt unterschieden. Erschwerend wirkt dabei, daß manche Länder, vor allem die des Ostblocks solche Daten zumeist vertraulich behandeln und man auf Schätzungen angewiesen ist. Als Verfasser der Weltbergbaudaten können wir aus Erfahrung leider auf eine Reihe von derartigen Schwierigkeiten hinweisen.

Vorräte: Bekannte oder Unbekannte?

Die natürliche Konsequenz daraus sind ein unglaubliches Wirrwarr und Unterschiede vor allem in den Vorratsabschätzungen im Bereich von Zehnerpotenzen. Obwohl es internationale Empfehlungen über die Klassifikation der Rohstoffvorräte gibt, halten die meisten Länder an ihren eigenen Gepflogenheiten fest, sodaß oft auch die Vergleichbarkeit unmöglich ist.

Versucht man dennoch, die äußerst heterogenen Vorratsangaben konventioneller Vorkommen auf einen gleichen Nenner zu bringen, ergibt sich für eine Reihe "klassischer" Rohstoffe folgende Entwicklung der Vorräte:

<b>Nachgewiesene Vorräte (soweit nicht anders angegeben: in Mio t Metallinhalt</b>				
	Blei	Zink	Kupfer	Chrom
Club of Rome 1968	91	123	308	775
BGR Hannover 1981	156	241	551	3541
US BM 1985	143 1400 *)	300 1800 *)	525 1600 *)t 700 *)m	6828 33600 *)

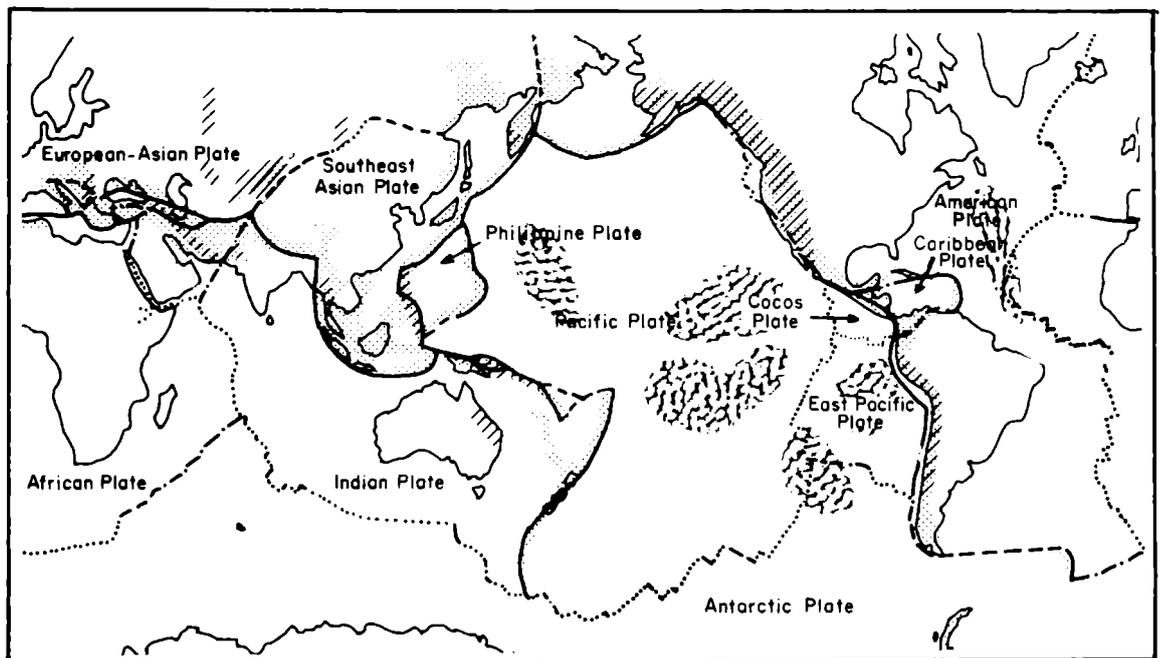
\*) Versuchsweise Schätzungen  
t terrestrisch  
m marin

Bereits aus dieser Übersicht ist die beachtliche Erhöhung der Vorräte aus konventionellen Vorkommen deutlich erkennbar.

Schwer abschätzbar oder bewertbar sind zweifelsohne die Vorräte solcher Begleitrohstoffe, die in Komplexerzlagerstätten angereichert vorliegen. Die heute in der Hochtechnologie benötigten Metalle wie Gallium, Germanium usw. treten bekanntlich nicht in eigenen Lagerstätten auf und sind in stark wechselndem Umfang an Blei-Zinkerz-, Kupfer- oder Bauxitlagerstätten gebunden.

Noch schwerer abschätzbar sind dagegen die zusätzlichen Vorräte sogenannter unkonventioneller Rohstoffvorkommen, das sind solche Anreicherungen von mineralischen Rohstoffen, die zur Zeit aus den verschiedensten Gründen (noch) nicht genutzt werden.

Zu den unkonventionellen Rohstoffvorkommen zählen zweifelsohne noch die Tiefseeknollen und metallhaltigen Erzschlämme, die durch submarine Exhalationen längs Schwächezonen der Erdkruste als "black smokers" empordringen. Fast alle Knollenlagerstätten liegen dabei in Meerestiefen zwischen 4000 und 6000 Metern.



aus: F.J.SAWKINS: Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics  
(leicht modifiziert)

////// Bereiche mit porphyrischen Kupfer- und Molybdänvererzungen

~~~~~ Vorkommen von Manganknollen

Gerade diese Rohstoffvorkommen beinhalten ein Vielfaches der bekannten konventionellen, terrestrischen Vorkommen: Der Vorrat an Manganknollen beträgt nach vorsichtigen Schätzungen rund 1000 Mrd t. Die durchschnittlichen Metallgehalte werden dabei mit je 1% Ni und Cu, die Co Gehalte mit rund 0,2-0,3% eingeschätzt. Die Mangangehalte liegen dabei zwischen 15 und 25%. Durch die ständige Zufuhr aszendenter, mineralisierter hydrothermalen Lösungen bilden sich jährlich an die 10 Mio t derartiger Knollen.

Wurde noch vor wenigen Jahren die Meinung vertreten, daß bereits Mitte der 90er Jahre mit dem Tiefseebergbau begonnen werden kann, ist dies auf Grund verschiedenster Umstände in weite Ferne gerückt.

Wenngleich bereits jetzt wesentlich höhere Vorräte an bestimmten mineralischen Rohstoffen auf den Tiefseeböden in Form von Knollen und Schlämmen als auf den Kontinenten bestehen, sind noch eine Reihe von Fragen ungelöst.

Es darf mit Recht angenommen werden, daß verschiedene technische Probleme die mit der Gewinnung unter extremen Druckverhältnissen (ca 600 bar) zusammenhängen, gelöst werden können. Noch ungelöste Probleme stellen jedoch zweifelsohne die mit der untermeerischen Abbautätigkeit verursachten Umweltprobleme dar:

Submarine Lagerstätten sind nach heutigen Gesichtspunkten nur dann wirtschaftlich, wenn jährlich rund 4,5 Mio t Knollen gefördert werden können, was gleichzeitig bedeutet, daß jährlich rund 550 km<sup>2</sup> "abgeweidet" werden müssen. Dabei fallen überschlagsmäßig rund 45 Mio t Feinschlamm an, was bei einer 20-jährigen Abbautätigkeit rund 1 Mrd t an Schlamm ergibt.

Die Schlammfahnen werden dabei durch untermeerische Strömungen Hunderte km weit verdriftet, was nicht abschätzbare Umweltschäden hervorrufen könnte.

Sicherlich sind die enormen Ressourcen beruhigend, noch beruhigender allerdings die Tatsache, angesichts der mit einer Nutzung verbundenen ökologischen Probleme noch lange nicht auf sie zurückgreifen zu müssen.

Wie rasch aber sog. unkonventionelle Vorkommen in konventionelle überleiten können, sei an einem anderen Beispiel demonstriert:

War lange Zeit die Gewinnung von Lithium aus niedrigkonzentrierten Solen (ca 0.12% Li), sog. Brines unwirtschaftlich, wurden angesichts der enormen, kaum abschätzbaren Ressourcen in den Salzwüsten Nord- und Südamerikas gewaltige Anstrengungen zu deren Nutzarmachung unternommen.

Mitte der 60-er Jahre wurde in den Vereinigten Staaten der erste erfolgreiche Versuch unternommen, derartige Li-hältige Brines der Lagerstätte Silver Peak im US Bundesstaat Utah zu nutzen.

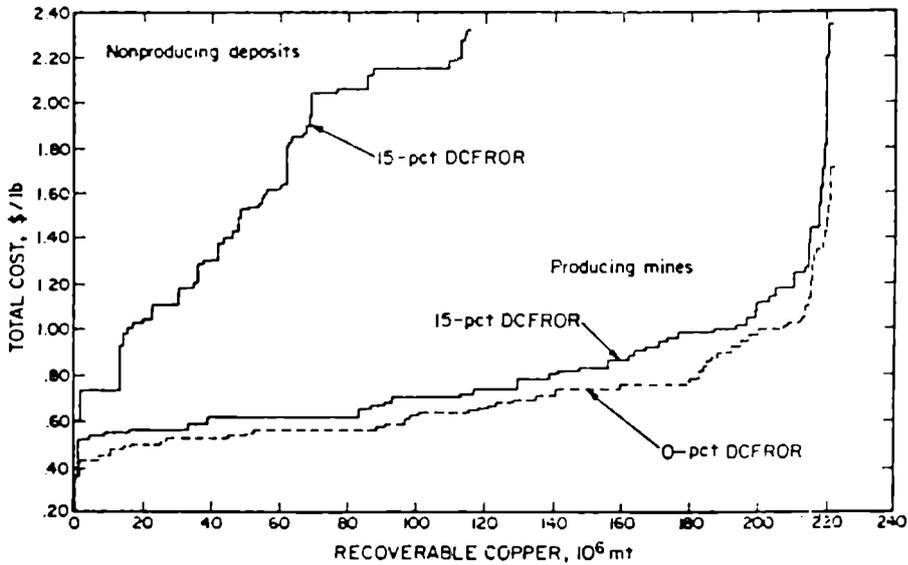
Erst im Jahre 1984 wurde in Chile die Gewinnung von Li-Verbindungen aus derartigen Brines in großem Umfang durch Bohrlochbergbau in den nahezu unerschöpflichen Lagerstätten der Atacama Wüste begonnen. Die wesentlich kostengünstigere Gewinnung führte aber dazu, daß etablierte Lithiumerzproduzenten ihre kostenaufwendige Spodumenproduktion merklich zurücknehmen mußten, um einem drohendem Überangebot und einem möglichen Preisverfall wirksam entgegenzutreten. Diese Produktionsrücknahme erfolgte für die bisherigen Marktleader aber ohne größere Einbußen, zumal diese letztendlich auch die Betreiber der Anlagen in der Atacama Wüste sind. Für Newcomer sind auf Grund dieser Entwicklung nur mehr schmale Marktnischen erkennbar.

#### **Der Rohstoffpreis.....**

F.CALLOT 1973 vertrat die an sich richtige Ansicht, daß die Vorräte von den Rohstoffpreisen beeinflußt werden. Unter der richtigen, aber völlig unrealistischen Annahme, daß die Bauwürdigkeitsgrenze sich den Clark'schen Werten der einzelnen Elemente nähern, stünden Vorräte für Millionen von Jahren zur Verfügung (Als Clark'schen Wert bezeichnet man die durchschnittliche Konzentration eines Elementes in der Erdkruste ausgedrückt in ppm).

Rohstoffvorräte und Rohstoffpreise stehen also in einem engen Zusammenhang.

Welchen Einfluß der Rohstoffpreis auf die Vorräte tatsächlich ausübt, sei am Beispiel des Metalls Kupfer demonstriert.

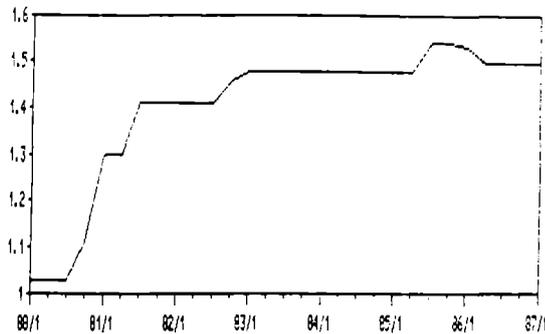


Verfügbares Kupfer der westlichen industrialisierten Länder auf Preisbasis Jänner 1985; aus: USBM Bull.692

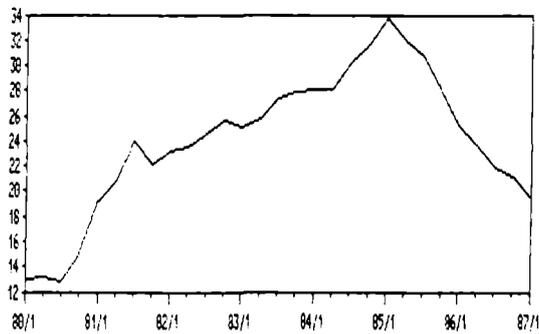
Höher ansetzbare Grenzerträge bewirken eine Erhöhung der tatsächlich verfügbaren Vorräte. Durch eine erfolgreiche Exploitationstätigkeit verschiebt sich der steile Anstieg der Kurve stetig weiter nach rechts.

Einen wesentlichen Einfluß für den Rohstoffproduzenten spielt dabei zweifelsohne die Schwäche des US-Dollars. Ein Vergleich der Entwicklung der Rohstoffpreisnotierungen auf Dollarbasis und jener auf Schillingbasis zeigt, daß mit Beginn des Verfalls des US-Dollars eine regelrechte Rohstoffpreiskrise mitausgelöst wurde.

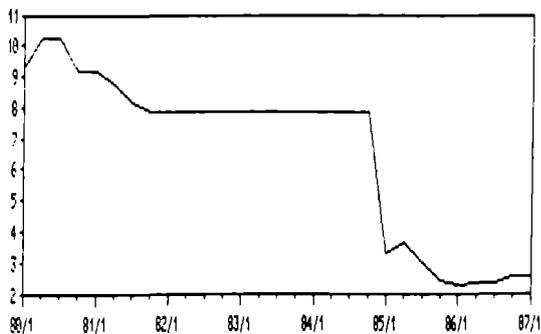
LITHIUMKARBONAT  $\xi$ -BASIS



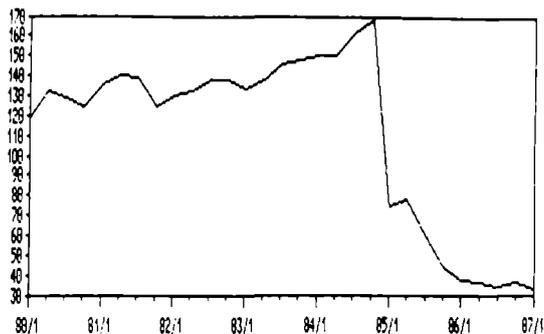
LITHIUMKARBONAT  $\phi$ -BASIS



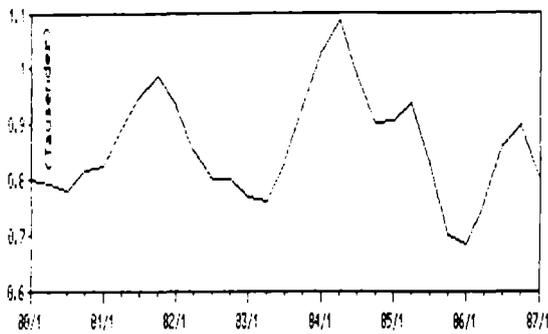
MOLYBDAN  $\xi$ -BASIS



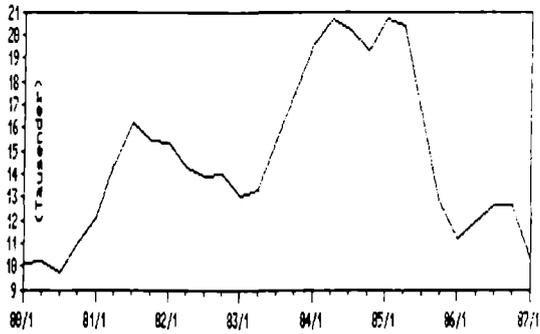
MOLYBDAN  $\phi$ -BASIS



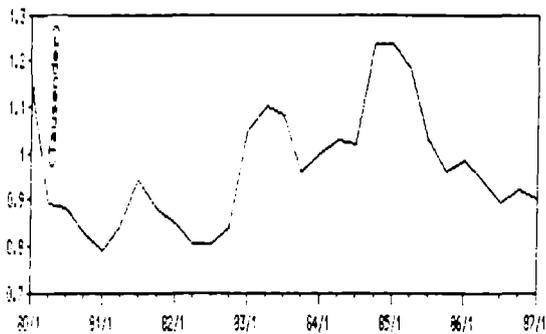
ZINK-PRODUZENTENPREIS  $\xi$ -BASIS



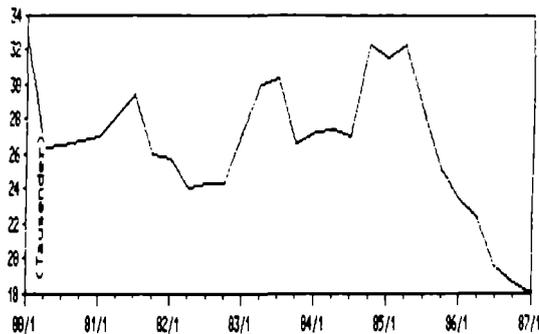
ZINK-PRODUZENTENPREIS  $\phi$ -BASIS



KUPFER  $\xi$ -BASIS



KUPFER  $\phi$ -BASIS

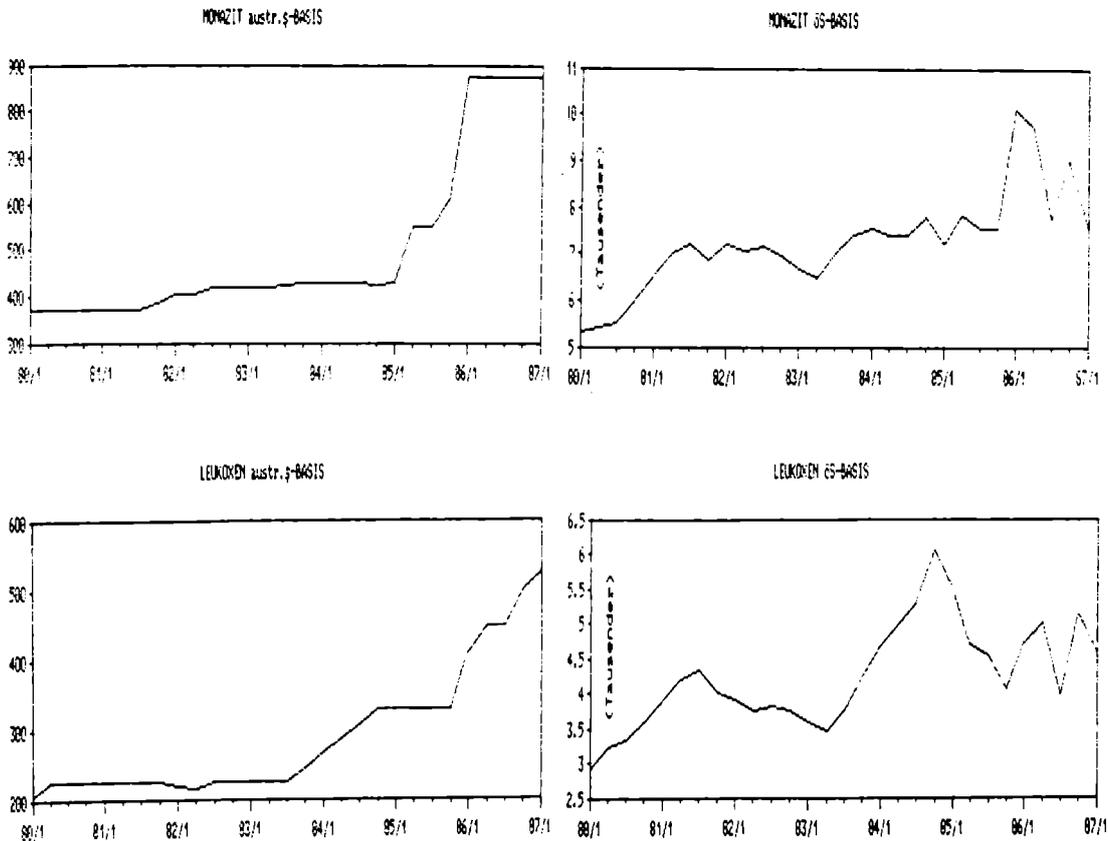


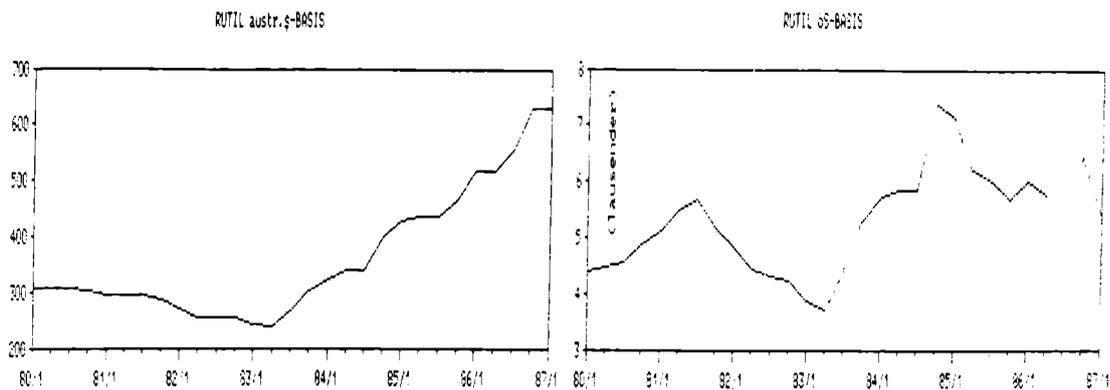
Unschwer kann daraus die eindeutige Benachteiligung der Nicht-US Rohstoffproduzentenländer erkannt werden.

Besonders stark von dieser ungünstigen Entwicklung betroffen sind die sog. "klassischen" Rohstoffe wie z.B. Blei, Zink, aber auch die meisten Stahlveredler. Der Molybdänpreis ist - wie auf der entsprechenden Kurve unschwer erkennbar - auf ein noch nie dagewesenes Minimum verfallen: Eine für den Verbraucher sicher angenehme, für den Produzenten allerdings oft letale Entwicklung.

Viele potente Unternehmen mußten weit unter den Gesteungskosten produzieren und schließlich unter den gegebenen wirtschaftlichen Verhältnissen die Produktion einstellen.

Die Entwicklung der Rohstoffpreise ist jedoch keineswegs einheitlich. Eine Reihe von Rohstoffen zeigt sogar trotz Dollarschwäche eine deutlich gegenläufige, positive Tendenz:





Beispielsweise zeigen die Schwermineralsande (Ilmenit, Rutil, Leukoxen) eine derartige Entwicklung. Diese positive Tendenz ist u.a. auf eine Verknappung von Vorräten im klassischen Produktionsland Australien zurückzuführen, wo insbesondere eine Reihe von Lagerstätten entlang der Ostküste aus Umweltgründen nicht mehr im vollen Umfang oder gar nicht mehr betrieben werden können, vom Neuaufschluß von Lagerstätten ganz zu schweigen. Gerade an der Ostküste Australiens liegen aber die hochwertigsten Vorräte.....

Der Großteil der Industriemineralien, Steine und Erden ist im Wesentlichen von den Wechselkursschwankungen nur in geringerem Umfang betroffen. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, auf die Hintergründe näher einzugehen.

Bei dieser Rohstoffgruppe ist ein gegenüber metallischen Rohstoffen überproportionales Ansteigen des Verbrauches und auch der Preise unverkennbar.

In einer von der Fa Austroplan im Auftrag der Weltbank erstellten Studie wurde nachgewiesen, daß bis in die höchsten Einkommenschichten eine deutliche positive Korrelation zwischen Bevölkerungszahl und dem Verbrauch an Industriemineralien besteht.

Industriemineralien sind - nicht zuletzt auf Grund ihres niedrigeren Preisniveaus - kaum oder nur in geringem Umfang substituierfähig. Gleichzeitig ist die Recyclingquote mit wenigen Ausnahmen gleich Null.

Im Gegensatz zu verschiedenen Erzen sind Industriemineralien auch gleichmäßiger über die Erde und auf die verschiedenen Ländergruppen verteilt.

Bislang wurden gerade diese Industriemineralien zu Unrecht äußerst gering geachtet. Viele hochwertige Produkte sind aus derartigen Rohstoffen gefertigt. Sind möglicherweise unter den Industriemineralien weitere Rohstoffe der Zukunft?

In den letzten beiden Jahrzehnten konnten die Rohstoffvorräte bei nahezu allen mineralischen Rohstoffen konventioneller Lagerstätten deutlich erhöht werden, sodaß eine Verknappung durch Auserzung der bekannten terrestrischen Lagerstätten in den nächsten Generationen nicht zu erwarten ist. Wohl sind aber Verlagerungen der Produzentländer möglich.

### Marktstörungen

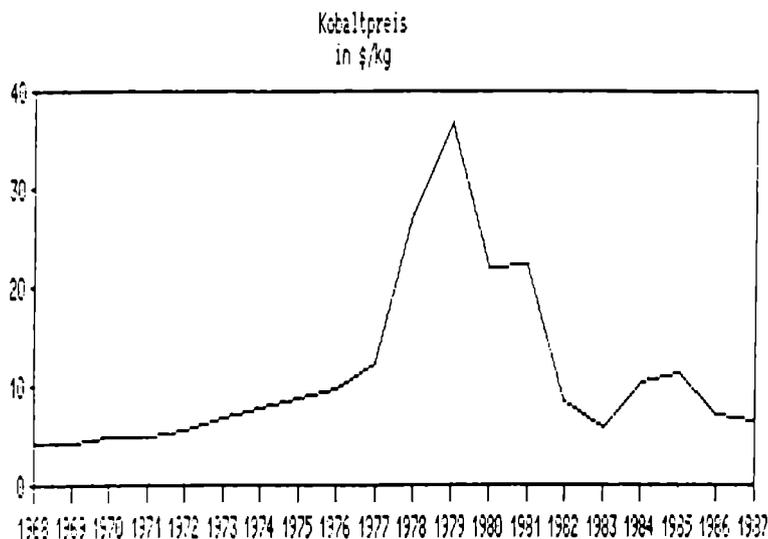
Verknappungen können jederzeit zumindest theoretisch dann eintreten, wenn nur wenige Anbieter den Markt kontrollieren. Derartige Störungen sind heute aber kaum zu befürchten, zumal dazu eine einheitliche Haltung aller Einzelproduzenten und Produzentländer notwendig ist. Die Androhung verschiedener Staaten, die Rohstoffwaffe einzusetzen, ist kaum furchterregend, sie wird vielmehr von anderen Produzentländern, die bislang von den Großproduzenten eher in die Ecke gedrängt wurden, insgeheim begrüßt, da sich für diese nunmehr endlich der Markt öffnet. Im übrigen bedeutet die Meinung einer mit der Rohstoffwaffe rasselnden Regierung nicht, daß sich auch die einzelnen Rohstoffproduzenten damit identifizieren können.....

Es wäre aber fatal, die geogene Konzentration von Rohstoffvorräten, auf die noch näher eingegangen werden soll, zu übersehen

| Vorräte an mineralischen Rohstoffen in % |         |              |           |                           |      |
|------------------------------------------|---------|--------------|-----------|---------------------------|------|
| Rohstoff:                                | 1.Land  | 2.Land       | 3.Land    | akkum.Vorräte<br>3 Länder |      |
| Platin                                   | RSA 90% | UdSSR 9%     | Kanada 1% |                           | 100% |
| Vanadium                                 | RSA 56% | UdSSR 36%    | China 4%  |                           | 96%  |
| Chrom                                    | RSA 67% | Zimbabwe 25% | UdSSR 4%  |                           | 96%  |
| Gold                                     | RSA 60% | UdSSR 15%    | USA 6%    |                           | 81%  |

### **Überfluß durch Mangel:**

Sollte tatsächlich ein Rohstoff aus welchen Gründen auch immer verknappen, wird durch die verbundene Rohstoffpreiserhöhung die Suche nach neuen Vorkommen stimuliert.



### **Entwicklung des Kobaltpreises in den Jahren 1968-1987**

Als Ende der 70-er Jahre aufgrund politischer Wirren in Zaire, dem bedeutendsten Kobaltproduzenten, die Kobaltversorgung der westlichen Welt empfindlich gestört wurde, setzte ein enormer Preisanstieg dieses Stahlveredlermetalls ein. Die Folge davon war, daß die Kobaltverbraucher beachtliche Anstrengungen unternahmen, dieses Metall zu substituieren. Darüberhinaus setzte eine intensive Suche nach diesem Rohstoff ein, eine Vielzahl kleinerer Lagerstätten wurden reaktiviert. Die Rohstoffkrise war bald überwunden, die Vorratsbasis enorm gestiegen. Auch den Verbrauchern war es gelungen, einen Teil des Metalls für bestimmte Anwendungsbereiche durch andere Rohstoffe zu substituieren. In diesem Lichte darf man in Rohstoffkrisen auch Positives erkennen.

Dabei sind die konventionellen Rohstoffvorkommen an Kobalt keineswegs erschöpft. Während heute der überwiegende Teil des Kobalts als Beiprodukt bestimmter Kupfervererzungen gewonnen wird, sind die größten Vorräte in lateritischen Vererzungen zu suchen, die zur Zeit nur völlig untergeordnet genutzt werden.

Es darf nochmals daran erinnert werden, daß auch die Manganknollen eine ganz wichtige Kobaltressource darstellen, zumal alleine die Knollenlagerstätten etwa das 25-fache der bekannten terrestrischen Kobaltvorräte beinhalten.

### **Hoffungsgebiet Tiefe...**

Konventionelle Rohstoffvorkommen werden z.Z. in Bergbauen gewonnen, deren Tiefe bei einigen Hundert Metern gelegen ist. Aus rein geowissenschaftlicher Überlegung ist aber die Lagerstättenführung keineswegs auf diese obersten Hundert Meter der Erdkruste beschränkt.

Auch wenn der Vergleich hinkt, daß - gemessen zur Größe der Erde - nur eine verschwindend dünne Haut hinsichtlich der Rohstoffführung erforscht ist, kann durch Vordringen in größere Teufen mit einer Vergrößerung der Vorratsbasis gerechnet werden.

Daher sind durchaus auch die Ansichten H.O. HERRERAs, wonach unter Annahme der weiteren Fortsetzung und Gewinnung der Rohstoffe gegen die Teufe sich die Vorräte vervielfachten, absolut realistisch. Höhere Rohstoffpreise lassen höhere Gestehungskosten durchaus zu. Die derzeitigen Förderkosten und die technische Beherrschbarkeit setzen allerdings noch deutliche Grenzen.

Steigende Energiekosten würden das Vordringen in größere Teufen, aber auch die Nutzbarmachung sog. Armerzlagerstätten wieder wesentlich erschweren, und wieder eine Verringerung der verfügbaren Vorräte bedeuten.

### **Rohstoffe und Strukturwandel..**

Die Dauer der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe kann sich zwangsläufig erhöhen, wenn der Bedarf - aus welchen Gründen auch immer - rückläufig ist.

Modernere Technologien verlangen mitunter andere Rohstoffe. Dieser Strukturwandel trifft dabei den einzelnen Rohstoffproduzenten recht hart. Ein weiterverarbeitendes Unternehmen kann durch Anpassung des Produktionsablaufes, Verwendung anderer Rohstoffe usf weiter konkurrenzfähig produzieren. Ein Kupfererzbergbau bleibt aber ein Kupfererzbergbau und kann zumindest aus seiner Lagerstätte nicht auf andere Rohstoffe umdisponieren.

Manche Rohstoffe leiden aber heute aus verschiedensten Gründen unter Absatzschwierigkeiten:

Blei- und Zinkerze fallen aus geochemischen Gründen stets gemeinsam an. Eine verstärkte Nachfrage nach Zinkerzen zieht gleichzeitig einen vermehrten Anfall an Bleierzen mit sich, ganz egal ob letztere benötigt werden oder nicht.

Blei wird in immer größerem Umfang recycelt, in bestimmten Anwendungsbereichen überhaupt substituiert.

Das mit den Blei- und Zinkerzen anfallende Cadmium hat sich vom einstigen Wertstoff zum heutigen Problemstoff gewandelt. So ist in Schweden die Verwendung von Cadmium weitgehend untersagt. Andere Länder wollen diesem Beispiel folgen.

Molybdän ist (noch) wirtschaftliches Beiprodukt porphyrischer Kupfererzlagerstätten. Verminderte Nachfrage nach diesem Stahlveredlermetall bei einem gleichzeitigem Überangebot hat die ausschließlichen Molybdänherzproduzenten vor ernste Probleme gestellt und ein Monopol nahezu zu Fall gebracht. Betriebsstillegungen und Kapazitätseinschränkungen in den Bergbauen Henderson und Climax waren die Folge.

Traditionelle Rohstoffe wie Kupfer werden durch Glasfasern verdrängt.

Teure Rohstoffe werden durch billigere ersetzt.

In etwas günstigerem Lichte ist jedoch die Zukunft des Silbers, zumindest was die Verfügbarkeit betrifft, zu sehen: Es darf erinnert werden, daß primäres Silber heute eigentlich nicht mehr zur Verfügung stehen dürfte. Hier dürfte von den Experten des Club of Rome wohl übersehen worden sein, daß lediglich 10% aus eigenen Silbererzlagerstätten stammen, während der überwiegende Teil aus komplexen Sulfiderzlagerstätten, nämlich rund 60% aus Blei-Zinkerzlagerstätten herleiten. Weitere 30% stammen aus Kupfererzlagerstätten, der Rest aus Goldvererzungen. Für die Vorratsabschätzung ist also eine äußerst komplexe Betrachtungsweise notwendig.

Die verminderte Nachfrage nach bestimmten traditionellen Rohstoffen, verbunden mit der Inflexibilität mancher Rohstoffproduzenten hat bisweilen zu nicht mehr absetzbaren Rohstoffhalden geführt.

## Vorratsländer versus Produktionsländer

Stehen uns also derartige Rohstoffmengen zur Verfügung, daß wir unbesorgt in die Zukunft sehen können? Hier ist große Vorsicht, vor allem eine äußerst differenzierte Betrachtungsweise geboten:

Lagerstätten mineralischer Rohstoffe sind Anreicherungen bestimmter Minerale oder Mineralgemenge, die auf natürliche geochemische und/oder physikalische Vorgänge in oder auf der Erdkruste entstanden sind. Lagerstätten sind an bestimmte lithologische oder strukturelle Elemente gebunden, die selbst wiederum von der Großtektonik kontrolliert werden. Jede tektonische Einheit hat ihr eigenes, charakteristisches Rohstoffinventar.

Rohstoffe sind also an geologische Einheiten und nicht an einzelne Länder gebunden. Vorratsländer sind nicht zwingend Produktionsländer, Produktionsländer nicht zwingend Rohstofflieferanten, da zunehmend getrachtet wird, im Sinne einer Maximierung der Wertschöpfung den Rohstoff im eigenen Land zu einem möglichst hochwertigen Produkt weiterzuveredeln.

Rohstoffvorkommen sind also - regional gesehen - äußerst inhomogen verteilt und keineswegs ubiquitär.

Dies ist auch der Grund dafür, weshalb in bestimmten geologisch-tektonischen Einheiten nur bestimmte Rohstoffvorkommen zu erwarten sind, andere dafür wiederum nicht. Dies ist aber auch der Grund dafür, daß die Rohstoffvorkommen nicht immer ausgerechnet dort sind, wo sie auch tatsächlich benötigt werden.

Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß in den Entwicklungsländern oftmals die für eine Gewinnung notwendige Infrastruktur noch völlig unzureichend ist. Enorme Bauxitvorkommen in Obervolta und Ghana können nicht genutzt werden, weil es an Straßen, Bahnlinien, vor allem aber an Energie fehlt.

| Rohstoffvorräte und Produktion nach Ländergruppen |         |         |         |       |
|---------------------------------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Rohstoff                                          | EL      | WIL     | SHL     | Summe |
|                                                   | V / P   | V / P   | V / P   |       |
| Bauxit                                            | 70 / 46 | 26 / 42 | 4 / 12  | 100   |
| Blei                                              | 9 / 23  | 69 / 48 | 22 / 29 | 100   |
| Zink                                              | 13 / 42 | 75 / 53 | 12 / 25 | 100   |
| Kupfer                                            | 55 / 46 | 33 / 33 | 12 / 25 | 100   |
| Lithium Pegm                                      | 29 / 29 | 71 / 48 | n.a/ 23 | 100   |
| Lithium Brines                                    | 96 /    | 4 /     | n.a/    | 100   |
| Chrom                                             | 29 / 16 | 68 / 50 | 3 / 34  |       |
| Uran low cost                                     | 23 / 8  | 77 / 66 | n.a/ 26 | 100   |
| Uran high cost                                    | 7 /     | 93 /    | n.a/    | 100   |
| Gold                                              | 1 / 15  | 78 / 62 | 21 / 23 | 100   |
| Silber                                            | 33 / 41 | 47 / 37 | 20 / 22 | 100   |

Quelle: Weber, L., Pleschitschnig, I.: Weltbergbaudaten '87 (BMWA)  
US. Bureau of Mines: Bull.692

Wie unterschiedlich sich in den letzten Jahren bei verschiedenen Rohstoffgruppen Vorratssituation, Angebot und Nachfrage entwickelt haben, sei an einigen, ausgewählten Fällen demonstriert:

#### Nichteisenmetalle:

In den letzten 2 Jahrzehnten wurden eine Reihe von Großlagerstätten entdeckt, exploriert und in Betrieb genommen. Zu den spektakulärsten Neuentdeckungen zählen u.a. die stratiformen Lagerstätten von Kidd-Creek in Ontario und die irischen Blei-Zinkerzlagerstätten von Navan, die zu den größten und reichsten Lagerstätten zählen.

Eine Reihe gleichartiger Lagerstätten werden z.Z. nicht genutzt.

Während bei Zink in den nächsten Jahren nur mäßige Zuwachsraten erwartet werden, wird für Blei in den nächsten Jahren überhaupt eine negative Zuwachsrate prognostiziert.

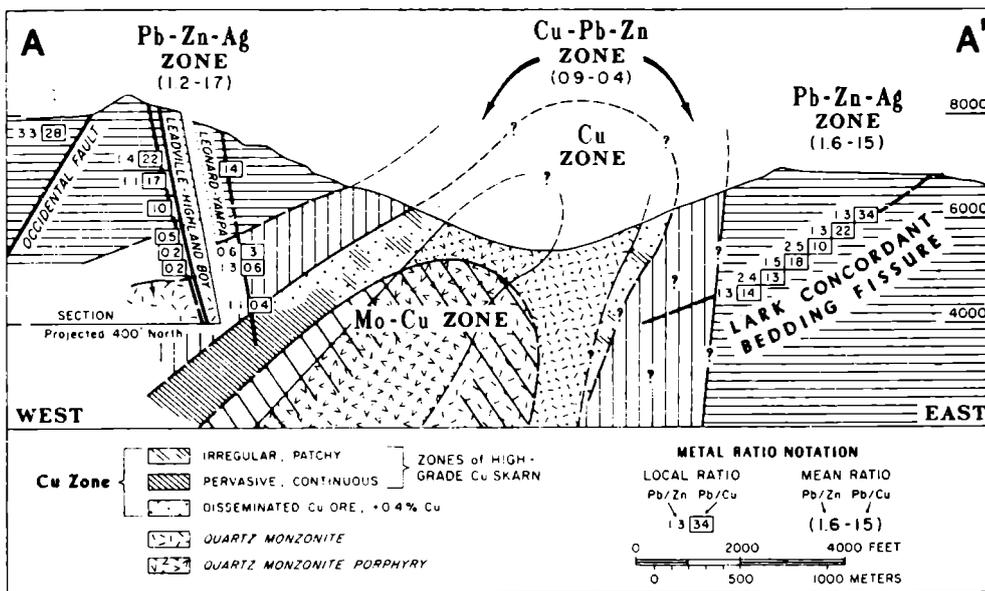
Blei-Zinkerzlagerstätten sind bekanntlich nicht nur die wichtigste Silberquelle, sondern gleichzeitig auch mit Abstand bedeutendste Ressource für die Metalle Germanium, Gallium und Indium. Obwohl die Konzentrationen dieser Metalle mit mehreren Zehnern bis Hunderten von ppm scheinbar recht niedrig liegen, rechtfertigt der hohe Preis die gesonderte Gewinnung Germaniums und des Galliums im Zuge der Verhüttung. Ausgesprochen germanium- oder galliumfreie

Lagerstätten sind eher eine Ausnahme. Ihre zukünftige Verfügbarkeit hängt nicht zuletzt von der Verfügbarkeit dieser Komplexerze ab.

In den Vereinigten Staaten wurde erst vor kurzem begonnen, eine Blei-Zinkerzgrube zu reaktivieren, die in erster Linie auf Germanium betrieben werden soll, und bei der Blei-Zinkerz quasi als Nebenprodukt anfallen.

Im zirkumpazifischen Raum wurden in den letzten Jahren unzählige Kupfererzlagerstätten vom Porphyrytyp entdeckt und exploriert.

Heute fällt bereits auf jeden produzierenden Kupfererzbergbau ein weiteres, exploriertes Vorkommen, das wirtschaftlich genutzt werden könnte.



Schematisches Profil durch die Kupfererzlagerstätte Bingham; aus: ROUTHIER, P. 1980.

Allein bis zum Jahre 1995 sollen rund 200 neue Bergbaue in Betrieb genommen werden. Diesen Lagerstätten, die sich durch geringe Metallgehalte (bis zu 0.3% Cu), dafür aber beachtliche Dimension auszeichnen, ist eigen, daß ihr Kupfergehalt gegen die Teufe abnimmt, während der Molybdängehalt zunimmt. Während noch vor Jahren versucht wurde, immer ärmere Lagerstätten zu nutzen, scheint in letzter Zeit wieder eine merkliche Trendumkehr Platz zu nehmen.

Bis in die Mitte der 80-er Jahre waren die Vereinigten Staaten der größte Kupfererzproduzent. Durch Kapazitätsausweitungen und Inbetriebnahmen neuer Gruben, die sich darüberhinaus noch durch höhere Metallgehalte auszeichnen, hat Chile die Spitzenposition übernommen und bringt die amerikanischen Produzenten durch niedrigere Kupferpreise in arge Schwierigkeiten.

Allein im zirkumpazifischen Raum darf rein aus tektonischen Überlegungen noch mit zahlreichen weiteren Kupfererzlagerstätten gerechnet werden, sodaß mit einer Verknappung der Ressourcen aus den konventionellen, terrestrischen Lagerstätten in den nächsten Generationen sicher nicht gerechnet werden braucht. Dazu kommen noch die kaum quantifizierbaren Vorräte in den Knollenvorkommen der Tiefsee.

Auch mit diesen komplexen Sulfiderzlagerstätten und Porphyries stehen aber die Vorräte einiger High-Tec Metals in engem Zusammenhang:

Die an Granodiorite gebundenen porphyrischen Kupfererzlagerstätten sind - von der Molybdän- und Goldführung abgesehen - wichtigste Ressourcen für die Metalle Rhenium, Selen und Tellur. Die zirkumpazifische Kupfererzprovinz ist also somit gleichzeitig auch das Hoffungsgebiet für diese High-Tec Metalle.

Das Metall Gallium, welches, wie bereits vorhin erwähnt, oftmals in Blei-Zinkerzlagerstätten beheimatet ist, tritt darüberhinaus in bestimmten Bauxitlagerstätten auf. Vor allem die an kalkige Abfolgen gebundenen Karstbauxite sind wegen ihrer Galliumführung bekannt. Nur in wenigen Fällen wird dieses kostbare Metall auch tatsächlich gewonnen.

Wenngleich nicht alle Bauxitlagerstätten gleichzeitig auch als Galliumressource angesehen werden dürfen, reichen die Bauxitvorräte mit über 20 Mrd t weit über Hundert Jahre.

### **Stahlveredler:**

Eine Reihe von Stahlveredlermetallen haben durch verschiedenste Gründe eine preisliche Talfahrt zu verzeichnen, die gelegentlich sogar an einen vollständigen Preisverfall erinnern.

Besonders arg ist diese für den Produzenten negative, den Konsumenten jedoch positive Entwicklung bei Molybdän, wo eine offensichtlich verminderte Nachfrage verbunden mit einem Überangebot zu einem Preistief geführt hat.

Molybdän fällt, wie bereits erwähnt, als Beiprodukt bei der Gewinnung porphyrischer Kupfererze an. Etwa 2/3 der Weltproduktion stammen heute aus derartigen Lagerstätten. Jene Bergbauunternehmen, die bislang lagerstättenbedingt ausschließlich Molybdän gewannen, und lange Zeit den Molybdänmarkt monopolartig beherrschten, sind in arge Schwierigkeiten gekommen.

China hat durch eine aggressive Preispolitik bei Wolframerzkonzentraten eine Reihe von etablierten Scheelit- und Wolframitproduzenten veranlaßt, ihre Gruben zu schließen. Auch auf dem Wolframerzsektor ist der zirkumpazifische Raum ein äußerst prospektiver Bereich, in welchem noch beachtliche Ressourcen erwartet werden dürfen.

#### **Edelmetalle:**

Gold ist von vornherein ein außergewöhnliches Metall. Es ist offensichtlich auch das einzige Metall, dessen Lagerstätten nicht standortgebunden sind. Die Lagerstätten haben sich vielmehr von der Tiefe der Erde in die Stahlkammern von Banken verlagert. Gold ist auch kein Verbrauchsmetall, sodaß der Begriff Verknappung eigentlich fehl am Platze ist.

Der Goldpreis erlebte im Jahre 1981 einen noch nie dagewesenen Höhenflug. Eine Reihe von etablierten Golderzproduzenten, aber auch Newcomern, darunter vielen Spekulanten verursachten einen Goldrush, dessen Ende, aber auch Auswirkung heute noch nicht abzusehen ist.

In den klassischen Goldproduktionsländern wie der Rep. Südafrika, Kanada und Australien wurden unzählige kleinere und größere Projekte mit unterschiedlicher Intensität und wechselndem Erfolg in Angriff genommen. Gold wird darüberhinaus in zunehmendem Umfang als Beiprodukt komplexer Vererzungen gewonnen.

Zu den spektakulärsten Neufunden primärer Golderzvorkommen der letzten Jahre zählt zweifelsohne die Entdeckung mehrerer Großlagerstätten im Osten Kanadas. Beachtliche Goldressourcen wurden auch in Zusammenhang mit porphyrischen Kupfererzlagerstätten im

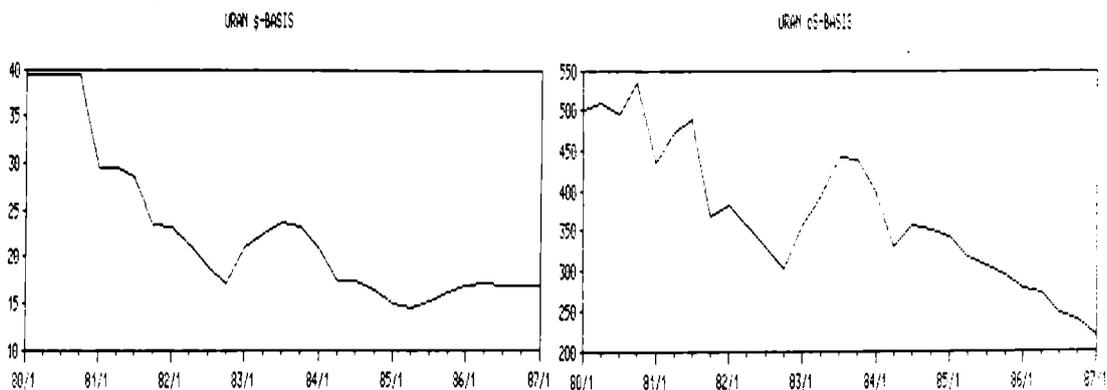
zirkumpazifischen Raum nachgewiesen (Papua-Neuguinea, Bougainville).

Von einer Reihe in Exploration stehender Golderzvorkommen ist anzunehmen, daß sie in den nächsten Jahren in Betrieb genommen werden können. Wieweit aber der Markt diese zusätzlichen Mengen verkraften kann, wird sich zeigen. Preiserhöhend oder stabilisierend wird sich das Überangebot sicher nicht auswirken. Gold war aber immer für spektakuläre Überraschungen gut .....

### Kernbrennstoffe:

Die Anstrengungen in den letzten Jahren auf dem Sektor der Suche und Erschließung von Uranerzlagerstätten war extrem erfolgreich. Noch vor rund 20 Jahren galten Bereiche des Athabascabeckens in Nordsaskatchewan als kaum prospektiv. Geologische und geophysikalische Untersuchungen erbrachten aber bald den Nachweis einer Reihe von ergiebigen, bislang völlig unbekanntem, ja sogar unerwarteten Lagerstätten, von denen jene von Cigar Lake über 250 Mio lb  $U_3O_8$  mit einem Durchschnittsgehalt von 14,6% enthält.

Die Suche verlief in den letzten Jahren weltweit so erfolgreich, daß nur mehr ein Teil der Uranproduktion abgesetzt werden kann. Seit 1980 wurden die Explorationsarbeiten somit auf ein Minimum reduziert, nicht zuletzt deswegen, als durch die Entdeckung und den Aufschluß von Großlagerstätten in Kanada (Key Lake, Cigar Lake) und Australien und ein damit verbundenes Überangebot, ein Verfall der Uranpreise einsetzte.



Rohstoffpreise Uran in \$ bzw OS

Im Gegensatz zu den etablierten Uranerzproduzenten, die durch langfristige Abnahme- und Preisgarantien abgesichert sind, ist für den Newcomer mangels einer Absetzbarkeit nicht die geringste Marktnische erkennbar.

Mit enormem Aufwand explorierte Lagerstätten werden aus diesem Grunde auch nicht oder in geringem Umfang genutzt, da mittel- bis langfristig keine zusätzliche Tonne Uranerzkonzentrates auf dem Markt abgesetzt werden kann. Diese Situation wird sich nach vorsichtigen Schätzungen der IAEA bis zur Jahrtausendwende kaum ändern. Dabei sind die Auswirkungen des Tschernobyl Unglücks keineswegs berücksichtigt.

#### **Industrieminerale, Steine und Erden:**

Die Situation auf dem Sektor der Industrieminerale, Steine und Erden ist demgegenüber wesentlich günstiger:

Gegenüber klassischen Metallen wesentlich höhere jährliche Zuwachsraten, geringe oder fehlende Möglichkeit von Recycling, keine größere Gefahr einer Substitution (diese Rohstoffe sind verglichen mit den Metallen nämlich billig) und Unempfindlichkeit gegenüber Wechselkursschwankungen (eine Reihe dieser Rohstoffe wird trotz internationaler Handelsfähigkeit auf Grund der Frachtkostenempfindlichkeit nur im jeweiligen Ursprungsland abgesetzt) minimieren auch ein unternehmerisches Risiko.

Mit diesen Beispielen sollte nur kurz dargelegt werden, welche spektakulären Erfolge auf dem Sektor der Rohstoffsuche in den letzten Jahren trotz ungünstiger Prognosen verzeichnet werden durften.

Ganz im Gegensatz zu den Prognosen des Club of Rome darf aus der Sicht der Rohstoffgeologie behauptet werden, daß es weltweit gesehen in den nächsten Generationen keine Verknappungen auf dem Sektor der mineralischen Rohstoffe geben wird.

Die pessimistischen Schätzungen des Club of Rome haben uns aber erstmals vor Augen geführt, daß Vorräte mineralischer Rohstoffe dennoch begrenzt sind, und ein sparsamer Gebrauch geboten ist. Wenngleich durch die äußerst erfolgreiche Suchtätigkeit uns Vorräte für die nächsten Generationen weitgehend uneingeschränkt zur Verfügung stehen, haben wir heute kein Recht, diese zu verschwenden.

Durch den integrativen Einsatz moderner Suchmethoden und -konzepte konnten die Vorräte an mineralischen Rohstoffen - die

abgebauten Mengen bei weitem kompensierend - wesentlich erhöht werden.

Wie uns die Shaba-Krise gezeigt hat, stimulieren drohende Verknappungen Recycling, Substitution und Suche nach weiteren Vorkommen. Höhere Rohstoffpreise erlauben auch das Vordringen in bislang noch unerreichte Teufen.

Auch wenn diese Ausführungen in mancher Hinsicht Optimismus anklingen lassen, zumindest was die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe betrifft, darf dies nicht darüber hinwegtäuschen, daß wir - gemessen am geologischen Alter der Erde von mehreren Milliarden Jahren und der damit verbundenen Entstehung von Rohstoffvorkommen - in einer verschwindend kleinen Zeitspanne von einigen Jahrhunderten einen beachtlichen Teil des Rohstoffangebotes verbraucht haben. Alleine in den letzten 50 Jahren wurden sovielen metallische Rohstoffe abgebaut, als in der gesamten Zeit zuvor.

Es darf auch nicht verkannt werden, daß bestimmte Rohstoffe, vor allem Metalle, immer weniger benötigt werden und durch andere Rohstoffe verdrängt werden. Aber auch diese Rohstoffe stammen aus natürlichen Lagerstätten. Es ist heute oft schwer zu beurteilen, ob bei einigen Rohstoffen zur Zeit bloß eine kurzfristige Baisse oder ein gravierender Strukturwandel zu überstehen ist.

Rohstoffvorkommen sind endlich. Ein in heutiger Zeit scheinbarer Überfluß an Rohstoffvorräten darf nicht zur sorglosen Überproduktion führen. Was die Natur uns angereichert hat, dürfen wir auch ausnützen. Wie lange uns noch Rohstoffe zur Verfügung stehen, beeinflussen wir selbst:

Wenngleich wir für die nächsten Generationen noch uneingeschränkt auf die bekannten Lagerstättenvorräte zurückgreifen können, werden wir in Zukunft

- auf immer ärmere Lagerstätten zurückgreifen müssen,
- in größere Tiefen der Erdkruste dringen müssen,
- Vorkommen in entfernten Regionen mit heute noch fehlender Infrastruktur erschließen müssen,
- die Vorkommen auf dem Meeresboden ohne Schädigung der auch für uns essentiellen Biotope nützen lernen müssen,

- möglichst vollständig alle Wertstoffe aus Komplexerzlagern nutzen müssen,

und schließlich wieder lernen müssen, das Wort Bodenschatz an Stelle des trockenen Begriffs Rohstoff erneut in unser Vokabular aufzunehmen.

#### **Ausgewählte Literatur:**

MEADOWS,D.,et al.: The Limits to Growth.- Universe Books New York 1972.

ROUTHIER,P.: Ou sont les metaux pour l'avenir ? Mem.BRGM,105, Orleans 1980.

SAMES,C.W.: Anaconda - Berichte aus der Rohstoffwelt. 363 S., Wirtschaftsverlag Langen-Müller/Herbig, München 1986.

SAWKINS,J.: Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics.- Minerals and Rocks 17, 325 S.,Springer, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1984.

U.S. Bureau of Mines: An Appraisal of Minerals Availability for 34 Commodities.- United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Bull. 692, Washington 1987.

WEBER,L., PLESCHIUTSCHNIG,I.: Welt-Bergbau-Daten 1987.- BM f. wirtsch. Angelegenheiten, Wien 1987.