

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

I N H A L T

PERSPEKTIVEN DER NACHFRAGE UND VERSORGUNG

Helmut KRAMER

Perspektiven der Nachfrage

und der Versorgung 1

Leopold WEBER

Das Rohstoffangebot der Erde.....11

Peter PASCHEN

Rohstoffverknappung bei Metallen?.....35

ENTWICKLUNGSTENDENZEN AUF DEM WERKSTOFFSEKTOR

Franz JEGLITSCH

Stand, Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten

der Werkstoffe für Hochtechnologien47

Heinz KRENN

Werkstoffe für die Mikroelektronik71

Werner WRUSS

Neue Werkstoffe auf dem Gebiet der Keramik.....85

Josef DRAXLER, Rudolf MARR

Flüssigmembranpermeation -

effiziente Anreicherungstechnik..... 105

VERFAHRESENTWICKLUNGEN; BEGLEITMASSNAHMEN

Hans WÖBKING

**Entwicklung zur Erhöhung des integrativen
Metallausbringens bei der Raffination von
primären und sekundären Kupferrohstoffen 117**

Helmuth HABENICHT

Entwicklung auf dem Gebiet der Bergbaumaschinen 129

Herbert PIRKL

**Regionale und überregionale Basisaufnahme
als Grundlage der Rohstofforschung
in Österreich 141**

Walter GRÄF

Naturraumpotential - Raumplanung 147

Günter B. FETTWEIS

**Zusammenfassung der Vorträge
des Symposiums "Neue Rohstoffe
für neue Technologien" 161**

SUMMARY

"NEW RAW-MATERIALS FOR NEW TECHNOLOGIES"

The lectures refer to three topics:

1. Outlook on demand and supply
2. Development trends of raw-materials
3. Process-development, accompanying measures

to 1.:

Outlook on demand and supply

Demand and supply of raw-materials are determined by world economic development trends as well as by the progress of technology of producing and manufacturing of raw-materials.

The economic development trends have been decreasing over the past years. The increase of production and world trade slowed down in the eighties in wide parts of the world, namely in the highly developed and industrialized countries of Eastern Europe, in the oil-exporting countries and in most of the raw-material exporting developing countries. The most important repercussion of the stagnating growth were the increasing excess-capacities in traditional industrial branches, especially in steel production and in basic-material chemistry, and the dwindling economic importance of many raw-material producers.

The outlook in the economic trends isn't unfavourable but it should be kept in mind that basic economic problems still remain unsolved. The need for adaption to the structures of the highly developed countries will continue, traditional production capacities will have to be further limited.

In the field of metallic and mineral raw-materials environmentally favourable industrial locations, offering low costs for energy and raw-materials, will be given priority. However, the manufacturing-capacity in the traditional industrial countries will maintain a good competitive position, especially if use is made of the fascinating possibilities of new materials and compound materials. Their success is limited by mainly economic considerations, but at least a sixfold increase of today's markets is expected by the year 2000.

Considering the overall availabilities according to statistics of raw-materials (except fuels), thallium turns out to be most available followed by silicon, magnesium, zircon, and hafnium. For a shorter period, but practically unlimited available are iron, aluminium, all steel-finishers except molybdenum, platinum as well as germanium, indium, arsenic, bismuth and selenium.

In all of the considerations the economic aspect should be kept in mind. The calculated availability of a metal can be related only up to a certain time. Overlooking this point was one of the mistakes traced in the report of 1. Club of Rome.

to 2.:

Development trends of raw-materials

There is a number of natural materials, empirically developed materials, e.g. cast iron, which are more than 2000 years old. In addition there is the development of scientific material, such as the discovery of the hardening of aluminium alloys at the beginning of this century. The development of raw-materials had been advanced to such an extent, that groups of raw-materials were extensively developed on a scientific basis.

For illustration purposes the example of the hardness and firmness of metals are pointed out: The mechanisms responsible for improving the firmness of materials are well known. Not certain elements in the alloys of certain raw-materials, but the use of firmness mechanisms are of decisive importance. Consequently, the improvement of properties is to be explained by the proper exploitation of firmness.

Another example from the aluminium sector: the production of high-strength aluminium alloys with the desired toughness is not possible by changing the recrystallisation at weak points of grain surfaces where potential crack formation occurs.

Resuming it can be stated, that the development of raw-materials proceeds on two levels. On the one side by way of optimizing, i.e. obtaining better properties for the same price. There is still a wide variety of potentials for improving alloys, e.g. to obtain better purity or higher resistance against corrosion.

On the other side there is the "creative" way, e.g. the search for alloys with extraordinary properties as has been experienced with high temperature superconductors. A combination of raw-material technology and biotechnology seems possible as well.

Ceramic material can be divided into two groups; the conventional ceramics - mostly sinter ceramics - and the new ceramic materials, referred to as special ceramics.

Some materials, such as oxide ceramics or ceramics for cutting purposes, have been known for some decades, others only for some years or months, e.g. ceramic superconductors, sensors, compound materials or diamond-coating.

The discovery of new properties of ceramic materials encourages hopes, that there is a wide field for research. Very promising seems to be the field of chemical sensors. Microelectronic with its modern semiconductor technology forms the basis, on which new communication technologies will be developed.

Besides controlling maximum silicon integration connecting semiconductors, above all GaAs for optical electronics and maximum frequency applications and InB and its ternary and quaternary mixing crystals are of special importance for new applications in optical communication technology.

Coating material for anti-reflex and mirror coating techniques, lithium niobate and allied materials are also required for integrated optical applications.

to 3.:

Process-development, accompanying measures

In the field of process-development it was not possible to give an overall report, but two practical examples were presented.

Firstly an efficient enrichment technology. The liquid membrane permeation has been developed from the solvent - extraction technology and can be considered as a simultaneously working extraction and reextraction process.

Liquid membranes stem from a primary emulsion, which contains an adsorbent as dispersed fraction and a membrane-fraction as fluidum. Substances are transported upon emission through the membrane-

fraction to the adsorbent. After this material exchange the primary emulsion is separated and can be treated e.g. for obtaining a concentrated adsorbent.

Besides some applications in biotechnology and medicine this process is applied in waste water treatment, e.g. in the viscose- and the galvanic industries.

Methods for improvement of the metal - yield at raffination of primary and secondary copper-materials generally are not restricted to copper only. They are applicable to other metals as well.

Raffination of metals was developed from the raffination-electrolysis of the past century via the pyrometallic metal winning processes and since the early sixties via hydrometallurgical processes.

The next steps towards new technologies will be set by the introduction of biological and microbiological methodes of winning, selecting and accumulating metal.

Bacteria-leaching of certain metals has been in use for some years and is applied mainly in countries with a warm climate.

In all applications the main attention is paid to a high output of the main metal of highest possible purity, be it from concentrated ores or secondary raw-materials as well as the production of accompanying metals, as far as these are commercially exploitable.

Knowledge of the deposits in one's own country is a prerequisite for raw-material research. Thus in 1977/78 prospection and exploration had been stream-lined, based on deductive way of thinking.

On the one hand up to date and extensive investigations on supra-regional level and facies photos form the basis for a reevaluation of prospectivity and on the other hand this might also give hope for new discoveries.

Thus in the past it had been endowed to maintain unique project-hierarchy comprising regional investigations (geology, biochemistry, geophysics) and leading to detailed prospection via and integrative step. In the integrative step already possible controverses or conflicting interests must be checked.

For the elimination of such conflicts on possible future utilization the assessment of natural reserves is essential. Defined aim of the

natural space cartography is to find solutions to the problem of utilization-conflicts and to ensure access to deposits.

Perspektiven der Nachfrage und der Versorgung

von

Helmut Kramer

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.

Perspektiven der Nachfrage und der Versorgung

H. Kramer

Zusammenfassung

Die Aussichten auf die weltwirtschaftliche Entwicklung erscheinen derzeit zwar nicht besonders ungünstig, doch darf nicht übersehen werden, daß grundlegende weltwirtschaftliche Probleme ungelöst sind. Der Anpassungsdruck auf die Strukturen speziell der hochentwickelten Industrieländer wird anhalten, traditionelle Produktionskapazitäten müssen weiter eingeschränkt werden.

Am Beispiel der Stahlindustrie, wo die Lage besonders dramatisch erscheint, läßt sich das illustrieren: im Raum der OECD wurde die Produktion seit 1974 um 17 Prozent verringert, die Beschäftigung jedoch um 40 Prozent oder um 900.000 Arbeitsplätze. Dennoch beträgt die Kapazitätsauslastung nicht einmal 70 %. Da junge Industrieländer ihre Stahlkapazitäten laufend ausbauen, werden weiterhin Exportmärkte verloren gehen. Neu entwickelte Technologien vermögen diese Trends zu bremsen jedoch nicht umzukehren. Die Nähe zu Verbrauchern und hohe Qualitäten sichern jedoch auch auf längere Sicht die Aufrechterhaltung der Stahlproduktion innerhalb des durch Transportkosten geschützten Radius.

Bei anderen mineralischen und metallischen Rohstoffen wird die Entwicklung von ähnlichen Kräften diktiert: energie-, rohstoff- und umweltkostengünstigere Standorte werden vordringen, die Verarbeitungskapazitäten in den alten Industrieländern haben jedoch weiterhin gute Chancen. Dies gilt besonders, wenn die technisch faszinierenden Möglichkeiten neuer Werkstoffe und von Verbundwerkstoffen genutzt werden. Ihrem Vordringen sind hauptsächlich wirtschaftliche Bremsen angelegt, doch ist zumindest eine Versechsfachung ihrer Absatzmärkte bis zum Jahr 2000 prognostiziert.

Perspektiven der Nachfrage und der Versorgung

Es ist eine Binsenweisheit, daß die Nachfrage und das Angebot an Rohstoffen einerseits von weltwirtschaftlichen Entwicklungstendenzen, andererseits von den Fortschritten der Technologie - bei Rohstoffproduzenten ebenso wie bei Verarbeitern - bestimmt wird.

Die weltwirtschaftlichen Entwicklungstendenzen der letzten Jahre kann man schwerlich als besonders glücklich ansprechen. Das

Wachstum der Produktion und des Welthandels verlangsamte sich in den achtziger Jahren in großen Teilen der Welt, namentlich in den hochentwickelten Industrieländern, in Osteuropa, in den ölexportierenden Ländern und bei einem Großteil der rohstoffexportierenden Entwicklungsländer. Eine verhältnismäßig kleine Gruppe junger Industrieländer, vor allem in Südostasien, verzeichnete immerhin im wesentlichen ungebrochenes Wachstum und konnte auf den Weltmärkten vor allem für Industriegüter vordringen. Die gravierendsten Folgen der Wachstumsverlangsamung waren ein Anstieg der Arbeitslosigkeit in den Industrieländern, Überkapazitäten und Kapitalvernichtung in traditionellen Industriebereichen, besonders in der herkömmlichen Industriebasis der Stahlerzeugung und der Grundstoffchemie, ein Absinken der wirtschaftlichen Bedeutung vieler Rohstoffproduzenten - das bezieht sich auf Unternehmen ebenso wie auf Volkswirtschaften, deren Wertschöpfung stark auf der Produktion und dem Export von mineralischen oder auch von erneuerbaren Rohstoffen beruht, die Schuldenkrise, die Kredite, die in der Zeit dynamischer Entwicklung aufgenommen wurden, nicht nur nicht rückzahlbar, sondern oft auch nicht verzinsbar werden ließ.

Es gibt viele Erklärungen für die unbefriedigende weltwirtschaftliche Entwicklung. Natürlich handelt es sich um ein Syndrom, in dem sich die verschiedensten Einflüsse gegenseitig verstärken. Entscheidend scheint mir zu sein, daß die einzelnen Teilnehmer an der Weltwirtschaft, vor allem die mächtigen hochentwickelten Industrieländer bisher nicht zu einer gemeinsamen und konsistenten wirtschaftspolitischen Strategie gegen die Krise gefunden haben. Im Gegenteil: nationale Egoismen und Auffassungsunterschiede bewirken heftig schwankende Wechselkurse, starke Fluktuationen der Öl- und anderer Energiepreise sowie ein Wiederaufleben protektionistischer Tendenzen. Diese haben allerdings gegenüber früheren Jahren teilweise neue Formen angenommen: die eigene Produktion wird nicht in erster Linie durch Zölle oder Importkontingente geschützt, sondern durch eine Vielfalt nicht-tarifärer Handelshindernisse und durch einen volkswirtschaftlich schädlichen internationalen Wettlauf der Subventionen.

Im Augenblick ist keine grundlegende Überwindung dieser Situation für die nächsten Jahre abzusehen. Die mittelfristigen Wirtschaftsperspektiven, die vom Währungsfonds, von der Weltbank oder von der OECD in jüngerer Zeit vorgelegt wurden, gehen zwar im allgemeinen davon aus, daß es in den kommenden Jahren nicht neuerlich zu schockartigen Veränderungen wichtiger Daten kommen werde, aber auch nicht zu einer durchgreifenden Beschleunigung oder

höheren Effizienz der Weltwirtschaft. Die nationalen wirtschaftspolitischen Planungen tun gut daran, diese Ausgangslage realistisch zu sehen und nicht auf eine bevorstehende Hochkonjunktur Hoffnungen zu setzen.

Der Umstand, daß die internationale Wirtschaftspolitik auf globaler Ebene auch nicht annähernd eine Stabilität der Rahmenbedingungen - also etwa der Wechselkurse oder der Energiepreise - garantieren kann und auch wenig Gewähr bietet, daß Konkurrenten ihre Produktion nicht in wettbewerbsverzerrender Weise subventionieren, hat insbesondere eine logische Konsequenz: Investoren werden weiterhin unsicher sein, wo sie ihr Kapital langfristig am günstigsten placieren sollen und Regierungen werden weiterhin unter Druck stehen, die eigene volkswirtschaftliche Basis gegen schädliche Einflüsse der weltwirtschaftlichen Situation zu schützen, auch wenn allen Beteiligten klar ist, daß eine solche Haltung global gesehen nicht optimal ist.

In dieser Situation wird die Bedeutung von wirtschaftlichen Zusammenschlüssen auf regionaler Ebene, innerhalb derer zumindest eine ausreichende Stabilität der Wettbewerbsbedingungen, der Wechselkurse und anderer wirtschaftspolitischer Daten angestrebt wird, immer größer. Regionale Gruppierungen treiben ihre interne Harmonisierung und Integration voran, freilich mit dem Effekt der weltwirtschaftlichen Desintegration. Eine der wichtigsten derartigen Bemühungen ist die wirtschaftliche Integration Westeuropas, die nach den Plänen der Europäischen Gemeinschaft in den neunziger Jahren in die Phase der Vollendung des Binnenmarktes gehen soll.

Dominieren auf der Seite der Wirtschaftspolitik nahezu unlösbar erscheinende Probleme die Lage vor allem auch der Rohstoffproduzenten, so kann auf der anderen Seite der technologischen Entwicklung vielfach ein faszinierender Fortschritt der Grundlagenforschung, aber auch die Entwicklung vielversprechender Anwendungsmöglichkeiten festgestellt werden. Trotz geringem Wirtschaftswachstum geht der Strukturwandel der hochentwickelten Volkswirtschaften nach wie vor dynamisch voran. Die Produktion von rohstoff- und energieintensiven, aber auch von umweltbelastenden Industriegütern, verlagert sich weltweit in weniger entwickelte Regionen, die oft große Kostenvorteile bei der Gewinnung der Rohstoffe und der Energie aufweisen und in denen die politische Umweltsensibilität noch gering ist. Dazu kommt, daß arbeitskostenintensive Produktionen, bei denen das technische Know-how international transferiert werden und von geschulten Arbeitskräften in Niedriglohnländern auch beherrscht werden kann, gleichfalls in junge Industrieländer abwandern.

Der Platz der älteren, hochentwickelten Industrieländer, zu denen auch Österreich zählt, wird immer mehr von folgenden Voraussetzungen bestimmt:

1. Produktionen, bei denen Nähe zum Markt ein Wettbewerbsvorteil ist. Dies betrifft nicht nur Luxusartikel des Konsums, sondern auch kundenspezifische technische Produktionen, bei denen Flexibilität und Liefertreue eine Rolle spielen. Dieser Aspekt wird dadurch noch verstärkt, daß viele Erzeuger ihre Lagerkosten drastisch zu verringern suchen und daher vom Vorlieferanten präzise Einhaltung der Termine verlangen. Ein Beispiel für solche Produkte sind durchaus auch Flachwalzwaren der Stahlindustrie.

2. Produktionen, die hohe Qualifikation der Arbeitskräfte, vor allem auch in technischer Hinsicht erfordern. Dabei handelt es sich einerseits um die ersten Jahre der Marktreife neuer Technologien, bis deren Transfer in Niedriglohnländer möglich erscheint, oder um alles, was man unter dem Titel "Maßschneiderei" zusammenfassen kann, wo also Problemlösungen und nicht Standardprodukte angeboten werden müssen.

3. Produktionen - dies überlappt sich mit Punkt 2 - mit einem hohen Anteil an Software-Entwicklung, sowohl im Sinne der Mikroelektronik, wie, allgemeiner, die Lösung von logistischen und organisatorischen Aufgaben.

Schließlich, 4., werden Produktionen hier ihren Standort behalten können, die entweder durch ausreichende Rohstoffbasis oder durch Transportkosten oder durch außenhandelspolitische Maßnahmen - denken Sie an die Landwirtschaft - geschützt sind.

Die Negativliste umfaßt demnach hauptsächlich Produktionszweige, die Standardprodukte für den Konsum und die Investitionen aufgrund von bekannter und transferierbarer Technologie herstellen, weiters solche, für die der Standort wegen quantitativ und qualitativ unzureichender Rohstoff- und Energieversorgung ungünstig geworden ist, schließlich solche, bei denen niedrige Arbeitskosten eine dominierende Rolle im Wettbewerb spielen.

Das gravierendste Beispiel eines Industriezweiges, der auf diese Weise den Rückzug antreten mußte, bietet die Stahlindustrie. Diese, die mehr als ein Jahrhundert lang Basis und Schrittmacher des industriellen Fortschritts war, geriet in den siebziger Jahren in eine Schere, die durch langsamer wachsende oder stagnierende Nachfrage

einerseits und zunehmende Produktionskapazitäten an neuen Standorten andererseits gekennzeichnet ist.

Die Probleme und die Perspektiven der Stahlindustrie sind das wirtschaftlich bedeutendste und auch kennzeichnendste Beispiel für die Entwicklung auch in einigen anderen Basisindustrien. Ich werde mich daher mit ihnen etwas eingehender auseinandersetzen. Die Probleme der Verarbeitung anderer mineralischer und speziell metallischer Rohstoffe sind keineswegs einheitlich zu sehen. Manche haben Perspektiven, die jenen der Stahlindustrie ähneln, andere stehen durchaus auch vor einem bedeutend günstigeren Ausblick, teilweise gerade, weil sie technologisch als Konkurrenz und als Weiterentwicklung der Stahlverwendung auftreten. Mit solchen neuen Rohstoffen und Technologien werden Sie sich ja im Laufe des Symposiums eingehend auseinandersetzen. Mir fehlt dazu teilweise auch die Fachkenntnis.

Zwischen 1974 und 1987 ist die Rohstahlerzeugung in den Ländern der OECD - also Westeuropas, Nordamerikas und Japans - insgesamt um rund 17 Prozent gesunken. In diesem Zeitraum wurden etwa 40 Prozent der Arbeitsplätze - in absoluten Zahlen fast 900.000 - vernichtet. In manchen Ländern, etwa in den USA oder in Großbritannien war die Entwicklung noch dramatischer. Trotz der forcierten Reduktion der Kapazitäten erreicht die Kapazitätsauslastung auch derzeit kaum 70 Prozent.

Auf der anderen Seite sind Kapazitäten in Ländern, die früher keine eigene Erzeugung aufwiesen, ständig gewachsen. Zwischen 1980 und 1986 ist die Rohstahlerzeugung Chinas von 37 auf 52 Millionen Jahrestonnen, jene Brasiliens von 15 auf 21 und jene Südkoreas von 8 auf 15 Millionen Tonnen gewachsen. Auch die Türkei, Jugoslawien, Venezuela, Indien, Taiwan und Saudi-Arabien haben beachtliche Kapazitäten aufgebaut. Das bedeutet zumindest, daß sich für die Stahlunternehmen in den traditionellen Industrieländern keine zusätzlichen Exportmöglichkeiten abzeichnen, viel eher schon das Gegenteil.

Das Internationale Stahlinstitut schätzt, daß der Weltstahlverbrauch zwischen Mitte der achtziger und Mitte der neunziger Jahre von etwa 775 Millionen Tonnen Rohblockäquivalenten insgesamt um rund 6 1/2 bis 7 Prozent, also auf 825 Millionen Tonnen zunehmen wird, jährlich um rund 1/2 Prozent im Durchschnitt. In den Ländern der OECD wird es jedoch zu einer weiteren Verringerung der Kapazitäten im Ausmaß von mindestens einem Prozent pro Jahr kommen müssen.

Das heißt nicht zuletzt, daß jährlich weiterhin 30.000 bis 50.000 Stahlarbeiter ihren Arbeitsplatz verlieren werden.

An diesen Perspektiven ändert sich auch nichts Grundsätzliches, wenn man in Betracht zieht, daß Verbesserungen der Stahltechnologie Kosteneinsparungen in der Produktion bringen, die in den technologisch führenden Unternehmen der herkömmlichen Stahlstandorte früher eingesetzt werden können. Ich meine, daß dadurch möglicherweise vorübergehende Atempausen gewonnen werden können. Der Trend wird jedenfalls nicht umgedreht werden. Dies umso mehr, als technologische Verbesserungen auch die Aufnahme der Stahlproduktion in leistungsfähigen Kleinstahlwerken in Entwicklungsländern erlauben, die dann als Märkte verloren gehen und entweder direkt oder über den Schrottpreis den traditionellen Erzeugern Konkurrenz machen.

Die wirtschaftspolitische Behandlung des Stahlproblems befindet sich in einem schweren Dilemma. Mit der Stahlindustrie sind ganze Regionen und Industriestandorte verwoben. Ihre Schließung bedeutet häufig nicht nur das "Aus" für ein bestimmtes Werk, sondern für eine wirtschaftliche und soziale Umgebung. Diese politischen Überlegungen haben dazu geführt, daß hohe Marktaustrittsbarrieren aufgebaut wurden, die sowohl Subventionen, wie auch Quotenregelung und Außenschutz umfassen. Denen entgegen sollten zum Beispiel in der EG Anreize für die Einschränkung der Produktionskapazität wirken. Diese Methode war bisher wenig erfolgreich: sie hat den Anpassungsstau nicht reduziert und hat noch wenig dazu beigetragen, daß ganze Standorte aufgegeben wurden, um so leistungsfähigere aus eigener Kraft lebensfähige Einheiten zu ermöglichen.

Die EG basiert die Fortführung ihres Quotensystems, das einen gewissen Mengen- und Preisschutz darstellt, auf Stilllegungszusagen. Diese betreffen bis 1990 die Schließung von rund 5 Mio Jahrestonnen Kapazität für Warmbreitband, über 3 Mio Tonnen für Quatrobleche und 2 1/2 Mio Tonnen für schwere Profile.

Ob diese Schließungszusagen auch eingehalten werden, ist mit einiger Skepsis zu beurteilen. Sie bedeuten auch nicht eine Lösung des Subventionsproblems. Subventionen haben die Eigenschaft, die guten Sitten zu verderben. Lange Zeit beklagte sich vor allem die deutsche Stahlindustrie über Wettbewerbsnachteile aus diesem Grund, die sie etwa im Vergleich zur italienischen oder französischen erleide. Als nun der traditionsreiche Standort Krupp-Rheinhausen zur Schließung anstand, entwickelte auch die deutsche Wirtschaftspolitik einen ge-

wissen Erfindungsreichtum zumindest zur sozialen Abfederung (wie das so schön heißt) der Folgen.

An Österreich konnten diese Entwicklungen auf den Weltstahlmärkten und besonders in Westeuropa natürlich nicht spurlos vorübergehen. Ich habe freilich den auf vielen Indikatoren gestützten Eindruck, daß man hier etwa ab Ende der siebziger Jahre die Anpassung der Kapazitäten bedeutend zögernder betrieb als in anderen Ländern. Zur Verschlechterung der Weltmarktpreise kam zusätzlich noch die Aufrechterhaltung eines der Auslastung und Produktivität kaum entsprechenden Niveaus der gesamten Arbeitskosten, die die vorwärts orientierte Anpassung der österreichischen Unternehmen behinderte. Die notwendigen Schnitte sind, wie wir alle wissen, derzeit im Gang. Sie werden zu weiteren Reduktionen der Belegschaftsstände führen müssen und sie werden Exportkapazitäten beschneiden müssen. Angesichts der Situation in der EG ist auch klar, daß Österreich sich in seiner Stahlpolitik den dort getroffenen Regelungen des Wettbewerbs anpassen muß, will es nicht Gefahr laufen, von den EG-Märkten überhaupt ausgeschlossen zu werden.

All dies heißt nun nicht, daß es in Österreich oder in anderen traditionsreichen Stahlländern über kurz oder lang keine Stahlindustrie mehr geben wird. Einerseits ist klar, daß die heimischen Erzeuger durch Transportkosten nach wie vor einen gewissen "Marktschutz" genießen. Dazu kommt, daß es in bestimmten Produktgruppen, insbesondere im Flachstahlbereich, Vorteile des engen Kontakts zwischen Erzeugern und Verarbeitern gibt, die man von Österreich aus z.B. gegenüber der süddeutschen Automobilindustrie auch auf längere Sicht nutzen können. Weiters ist die Qualität der hüttentechnischen Forschung und Ausbildung in Österreich ein Garant für weiteren technischen Vorsprung. Damit sind Vorbedingungen gegeben, die es durchaus realistisch erscheinen lassen, daß Märkte in einem gewissen Radius von einigen hundert Kilometern auf Dauer und kostendeckend aus österreichischen Hütten- und Walzwerken beliefert werden können. Freilich erscheinen für dieses Ziel die heute noch gegebenen Kapazitäten zu groß und Schließungspläne leider eine Notwendigkeit.

Andere metallische und mineralische Rohstoffe unterliegen teilweise ähnlichen Einflüssen wie das Eisen. Darunter befinden sich solche, deren Nachfrage nicht mehr expandiert, weil bessere Surrogate auf den Markt kommen, wo also alte von neuen Rohstoffen allmählich verdrängt werden. Dann gibt es weiters solche, deren Standort durch die relative Verteuerung der Energie- und der Umweltkosten bedroht wird. Im Falle der Tonerdeverhüttung waren es bekanntlich gerade

diese Faktoren, die die Stilllegung einer bedeutenden und traditionsreichen Kapazität in Österreich erzwangen, die auch angesichts des technischen Fortschritts bei der Rohaluminiumerzeugung nicht zu vermeiden war. Aluminium besitzt immerhin günstigere Nachfrageperspektiven als Stahl, so daß die Chance, mit qualitativ hochwertigem Alu-Halbzeug und mit Fertigwaren Märkte und Kapazitäten zu halten, gegeben erscheint. Manche Rohstoffe, vor allem die Massenerohstoffe der Bauwirtschaft wiederum weisen gedämpfte Zukunftsperspektiven auf, weil die Aussichten auf die Bauproduktion, also auf die Nachfrage wegen anhaltender Finanzierungsprobleme vor allem des öffentlichen Sektors und wegen hoher Realzinskosten getrübt sind und weil zusätzlich gerade auch gegen die Gewinnung von Schotter, Sand und Kalkstein Umweltschutzwiderstände immer mächtiger werden.

Die Rohstoffwirtschaft als naturwissenschaftlich fundierter Zweig der Industrie weist jedoch keineswegs nur absolut oder relativ schrumpfende Sektoren auf. Systematische Forschung läßt erwarten, daß Rohstoffe mit Eigenschaften entwickelt werden, die völlig neue Anwendungsbereiche erschließen können. Über die volkswirtschaftliche Bedeutung solcher neuer Rohstoffe liegen bedauerlicherweise noch kaum verlässliche Daten vor.

Klar ist aber, daß faszinierende Perspektiven entstehen. Werkstoffforscher und Ingenieure besitzen bereits genügend Grundlagenwissen über die Atomzusammenhänge, um neue Werkstoffe und deren Eigenschaften vorhersehen und planen zu können. Es handelt sich dabei um eine auffallende Parallele zur Erforschung der Eigenschaften und Verwendung der Informationen in der DNS mit ihren Anwendungen für die Biotechnologie. In der Tat sind die heute schon absehbaren Möglichkeiten ungeheuer: es können Polymerfasern gewonnen werden, die so stark wie Stahl sind. Es können Halbleiter-Laser gebaut werden, die Frequenzen über hunderte, sogar tausende Kilometer ohne Verstärker übertragen können.

Aus technischer Sicht erscheint sehr wahrscheinlich, daß solche Möglichkeiten auch bedeutende und rasch wachsende Märkte eröffnen. Es verwundert nicht, daß Prognosen existieren, die für keramische Werkstoffe und für Werkstoff-Zusammensetzungen ein jährliches Nachfragewachstum zwischen 20 und 40 Prozent erwarten lassen, in zehn Jahren also Zuwächse auf das sechs- bis 30-fache. Gewichtseinsparungen bei Autos, höhere Effizienz bei der Treibstoffverbrennung, schnellere Computer wären wichtige Produkte, die sich damit herstellen ließen.

Der Ökonom muß bei der sozusagen nahtlosen Umsetzung des Labor- und Reißbrettwissens auf die Wirtschaft etwas skeptischer bleiben. Auch wenn die Grenzen, die die technischen Eigenschaften früher setzten, weit hinausgeschoben erscheinen, gibt es natürlich nach wie vor physikalische Grenzen. So wird etwa prognostiziert, daß hochtechnologische Keramik und Zusammensetzungen im Jahr 2000 einen Weltmarkt von rund 200 Milliarden Schilling vorfinden werden. Immerhin ist das erst ein Fünftel des derzeitigen Stahl-Weltmarktes. Und auch diese Größenordnung muß davon ausgehen, daß Verbrennungsmotoren beim Einsatz solcher Werkstoffe zwar wesentlich effizienter, gleichzeitig aber schwerer werden.

Wir wissen auch aus der Ausbreitung der Mikroelektronik und der Telekommunikation, daß die technisch denkbaren Möglichkeiten teilweise weit vor der wirtschaftlichen Nutzung vorausziehen. Lernen, das Tempo der Ausbreitung des Wissens, die sozialen Widerstände, die zu überwinden sind, und nicht zuletzt wirtschaftliches Kalkül, daß vorhandenes materielles und humanes Kapital nicht zu rasch abgeschrieben werden können, setzen dem Tempo der Umsetzung Grenzen.

Was bleibt, ist der Eindruck, daß die Werkstoffwissenschaften sehr viel zur Überwindung wirtschaftlicher Probleme beitragen können und daß sie uns eine Faszination vermitteln, die die wirtschaftliche Situation und deren Perspektiven leider in letzter Zeit vermissen ließen.

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:

Nachgewiesene Vorräte (soweit nicht anders angegeben: in Mio t Metallinhalt				
	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 *)

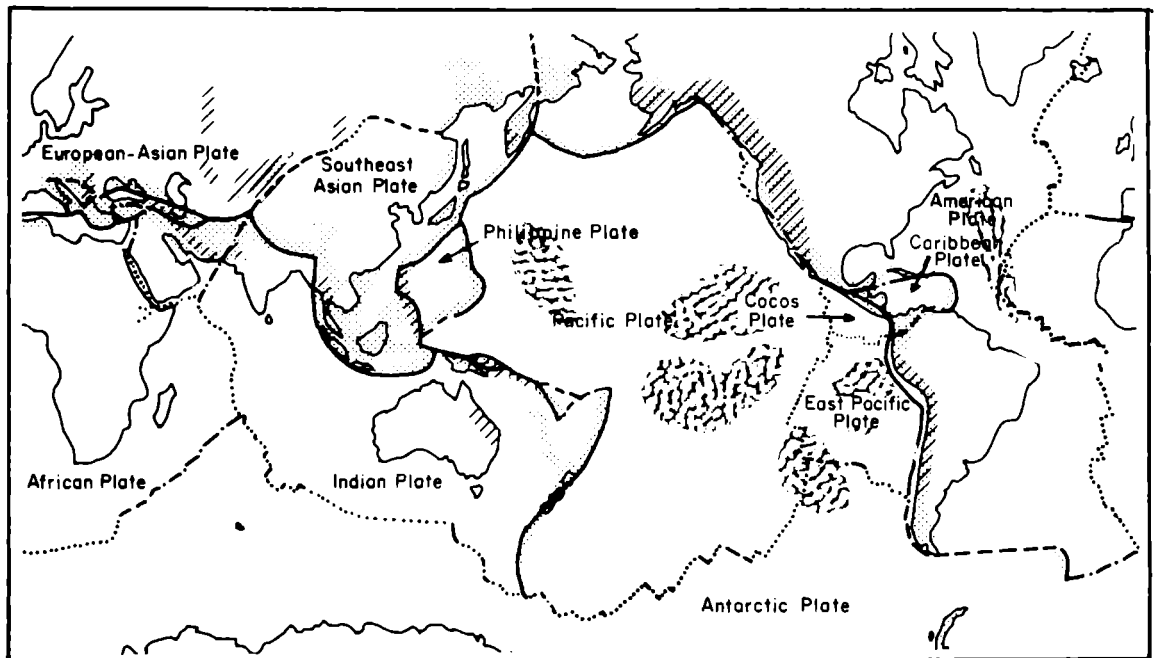
*) Versuchsweise Schätzungen
t terrestrisch
m marin

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 Nutzbar-machung 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.

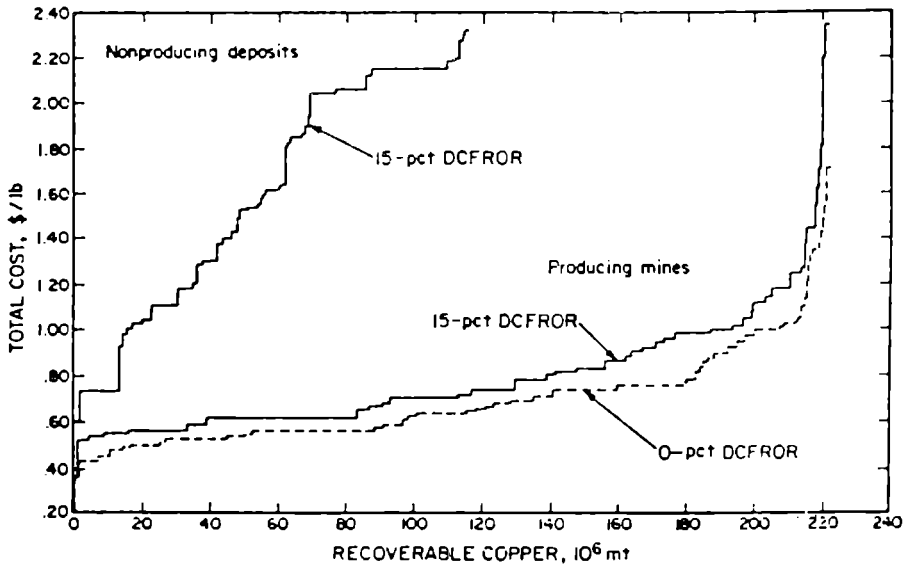
Erst im Jahre 1984 wurde in Chile die Gewinnung von Li-Verbindungen aus derartigen Brines in großem Umfang durch Bohrlochbergbau in den nahezu unerschöpflichen Lagerstätten der Atacama Wüste begonnen. Die wesentlich kostengünstigere Gewinnung führte aber dazu, daß etablierte Lithiumerzproduzenten ihre 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.

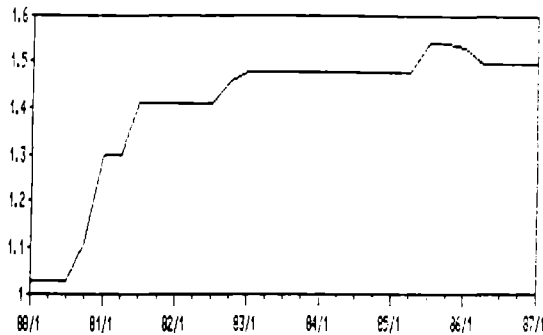


Verfügbares Kupfer der westlichen industrialisierten Länder auf Preisbasis Jänner 1985; aus: USBM Bull.692

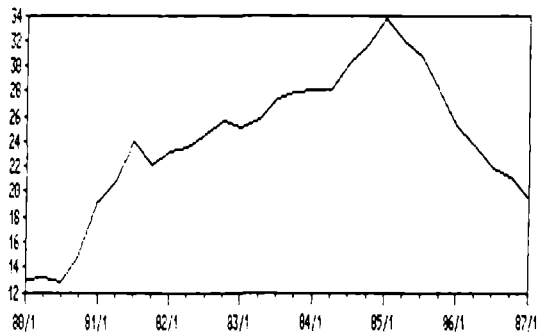
Höher ansetzbare Grenzerträge bewirken eine Erhöhung der tatsächlich verfügbaren Vorräte. Durch eine erfolgreiche Exploitationstätigkeit verschiebt sich der steile Anstieg der Kurve stetig weiter nach rechts.

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.

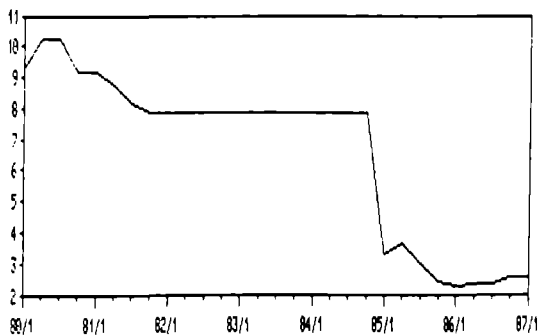
LITHIUMKARBONAT  $\xi$ -BASIS



LITHIUMKARBONAT  $\phi$ -BASIS



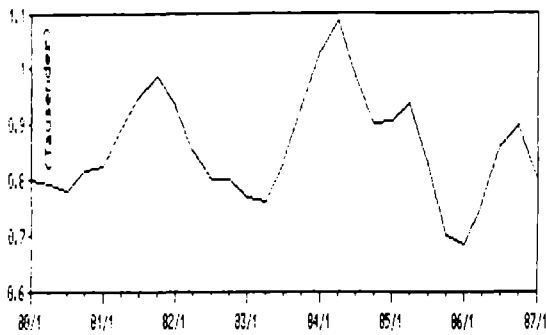
MOLYBDAN  $\xi$ -BASIS



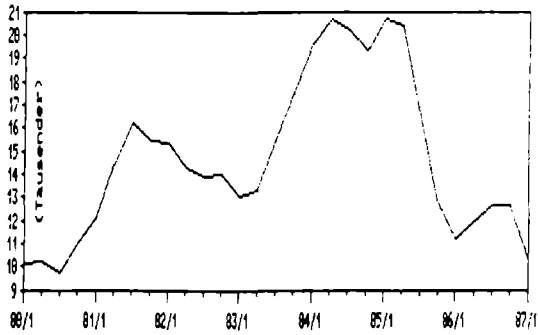
MOLYBDAN  $\phi$ -BASIS



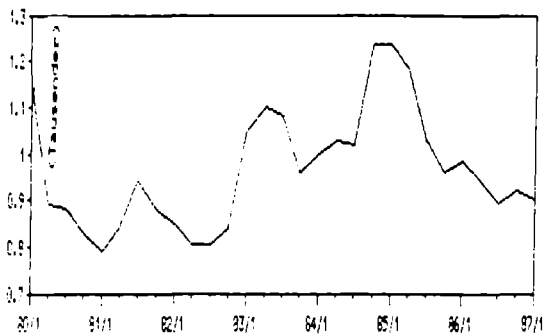
ZINK-PRODUZENTENPREIS  $\xi$ -BASIS



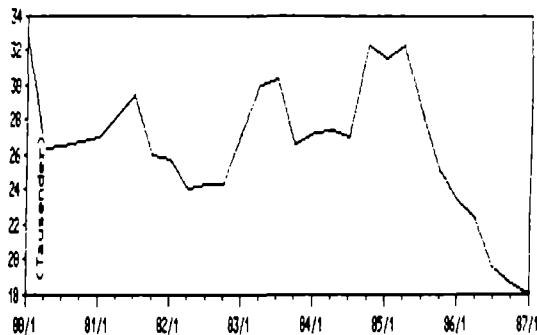
ZINK-PRODUZENTENPREIS  $\phi$ -BASIS



KUPFER  $\xi$ -BASIS



KUPFER  $\phi$ -BASIS



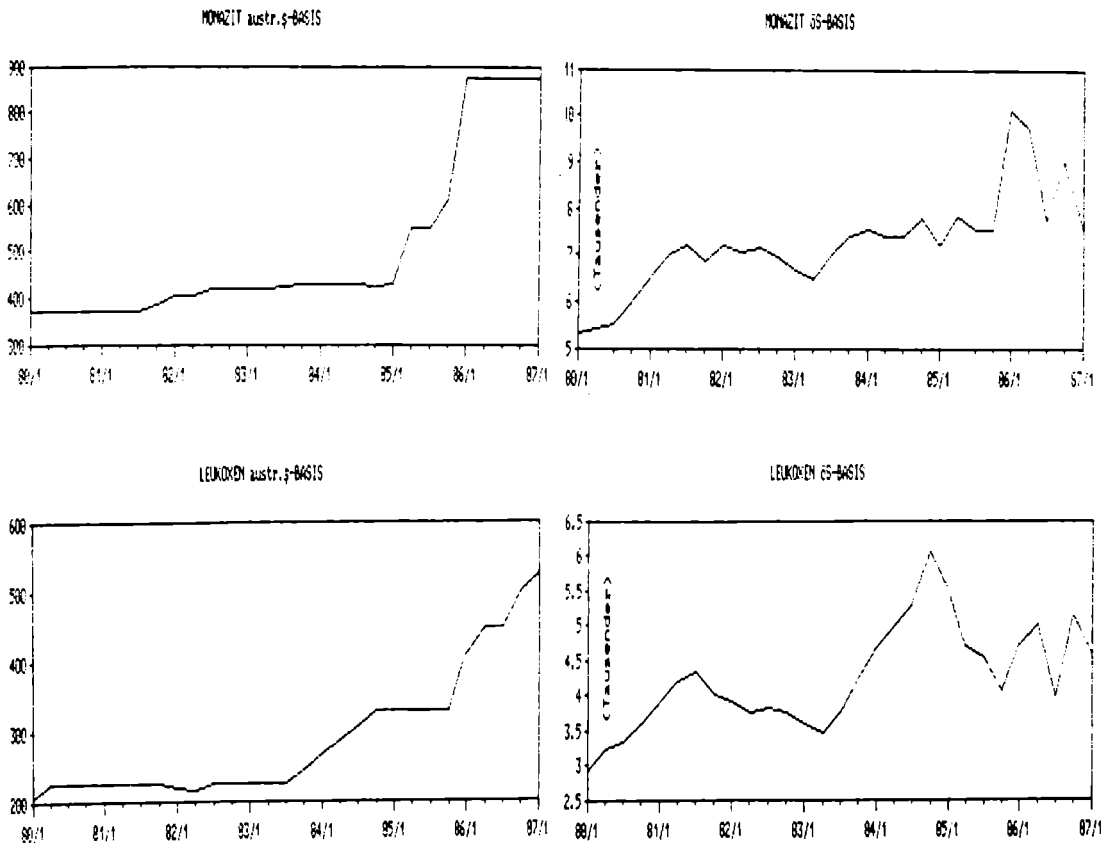


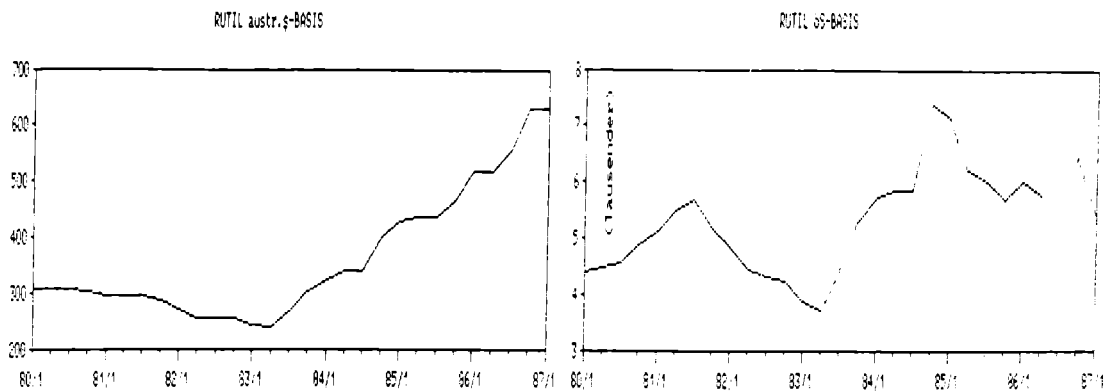
Unschwer kann daraus die eindeutige Benachteiligung der Nicht-US Rohstoffproduzentenländer erkannt werden.

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 Gesteinskosten 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 Industrieminerale auch gleichmäßiger über die Erde und auf die verschiedenen Ländergruppen verteilt.

Bislang wurden gerade diese Industrieminerale zu Unrecht äußerst gering geachtet. Viele hochwertige Produkte sind aus derartigen Rohstoffen gefertigt. Sind möglicherweise unter den Industriemineralen 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 Produzenteländer möglich.

### Marktstörungen

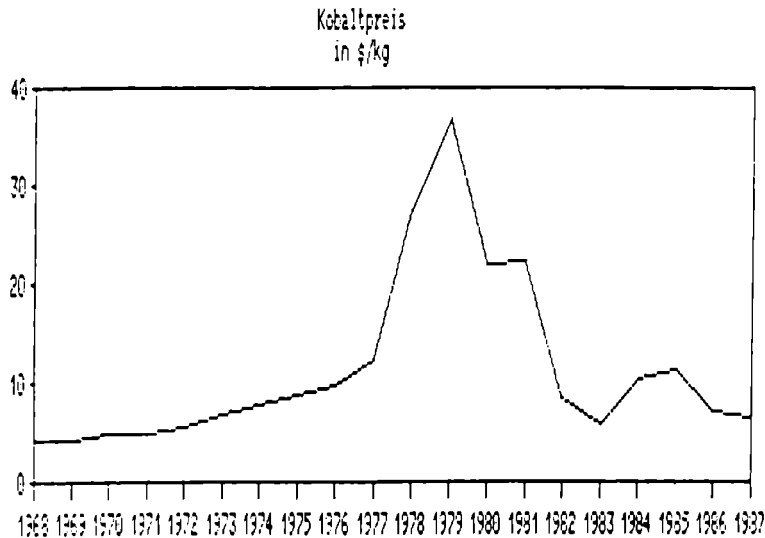
Verknappungen können jederzeit zumindest theoretisch dann eintreten, wenn nur wenige Anbieter den Markt kontrollieren. Derartige Störungen sind heute aber kaum zu befürchten, zumal dazu eine einheitliche Haltung aller Einzelproduzenten und Produzenteländer notwendig ist. Die Androhung verschiedener Staaten, die Rohstoffwaffe einzusetzen, ist kaum furchterregend, sie wird vielmehr von anderen Produzenteländern, 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

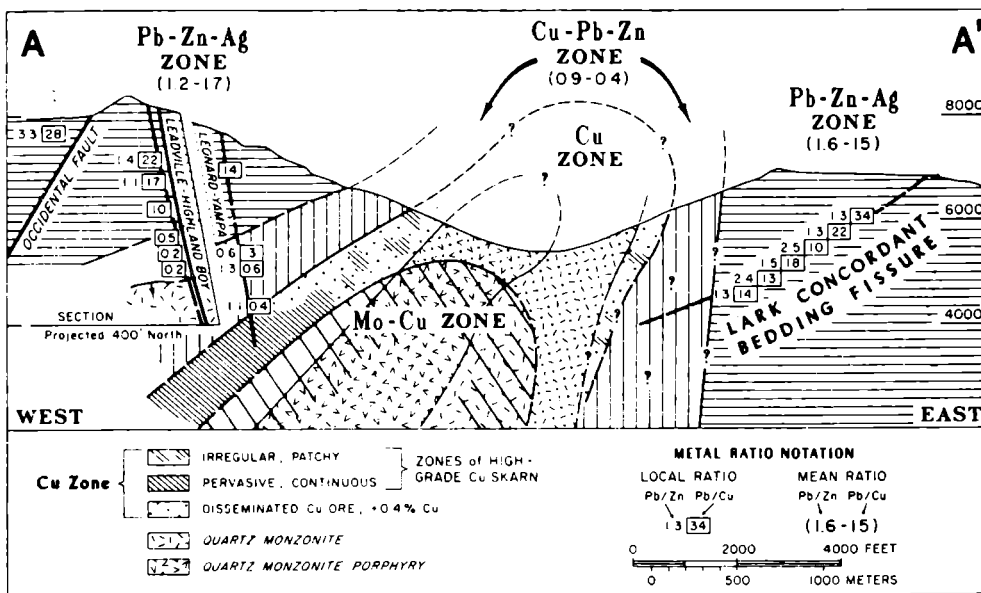


Lagerstätten sind eher eine Ausnahme. Ihre zukünftige Verfügbarkeit hängt nicht zuletzt von der Verfügbarkeit dieser Komplexerze ab.

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

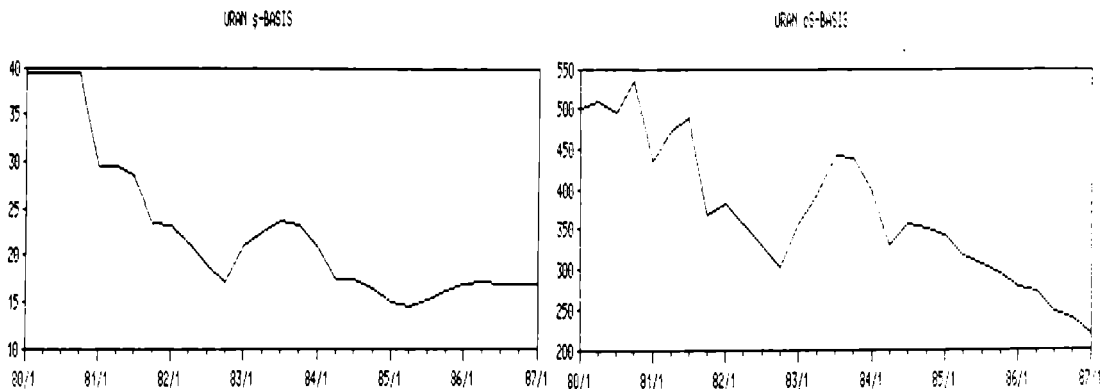
zirkumpazifischen Raum nachgewiesen (Papua-Neuguinea, Bougainville).

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 soviele 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 Komplexerzlagerstätten 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 Departement of the Interior, Bureau of Mines, Bull. 692, Washington 1987.

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

# **Rohstoffverknappung bei Metallen?**

von

**Peter Paschen**

---

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.





# Rohstoffverknappung bei Metallen?

P. Paschen

## 1. Versorgungssituation

Dieser Bericht beschränkt sich auf mineralische Rohstoffe und bei den mineralischen Rohstoffen auf diejenigen, die zur Metallgewinnung dienen. Es werden also weder Energierohstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas, Uran) noch die auch in der deutschen Sprache so genannten "non-metallic minerals" behandelt - etwa vom Asbest bis zum Flußspat.

Als Anfangsbemerkung mag dienen, daß das Vorhandensein von Metallen auf der Erde mit dem "Clarke-Wert" angegeben wird, der Angabe in Gramm pro Tonne (g/t) oder ppm als Durchschnittsgehalt in der Erdkruste, wobei eine Konvention besagt, daß mit "Erdkruste" die obersten 16 km von der Erdoberfläche aus nach innen bezeichnet werden. Dieser Clarke-Wert erscheint für alle Metalle mit ausreichender Genauigkeit festzustehen.

Tabelle 1 gibt in der Spalte 2 den Clarke-Wert an. Macht man sich die Mühe, die Tonnage dieser 16 km dicken Erdkruste, also dieses 16 km dicken Kugelmantels auszurechnen, so kommt man auf  $22,2 \cdot 10^{18}$  t - selbstverständlich eine unvorstellbar große Zahl (im deutschen Sprachgebrauch 22,2 Trillionen Tonnen). Die Gehalte der Metalle in der Erdkruste in g/t mit dieser Erdmantelmasse multipliziert, ergibt die rein physisch vorhandene Menge an Metallen in der Erdkruste, Spalte 3 in der Tabelle. Vor der Tonnage erscheint die Reihung. Silizium ist vor Aluminium, Eisen, Magnesium und Titan das am häufigsten vertretene metallische Element auf dieser Erde. Auf den Plätzen 6 bis 10 erscheinen - vielleicht für viele doch etwas überraschend - Mangan, Zirkon, Vanadium, Chrom und Nickel, im wesentlichen also Stahlveredler.

Die großen Nichteisenmetalle Zink und Kupfer folgen dahinter. Gallium erwartet man sicher nicht so weit vorne und Zinn, Silber und Gold vielleicht doch nicht so weit hinten.

In der Spalte 4 dieser Tabelle ist der Verbrauch an den Metallen im Jahre 1985 angegeben, so daß sich durch Division der Spalte 3 durch Spalte 4 eine statistische Gesamtverfügbarkeit ergibt, die gültig wäre, wenn man die gesamte Erdkruste ausbeuten könnte. Interessanterweise steht in der Reihenfolge der Spalte 5 nunmehr das Gallium an erster Stelle, gefolgt vom Silizium, Magnesium, Zirkon und Hafnium (!) mit 10, 12 Jahren. Im Bereich von  $10^9$  Jahren liegen die

Hauptgebrauchsmetalle Eisen und Aluminium, alle Stahlveredler außer Molybdän, die Platinmetalle (!) sowie die Nebenmetalle Germanium, Indium, Arsen, Wismut, Selen. Es fällt auf, wie hoch der Zirkon- und Hafniumgehalt der Erdkruste ist. Zu den schwächer vertretenen Metallen gehören Blei, Gold, Antimon.

In eine realistischere Größenordnung werden diese Zeiträume gebracht, wenn man die zur Zeit bekannten Erz-Reserven der einzelnen Metalle darstellt. Das hierbei entscheidende Kriterium ist das Wort "Erz". Damit wird eine über den Durchschnitt (Clarke-Wert) hinausgehende Anreicherung eines Metalls (meist nur in einer Teufe bis 2000 Meter) bezeichnet, aber nur dann, wenn aus dieser Anreicherung heraus das Metall wirtschaftlich gewinnbar ist. Hiermit wird eine Grenze definiert, die fließend ist.

Die wirtschaftliche Gewinnbarkeit bedeutet nichts anderes, als daß die Erlöse für den Verkauf des Metalls höher sein müssen als die Kosten einer Herstellung. Daß sich diese Grenze eigentlich ständig verschiebt, wird klar, wenn man an kostensenkende Einflüsse wie

- technisch-wirtschaftlicher Fortschritt der Gewinnungsmethoden,
- "economy of scale"
- Energiepreissenkungen,
- Rationalisierung/Mechanisierung/Automatisierung,

oder an kostensteigernde Einflüsse wie

- Lohnerhöhungen, Streiks,
- Sozialgesetzgebung,
- Umweltgesetzgebung,
- künstliche Verknappung

denkt.

Die Veränderung der Grenze, ab der man von einem "Erz" spricht, wird besonders sinnfällig am Beispiel des Kupfers. Noch vor wenigen Jahrzehnten lag die Grenze bei 1 % Cu, heute nähert sich sich 0,1 %.

Ein weiterer entscheidender Unterschied zwischen Spalte 6 und Spalte 3 in Tabelle 1 ist nicht qualitativ ("wirtschaftliche" Gewinnbarkeit), sondern quantitativ. Es sind heute bei weitem nicht alle Erzlagerstätten bekannt, und von der Teufe her haben wir die Erde überhaupt erst ein bißchen angekratzt. Es wäre auch vollkommen sinnlos, mit dem Geld von 1988 die Prospektion für 2088

durchzuführen. Im allgemeinen gibt man sich mit einem Zeitabschnitt von 20, 30 oder 50 Jahren zufrieden.

Man kann die durch Division der Spalte 6 durch die Spalte 4 errechnete Verfügbarkeit eines Metalls in Jahren also immer nur auf den jeweiligen Zeitpunkt beziehen, hier "Wert 1986". Dies nicht beachtet zu haben, war einer der Fehler des Berichts des ersten Clubs von Rom.

Die Spalte 7, die so definierte statistische Verfügbarkeit 1986, weist für die Metalle Silizium, Magnesium, Kobalt Zeiträume von über 100.000 Jahren aus, über 1000 Jahren liegen Gallium, Germanium, Selen, Titan, Tellur, Zirkon, Hafnium, Chrom und Aluminium. Am unteren Ende der Skala liegen zur Zeit Silber, Quecksilber, Blei, Indium, Tantal, Wismut, Zink und Gold (alle weniger als 50 Jahre).

Bei allem bisher Gesagten ist noch nicht eine einzige Tonne eines wiederverwerteten Metalls berücksichtigt, das ganze sogenannte "Recycling". Jede Tonne aus Schrott rückgewonnenen und wieder verwerteten Metalls streckt die Erzreserven im gleichen Maße. Bei einer Recyclingquote von 50 % verdoppeln sich schon die Verfügbarkeitsjahre. An der Verbesserung und der Vervollständigung der Wiedergewinnungsverfahren ("Sekundärmetallurgie") wird zur Zeit intensiv gearbeitet, obwohl bei manchen Metallen die Gewinnung aus Erzen ("Primärmetallurgie") zur Zeit billiger ist als auch nur die Schrottsammelaktion! Die Recyclingquoten liegen heute bei den Hauptmetallen zwischen 20 % bei Zink und 50 % bei Blei.

Ein weiteres Regulativ in der Versorgungssituation ist der Preis des Metalls. Trotz zahlreicher Kartellierungsversuche (das bisher größte Desaster solcher Art Preisabsprachen war der Zusammenbruch des Zinnkartells 1985), politisch-militärisch bedingter Lagerhaltungen (sogenannte strategische Reserven), Notenbankhortungen (vor allem bei Gold), Zoll- und Binnenmarkthochpreispolitik verschiedener Länder - trotz allem funktioniert erstaulicherweise auf den internationalen Metallmärkten noch das eherne Gesetz von Angebot und Nachfrage. Dies hat zwar für Hartwährungsländer offenkundige Nachteile, da die bedeutenden Metallbörsen in den Ländern liegen, deren Währungen immer wieder zu eklatanten Schwächeanfällen neigen (England, USA, Malaysia), hat aber für die Ressourcenschonung auch einen ungeheuren Vorteil. Sobald wirklich einmal ein wichtiges Metall knapp zu werden droht, steigt sein Preis. Der höhere Preis macht dann auch ärmere Erze wirtschaftlich gewinnbar - die als "Erz" klassifizierten Vorräte steigen, die Verknappung bildet sich (zumindest zunächst auf höherem Preisniveau) zurück.

Aus allen vorgestellten Zahlen läßt sich unter den Metallen kein einziger "nicht ausreichend verfügbarer Rohstoff" ausmachen, und somit auch keine daraus resultierende Substitutionstendenz. Es kann also in bewußter Kontradiktion zum Club von Rom gesagt werden: "Die Metallvorkommen dieser Welt sind unerschöpflich".

## **2. Substitutionstendenzen**

Trotzdem gab es in der Vergangenheit immer wieder zeitlich begrenzte Versorgungsengpässe, und das wird wohl auch in Zukunft immer einmal wieder vorkommen. In solchen Situationen wird es dann zur Substitution eines Metalls durch einen anderen Stoff (in vielen Fällen durch ein anderes Metall) kommen. Es soll aber betont werden, daß eine solche Substitution nicht unmittelbar aus der Verknappungssituation ("short supply") erwächst, sondern aus dem erhöhten Preis.

Für eine bestimmte Anwendung wird ein Metall einfach zu teuer, und wenn man nicht mehr durch einen Minderverbrauch dieses Metalls bei der Herstellung desselben Fertigteils gegensteuern kann (Beispiel: Verminderung der Schichtdicke bei der Stahlblechverzinkung oder -verzinnung), dann versucht man auf billigere Materialien auszuweichen. Man nennt dies "preisinduzierte" Substitution. Unter diesem Aspekt sind die folgenden Betrachtungen zu sehen.

Es darf nicht vergessen werden, daß Substitution auch immer mit Umstellungskosten verbunden ist, die durch einen angemessenen Vorteil des neuen Materials aufgewogen werden können. Vielfach liegt die Substitutionsschwelle so hoch, daß scheinbar längst fällige Umstellungen nur sehr langsam in Gang kommen.

### **Hauptmetalle**

Bei Eisen, besser gesagt, bei Massenhählen, ist keine preisinduzierte Substitution zu erwarten. Baustähle werden wahrscheinlich aus Qualitätsgründen (Korrosion) gewisse Einbußen hinnehmen müssen; sie können z.T. durch neue, preiswerte nichtrostende Stähle wie 3Cr12 (12 % Cr) ersetzt werden. Die Substitution von Stahl durch Leichtmetalle im gesamten Verkehrssektor beruht auf der Gewichtsersparnis und dem dadurch verringerten Kraftstoffverbrauch.

Aus dem gleichen Grund beginnt eine gewisse Substitution von Aluminium im Flugzeugbau durch Carbonfaserwerkstoffe und Metall-Kohlenstoffaserkombination. Hier wird substituiert, obwohl der neue

Werkstoff teurer ist! - Die Umweltgesetzgebung in den hochindustrialisierten Ländern wird die Primäraluminiumerzeugung wegen der höheren Strompreise verteuern, ja, zum Teil vernichten (Beispiel Japan). Ob daraus eine gewisse Substitution des Aluminiums in den Weiterverarbeitungsprodukten entstehen wird, ist nicht undenkbar.

Kupfer ist als typisches Börsenmetall in seinem Preis sehr konjunkturunabhängig. Jedoch hat 1984/85 der Kupferpreis seine Funktion als Knappheitsindikator in vielen Ländern eingebüßt. Preissteigerungen waren nicht Ausdruck realer Veränderungen auf der Angebotsseite, sondern vor allem Konsequenzen gravierender Wechselkursänderungen. Dieses Problem gilt im übrigen für alle Metalle. Hierdurch können preisinduzierte Substitutionen ausgelöst werden, die aber auch gar nichts mehr mit Verknappungserscheinungen zu tun haben.

Kupfer ist wegen seiner hohen Dichte gefährdet, weil für dasselbe Fertigteil mehr Masse bezahlt werden muß. Zu dem klassischen Substitutionsbeispiel der Hochspannungsleitungen (durch Aluminium) kommt das moderne der Nachrichtenübertragung (durch Glasfaser). Durch die Vielzahl seiner guten Eigenschaften wie Leitfähigkeit, Umform- und Zerspanbarkeit, Korrosionsbeständigkeit und nicht zuletzt auch durch seine schöne Farbe wird Kupfer aber für vieles unersetzlich bleiben.

Der Kupfermarkt war noch vor 1 Jahr durch Überkapazitäten und Preisverfall gekennzeichnet. Selbst Stilllegung von Bergwerkskapazitäten in den USA führte kaum zum Preisanstieg, da Chile mit seinen weltniedrigsten Gewinnungskosten und seiner schwachen Währung den Weltmarkt überschwemmt. Kupfer war eine "hard selling commodity", was großvolumige Substitutionen sehr unwahrscheinlich machte. Zur Zeit liegen die Kupferpreise wieder relativ hoch.

Zink und Blei werden zwar in Tabelle 1, Spalte 7, mit nur 45 bzw. 27 Jahren Verfügbarkeitsdauer ausgewiesen, dies ist jedoch lediglich eine Folge der mangelnden Prospektionstätigkeit, die ihrerseits durch die niedrigen Preise dieser beiden Metalle bedingt ist. Schon vor 30 Jahren hörte man, daß es nur noch für 30 Jahre Zinkerze gäbe! Zink hat im Korrosionsschutz von Stahl (Karosserieblech, Leitplanken, Masten, Bauwesen) eine sehr starke Stellung erreicht, die bei den geringen Zinkauflagen und der daher sehr geringfügigen Verteuerung des Grundwerkstoffs kaum angreifbar erscheint. Die Substitution von Zink bei dekorativen Druckgußteilen (Beschläge u.ä.) ist dagegen in vollem Gange. Kunststoffartikel mit oder ohne galvanischer Auflage

sind billiger. Bei funktionellen Druckgußteilen gibt es eine gewisse Substitution wegen des hohen Gewichts im Kraftfahrzeugbau.

Blei muß man wohl in seinem Hauptverwendungsgebiet Akkumulatoren als relativ stark gefährdet ansehen, und zwar mehr bei den Starterbatterien (hohes Gewicht im Kraftfahrzeug) als bei den stationären Batterien (Notstromaggregate u.ä.). Es wird seit Jahrzehnten an neuen Batteriesystemen gearbeitet, ein Durchbruch und damit eine Substitution des Bleis ist bisher nicht gelungen. Dabei spielt sicher auch die 100%ige Recyclierbarkeit der Altbatterien eine positive Rolle. Kabelmäntel aus Blei gehen wegen des hohen Gewichts zurück, Bleitetraäthyl aus Umweltschutzgründen. Insgesamt macht der extrem niedrige Bleipreis jegliche Substitution schwierig.

Auf den Zusammenbruch des Zinnkartells wurde bereits hingewiesen. Hier war erfolglos versucht worden, die Marktgesetze außer Kraft zu setzen. Durch künstliche Verknappung wurde ein derartig hoher Preis möglich gemacht, daß die Substitution geradezu provoziert wurde. Die Folge war ein echter Verbrauchsrückgang um etwa 15 % in der westlichen Welt. Es wird schwer sein trotz des stark gesunkenen Preises seit dem Desaster, alle Märkte zurückzuerobern. Zinn ist ein klassisches Beispiel für die preisinduzierte Substitution: Ersatz des verzinnnten Weißblechs durch Aluminium.

Magnesium hat in der Vergangenheit einen Substitutionsverlust im Motorenbau (Volkswagen) durch nicht ausreichende Eigenschaften bei hohen Temperaturen hinnehmen müssen. Im übrigen ist aber Magnesium ein Metall, das in der Zukunft eher selbst andere Materialien verdrängen wird, wenn es gelingt, den Preis noch zu senken (geringes Gewicht; Stahlschwefelung; Verbundwerkstoffe).

### **Legierungsmetalle für Stahl**

Bei einigen dieser sogenannten Stahlveredler bestehen deutliche Versorgungsunsicherheiten aus politischen Gründen: Chrom und Vanadium aus Südafrika, Kobalt und Tantal aus Zaire, Wolfram aus China, Vanadium aus der UdSSR. Sollten diese Länder einmal die westliche Welt nicht mehr beliefern wollen oder können, wäre mit einer vorübergehend angespannten Liefersituation zu rechnen. Wegen der kaum zu ersetzenden rost-, verschleiß- und hitzebeständigen chromlegierten Stähle, "refractory metals" und Superlegierungen hat die Republik Südafrika hier eine wirkungsvolle Gegenboykottmaßnahme in der Hand.

Nickel ist wohl das interessanteste Metall dieser Gruppe, es gewinnt und verliert. Schon im letzten Krieg wurde Nickel in Stählen teilweise durch Stickstoff ersetzt, zur Zeit wird es in Nordamerika durch Zink in Münzmetall ersetzt. Andererseits schiebt sich neuerdings eine Ni-Cr-Co-Mo-Legierungsgruppe für Wärmetauscher und kerntechnische Anwendungen in den Vordergrund ("Nicrofer", "Inconel") mit hoher thermischer und mechanischer Überlastbarkeit. Dies sind Verdrängungswettbewerbe zwischen den Metallen aufgrund überlegener Qualitätsmerkmale.

Wolfram ist in Schnellarbeitsstählen nur teilweise durch Molybdän substituierbar, in Hartmetall und in Glühfäden wohl unersetzlich, bei der breiten Produktionsstreuung geografisch braucht aber mit Versorgungsproblemen nicht gerechnet zu werden. Die Wiederaufarbeitung von Schrott (20 %) ist besser entwickelt als bei V, Nb, Mo, Co.

Bei Kobalt überwiegen die Anwendungen in Spezialstählen und in nichtmetallischen Anwendungen in Kompositwerkstoffen und Hartmetallen. Das Risiko, das in den Lieferländern Zaire und Zambia begründet liegt, wird kaum zu großen Preisschüben und damit zur Substitutionsgefährdung führen.

Niob und Tantal sind in guter geografisch-politischer Streuung ausreichend vorhanden. Die Substitutionsmöglichkeiten für Niob sind sehr begrenzt. Beim Ersatz durch Vanadium oder Molybdän in hochfesten Stählen müssen Qualitätseinbußen hingenommen werden, Tantal und Titan können Niob in Superlegierungen ersetzen, doch ist Tantal wesentlich teurer. Deshalb ist auch Tantal das eher substituitionsgefährdete dieser beiden Schwestermetalle. Es wird in der Elektronik und in Hartmetallen sowie als Legierungselement in hochbeanspruchten Superlegierungen verwendet. Dabei ist es durch Niob, durch Aluminium sowie durch keramische Erzeugnisse gefährdet. Eine gewisse Tendenz geht z.Zt. zu Strahltriebwerken mit höherem Tantalanteil.

Mangan ist so überreichlich vorhanden, daß es in diesem Zusammenhang keiner Erwähnung bedarf.

Die Molybdänvorräte liegen überwiegend in der westlichen Welt und sind teilweise an Kupfererze gebunden. Der Molybdänverbrauch geht zu 80 % in die stark konjunkturabhängige Stahlproduktion ein. Besondere Substitutionsmöglichkeiten oder -anstrengungen sind nicht erkennbar. Generell gilt für Stahlveredler und Stahl: Langfristig ist eine gewisse Substitution durch HL-Keramik zu erwarten. Hierbei handelt es sich wieder um Metallverbindungen: Oxide, Carbide usw.



Titan ist in seinen Verbrauchssektoren noch immer stark von der Luft- und Raumfahrtindustrie abhängig. Es sind weder Versorgungsengpässe noch Preissteigerungen verhersehbar.

### **Edelmetalle**

Bei Gold und Silber könnte man am ehesten Versorgungsengpässe bei der Produktion von Neumetallen befürchten. Dem kann man entgegenhalten, daß etwa 90 % des von der Menschheit im Laufe ihrer Geschichte erzeugten Goldes noch heute verfügbar sind. Sie lagern in Tresoren der Notenbanken oder befinden sich als Schmuck in privatem Besitz. Bei dieser Verwendung gibt es bei Gold trotz seines ausgeprägten Spekulationscharakters keine Substitutionsgefährdung.

Silber ist in seinen Vorkommen an Bleierze gekoppelt und teilt daher dessen gering erscheinenden Versorgungsgrad. Bei nur leicht zunehmenden Verbrauchsmengen in der Elektronik, EDV und Chemie und stagnierendem oder fallendem Verbrauch für Silberwaren, Lote und im Fotosektor erscheint insgesamt kein Grund für Preissteigerungen vorzuliegen, abgesehen von gelegentlichen Spekulationen und Hortungen.

Auch bei Platin ist zur Zeit die Produktion höher als der Verbrauch. Bei langsam steigendem Bedarf für Katalysatoren dürfte es keine Versorgungsschwierigkeiten geben, doch muß hier wieder auf die überragende Position Südafrikas hingewiesen werden. Südafrika könnte bei der Sperrung seiner Lieferungen fast die gesamte, auf Abgaskatalysatoren zielende Umweltschutzanstrengung der westlichen Industriestaaten zusammenbrechen lassen. Substitutionsmöglichkeiten sind zur Zeit nicht gegeben. Es sollten erhebliche Prospektionsanstrengungen unternommen werden. Schmuckwaren und Elektroindustrie sind weitere Pt-Märkte.

Auch das Edelmetallrecycling muß verstärkt werden. Neue Wege werden im Kfz-Katalysator-Recycling beschritten werden müssen.

### **Neben- und Sondermetalle**

Von den in Tabelle 1 aufgeführten Neben- und Sondermetallen muß man wohl höchstens bei Indium und Zirkon mit einem merklichen Preissteigerungspotential rechnen. Bei Indium ist der Grund, daß es nur 6 wesentliche Anbieter gibt. 1975 bis 1980 gab es schon einmal eine ausgeprägte Hausse mit einer Verzehnfachung des ursprünglichen Preises. Bei Zirkon werden als Formsand und als Zirkondioxid

in Feuerfestmaterial relativ hohe Verbrauchszuwachsraten prognostiziert. Dabei sind Chromit und Olivin nur minderwertige Substitutionsgüter. Zirkonmetall hängt mit der Konjunktur für Kernkraftwerke zusammen. Auch bei Zirkon ist die Angebotsseite oligopolistisch strukturiert. Mehr Anbieter bei beiden Metallen wären von Vorteil.

Die elektronikorientierten Metalle Silizium, Gallium, Arsen, Kadmium, Selen, Germanium sind eher noch in der Phase der sinkenden Preise für die aus ihnen hergestellten Erzeugnisse. Hier bestehen auch gewisse gegenseitige Substitutionsmöglichkeiten, sodaß wohl keines dieser Elemente einen separaten Preishöhenflug ansteuern kann. Die Quecksilber- und Antimonanwendungen gehen generell zurück.

### **Zusammenfassung**

Mineralische Rohstoffe zur Metallgewinnung sind in der Erdkruste überreichlich vorhanden. Die heute bekannten Erzreserven mit unter heutigen Kosten/Erlös-Relationen wirtschaftlich gewinnbarem Metallinhalt sind zwar wesentlich geringer, sind aber vom Prospektionsstand, Stand der Technik und von wirtschaftlich-politischen Faktoren abhängig. Nur 8 von 34 hier angegebenen Metallen zeigen heute eine Verfügbarkeit von unter 50 Jahren: Ag, Hg, Pb, In, Ta, Bi, Zn, Au. Auch zunehmendes Recycling wird die Vorräte strecken.

Im marktwirtschaftlich orientierten internationalen Metallhandel ist über Angebot und Nachfrage der Preis eines Metalls der wichtigste Knappheitsindikator. Nur von überhöhten Preisen können für die Metalle Substitutionstendenzen ausgehen, nicht von mangelnder Versorgung. Die wenigen Gefährdungsfälle aus heutiger Sicht sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 1: Versorgungssituation

|                             | Metall | Clarkwert<br>(Durchschnitts-<br>gehalt in der<br>Erdkruste) in ppm | Rang                   | Metallmasse in<br>der Erdkruste<br>(22,2.10 <sup>18</sup> t)<br>in t | Metallverbrauch<br>1985<br>in t | Gesamt-Verfügbar-<br>keit (Jahre)<br>Spalte 3:4 | Rang                  | Z.Zt. bekannte<br>Erz-Reserven<br>Metallinhalt<br>in t | Statistische Ver-<br>fügbarkeit (Jahre)<br>Wert: 1986<br>Spalte 6:4 |
|-----------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                             | 1      | 2                                                                  | 3                      | 4                                                                    | 5                               | 6                                               | 7                     | 8                                                      | 9                                                                   |
| Hauptmetalle                | Fe     | 56300                                                              | (3)                    | 1,250.10 <sup>18</sup>                                               | 0,700.10 <sup>9</sup>           | 2.10 <sup>9</sup>                               | (3)                   | 0,089.10 <sup>12</sup>                                 | 127                                                                 |
|                             | Al     | 82300                                                              | (2)                    | 1,827.10 <sup>18</sup>                                               | 0,016.10 <sup>9</sup>           | 114.10 <sup>9</sup>                             | (4)                   | 0,020.10 <sup>12</sup>                                 | 1250                                                                |
|                             | Cu     | 55                                                                 | (12)                   | 1,221.10 <sup>15</sup>                                               | 9,613.10 <sup>6</sup>           | 127.10 <sup>6</sup>                             | (8)                   | 1,146.10 <sup>9</sup>                                  | 119                                                                 |
|                             | Zn     | 70                                                                 | (11)                   | 1,554.10 <sup>15</sup>                                               | 6,492.10 <sup>6</sup>           | 239.10 <sup>6</sup>                             | (10)                  | 0,290.10 <sup>9</sup>                                  | 45                                                                  |
|                             | Pb     | 12,5                                                               | (16)                   | 0,278.10 <sup>15</sup>                                               | 5,421.10 <sup>6</sup>           | 51.10 <sup>6</sup>                              | (11)                  | 0,145.10 <sup>9</sup>                                  | 27                                                                  |
|                             | Sn     | 2                                                                  | (19)                   | 0,044.10 <sup>15</sup>                                               | 0,213.10 <sup>6</sup>           | 206.10 <sup>6</sup>                             | (13)                  | 0,037.10 <sup>9</sup>                                  | 174                                                                 |
|                             | Mg     | 23300                                                              | (4)                    | 0,517.10 <sup>18</sup>                                               | 0,291.10 <sup>6</sup>           | 2.10 <sup>12</sup>                              | (2)                   | 0,100.10 <sup>12</sup>                                 | 100.000                                                             |
| Legierungsmetalle für Stahl | Ni     | 75                                                                 | (10)                   | 1,655.10 <sup>15</sup>                                               | 0,787.10 <sup>6</sup>           | 2.10 <sup>9</sup>                               | (12)                  | 0,093.10 <sup>9</sup>                                  | 118                                                                 |
|                             | Cr     | 100                                                                | (9)                    | 2,220.10 <sup>15</sup>                                               | 4,000.10 <sup>6</sup>           | 1.10 <sup>9</sup>                               | (5)                   | 6,959.10 <sup>6</sup>                                  | 1740                                                                |
|                             | Co     | 25                                                                 | (13)                   | 0,555.10 <sup>15</sup>                                               | 0,040.10 <sup>6</sup>           | 14.10 <sup>9</sup>                              | (7)                   | 5,000.10 <sup>9</sup>                                  | 100.000                                                             |
|                             | Nb     | 20                                                                 | (14)                   | 0,444.10 <sup>15</sup>                                               | 0,030.10 <sup>6</sup>           | 15.10 <sup>9</sup>                              | (20)                  | 8,000.10 <sup>6</sup>                                  | 260                                                                 |
|                             | Ta     | 2                                                                  | (19)                   | 0,044.10 <sup>15</sup>                                               | 1,000.10 <sup>3</sup>           | 44.10 <sup>9</sup>                              | (32)                  | 0,030.10 <sup>6</sup>                                  | 30                                                                  |
|                             | Mn     | 950                                                                | (6)                    | 0,021.10 <sup>18</sup>                                               | 0,012.10 <sup>9</sup>           | 2.10 <sup>6</sup>                               | (6)                   | 5,160.10 <sup>9</sup>                                  | 430                                                                 |
|                             | Mo     | 1,5                                                                | (21)                   | 0,033.10 <sup>15</sup>                                               | 0,100.10 <sup>6</sup>           | 300.10 <sup>6</sup>                             | (19)                  | 9,000.10 <sup>6</sup>                                  | 90                                                                  |
|                             | V      | 135                                                                | (8)                    | 3,000.10 <sup>15</sup>                                               | 0,030.10 <sup>6</sup>           | 100.10 <sup>9</sup>                             | (15)                  | 0,017.10 <sup>9</sup>                                  | 565                                                                 |
|                             | W      | 1,5                                                                | (22)                   | 0,033.10 <sup>15</sup>                                               | 0,040.10 <sup>6</sup>           | 1.10 <sup>9</sup>                               | (22)                  | 3,280.10 <sup>6</sup>                                  | 82                                                                  |
| Ti                          | 5700   | (5)                                                                | 0,127.10 <sup>18</sup> | 0,090.10 <sup>6</sup>                                                | 2.10 <sup>9</sup>               | (9)                                             | 0,700.10 <sup>9</sup> | 9000                                                   |                                                                     |
| Edelmetalle                 | Au     | 0,004                                                              | (33)                   | 0,089.10 <sup>12</sup>                                               | 1,500.10 <sup>3</sup>           | 60.10 <sup>6</sup>                              | (31)                  | 0,040.10 <sup>6</sup>                                  | 27                                                                  |
|                             | Ag     | 0,07                                                               | (29)                   | 1,554.10 <sup>12</sup>                                               | 0,016.10 <sup>6</sup>           | 100.10 <sup>6</sup>                             | (27)                  | 0,250.10 <sup>6</sup>                                  | 16                                                                  |
|                             | Pt     | 0,005                                                              | (32)                   | 0,111.10 <sup>12</sup>                                               | 0,150.10 <sup>3</sup>           | 2.10 <sup>9</sup>                               | (30)                  | 0,070.10 <sup>6</sup>                                  | 500                                                                 |
|                             | Pd     | 0,01                                                               | (31)                   | 0,222.10 <sup>12</sup>                                               |                                 |                                                 |                       |                                                        |                                                                     |
| Nebemetalle                 | Cd     | 0,2                                                                | (24)                   | 4,440.10 <sup>12</sup>                                               | 0,018.10 <sup>6</sup>           | 246.10 <sup>6</sup>                             | (17)                  | 0,010.10 <sup>9</sup>                                  | 555                                                                 |
|                             | Hg     | 0,08                                                               | (28)                   | 1,776.10 <sup>12</sup>                                               | 6,200.10 <sup>3</sup>           | 286.10 <sup>6</sup>                             | (29)                  | 0,155.10 <sup>6</sup>                                  | 25                                                                  |
|                             | Sb     | 0,2                                                                | (25)                   | 4,440.10 <sup>12</sup>                                               | 0,054.10 <sup>6</sup>           | 32.10 <sup>6</sup>                              | (21)                  | 5,074.10 <sup>6</sup>                                  | 94                                                                  |
|                             | As     | 1,8                                                                | (20)                   | 0,040.10 <sup>15</sup>                                               | 0,025.10 <sup>6</sup>           | 2.10 <sup>9</sup>                               | (18)                  | 0,010.10 <sup>9</sup>                                  | 400                                                                 |
|                             | Bi     | 0,17                                                               | (26)                   | 3,774.10 <sup>12</sup>                                               | 4,600.10 <sup>3</sup>           | 1.10 <sup>9</sup>                               | (28)                  | 0,185.10 <sup>6</sup>                                  | 40                                                                  |
|                             | Se     | 0,05                                                               | (30)                   | 1,110.10 <sup>12</sup>                                               | 1,500.10 <sup>3</sup>           | 1.10 <sup>9</sup>                               | (16)                  | 0,015.10 <sup>9</sup>                                  | 10.000                                                              |
|                             | Te     | 0,001                                                              | (34)                   | 0,022.10 <sup>12</sup>                                               | 0,150.10 <sup>3</sup>           | 100.10 <sup>6</sup>                             | (25)                  | 1,000.10 <sup>6</sup>                                  | 7.000                                                               |
|                             | Ge     | 1,5                                                                | (23)                   | 0,033.10 <sup>15</sup>                                               | 0,090.10 <sup>3</sup>           | 370.10 <sup>9</sup>                             | (24)                  | 1,000.10 <sup>6</sup>                                  | 10.000                                                              |
|                             | Ga     | 15                                                                 | (15)                   | 0,333.10 <sup>15</sup>                                               | 0,035.10 <sup>3</sup>           | 10.10 <sup>12</sup>                             | (23)                  | 1,500.10 <sup>6</sup>                                  | 43.000                                                              |
|                             | In     | 0,1                                                                | (27)                   | 2,222.10 <sup>12</sup>                                               | 0,060.10 <sup>3</sup>           | 37.10 <sup>9</sup>                              | (33)                  | 1,600.10 <sup>3</sup>                                  | 27                                                                  |
| Sondermetalle               | Zr     | 165                                                                | (7)                    | 3,663.10 <sup>15</sup>                                               | 5,000.10 <sup>3</sup>           | 1.10 <sup>12</sup>                              | (14)                  | 0,022.10 <sup>9</sup>                                  | 4.400                                                               |
|                             | Hf     | 3                                                                  | (17)                   | 0,066.10 <sup>15</sup>                                               | 0,100.10 <sup>3</sup>           | 1.10 <sup>12</sup>                              | (26)                  | 0,444.10 <sup>6</sup>                                  | 4.400                                                               |
|                             | Si     | 281500                                                             | (1)                    | 6,249.10 <sup>18</sup>                                               | 2,700.10 <sup>6</sup>           | 2.10 <sup>12</sup>                              | (1)                   | 1,000.10 <sup>12</sup>                                 | 100.000                                                             |

Tabelle 2: Substitutionsgefährdungen bei Metallen

| Metalle | Verwendungsgebiet                              | Gefährdungsgrund                   | Substituierendes Material     |
|---------|------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Kupfer  | Elektrotechnik<br>Nachrichtentechn.            | Gewicht/Preis<br>Gewicht/Preis     | Aluminium<br>Glasfaser        |
| Zink    | Dekorativ- u.<br>Funktionsteile<br>in Druckguß | Gewicht/Preis                      | Kunststoff                    |
| Blei    | Starterbatterien<br>Kabelmäntel<br>Tetraäthyl  | Gewicht/Preis<br>Gewicht<br>Umwelt | ?<br>Aluminium<br>keines      |
| Zinn    | Verpackung                                     | Preis                              | Aluminium                     |
| Chrom   | Edelstähle                                     | Politisch:<br>Südafrikaproblem     | ?                             |
| Tantal  | Elektronik,<br>Hartmetall,<br>Legierg.         | Preis                              | Niob,<br>Aluminium<br>Keramik |
| Platin  | Abgaskatalysatoren                             | Politisch:<br>Südafrikaproblem     | ?                             |



**Stand, Entwicklung und  
Anwendungsmöglichkeiten der  
Werkstoffe für Hochtechnologien**

von

**Franz Jeglitsch**



# **Stand, Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten der Werkstoffe für Hochtechnologien**

F. Jeglitsch

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich in erster Linie mit dem Stand und der Entwicklung bei metallischen Werkstoffen. Dabei wird vor allem auf die für Hochtechnologieanwendungen notwendigen Eigenschaftsprofile und konstruktiven Merkmale eingegangen. Damit soll versucht werden, einerseits den Anschluß an den vorhergehenden Beitrag über die Verfügbarkeit der metallischen Rohstoffe, andererseits aber auch zu den beiden folgenden Beiträgen, die sich mit den Werkstoffen der Elektronik und den keramischen Werkstoffen befassen, herzustellen.

Um die angeschnittene Problematik übersichtlich behandeln zu können, ist der Beitrag in fünf Kapitel gegliedert. Eingangs wird kurz dargelegt, was Metalle sind und welche Eigenschaften sie haben. Anschließend werden einige sehr wesentliche Werkstoffentwicklungen behandelt und die Frage geprüft, welche Bedeutung für die heutige Technik so spektakuläre Entwicklungen wie superplastische Legierungen, Memorylegierungen oder amorphe Metalle haben. Im 4. Kapitel soll versucht werden, die Bedeutung bestimmter Verfahrens- und Behandlungsschritte in der Werkstoffentwicklung aufzuzeigen und zum Schluß wird der Versuch unternommen, Prognosen zur Werkstoffentwicklung für die Hochtechnologie zu treffen.

## **1. Metalle und ihre Eigenschaften**

Zahlenmäßig besteht die Welt nahezu nur aus metallischen Elementen. Vier Fünftel aller Elemente im Periodischen System sind Metalle, wenige Elemente sind Halbmetalle wie Silizium, Germanium etc. oder Nichtmetalle wie Stickstoff, Sauerstoff, Fluor usw.. Der metallische Zustand ist jedoch in der Natur ein so außergewöhnlicher und bevorzugter, daß auch alle Halbmetalle und Nichtmetalle durch Variation von Druck und Temperatur in den metallischen Zustand übergeführt werden können. Die Metalle weisen eine Reihe von Eigenschaften auf, wie sie in dieser ausgeprägten Form nur ihnen zu eigen sind, nämlich: eine hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit, eine sehr gute Verformbarkeit sowie ein hohes Reflexionsvermögen (metallischer Glanz). Als weitere Eigenschaft wird manchmal die gute Legierbarkeit angefügt. Diese Eigenschaftskombination läßt sich im wesentlichen aus der metallischen Bindung - positive Metallionen in einem freibeweglichen Elektronengas - und



aus der hohen Symmetrie der Kristallsysteme, in denen Metalle kristallisieren, erklären. Von diesen mehr als 80 metallischen Elementen werden heute 45 technisch hergestellt und verwendet, rund 25 in großtechnischem Maßstab, d.h. in einigen Tonnen/Jahr.

Die Metalle können einerseits nach ihren Eigenschaften (Abb. 1) oder nach ihrem Verwendungszweck (Abb. 2) eingeteilt werden. Bei der letzteren dominiert der Grundstoff Eisen; viele Elemente werden danach klassifiziert, ob sie als Legierungsmetalle (Stahlveredler) für das Eisen in Frage kommen oder nicht. Die Einteilung in Eisen- und Nichteisenmetalle trägt dem Umstand Rechnung, daß in der Technik das Eisen als Konstruktionswerkstoff noch immer eine vorrangige Stellung einnimmt. Einer jährlichen Stahlproduktion von rund 700 Mio. Tonnen folgt mit großem Abstand das Aluminium mit 15 Mio. Tonnen/Jahr; alle übrigen Nichteisenmetalle, also Kupfer, Blei, Zinn, Zink, Nickel etc. bringen es insgesamt auf knapp 25 Mio. Tonnen/Jahr. (Es soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß dieser Vergleich mengenmäßig und nicht wertmäßig zu sehen ist.) Einige Metalle, wie Aluminium, Kupfer, Titan, Nickel etc., werden als Basismetalle bezeichnet, weil mit ihnen technisch einsetzbare Legierungsgruppen aufgebaut werden konnten.

Auch wenn viele Metalle und Legierungen (z.B. die Bronzen) den Menschen schon sehr lange begleitet haben, und der heutige Kenntnisstand über die Metalle ein sehr hoher ist, sind metallische Werkstoffe sehr komplexe Gebilde. Die Entwicklung eines neuen Werkstoffes mit bestimmten Eigenschaften einschließlich der Formgebung nur aus der Kenntnis der wissenschaftlichen Grundlagen heraus und ohne vorangehende Experimente ist erst in seltenen Fällen möglich. Viele, auch heute wichtige Werkstoffe, wie die Bronzen, das Gußeisen oder der Beton entstanden in der Vergangenheit durch systematisches Probieren. Eine durch Wissenschaft gestützte Entwicklung führte zu den heute gebräuchlichen Aluminium-, Titan-Legierungen, zu den rostfreien Stählen und zu den Hartmetallen. In jene Werkstoffgruppe, die fast vollständig nach wissenschaftlichen Grundlagen entwickelt wurde, sind die Nickel- bzw. Kobalt-Basis-Superlegierungen, die Formgedächtnislegierungen, höchstfeste Stähle, metallische Gläser, die Reaktorwerkstoffe oder Halbleiter einzureihen.

Im allgemeinen sind die Eigenschaften eines Werkstoffes miteinander vernetzt, sodaß beliebige Kombinationen nicht realisierbar sind. Es gibt z.B. kein Metall mit einem hohen Schmelzpunkt und einem niedrigen E-Modul oder umgekehrt. Wird daher im Eigenschaftsspektrum eine Eigenschaft verändert oder hochgezüchtet, zieht sie Änderungen anderer Eigenschaften mit sich.

| Gruppen                                                                                                                                                  | Symbole und Ordnungszahlen                                                                                                                                                                                                                                                          | Bemerkungen |            |                     |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|---------------------|----------------|----------------------------|-------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|---------|------------------|
| Schwermetalle                                                                                                                                            | <table border="1"> <tr> <td>23<br/>V</td> <td>24<br/>Cr</td> <td>25<br/>Mn</td> <td>26<br/>Fe</td> <td>27<br/>Co</td> <td>28<br/>Ni</td> </tr> <tr> <td>29<br/>Cu</td> <td>40<br/>Zr</td> <td>42<br/>Mo</td> <td>41<br/>Nb</td> <td>73<br/>Ta</td> <td>74<br/>W</td> </tr> </table> | 23<br>V     | 24<br>Cr   | 25<br>Mn            | 26<br>Fe       | 27<br>Co                   | 28<br>Ni          | 29<br>Cu           | 40<br>Zr | 42<br>Mo | 41<br>Nb | 73<br>Ta | 74<br>W | } Hochschmelzend |
|                                                                                                                                                          | 23<br>V                                                                                                                                                                                                                                                                             | 24<br>Cr    | 25<br>Mn   | 26<br>Fe            | 27<br>Co       | 28<br>Ni                   |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
|                                                                                                                                                          | 29<br>Cu                                                                                                                                                                                                                                                                            | 40<br>Zr    | 42<br>Mo   | 41<br>Nb            | 73<br>Ta       | 74<br>W                    |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| 51<br>Sb                                                                                                                                                 | Übergang                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |            |                     |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| <table border="1"> <tr> <td>30<br/>Zn</td> <td>48<br/>Cd</td> <td>50<br/>Sn</td> <td>80<br/>Hg</td> <td>82<br/>Pb</td> <td>83<br/>Bi</td> </tr> </table> | 30<br>Zn                                                                                                                                                                                                                                                                            | 48<br>Cd    | 50<br>Sn   | 80<br>Hg            | 82<br>Pb       | 83<br>Bi                   | niedrigschmelzend |                    |          |          |          |          |         |                  |
| 30<br>Zn                                                                                                                                                 | 48<br>Cd                                                                                                                                                                                                                                                                            | 50<br>Sn    | 80<br>Hg   | 82<br>Pb            | 83<br>Bi       |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| Leichtmetalle                                                                                                                                            | 22<br>Ti                                                                                                                                                                                                                                                                            | Übergang    |            |                     |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
|                                                                                                                                                          | <table border="1"> <tr> <td>4<br/>Be</td> <td>12<br/>Mg</td> <td>13<br/>Al</td> <td>20<br/>Ca</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                   | 4<br>Be     | 12<br>Mg   | 13<br>Al            | 20<br>Ca       | Erd- u. Erdalkali-Metalle  |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
|                                                                                                                                                          | 4<br>Be                                                                                                                                                                                                                                                                             | 12<br>Mg    | 13<br>Al   | 20<br>Ca            |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| <table border="1"> <tr> <td>3<br/>Li</td> <td>11<br/>Na</td> <td>19<br/>K</td> <td>55<br/>Cs</td> </tr> </table>                                         | 3<br>Li                                                                                                                                                                                                                                                                             | 11<br>Na    | 19<br>K    | 55<br>Cs            | Alkali-Metalle |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| 3<br>Li                                                                                                                                                  | 11<br>Na                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19<br>K     | 55<br>Cs   |                     |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| Edelmetalle                                                                                                                                              | <table border="1"> <tr> <td>47<br/>Ag</td> <td>78<br/>Pt</td> <td>79<br/>Au</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                     | 47<br>Ag    | 78<br>Pt   | 79<br>Au            | Platin-Metalle |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
|                                                                                                                                                          | 47<br>Ag                                                                                                                                                                                                                                                                            | 78<br>Pt    | 79<br>Au   |                     |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| <table border="1"> <tr> <td>44<br/>Ru</td> <td>45<br/>Rh</td> <td>46<br/>Pd</td> <td>76<br/>Os</td> <td>77<br/>Ir</td> </tr> </table>                    | 44<br>Ru                                                                                                                                                                                                                                                                            | 45<br>Rh    | 46<br>Pd   | 76<br>Os            | 77<br>Ir       |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| 44<br>Ru                                                                                                                                                 | 45<br>Rh                                                                                                                                                                                                                                                                            | 46<br>Pd    | 76<br>Os   | 77<br>Ir            |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| Sonstige Metalle                                                                                                                                         | <table border="1"> <tr> <td>31<br/>Ga</td> <td>49<br/>In</td> <td>52<br/>Te</td> <td>72<br/>Hf</td> <td>75<br/>Re</td> <td>81<br/>Tl</td> </tr> </table>                                                                                                                            | 31<br>Ga    | 49<br>In   | 52<br>Te            | 72<br>Hf       | 75<br>Re                   | 81<br>Tl          | Selteneere Metalle |          |          |          |          |         |                  |
|                                                                                                                                                          | 31<br>Ga                                                                                                                                                                                                                                                                            | 49<br>In    | 52<br>Te   | 72<br>Hf            | 75<br>Re       | 81<br>Tl                   |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
|                                                                                                                                                          | <table border="1"> <tr> <td>57<br/>Ln</td> <td>58<br/>Ce</td> <td>59<br/>Pr</td> <td>60<br/>Nd</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                  | 57<br>Ln    | 58<br>Ce   | 59<br>Pr            | 60<br>Nd       | Seltene Erden Ceritmetalle |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
|                                                                                                                                                          | 57<br>Ln                                                                                                                                                                                                                                                                            | 58<br>Ce    | 59<br>Pr   | 60<br>Nd            |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| <table border="1"> <tr> <td>90<br/>Th</td> <td>92<br/>U</td> <td>94<br/>Pu</td> </tr> </table>                                                           | 90<br>Th                                                                                                                                                                                                                                                                            | 92<br>U     | 94<br>Pu   | Radioaktive Metalle |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| 90<br>Th                                                                                                                                                 | 92<br>U                                                                                                                                                                                                                                                                             | 94<br>Pu    |            |                     |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| <table border="1"> <tr> <td>14<br/>Si</td> <td>32<br/>Ge</td> </tr> </table>                                                                             | 14<br>Si                                                                                                                                                                                                                                                                            | 32<br>Ge    | Halbleiter |                     |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |
| 14<br>Si                                                                                                                                                 | 32<br>Ge                                                                                                                                                                                                                                                                            |             |            |                     |                |                            |                   |                    |          |          |          |          |         |                  |

Abb. 1: Einteilung der Metalle nach ihren Eigenschaften

|                            |                                                                     |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| GRUNDSTOFF                 | EISEN                                                               |
| BASISMETALLE               | BLEI - KUPFER - ZINK - ZINN - ALUMINIUM                             |
| LEICHTMETALLE              | ALUMINIUM - MAGNESIUM - TITAN                                       |
| STAHLVEREDLER              | CHROM - KOBALT - MANGAN - NICKEL -<br>MOLYBDÄN - WOLFRAM - VANADIUM |
| EDELMETALLE                | GOLD - SILBER - PLATINMETALLE                                       |
| NUKLEARMETALLE             | URAN - PLUTONIUM - THORIUM                                          |
| HOCHSCHMELZENDE<br>METALLE | WOLFRAM - MOLYBDÄN - TANTAL -<br>RHENIUM - OSMIUM                   |
| NEBENMETALLE               | ANTIMON - ARSEN - KADMIIUM -<br>QUECKSILBER - NATRIUM               |

**Abb. 2: Einteilung der Metalle nach ihrem industriellen Verwendungszweck**

| GEFOGEELEMENTE                                                          | HÄRTUNGSMECHANISMUS                                          |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| GELÖSTE ATOME,<br>PUNKTFEHLER                                           | MISCHKRISTALLHÄRTUNG,<br>BESTRAHLUNGS-<br>VERFESTIGUNG       |
| VERSETZUNGEN                                                            | KALTVERFESTIGUNG                                             |
| KORNGRENZEN,<br>PHASENGRENZEN,<br>ANTI-PHASENGRENZEN                    | FEINKORNHÄRTUNG<br>ORDNUNGSHÄRTUNG                           |
| TEILCHEN ( $\beta$ IN $\alpha$ )<br>2 PHASEN ( $\beta$ NEBEN $\alpha$ ) | AUSSCHIEDUNGSHÄRTUNG,<br>DISPERSIONSHÄRTUNG,<br>DUPLIXGEFÜGE |
| KRISTALLANISOTROPIE                                                     | TEXTURHÄRTUNG,<br>ORIENTIERTE EIN-<br>KRISTALLE              |
| GEFÜGEANISOTROPIE                                                       | FASERVERSTÄRKUNG,<br>GERICHTETE KÖRNER,<br>AUSSCHIEDUNGEN    |

**Abb. 3: Festigkeitssteigernde Mechanismen bei metallischen Werkstoffen**

Manche, vor allem konstruktive Eigenschaften, wie z.B. die Festigkeit werden nicht so sehr von der chemischen Zusammensetzung der Legierung bestimmt, sondern von gewissen technologischen Behandlungsschritten stark beeinflußt. Als Beispiel sei auf die Festigkeit eines metallischen Werkstoffes hingewiesen. Diese wird heute sehr gut verstanden, vor allem jene Mechanismen, die anzusprechen sind, wenn sie in einem Werkstoff erhöht werden soll. Abbildung 3 zeigt eine Zusammenstellung aller möglichen Mechanismen, die bei metallischen Werkstoffen die Festigkeit bestimmen. Ohne sie im einzelnen zu besprechen, ist sofort zu erkennen, daß in das atomare Gitter Barrieren (0-, 1- und 2- dimensionale Gitterfehler, dreidimensionale Teilchen) eingebaut werden müssen, um das Abgleiten auf dichtest besetzten Netzebenen zu verhindern. Als Folge davon steigt die meßbare Festigkeit. Unter den ersten vier festigkeitssteigernden Mechanismen gibt es bereits zwei, nämlich die Kaltverformung und die Feinkornhärtung, die nicht an die Zusammensetzung oder an die Verwendung von bestimmten Legierungselementen gebunden sind. Auch die Kristallanisotropie nützt Effekte, die nicht mit der Zusammensetzung verknüpft sind.

## **2. Einige wesentliche Werkstoffentwicklungen der letzten Jahre**

### **Thermomechanisch behandelte mikrolegierte Röhrenstähle**

Auch wenn Bau- und Röhrenstähle zu den Massenprodukten zählen, gab es auf diesem Gebiet in den letzten 20 Jahren eine der wesentlichsten Werkstoffentwicklungen, nämlich die thermomechanisch behandelten mikrolegierten Röhrenstähle. Bei diesem Massenprodukt werden heute alle in Abbildung 3 dargelegten festigkeitssteigernden Mechanismen (Mischkristallhärtung, Versetzungshärtung, Feinkornhärtung, Ausscheidungshärtung) in geschickter Weise genützt. Abbildung 4 zeigt die Entwicklung in den letzten 20 Jahren. Trotz Reduzierung des Gesamtlegierungsgehaltes ist es durch die Ausnützung der genannten Mechanismen gelungen, nicht nur die Streckgrenze zu erhöhen, sondern auch die Übergangstemperatur zu wesentlich tieferen Werten zu verschieben. Durch Mikrolegierungselemente wie Ti, V, Nb, die in sehr geringen Mengen unter einem Zehntel Prozent zugegeben werden und sich bei der komplexen thermomechanischen Behandlung meist als submikroskopisch kleinste Karbonnitride ausscheiden, ist es vor allem gelungen, die Anteile der Feinkornhärtung, Versetzungshärtung und Ausscheidungshärtung an der Gesamtfestigkeit wesentlich anzuheben.

## Aluminium und Aluminiumlegierungen

Aluminium ist ein Metall mit einer Reihe von attraktiven Eigenschaften. Es hat ein geringes Gewicht, eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit, ist beständig gegen korrosive Angriffe und hat ein dekoratives Aussehen (Abb. 5). Dieses günstige Eigenschaftsprofil hat dem Aluminium in bestimmten Gebieten der Technik einen Platz gesichert, aus dem es nur schwer zu verdrängen ist. Aufgrund dieser Eigenschaften sind als bevorzugte Einsatzgebiete der Fahrzeug- und Maschinenbau, die Elektroindustrie, Verpackung und Haushalt, die chemische und Nahrungsmittelindustrie und aufgrund des dekorativen Aussehens auch die Architektur zu nennen.

Die Grundfestigkeit des reinen Metalles Aluminium ist allerdings nicht sehr groß. Abbildung 6 zeigt aber eindrucksvoll, wie durch legierungstechnische und verfahrenstechnische Maßnahmen die Streckgrenze bzw. die Festigkeit angehoben werden konnte. Die heute großtechnisch eingesetzten, höchstfesten Aluminium-Zink-Magnesium-Kupferlegierungen erreichen Festigkeiten von über 700 MPa. Die Eigenschaften Festigkeit und Zähigkeit verlaufen aber meist gegenläufig. Dementsprechend ist es auch ein Problem, die höchstfesten Aluminium-Zink-Magnesium-Kupfer-Legierungen mit einer ausreichenden Bruchzähigkeit zu versehen. Diese wird nicht durch zusätzliche Legierungselemente erhöht, sondern dann verbessert, wenn gröbere Teilchen zweiter Phase (die etwa durch das Verunreinigungselement Eisen entstehen, das nicht in der Matrix löslich ist) nicht vorliegen, weil sie als potentielle Rißkeime wirken können, wenn bei der Wärmebehandlung etwa durch die Verhinderung der Rekristallisation ein feines Matrixkorn von etwa 2 bis 4  $\mu\text{m}$  Größe eingestellt werden kann und wenn ausscheidungsfreie Säume an den Korngrenzen als Schwachstellen vermieden werden.

In letzter Zeit werden Aluminium-Lithium-Legierungen als hoffnungsvolles Entwicklungsfeld angesehen. Lithium ist für Aluminiumlegierungen ein attraktives Legierungselement, weil durch das Zuliegen von Lithium der E-Modul steigt und die Dichte verringert wird (Abb. 7). Die ersten Aluminium-Lithium-Legierungen wurden vor rund 30 Jahren entwickelt und auch eingesetzt. Das Problem liegt darin, daß Aluminium-Lithium-Legierungen mit hohen Festigkeiten ebenfalls eine relativ schlechte Bruchzähigkeit aufweisen. Die Bruchzähigkeit ist aber eine wesentliche Eigenschaft für schwingend beanspruchte Teile im Flugzeugbau. Eine der wesentlichsten Fragen wird in Zukunft also sein, ob es durch metallkundliche Maßnahmen

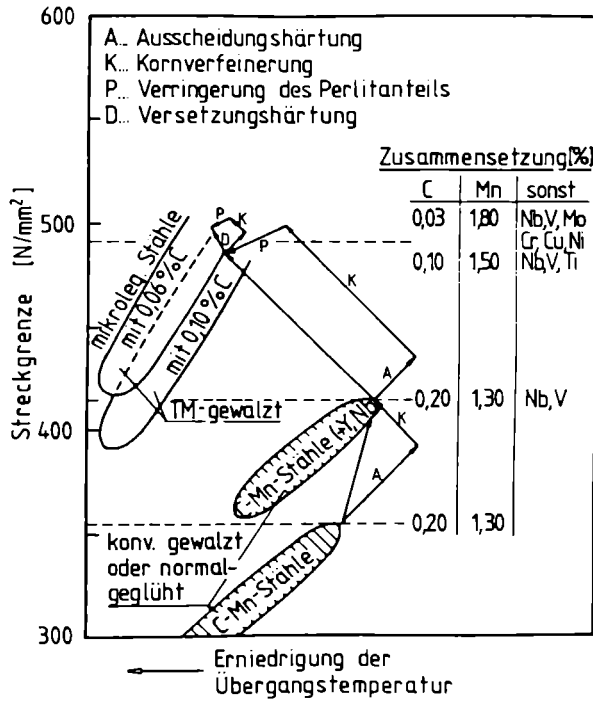


Abb. 4: Entwicklung (Streckgrenze und Übergangstemperatur) der Röhrenstähle in den letzten 20 Jahren; nach Lit.

| Anwendungsgebiete                       | Eigenschaften  |                                               |                         |                                                            | Formgebung<br>Art des Halbzeugs |                |              |                   |              |       |
|-----------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------|-------------------|--------------|-------|
|                                         | Geringe Dichte | Gute Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität | Korrosionsbeständigkeit | Dekoratives Aussehen (mit oder ohne Oberflächenbehandlung) | Formguß- oder Schmiedeteile     | Blechumformung | Fließpressen | Strangpreßprofile | Kabel, Draht | Folie |
| Fahrzeugbau                             | ●              | ○                                             | ○                       | -                                                          | ○                               | ○              | ○            | ○                 |              |       |
| Architektur                             | ○              |                                               | ○                       | ●                                                          |                                 | ○              |              | ○                 |              |       |
| Verpackung                              | -              | -                                             | ●                       | ●                                                          |                                 | ○              | ○            |                   |              | ○     |
| Elektronindustrie                       | -              | ●                                             | ○                       |                                                            |                                 |                |              | ○                 |              | ○     |
| Haushalt                                | ○              | ●                                             | ●                       | ○                                                          |                                 | ○              |              |                   |              | ○     |
| Maschinen Apparate                      | ●              | ○                                             | ○                       | ○                                                          | ○                               | ○              |              | ○                 |              |       |
| Chemie und Nahrungs-<br>mittelindustrie | ○              | ○                                             | ●                       | ○                                                          | +                               | ○              |              | ○                 |              | ○     |

Zeichen: + erwünscht, ○ wichtig, ● ausschlaggebend

Abb. 5: Aluminium, seine Eigenschaften, seine Anwendungsgebiete; nach Lit. 1

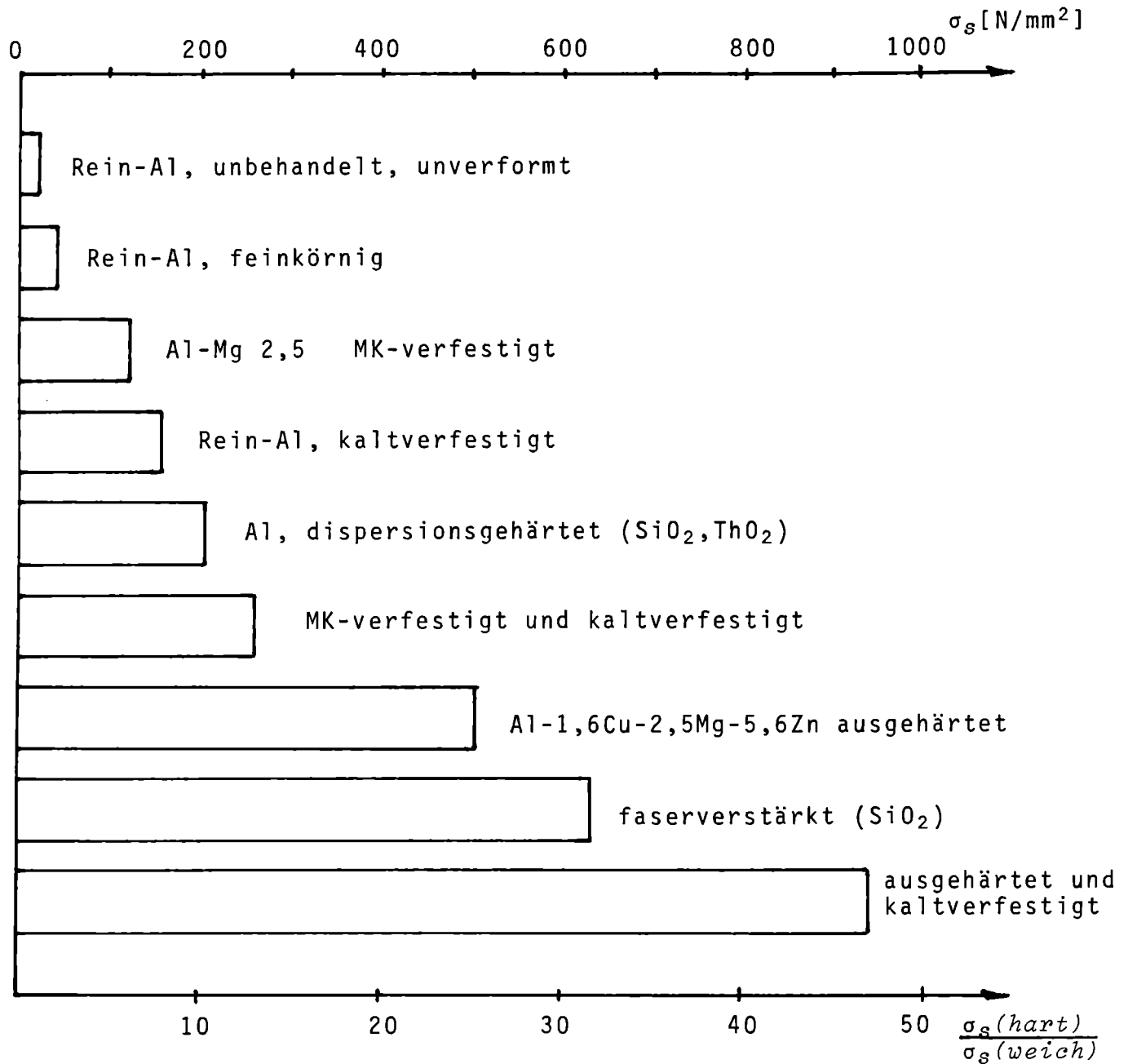


Abb. 6: Streckgrenzenerhöhung beim Aluminium durch legierungstechnische und verfahrenstechnische Maßnahmen

gelingt, bei ausreichenden Festigkeitswerten die Bruchzähigkeit anzuheben. Die Aluminium-Lithium-Legierungen stehen aber auch mit anderen Werkstoffgruppen in Konkurrenz, nämlich einerseits mit faserverstärkten Kunststoffen und andererseits mit pulvermetallurgisch hergestellten, hochtemperaturfesten Aluminiumlegierungen.

### **Hochtemperaturlegierungen**

Für die heutige Technik sind Hochtemperaturlegierungen z.B. für den Einsatz in Strahltriebwerken oder in Turbinen von besonderer Bedeutung. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Festigkeit der Metalle ab. Es gibt zwar eine Gruppe von hochschmelzenden Metallen, wie z.B. Wolfram, Molybdän, Tantal, die auch bei den derzeit in Rede stehenden Einsatztemperaturen von 1100° C noch eine ausreichende Festigkeit haben; sie stehen jedoch deswegen nicht zur Verfügung, da alle hochschmelzenden Metalle eine schlechte Korrosionsbeständigkeit aufweisen und oxidieren. Die Entwicklung hat sich daher in den letzten 40 Jahren auf den Einsatz der Nickel-Basis-Legierungen konzentriert (Abb. 8). Mit Hilfe raffinierter Kühlsysteme, spezieller thermomechanischer Behandlungen zur Erhöhung der Kriechfestigkeit aber auch durch Ausnützen der Kristall- bzw. Gefügeanisotropie (Turbinenschaufeln wurden bereits aus Einkristallen erzeugt oder aus gerichtet erstarrten Eutektika) konnten die Einsatztemperaturen immer weiter erhöht werden. Derzeit ist aber das Potential der Nickel-Basis-Legierungen nahezu ausgeschöpft. Man hofft unter anderem auf beschichtete hochschmelzende Metalle, auf den Einsatz von keramischen Werkstoffen oder auf Kombinationen von beiden.

### **Titanlegierungen**

Es gibt heute rund 100 Titanlegierungen, aber maximal zehn werden technisch eingesetzt. Diejenige Titanlegierung, die heute noch etwa 50 % des Gesamtbedarfes deckt, ist eine  $\alpha/\beta$ -Legierung mit 6 % Aluminium und 4 % Vanadium. Obwohl diese Legierung bereits 1954 entwickelt wurde, ist es späteren Neuentwicklungen nicht gelungen, sie entscheidend zu verdrängen. Die Ursachen liegen einerseits in einem ausgewogenen Eigenschaftsprofil, das keine ausgesprochene Schwachstelle zeigt, auch wenn einzelne Eigenschaften von anderen Legierungen deutlich übertroffen werden und zum anderen, daß diese Titanlegierungen vorwiegend in der Luft- und Raumfahrt verwendet werden. Die Sicherheitsbestimmungen und Anforderungen sind auf diesem Sektor sehr groß, sodaß Legierungen erst mit einer ausreichenden werkstoffkundlichen Datenbasis, deren Erstellung mitunter oft kostspielig, langwierig und kompliziert ist, eingesetzt werden.



Das ausgewogene Eigenschaftsprofil sowie eine umfangreiche Datenbasis sichern der TiAl6V4-Legierung heute noch ihre dominierende Stellung.

### **3. "Spektakuläre" Werkstoffentwicklungen**

Wenn von besonderen Werkstoffentwicklungen gesprochen wird, fallen meist die Begriffe Memory-Legierungen, superplastische Legierungen und amorphe Metalle.

Bereits 1932 wurde der Formgedächtnis- oder Memory-Effekt entdeckt. Dabei handelt es sich um eine reversible Martensitumwandlung (also Gitterumwandlung) ohne plastische Verformung. Es gibt damit bestimmte Umwandlungstemperaturen (Schalttemperaturen), bei denen die Legierung in ihr altes Gitter zurückklappt und sich damit gleichsam an die ehemalige Form erinnert. Die wichtigsten, heute technisch angewendeten Memory-Legierungen sind Nickel-Titan-, Kupfer-Zink-Aluminium- und Kupfer-Aluminium-Nickel-Legierungen. Ein spektakuläres Anwendungsbeispiel ist in Abbildung 9 dargestellt. Da in einer Rakete der Platzbedarf ein wesentliches Problem darstellt, wird die Schirmantenne aus einer Memory-Legierung zu einem kleinen Knäuel verformt, das wenig Platz einnimmt. Im Weltraum wird dieses Knäuel erwärmt, die Drähte wandeln in die Hochtemperaturphase um, womit die Schirmantenne wieder ihre ursprüngliche Gestalt annimmt. Memory-Legierungen werden als elektrische Schaltkontakte, als Verbindungselemente, als thermische aktivierbare Kupplungen, bei Ver- und Entriegelungsprozessen und auch in der chirurgischen Orthopädie eingesetzt. Desweiteren ist es durch sie möglich, Wärme direkt in mechanische Arbeit umzuwandeln (Metallmotor).

### **Superplastische Legierungen**

Unter Superplastizität versteht man das Phänomen, daß die Dehnung eines Metalles bei bestimmten Temperaturen eine sehr große Spannungsabhängigkeit zeigen kann. Voraussetzung für die Superplastizität ist ein sehr feines Gefüge mit etwa 2 bis 3  $\mu\text{m}$  großen Kristalliten, das während der Umformung stabil bleibt. Derzeit gibt es etwa 25 Legierungssysteme, die Superplastizität zeigen. Nur wenige davon sind technisch nutzbar (Abb. 10). Die geringen Verformungsgeschwindigkeiten, die bei bestimmten Umformtemperaturen eingehalten werden müssen, damit die Superplastizität nicht verloren geht, bedeutet, daß für das Herstellen eines Stückes Umformzeiten von Minuten bis Stunden erforderlich sind. Einsatzgebiete sind also kleine Serien, Einzelteile, Teile, die sehr verwickelte Konturen aufweisen.

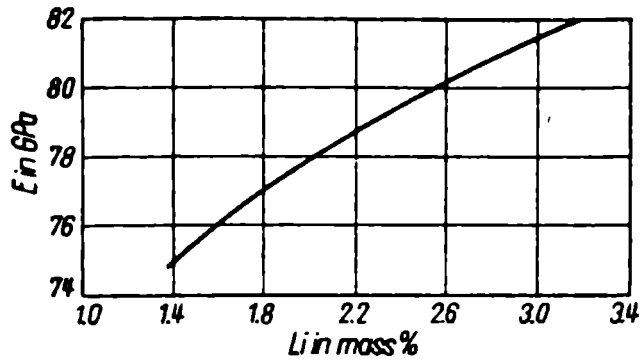


Abb. 7: Einfluß des Lithiumgehaltes auf den E-Modul von Al-Mg-Li-Legierungen; Lit. 2

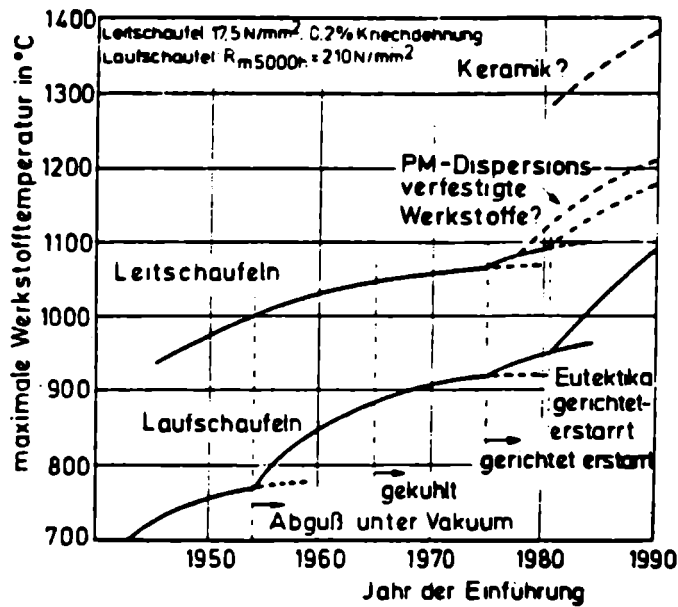


Abb. 8: Legierungsentwicklung bei den Laufschaukeln/Leitschaufeln bei Turbinen; nach Lit.

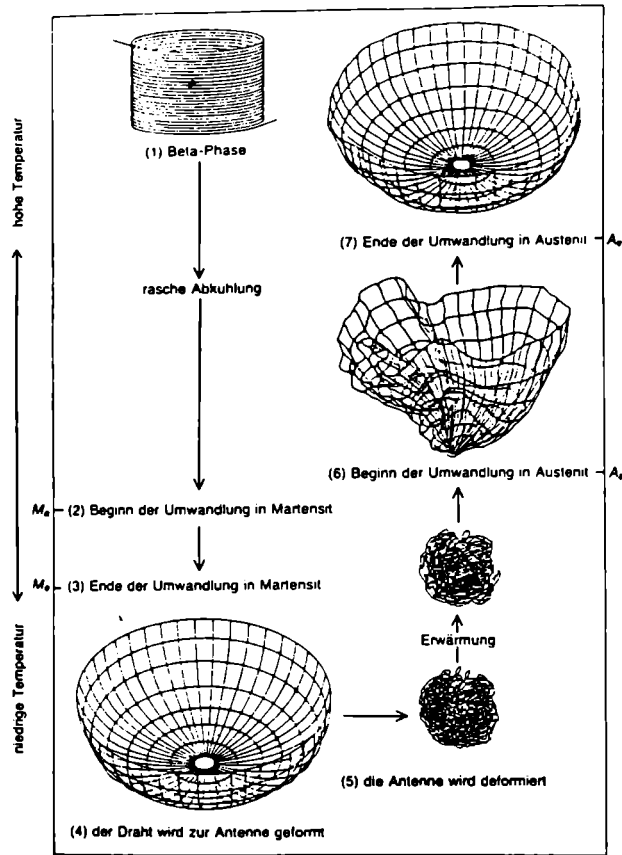


Abb. 9: Herstellungsgeschichte der Schirmantenne: Nitinol, 650°/ Bildung der  $\beta$ -Phase (1); rasche Abkühlung; Umwandlung zu  $\alpha$ -Martensit zwischen 60 und 52 °C (2,3); Herstellung der Antenne (4); nach Deformation (5) Erwärmung des Knäuels; Rückumwandlung in die  $\beta$ -Phase zwischen 71 und 77 °C (6,7) die Antenne faltet sich auf; der Draht "erinnert" sich nicht eigentlich an die Gestalt der Antenne, sondern an die Krümmungen im aufgespulten Zustand; Lit. 3

| Legierung               | Umform-<br>temperatur<br>(°C) | Verformungsge-<br>schwindigkeit<br>(min <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Zn-Al-<br>Eutektoid     | 200 - 270                     | 10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>0</sup>                      |
| Al-Basis<br>(Supral 15) | 450                           | 10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>0</sup>                      |
| Cu-Basis<br>(CDA 658)   | 550                           | 4 x 10 <sup>-2</sup>                                    |
| Fe-Basis<br>(In 744)    | 900 - 1000                    | 10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-1</sup>                     |
| Ti-Basis<br>(Ti-6Al-4V) | 800 - 950                     | 10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-1</sup>                     |

Abb.10: Typische Temperatur- und Verformungsgeschwindigkeitsbereiche technisch eingesetzter, superplastischer Legierungen; nach Lit.

#### AMORPHE METALLE

Systeme:

- a) Metall- Halbmetall- Legierungen, z.B. Fe<sub>80</sub> P<sub>13</sub> C<sub>7</sub>, Au<sub>81</sub> Si<sub>19</sub>
- b) Legierungen zwischen frühen und späten Übergangsmetallen  
Cr<sub>60</sub> Zr<sub>40</sub>
- c) Legierungen zwischen Hauptgruppenelementen Ca<sub>65</sub> Al<sub>35</sub>

Abb.11: Grundsysteme amorpher Metalle

| EIGENSCHAFTEN                   | METALLE                                 | GLÄSER       | MET. GLÄSER                             |
|---------------------------------|-----------------------------------------|--------------|-----------------------------------------|
| STRUKTUR                        | KRISTALLIN                              | AMORPH       | AMORPH                                  |
| BINDUNG                         | METALLISCH                              | KOVALENT     | METALLISCH                              |
| FESTIGKEIT                      | NICHT IDEAL                             | IDEAL        | IDEAL                                   |
| HÄRTE                           | KLEIN                                   | GROSS        | GROSS                                   |
| VERFORMBARKEIT                  | GUT                                     | SCHLECHT     | GUT                                     |
| ELEKTR.+THERM.<br>LEITFÄHIGKEIT | GUT                                     | SCHLECHT     | GUT                                     |
| KORROSIONSV<br>ERHALTEN         | MEIST NICHT<br>GUT                      | GUT          | GUT                                     |
| MAGNETISMUS                     | VERSCHIEDENE<br>ERSCHEINUNGS-<br>FORMEN | UNMAGNETISCH | VERSCHIEDENE<br>ERSCHEINUNGS-<br>FORMEN |

Abb.12: Qualitatives Eigenschaftsprofil metallischer Gläser

- Pulvermetallurgie
  - Werkstoffkombinationen ohne Beschränkung  
durch Schmelzgleichgewichte
- Verbundwerkstoffe
  - Faser-  
Teilchen- Verbunde  
Schicht-  
  
Matrix: Metalle  
Kunststoffe  
Keramik
- Oberflächeveredelung
  - z. B. Plasma-Spritzen  
PVD, CVD - Verfahren  
Härten, Beschichten  
Legieren mit Laser- bzw.  
Elektronenstrahlen
- Rascherstarrung
  - RSP - Techniken  
metallische Gläser

Abb.13: Möglichkeiten zur Erweiterung der Eigenschaftsprofile

## **Amorphe Metalle**

Werden metallische Schmelzen mit hohen Abkühlungsgeschwindigkeiten von  $10^6$  K/s und darüber beaufschlagt, kristallisieren sie nicht mehr, sondern erstarren amorph. Man spricht dann von metallischen Gläsern oder amorphen Metallen. Die Bildung des amorphen Zustandes wird dadurch erleichtert, wenn die Schmelze des Legierungssystems aus einem Schmelzminimum abgeschreckt werden kann. Die amorphen Metalle lassen sich im wesentlichen in drei große Gruppen einteilen (Abb.11): in die 80/20-Metalle, Legierungskombinationen aus Metall und Halbmetallen, in Legierungen zwischen frühen und späten Übergangsmetallen sowie in Legierungen zwischen Hauptgruppenelementen. Die metallischen Gläser haben im Vergleich zu den Metallen oder zu den echten Gläsern eine Reihe von sehr attraktiven Eigenschaften (Abb.12). Sie sind zwar röntgenamorph, lassen sich aber gut verformen, weisen eine gute elektrische Leitfähigkeit und einen hohen Korrosionswiderstand auf und zeigen besondere magnetische und elektrische Eigenschaften. Sie werden heute eingesetzt als Abschirmungen für Hochfrequenzkabel, als Transformatorkerne, Präzisionswiderstände, als Fasern für faserverstärkte Verbundwerkstoffe, für die Herstellung korrosions- und verschleißfester Schichten, verschleißfeste Tonköpfe, als teilkristalline Bänder (Sägeblätter) mit harter feindispersierter Kristallphase in einer Glasgrundmasse usw.. Derzeit schätzt man, daß jährlich rund 10 Tonnen amorphe Metalle hergestellt werden.

Die genannten drei Beispiele zeigen deutlich, daß diese Werkstoffentwicklungen zwar mit hoher Wertschöpfung, aber nur in schmalen Sektoren der Technik eingesetzt werden und die großen Gebiete der Konstruktionswerkstoffe mengenmäßig kaum tangieren.

### **4. Technologische Möglichkeiten der Werkstoffentwicklung**

In der modernen Werkstoffentwicklung werden in zunehmenden Maße Verfahren und Methoden eingesetzt, die das vorgegebene Eigenschaftsspektrum und damit die Einsatzbreite der Werkstoffe vergrößern und mitunter zu neuen Eigenschaftskombinationen führen. Abbildung 13 gibt eine Zusammenstellung dieser Verfahren und Methoden wieder.

Die Pulvermetallurgie erlaubt die Herstellung von Werkstoffkombinationen, die über die Schmelzmetallurgie durch die Beschränkung der Schmelzgleichgewichte nicht möglich sind.

Verbundwerkstoffe nutzen die positiven Eigenschaften von zwei oder mehreren Komponenten und werden als Faser-, Teilchen- oder Schichtverbunde hergestellt. Verbundwerkstoffe können mit metallischer, keramischer oder organischer Matrix aufgebaut werden. Bei den metallischen Werkstoffen ist es bereits möglich, Faserverbundwerkstoffe in situ durch gerichtete Erstarrung von Eutektika herzustellen.

Verfahren der Oberflächenveredelung, insbesondere CVD- und PVD-Verfahren, aber auch das Härten, Beschichten und Legieren mit Laser- und Elektronenstrahlen erlauben es, Werkstoffe mit besonders hochgezüchteten Oberflächeneigenschaften (Härte, Verschleißwiderstand, Korrosionsfestigkeit) zu erzeugen. Das Beschichten von Schneidwerkzeugen (z.B. Schnellarbeitsstählen) ist heute Stand der Technik. Das Aufbringen von Hartstoffschichten in einer Stärke von nur wenigen  $\mu\text{m}$  - von der Menge her verschwindend gering - erhöht jedoch die Standzeit des Werkzeuges um ein Vielfaches (Abb.14). Mit energiereichen Strahlen, wie mit Laser- oder Elektronenlicht, ist es in Abhängigkeit von der Energiedichte und von der Einwirkungszeit möglich, die Oberfläche metallischer Werkzeuge mit außergewöhnlichen Eigenschaften zu versehen. Die Oberfläche läßt sich punktuell Härten (Umwandlungshärten oder Feinkornhärten), Umschmelzen, Beschichten oder auch in einer Stärke von einigen Zehntel Millimetern auflegieren. Damit wird es möglich, bei Verwendung eines billigen aber zähen Grundkörpers die Oberfläche besonders korrosions- oder verschleißfest zu machen.

Die Methoden der Rascherstarrung (RSP-Techniken mit Kühlgeschwindigkeiten von  $10^3$  bis  $10^4$  K/s, melt-spinning-Techniken mit Kühlgeschwindigkeiten von  $10^6$  bis  $10^9$  K/s) bieten durch die Herstellung extremer Ungleichgewichtszustände die Möglichkeit, Metalle mit neuen und ungewöhnlichen Eigenschaftskombinationen zu erzeugen. (Auch die metallischen Gläser sind hier zu nennen.) Wird eine metallische Schmelze mit Gas oder Wasser verdüst, entstehen winzige kleine Gußblöckchen, Pulverteilchen mit Durchmessern von einigen 10 bis einigen 100  $\mu\text{m}$ . Diese Pulverteilchen sind sehr homogen und es fehlt etwa die Ausscheidung grober Phasen, da die Erstarrungszeit sehr kurz ist. Werden die Pulver anschließend konsolidiert, können auf diese Art und Weise z.B. homogene Schnellarbeitsstähle mit hohen Karbidgehalten, aber isotropem Aufbau und mit besten Eigenschaften hinsichtlich Standzeit, Verschleißverhalten, Maßbeständigkeit usw. hergestellt werden.

Aluminium ist ein Metall, das sich nur mit wenigen Elementen legieren läßt, also Mischkristalle bildet. Werden jedoch durch das

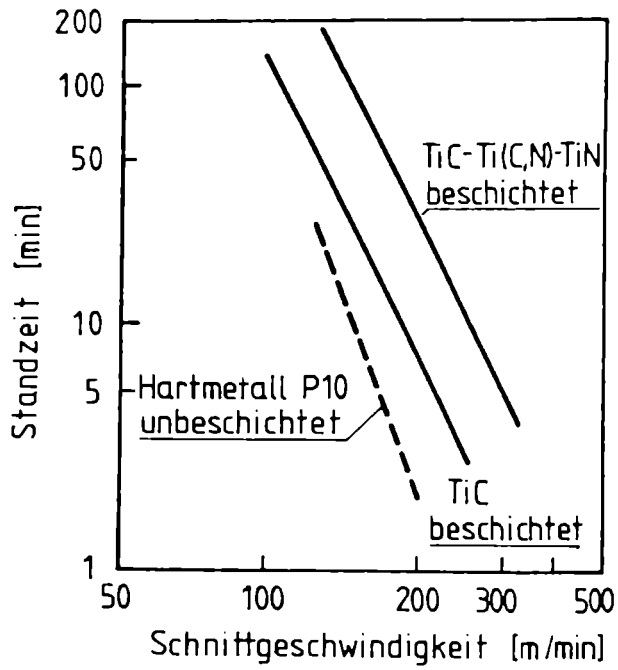


Abb.14: Erhöhung der Standzeit von Hartmetallen durch Hartstoffbeschichtungen; nach Lit.



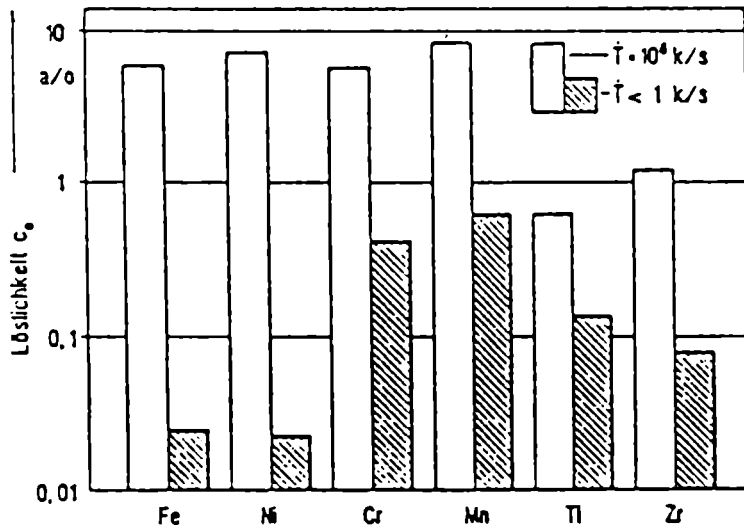


Abb.15: Übersättigung von Legierungselementen in der Al-Matrix bei rascher Erstarrung in Abhängigkeit von der Erstarrungsgeschwindigkeit; Lit. 4

|             | Elastizitätsmodul<br>$E/10^3 \text{ Nmm}^{-2}$ | Dichte<br>$\rho \text{ gcm}^{-3}$ | heutige höchste Festigkeit<br>$\sigma_s / \text{Nmm}^{-2}$ | theoretische Festigkeit<br>$\sigma_{th} / \text{Nmm}^{-2}$ |
|-------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Stahl       | 215                                            | 7,8                               | 3500                                                       | 6000                                                       |
| Aluminium   | 71                                             | 2,7                               | 800                                                        | 2000                                                       |
| Titan       | 104                                            | 4,5                               | 1500                                                       | 3500                                                       |
| Kunststoffe | 4                                              | 1,0                               | 200                                                        | 6000                                                       |

Abb.16: Vorliegende Zugfestigkeitspotentiale bei Werkstoffgruppen

Schmelzverdüsen Aluminiumpulver erzeugt, ist es durch die hohe Abkühlungsgeschwindigkeit möglich, wesentlich mehr Legierungselemente und in einem wesentlich größeren Ausmaß als Mischkristallbildner zu verwenden und übersättigte Al-Mischkristalle zu erzeugen. Abbildung 15 zeigt, in welchem Ausmaß Legierungselemente im Ungleichgewicht von der Aluminiummatrix aufgenommen werden können. Die Übersättigung der Al-Matrix bietet die Möglichkeit, durch entsprechende Wärmebehandlungen feinste intermetallische Phasen als Ausscheidungen zu erzeugen, die im Vergleich zur üblichen Aushärtung thermodynamisch stabil sind. Damit eröffnet sich ein neuer Weg, hochwarmfeste Aluminiumlegierungen zu erzeugen, die in Konkurrenz zu den in Rede stehenden Aluminium-Lithium-Legierungen treten können.

## 5. Zukünftige Werkstoffentwicklung

Wie heute wird auch in der nächsten Zukunft die Werkstoffentwicklung nicht durch Fragen einer möglichen Rohstoffverknappung bei einzelnen Elementen oder durch bestimmte Rohstoffe bestimmt werden. Als generelle Entwicklungsziele lassen sich anführen:

- Erhöhung der spezifischen Belastbarkeit
- Erhöhung der Temperaturgrenze, mit unterschiedlichen Bereichen für verschiedene Materialklassen, bis zu der ein Werkstoff kurzzeitig oder in Dauerbelastung eingesetzt werden kann.
- Gewichtseinsparung
- höhere Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit
- Verbesserung der Bruchzähigkeit und Dauerfestigkeit
- Nutzung besonderer werkstoffspezifischer Eigenschaften für optische, elektrische, elektronische, magnetische Funktionen (amorphe Metalle, Magnetwerkstoffe auf Fe-B-Nd-Basis, Hochtemperatursupraleiter, spezielle Werkstoffe der Elektronik usw.)

Die Praxis zeigt, daß in der Werkstoffentwicklung kleine Schritte die Regel und große Sprünge, die zu einer neuen Werkstoffart führen, eher die Ausnahme darstellen.

Die Werkstoffentwicklung wird sich auf zwei Wegen vollziehen. Eine Aufgabe der Werkstoffentwicklung wird es sein, die derzeit gebräuchlichen Werkstoffgruppen zu optimieren, Werkstoffe oder Werkstücke mit noch besseren Eigenschaften zu erzeugen. Das evolutionäre Werkstoffpotential, das noch vor uns liegt, ist beträchtlich (Abb.16). Bei vielen metallischen Werkstoffen beträgt die derzeit erreichte, maximale Festigkeit noch nicht einmal 50 % der theoretischen Gitterfestigkeit. Bei den Kunststoffen ist das Entwicklungs

potential noch viel größer. Der Weg des Verbesserns und Optimierens ist auch deswegen ein sehr wichtiger, weil für die Technik weder heute noch in nächster Zukunft die 700 Mio. Tonnen Stahl oder die 15 Mio. Tonnen Aluminiumlegierungen pro Jahr durch irgendeine andere Werkstoffgruppe ersetzt werden können. Eine weitere Ursache liegt darin begründet, daß bei den Stählen oder bei den Aluminiumlegierungen bestimmte mechanische Eigenschaften wie z.B. die Festigkeit am "kostengünstigsten" sind (Abb.17).

Der zweite, kreative Weg wurde bereits in Kap.4 angedeutet. Es geht darum, durch die Einstellung extremer Ungleichgewichtszustände Werkstoffe mit außergewöhnlichen Eigenschaftsprofilen herzustellen und durch die Kombination von Werkstoffgruppen über verschiedene Verbundtechniken bis hin zur gerichteten Erstarrung anisotrope Werkstoffe zu erzeugen, die besser den anisotropen Belastungen angepaßt werden können als bisher. Anisotrope Werkstoffe bieten letztlich die Möglichkeit, die mechanischen Eigenschaften in Betrag und Richtung maßzuschneidern, also örtlich von einer Stelle zur anderen zu variieren und so den Werkstoff an die Anforderungen optimal anzupassen.

In näherer Zukunft wird auch die Entwicklung von funktionalen Werkstoffen einsetzen; der Werkstoff wird mit Funktionen versehen werden, um sich wie ein Regelkreis verhalten zu können. Formgedächtnislegierungen, die ein Gestalterinnerungsvermögen besitzen oder Brillengläser, die selbständig nachdunkeln sind erste Beispiele. In ferner Zukunft ist auch eine Fusion der Werkstoffmechanik mit anderen Technologien wie z.B. der Biologie zu erwarten (Stichwort: biologische Membranen).

Werkstoffe, Verfahren und Projekte sind dann trendkonform, wenn sie weniger Primärwerkstoffe und weniger Energien benötigen als ihre Vorgänger. Diese Aussage, die in Abbildung 18 anschaulich dargestellt ist, läßt sich auch in einer Kurzaussage zusammenfassen: Mehr Hirn und weniger Masse!

| Werkstoff                               | Zugfestigkeit<br>N/mm <sup>2</sup> | Preiseinheit pro<br>Festigkeit |
|-----------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Baustahl St 37-3                        | 370                                | 1                              |
| Aluminium-<br>legierungen               | 200                                | 4                              |
| Glasfaser-<br>verstärkte<br>Kunststoffe | 500                                | 10                             |
| Polyäthylen                             | 10                                 | 12                             |

Abb.17: Durchschnittliches Preis/Festigkeitsverhältnis bei verschiedenen Werkstoffgruppen

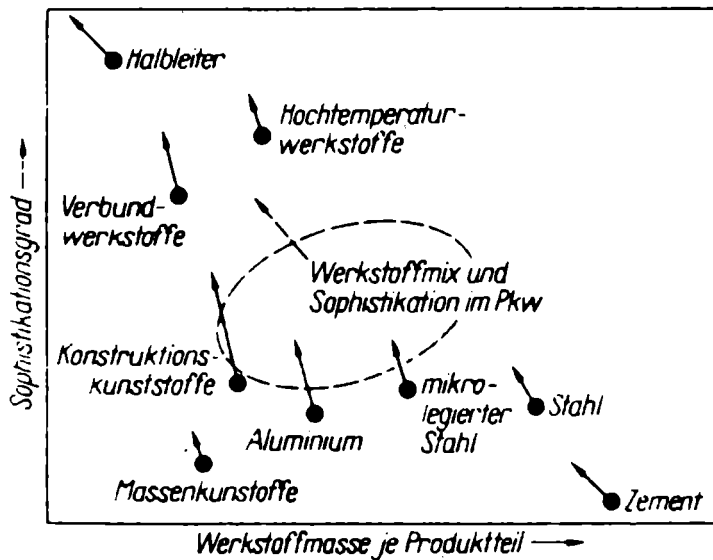


Abb.18: Zusammenhang zwischen Werkstoffverbrauch und Sophistiktionsgrad für verschiedene Werkstoffe und Werkstoffgruppen; Lit. 5



## Literatur

1. D. Altenpohl  
Aluminium von innen betrachtet;  
Aluminium-Verlag GmbH  
Düsseldorf 1972
2. Jr. T.H. Sanders  
Final Report, Naval Air Development Center,  
Contract No. N62269-74-C-0438  
for Naval Air Systems Command, June 9, 1976
3. L. McDonald Schetky  
Spektrum der Wissenschaft 1980,  
S. 48/57
4. G. Scharf, I. Mathy  
Metall 41 (1987),  
S. 608/616
5. Altenpohl  
Dokumentationsband der 7. ILMT, Leoben/Wien 1981,  
S. 34/37



# **Werkstoffe der Mikroelektronik**

von

Heinz Krenn





# Werkstoffe der Mikroelektronik

H. Krenn

Seit der Erfindung des Spitzentransistors am 23. Dezember 1947 durch J. Bardeen und W.H. Brattain sind nun 40 Jahre vergangen, und obgleich sich dieser Transistortyp nicht in dieser oder ähnlicher Bauform für eine Produktion in großem Maßstab durchsetzen konnte, wirkte die Erfindung des "Transresistance" Prinzips - Transresistance als Vollbezeichnung für das Acronym Transistor - geradezu revolutionierend auf die Entwicklung der Mikroelektronik. Die Mikroelektronik hat eine Evolution durchlaufen, deren Ursprünge sich rund 150 Jahre zurückverfolgen lassen. Sie mündet im Umfeld vieler begleitender wissenschaftlicher Disziplinen - der Chemie, der Halbleiter- und Festkörperphysik, der Oberflächenphysik, der Quantentheorie, der Werkstoffwissenschaften, ebenso wie der Spektroskopie und der Analytik - in eine höchst ausgereifte Prozeßtechnologie. Schlagworte wie Größtintegration, Submikrontechnologie und Kommunikationstechnologie prägen unser Zeitalter als das einer postindustriellen Informationsgesellschaft, kurzum das "Siliziumzeitalter".

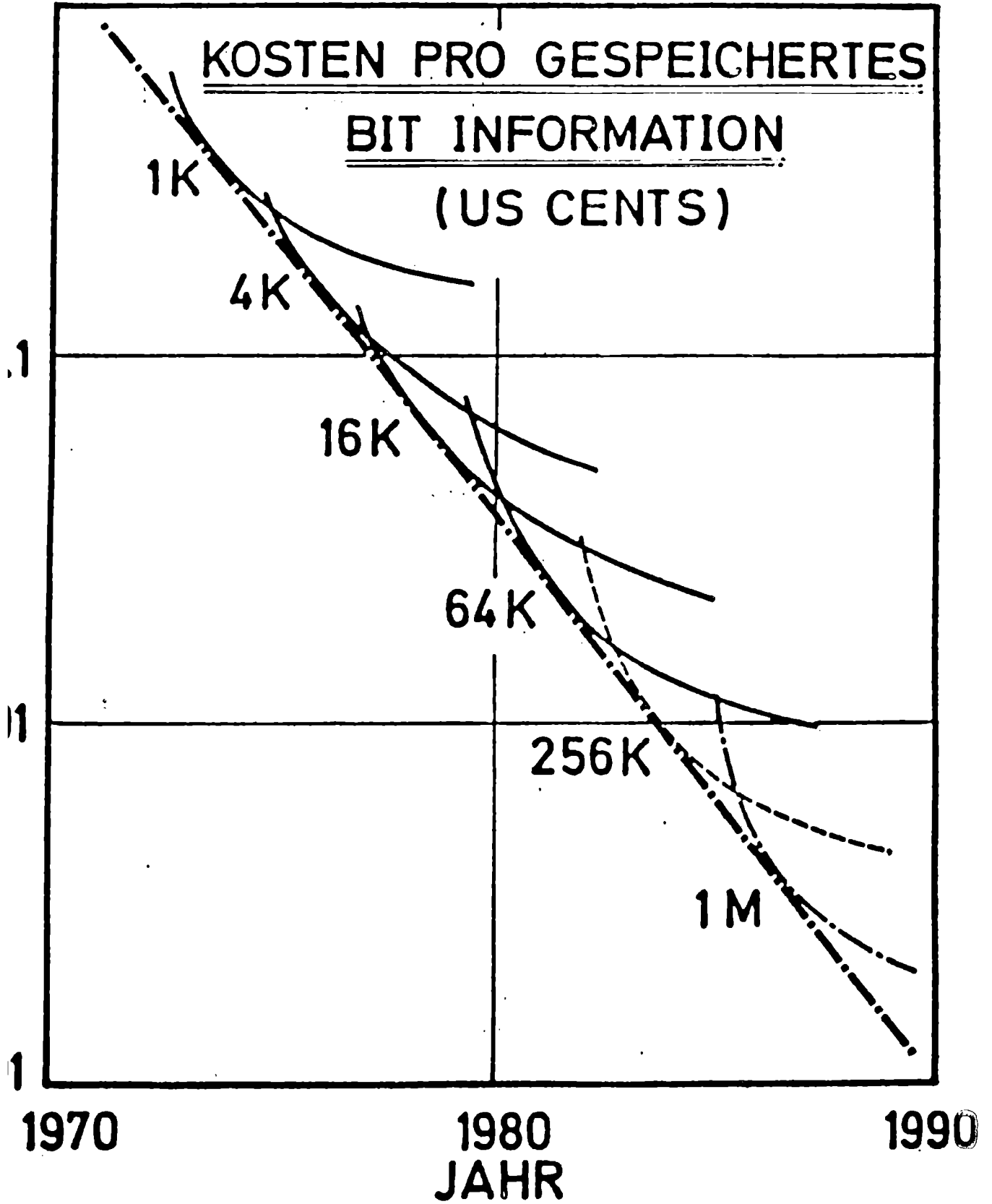
Silizium - das heute bei weitem am besten erforschte und das am reinsten herstellbare chemische Element - war allerdings nicht das Material, aus dem Transistoren der Pionierzeit gefertigt wurden. Es war aufgrund seines hohen Schmelzpunktes dem wesentlich tiefer schmelzenden Germanium in der Beherrschbarkeit seiner Reinherstellung und Bearbeitung unterlegen. Doch gerade die Tatsache, daß der Halbleiterwerkstoff Germanium im Laufe der verstärkten Forschungsanstrengungen immer mehr durch den Halbleiterwerkstoff Silizium verdrängt wurde, zeigt beispielhaft eines der vielen Paradoxa, die die Entwicklung der Mikroelektronik bis zum heutigen Tag begleiten. Diese Paradoxon-Situation begann bereits im vorigen Jahrhundert, als die für die Entwicklung der Mikroelektronik so wesentliche Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Festkörperphysik von der damals etablierten Wissenschaft nicht sehr ernst genommen wurde: Die Festkörpereffekte waren zu wenig reproduzierbar aus Gründen einer unvollkommenen Reinherstellung von Materialien. Trotzdem konnten phänomenologisch einige wesentliche Grundtatsachen von Halbleitermaterialien bereits im 19. Jahrhundert - ohne theoretisches Verständnis - als noch heute gültig erkannt werden: M. Faraday entdeckte 1833, daß Silbersulfid einen negativen Temperaturbeiwert aufweist, 1837 beobachtete A.E. Be-

querel den lichtelektrischen Effekt an einem Elektrolyt-Festkörper-übergang. 1873 stellte W.Smith die Fotoleitungseigenschaften von Selen unter Lichteinwirkung fest, und W.G. Adams und R.E. Day erkannten im Jahre 1876 den Sperrschichteffekt an einem Selen-Kupferoxid-Übergang. Der Metall-Halbleiter-Übergang in Bleisulfid - bekannt als Cat-Whisker - erlangte ab 1904 sogar als Detektor für Radiowellen eine Verbreitung in größerem Maßstab - Beginn einer Mikroelektronik als Motor der Unterhaltungs- und Konsumelektronik. Das Paradoxon dieser Frühzeit der Halbleiterforschung war nun, daß die Effekte funktionierten, diese aber in Ermangelung einer Theorie über elektrische Leitungsvorgänge (P.Drude, H.A. Lorentz, 1909), eines Modells über elektronische Energiebänder (A.H. Wilson, 1931), einer Theorie der Kontaktgleichrichtung (B.Davydow, N.F.Mott, W.Schottky, 1938-1942) zunächst nicht verstanden oder gedeutet werden konnten.

Diese Paradoxaltendenz wirkt bis heute nach: War die Materialforschung an Festkörpern zunächst nicht als eigene Wissenschaftsdisziplin akzeptiert, wurde gegen sie im Laufe einer besseren Beherrschung der Materialherstellung und -raffination im 20. Jahrhundert der Vorwurf erhoben, sie sei mit dem Makel einer totalen Technologie- und Anwendungsorientiertheit behaftet und hasche nach immer größerer Marktakzeptanz, um aus dem anlaufenden finanziellen Gewinn den eigenen Fortschritt noch zu beschleunigen. Doch ein weiteres Paradoxon stoppte diesen Verdacht: je reiner die Materialien (z.B. der Verbindungshalbleiter GaAs) hergestellt werden konnten, mit stetig steigender Beweglichkeit der Ladungsträger, umso deutlicher traten elementare und fundamentale Naturerscheinungen in diesen Proben zutage: der von-Klitzing-Effekt. Mit dem Quanten-Halleffekt konnte ein vollkommen materialunabhängiges Widerstandsnormale geschaffen werden, abhängig nur von Naturkonstanten wie Elektronenladung und Planck-Konstante, wobei sich die Probe in einem quantisierenden Magnetfeld befindet. Die Naturerscheinung des Quanten-Halleffektes wurde experimentell erst durch Beherrschung äußerster Perfektion in der Materialherstellung beobachtbar. Paradoxerweise erhielt damit die Grundlagenforschung einen entscheidenden Impuls, der in nicht zu ferner Zukunft wiederum in die Entwicklung noch kleinerer, noch schnellerer Bauelemente münden wird.

Doch zurück zum Transistor! Als Bipolartransistor - in Legierungs-, Mesa- oder Planartechnologie hergestellt - stellte er lange Zeit das einzige aktive Halbleiterbauelement dar, das zu verkleinern die Prozeßtechnologien in Bann hielt. Die Prozeßtechnologie der nun eigenständig gewordenen Halbleiterindustrie entwickelte den Doppeldiffusionsprozeß; man erkannte, daß das natürliche Oxid des Sili-

| <b>Integrationsgrad</b> | <b>Abkürzung</b> | <b>Anzahl der Schaltkreise pro Chip</b> | <b>kleinste Ausmaße in Mikrometern</b> | <b>entwickelt im Jahrzehnt ab</b> |
|-------------------------|------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|
| gering                  | SSI              | 1 bis 100                               | 10                                     | 1960                              |
| mittel                  | MSI              | 100 bis 1000                            | 5                                      | 1970                              |
| hoch                    | LSI              | 1000 bis 10 000                         | 3 bis 1                                | 1980                              |
| sehr hoch               | VLSI             | > 10 000                                | < 1                                    | 1980                              |
| ultrahoch               | UHSI             | ?                                       | 0,1 bis 0,001                          | ?                                 |
| Molekular-Elektronik    | —                | ?                                       | 0,001                                  | ?                                 |

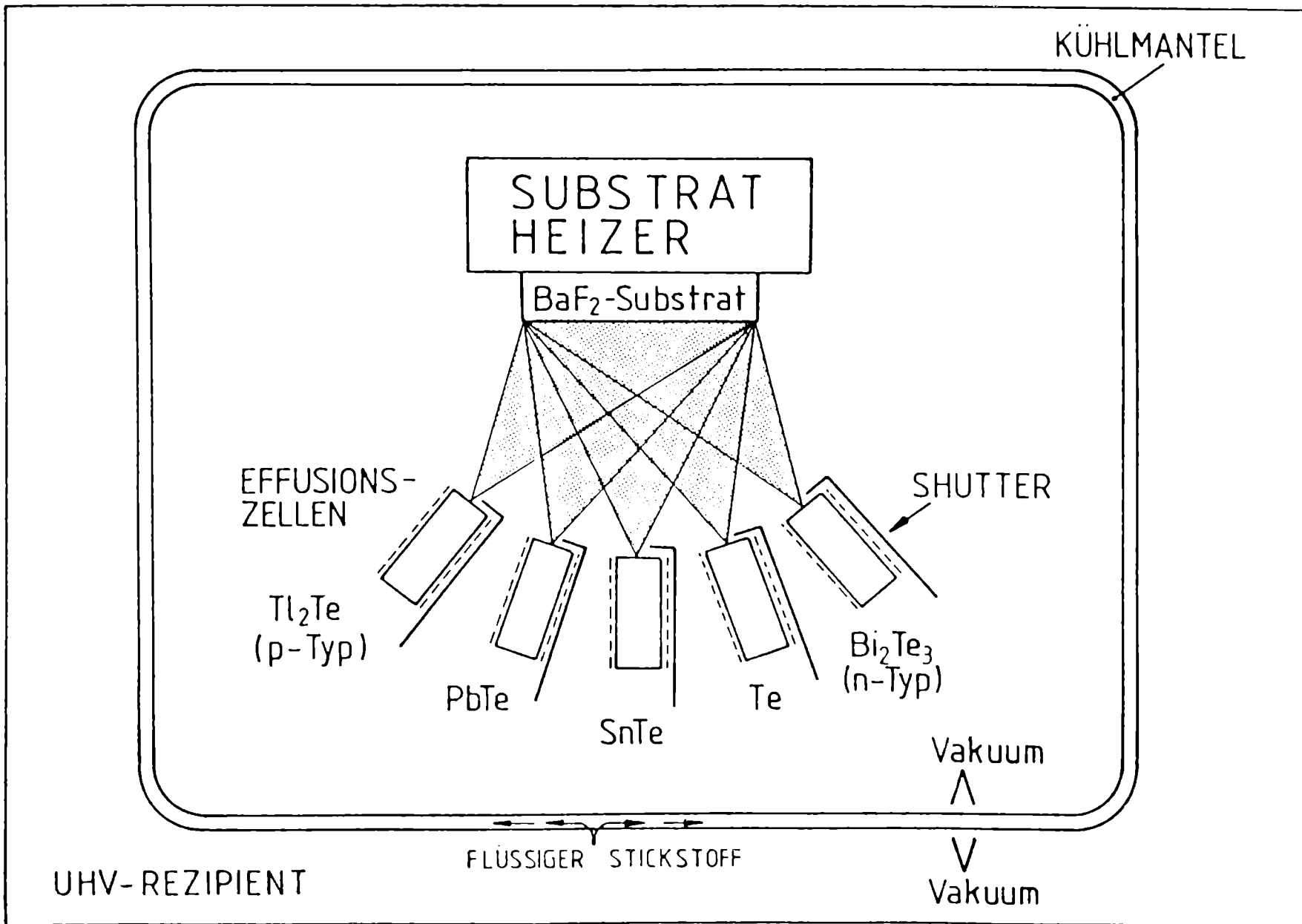


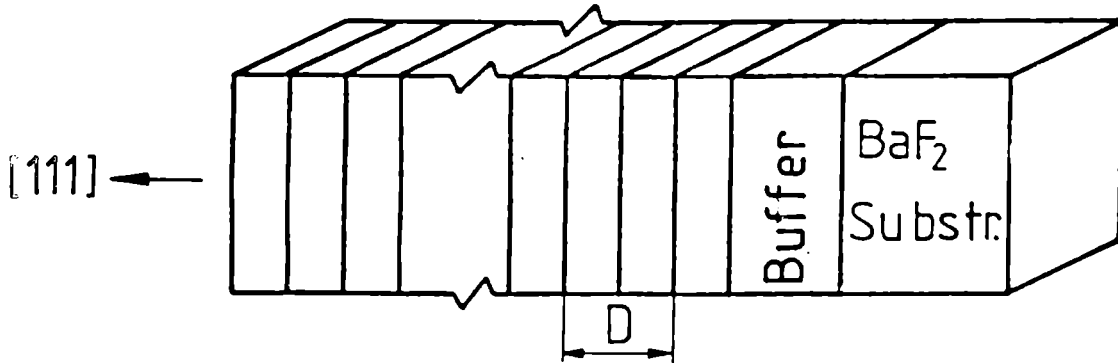
senschaft und Forschung sei zitiert: Ähnliche Erfolge hat auch das Internationale "Mikroelektronik-Zentrum IMEC", Löwen, Belgien (240 Mitarbeiter) zu verzeichnen. Bis vor wenigen Jahren gab es weder Mikroelektronikindustrie noch "Know-how" in Belgien, heute gibt es neben dem halbstaatlichen Telekommunikationskonzern Bell fünf weitere Mikroelektronik-Firmen mit je 20 bis 200 Beschäftigten. Voraussetzung für diese Erfolge war die eigenständige Entwicklung von Techniken, die dem Institut heute Forschungsaufträge aus aller Welt einbringen. Von allen Instituten überzeugten Umfang und Qualität der am IMEC betriebenen Forschungen am besten davon, daß auch kleine Länder in wenigen Jahren Spitzentechniken entwickeln können.

Ein weiteres Beispiel stellt das schweizerische Zentrum für Elektronik und Mikrotechnik AG (CSEM) in Neuchatel dar, das unter dem Eindruck der Krise der Schweizer Uhrenindustrie aus ursprünglich drei mit der Uhrenforschung befaßten Instituten hervorgegangen ist. Die Konsolidierung der Schweizer Uhrenindustrie und damit die Rettung von 30.000 Arbeitsplätzen ist nicht zuletzt ein Erfolg dieses Instituts. Organisation und Umfang dieses Instituts können als vorbildhaft für Österreich angesehen werden.

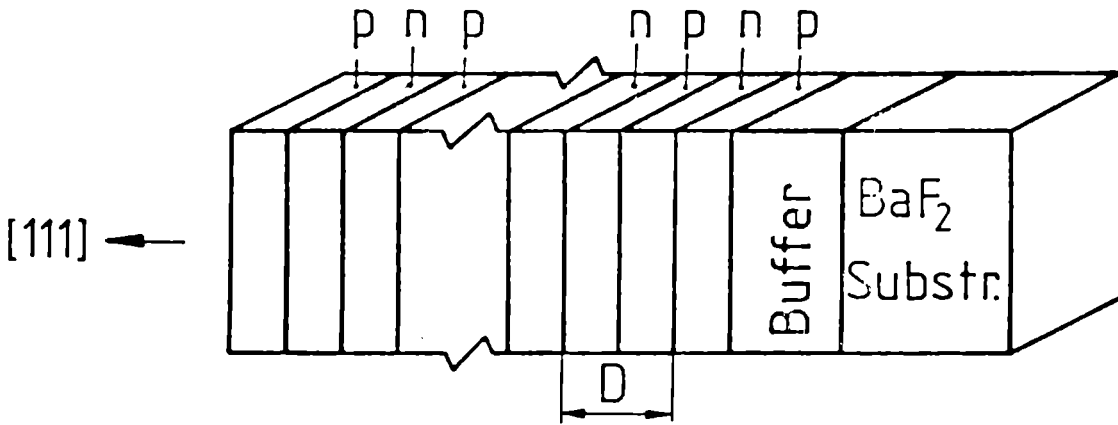
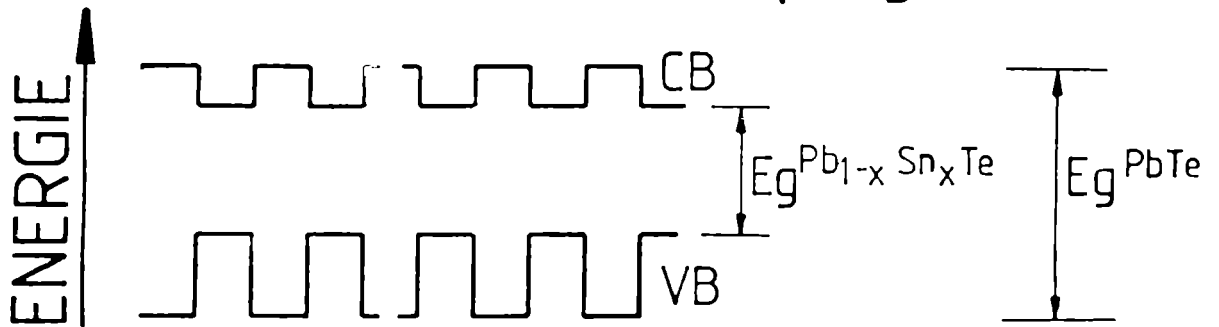
Mikroelektronik wird in Japan und den USA als Schlüsseltechnologie mit ausgezeichneter Rückkopplung zwischen industrieller und universitärer Forschung, angewandter und Grundlagenforschung vorangetrieben. Sie schafft neue Arbeitsplätze hoher Qualifikation und Wertschöpfung. Negativ-Bewertungen wie Jobkiller, Sinnentleerung, Monotonie, Arbeitszerstückelung, Fremdbestimmung, sinkende Arbeitszufriedenheit entbehren einer statistischen Beweisgrundlage.

Die Montanuniversität Leoben liegt im traditionsreichen Betätigungsfeld der historisch gewachsenen obersteirischen Stahlindustrie. Rohstoff-Forschung, Werkstoff- und Kunststoffwissenschaften und auch die begleitenden Grundlagenwissenschaften haben zu ihrem - auch international hohen - Bekanntheitsgrad geführt. In jüngster Zeit wurden verstärkte Aktivitäten zur Lösung von Zukunftsproblemen in Forschung und Lehre auf dem Sektor der montanistischen Wissenschaften unternommen. Ein mikroelektronischer Schaltkreis, vom Siliziumchip, seine Verbindung mit dem wärmeabführenden Substrat (wo auch metallische Werkstoffe, Keramiken und Kunststoffe eine wichtige Rolle spielen) und schließlich die hermetische Verkapselung in einem handelsüblichen Gehäuse spiegelt mit den zahlreichen Prozeßabläufen, die zu seiner Herstellung nötig sind, im wesentlichen auch das Ausbildungsangebot an der Montanuniversität Leoben wider: Die verschiedenen Studienrichtungen decken alle we-

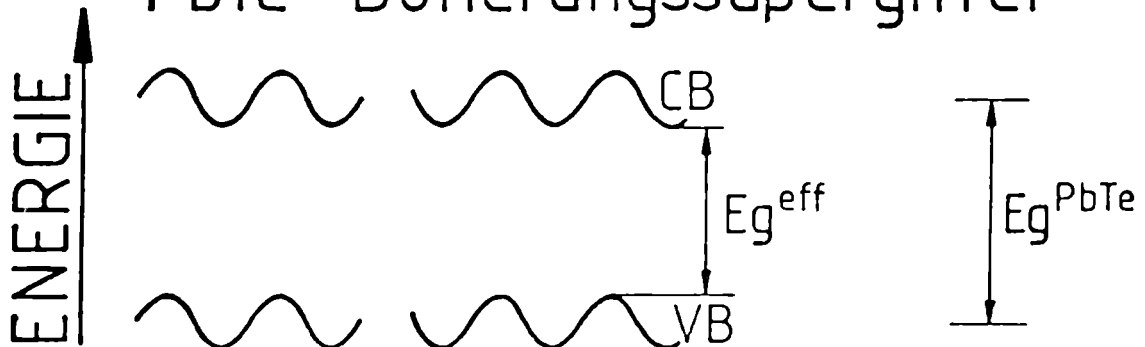




PbTe/Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te - Supergitter



PbTe - Dotierungssupergitter





sentlichen Aspekte der Forschung auf dem Sektor der Rohstoffgewinnung und -veredelung, der Werk- und Kunststoffwissenschaften ab. Die Ergebnisse dieser Forschung werden unmittelbar der Ausbildung der Studenten zugeführt. So wurde u.a. zur Ausbildung auf dem Gebiet der Mikroelektronik im Rahmen des Studiums der Werkstoffwissenschaften eine neue Wahlfachgruppe "Werkstoffe der Elektronik" eingerichtet (betreuendes Institut: Institut für Physik, die die repräsentativen Prozeßschritte von der Reinherstellung der Materialien bis zum integrierten Schaltkreis zusammen mit den hochentwickelten Analysenverfahren den Studenten näherbringen soll. Auch auf dem Gebiet der Festkörperanalytik ist die Montanuniversität - selbst im speziellen Fall der Mikroelektronik - durchaus repräsentativ: Neben den im Volumen der Materialien wirkenden Analysenverfahren (Röntgendiffraktometrie, Röntgenmikrosonde, Röntgenfluoreszenz, Infrarot- und Fourier-Transform-Spektroskopie, Halleffekt und Magnetooptik) sind auch Verfahren der Oberflächenanalytik (Elektronenbeugung, Auger-Spektroskopie, Rasterelektronenmikroskopie) verfügbar.

Auf dem Gebiet des Kristallwachstums wird die Herstellung von Festkörperstrukturen auch unterschiedlicher Kristallsysteme (Isolatoren, Halbleiter und Metalle) mit den Methoden der Heteroepitaxie äußerst zukunftsweisend sein. In diesem Zusammenhang ist die in Österreich erste und derzeit auch einzige Molekularstrahlepitaxie-Anlage zu erwähnen, die am Institut für Physik aufgebaut wurde und seit einem Jahr erfolgreich in Betrieb ist. Bild 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Anlage: Elektronisch geregelte Effusionszellen (Temperaturkonstanz 0,5 Grad Celsius) erzeugen einen über Shutter gesteuerten, gerichteten Molekularstrahl äußerster chemischer Reinheit unter Ultrahochvakuumbedingungen. Das kristalline Substrat ist getrennt heiz- und kühlbar. Auf ihm werden die monokristallinen Schichten in der gewünschten Reihenfolge abgeschieden. Es ist gelungen, Isolatormaterialien ( $\text{BaF}_2$ ,  $\text{SrF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ) auf halbleitenden Substraten ( $\text{PbTe}$ ,  $\text{CdTe}$ ,  $\text{GaAs}$ ) abzuscheiden, aber auch atomar scharfe Dotierprofile in IV-VI-Halbleitern ( $\text{PbTe}$ ) durch Dotieren mit  $\text{Tl}_2\text{Te}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  (p-, n-Leitung) zu erzeugen. Die Schichten können Atomlage für Atomlage, kontrolliert über Elektronenbeugung, aufgewachsen werden. Durch Aufwachsen von unterschiedlichen Halbleitern ( $\text{PbTe}$ ,  $\text{PbSnTe}$ ) können sogenannte kompositionelle Festkörper-Übergitter, oder durch unterschiedliche Dotierung eines Halbleiters sogenannte "Dotier"-Übergitter (n-i-p-i) hergestellt werden. Die künstlich gewachsenen Überstrukturen und ihre elektronischen Bandschemata sind in Bild 4 dargestellt. IV-VI-Halbleiter sind außerordentlich wichtig für Anwendungen im Fernen Infrarot (Wellenlänge größer als 8  $\mu\text{m}$ ). Kompositionelle Übergitter werden als

Festkörperlaser, Dotierübergitter als Infrarot-Detektoren eingesetzt. n-i-p-i Infrarot-Detektoren versprechen eine um Größenordnungen erhöhte Empfindlichkeit gegenüber konventionellen Infrarotdetektoren in diesem Spektralbereich. Bild 5 zeigt ein durch "Second Ion Mass Spectroscopy" abgetragenes Profil eines kompositionellen PbTe/PbSnTe-Übergitters. Schließlich soll Bild 6 eine Vorstellung des Endausbaus der am Institut für Physik installierten Molekularstrahlanlage vermitteln. Es versteht sich von selbst, daß zum erfolgreichen Gelingen derartig extremer Heteroepitaxie (die Kristallsysteme unterscheiden sich in ihren Grundzellendimensionen oft um mehr als 10 %) nicht nur große technologische Probleme gelöst werden müssen, sondern daß - in wechselseitiger Rückkopplung zur Technologie - auch intensive Grundlagenforschung an diesen Strukturen betrieben werden muß. In diesem Sinne soll den zahlreichen Beteiligten (den Projektleitern, Assistenten, Dissertanten, Diplomanden und Laboranten) für ihren hochmotivierten Einsatz zum Gelingen dieser Forschungsvorhaben gedankt werden. Aber auch den Geldgebern auf Bundes- und kommunaler Ebene, wie auch den nationalen Fonds, sei für die großzügige Förderung der Projekte gedankt. Denn der Sinnspruch von Gotthold Ephraim Lessing "Was artig ist, ist klein" mag uneingeschränkt gültig sein für die Herstellung von Mikrostrukturen, trifft aber daneben, wenn es um Aufwendung von finanziellen Mitteln zur Förderung derartiger Vorhaben geht.

In diesem Vortrag wurden Informationen und Zitate von folgenden mit dem Thema befaßten Berichten, Gutachten und Zeitschriften entnommen:

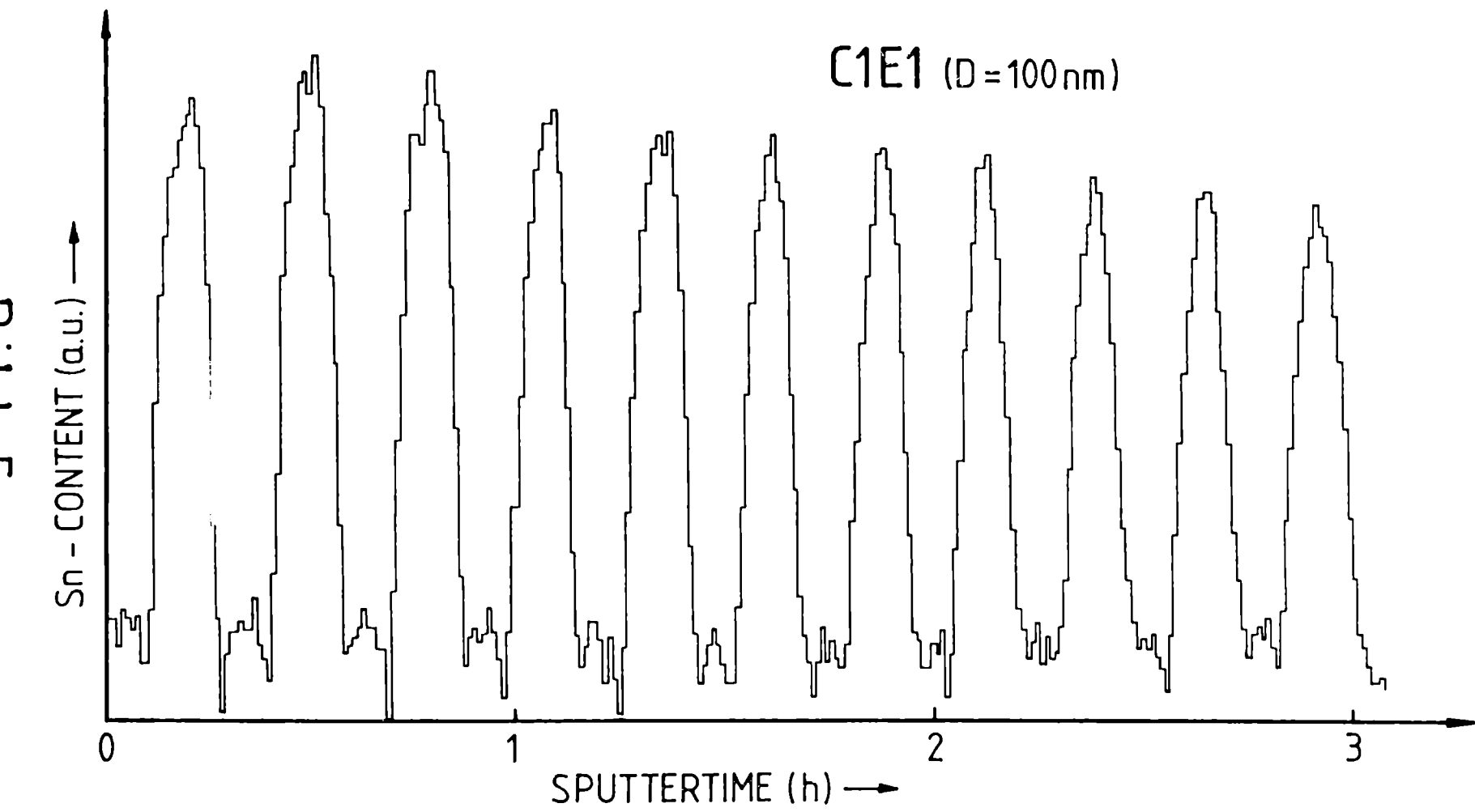
Broschüre über Auswirkungen der Mikroelektronik, Vereinigung der Industriellen Österreichs,

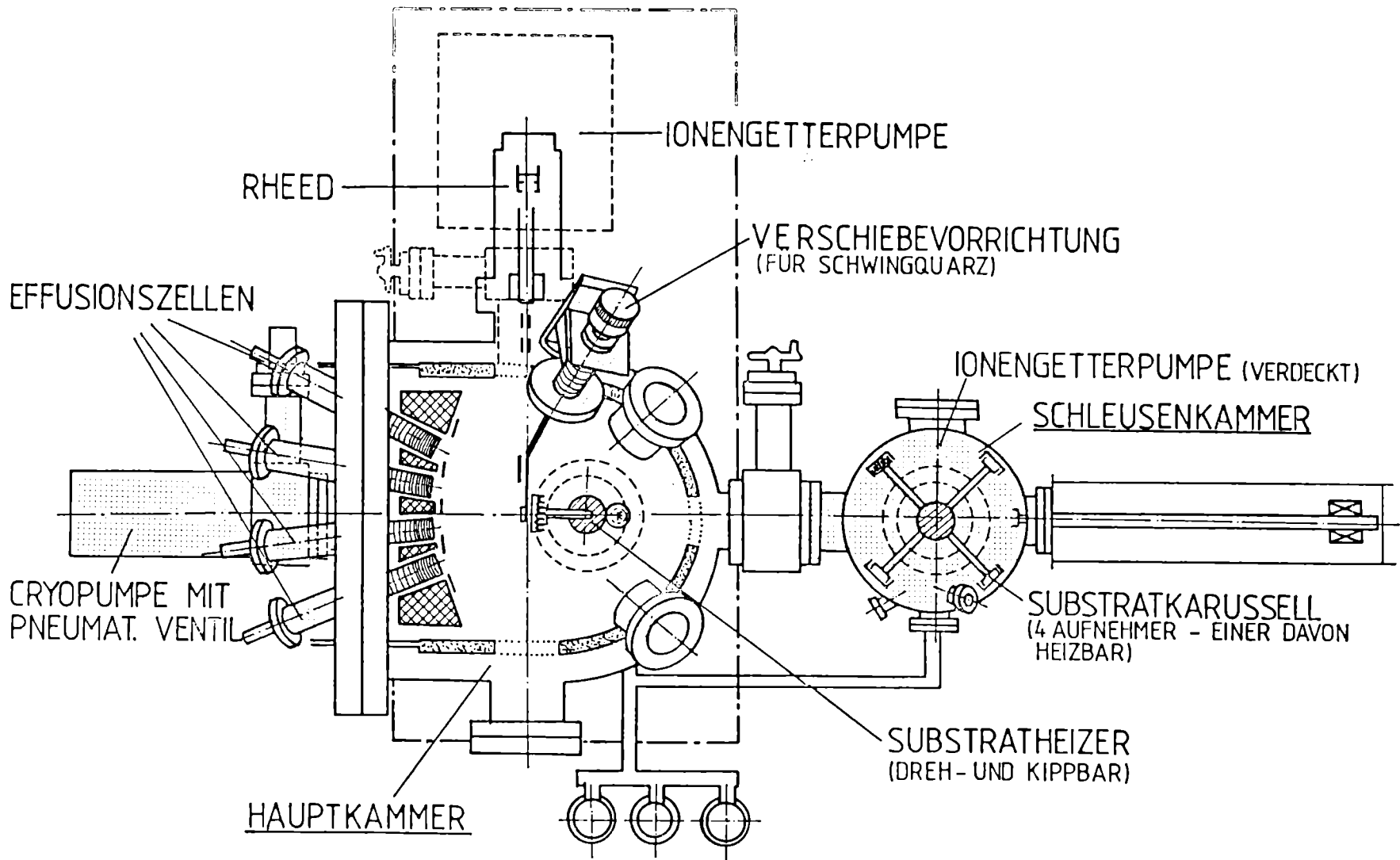
Abschlußbericht des Arbeitskreises Mikrostrukturen des BMfWuF,

Bericht der H. Queisser Kommission des BMfFuT, Bundesrepublik Deutschland,

Semiconductor International,

Der Elektroniker





**Neue Werkstoffe auf dem Gebiet  
der Keramik**

von

Werner Wruß

ziums ( $\text{SiO}_2$ ) eine ausgezeichnete Maske für strukturiertes (selektives) Dotieren einer Halbleiteroberfläche darstellt (Ähnliches ist nicht möglich für Germanium), und erfand den Planarprozeß (1959). Die Wachstumsmethode der Epitaxie gestattete die Herstellung planarer Strukturen elektronischer Bauelemente in einer hauchdünnen Schicht (0,01 mm) auf einem Siliziumträger mit hoher Dichte (monolithische Integration). Wird Silizium auf einer Siliziumscheibe epitaktisch abgeschieden, ergibt sich ein geordnetes kristallines Wachstum hoher kristalliner Perfektion (Homöoepitaxie). Die Planarprozeß-Technologie ist heute industrieller Standard und gestattet Bipolar- und MOS-Transistoren, Analog- und Digitalschaltungen auf einem Wafer zweidimensional zu integrieren. Die Integrationsdichten sind in Bild 1 zusammengestellt.

Im Zusammenhang mit dem MOS-Transistor soll auf ein weiteres Paradoxon eingegangen werden: Die Steuerung der Leitfähigkeit eines Ladungsträgerkanals durch ein elektrisches Feld ("Feldeffekt") ist physikalisch einfach verständlich, wurde auch schon früh erkannt, doch konnte sie technologisch nicht realisiert werden. Die Technologie sauberer Halbleiteroberflächen (mit kontrollierbaren Oberflächenzuständen) und die Einstellung einer reproduzierbaren Schwellenspannung über das Gate-Oxid wurde erst 1965 möglich, als die Isolationsschicht des Gates durch geeignete technologische Prozesse (Getterung) von den beweglichen Alkali-Ionen gereinigt werden konnte. Ab 1966 traten die MOS-Schaltungen gegenüber den Bipolarschaltungen ihren Siegeszug an. Der Aufbau eines MOS-Transistors ist wesentlich platzsparender und mit weniger Prozeßschritten durchführbar. Die heutigen Speicherbausteine (Ziel: Megabitspeicher) werden ausschließlich in MOS-Technologie hergestellt, Bild 2.

Die Erzielung höchster Integrationsdichte, kleinster Strukturbreite ist eine Herausforderung für die Materialwissenschaften selbst, erfordert sie doch neue Prozeßverfahren (Ionenimplantation, Ionen-, Röntgen-, Elektronenstrahl-Lithographie). Wenn auch von Design-Cleverness, Redundanz, computerunterstütztem Schaltkreisentwurf und kurz zu haltenden Zeiten vom Entwurf bis zum Prototyp eines integrierten Schaltkreises gesprochen wird, sollte ebenso auf die dafür benötigte kostenintensive Prozeßtechnologie (mit effektiver Qualitätskontrolle, Reinraumbedingungen) und auf einen hohen Ausbildungsstand der Prozeßingenieure geachtet werden.

Die Mikroelektronik mit ihrer fortschrittlichen Halbleitertechnologie stellt die Grundlage dar, auf der neue Kommunikationstechnologien, sowie die modernen Entwicklungen der Datenverarbeitung und der industriellen Automation basieren. Der künftige technische Fort-

schritt und der wirtschaftliche Erfolg hängen von grundlegender wissenschaftlicher Forschung auf diesem Gebiet ab. Eine Beherrschung der einkristallinen Materialien, besonders der halbleitenden Stoffe und ihrer spezifisch strukturierten Grenzflächen (Kontakte, Dielektrika) muß auf in allen Dimensionen wesentlich geringeren Abmessungen erreicht werden. Neben der Beherrschung der Höchstintegration auf Silizium sind Verbindungshalbleiter, besonders GaAs für Optoelektronik und Höchstfrequenzanwendungen, und InP und seine ternären und quaternären Mischkristalle für neue Anwendungen in der optischen Nachrichtentechnik besonders wichtig. Grenzflächen der Halbleiter gegenüber Metallen oder anderen halbleitenden und isolierenden Substanzen werden zunehmende Bedeutung erlangen (Passivierung, Metallisierung). Materialien, wie Glasfasern oder großflächig genutzte photoempfindliche Speichermaterialien werden von der Industrie bereits beherrscht. Dagegen sollten Materialien für die Optoelektronik und die Display-Technik weiter erforscht und verbessert werden. Für die integrierte Optik sind auch Stoffe zur Beschichtung für Antireflex- und Verspiegelungstechnik, Lithiumniobat und verwandte Materialien nötig.

Eine der wichtigsten Methoden zur kontrollierten Erzeugung sehr scharf definierter Kristallstrukturen ist die Epitaxie, das gerichtete und gezielte Aufwachsen eines Kristalls auf einer meist einkristallinen Unterlage. Besonders wichtig werden in absehbarer Zukunft die Hetero-Epitaxie-Verfahren sein, bei denen zwei unterschiedliche Stoffsysteme aneinander wachsen. Um Interdiffusion atomar dünner Schichten zu vermeiden, müssen Epitaxieverfahren bei tieferen Temperaturen entwickelt werden (Molekularstrahlenepitaxie).

Die Trennung leitender Bereiche, Grenzflächen zu Metallen und den Halbleitern sind für die Funktion von Mikroelektronikkomponenten äußerst wichtig. Elektronische Grundprozesse der Speicherung und des Transports der Ladung müssen für die zunehmende Integration noch besser verstanden werden. Verringerung der Dimension wird zu einer Erhöhung beispielsweise der elektrischen Feldstärke führen, damit werden nichtlineare Prozesse, wie etwa das Tunneln von Ladungsträgern oder die Injektion nicht thermischer Elektronen bedeutsam. In sehr geringen Abmessungen von Halbleitern oder anderen Festkörpern entstehen neue Quantenphänomene: Hierzu gehören beispielsweise neue Feldeffekt-Transistoren mit hoher Elektronenbeweglichkeit in quantisierten Raumladungszonen ("HEMT"). Heterostrukturen von Halbleitern (Halbleiterlaser), Halbleiter-Isolator-Grenzschichten und Verkoppelung mit optischen und magnetischen Werkstoffen werfen Probleme des ballistischen Elektronentransports und der Wärmeleitung bei kleinen Dimensionen auf.

Nicht nur elektronische Effekte, auch Fragen der mechanischen Spannungen müssen bei wachsenden Chip-Größen einer grundlegenden Erforschung unterzogen werden. Metallisierungen in immer kleineren Dimensionen führen zu immer größeren Stromdichten. Mehrlagen-Metallisierung, die für erhöhte Miniaturisierung unerlässlich ist, wirft völlig neue Probleme auf. "Techniken" der Metallisierung wie Aufdampfen, Zerstäuben oder Plasmaprozesse (beispielsweise bei Siliziden) müssen mit modernsten analytischen Methoden verfolgt werden. Keramiken als Substrat- und Verpackungsmaterialien werden für hochqualifizierte Bauelemente an Bedeutung gewinnen. Die physikalischen Grenzen der Höchstintegration von Einkristall-Halbleitern sind auf kleiner 0,1  $\mu\text{m}$  bei einigen Pikosekunden Schaltzeit abgeschätzt worden.

Ein direktes Herstellungsverfahren, das in den Submikronbereich vorstößt (mit lateralen Strukturen kleiner 1  $\mu\text{m}$  und vertikalen Strukturen kleiner als 0,2  $\mu\text{m}$  ist die Molekularstrahlepitaxie, Bild 3. Die laufende analytische Erfassung von Prozessen in dieser Technologie wird durch in situ Charakterisierung bewerkstelligt (XPS, Massenspektroskopie, Elektronenbeugung, Photoemission).

Kleine Länder, wie Österreich, sind bei dem heute notwendigen, enormen Aufwand für technische Forschung gezwungen, mit anderen zu kooperieren, um ihren Standard zu halten. Aktiv und kooperationsfähig sind aber nur jene Länder, die selbst neue Techniken einbringen. Gut ausgebildete Fachleute und eine Absicherung der angesiedelten Halbleiter-Produktionsstätten gegenüber Embargosituationen, geänderten Konzerninteressen und technischen Überalterungen sind wesentliche Voraussetzungen dafür, wie schon im Bericht des Arbeitskreises Mikrostrukturen dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung übermittelt wurde.

Daß Mikroelektronik, Materialforschung und Ausbildung in Mikroelektronik auch in Ländern wie Österreich durchaus von hohem wirtschaftlichen Anreiz sein muß, soll durch Vergleich mit Ländern vergleichbarer Größe und Industriestruktur aufgezeigt werden, die bereits den Einstieg in die Mikroelektronik vollzogen haben: Finnland und Norwegen unterhalten Zentren, das Technical Research Center in der Nähe von Helsinki mit 3000 Mitarbeitern und SINTEF in Trondheim mit 1100 Mitarbeitern. Beide Institutionen unterhalten eine Halbleitergruppe mit je ca. 100 Mitarbeitern. Die Verfügbarkeit von Mikroelektronik in diesen Ländern hat in kürzester Zeit zu Firmengründungen geführt ("spin-off"). Aus dem Bericht der erwähnten Arbeitsgruppe Mikrostrukturen an das Bundesministerium für Wis-





# Neue Werkstoffe auf dem Gebiet der Keramik

W. Wruß

Unter Keramik versteht man die Wissenschaft und Technologie nicht-metallischer anorganischer Werkstoffe (Anglikanische Definition).

Es handelt sich dabei um eine sehr heterogene Gruppe von Materialien wie z.B. Beton, Ziegel, Glas, Steinzeug, Porzellan, Feuerfestmaterialien bis zum Chips-Carrier, keramischen Turbolader, keramischen Implantaten etc.

Der Unterschied zwischen der konventionellen Keramik - meist auch als Silikatkeramik bezeichnet - und jenen neuen keramischen Werkstoffen, die im deutschen Sprachgebrauch als Sonderkeramiken, im anglikanischen als Special, bzw. Fine-Ceramics bezeichnet werden, gibt das erste Bild in Form eines Cartoon wieder.

Es gibt grundlegende Unterschiede zwischen den beiden Bereichen wieder. Dies beginnt bei den Rohstoffen, die im Falle der konventionellen Keramik meist natürlichen Ursprungs sind, Minerale die bergmännisch gewonnen werden, während im Falle der Sonderkeramiken die Rohstoffe in großem Maße synthetisch hergestellt werden. Sehr oft handelt es sich dabei auch um Verbindungen, die in der Natur nicht oder nur in sehr untergeordneter Form vorkommen - MEN MADE MATERIALS.

Die Formgebung und der Sinterprozeß weisen Techniken auf, wie sie z.B. im Bereich der Pulvermetallurgie bekannt sind, bestimmte Formgebungstechniken lehnen sich eng an Kunststofftechnologien an.

Die Einsatzbereiche dieser neuen Keramikwerkstoffe werden in Bild 2 aufgezeigt.

Es handelt sich um die Bereiche:

- INGENIEURKERAMIK - keramische Konstruktionsmaterialien
- BIOKERAMIK - Implantationsmaterialien
- ELEKTROKERAMIK - Isolier und Trägermaterialien
- ELEKTRONIKKERAMIK - Sensoren, Magnete, etc.

Die Stoffklassen aus denen diese Produkte aufgebaut sind, werden in Bild 3 aufgeführt:

Es handelt sich hierbei um Oxide, Nitride, Oxinitride, Carbide und Cermets bzw. Verbundwerkstoffe.

Einzelne Produkte wie Rohstoffe, wie z. B. Oxidkeramik, Schneidkeramik, sind seit Jahrzehnten bekannt, andere erst seit wenigen Jahren oder Monaten wie z.B. keramische Supraleiter, Sensoren, Verbundwerkstoffe oder Diamantbeschichtung.

Ganz allgemein muß bemerkt werden, daß es sich hierbei um eine extrem schnelle Entwicklung handelt, wobei aber trotzdem zwischen den ersten Forschungsergebnissen und der industriellen Verwertung mehrere Jahre, meist sogar mehr als ein Jahrzehnt vergehen, bevor diese Erkenntnisse in Serienprodukte umgesetzt werden können.

Diese schnelle Entwicklung neuartiger keramischer Werkstoffe wurde ausgelöst:

- a) durch intensive Forschung
- b) durch neue besser definierte Rohstoffe (Ausgangsmaterialien)
- c) durch die technische Herstellung verschiedener Fasermaterialien, wie z.B. der C-Faser, der B-Faser, der SiC-Faser, sowie der technischen Herstellung von Whiskern aus  $Al_2O_3$  sowie SiC. Whisker sind faserförmige Einkristalle mit extremen mechanischen Eigenschaften.
- d) von neuen Produktionstechniken wie Sintern im Autoklav (Sinter-HIP), Heißpressen, Heiß-Isostatisch-Pressen (HIP) und anderen.

Durch diese Entwicklungen war es möglich, feinkörnige, dichte Fertigprodukte, zum Teil mit Faserverstärkung, herzustellen, wodurch viele Eigenschaften dieser Werkstoffe ganz erheblich verbessert wurden. Dies führte wiederum zu einem erweiterten Anwendungsspektrum dieser Produkte.

Diese Entwicklung stellt aber auch gewisse Anforderungen an das industrielle Umfeld. So ist z.B. bei keramischen Konstruktionsmaterialien ein sehr moderner Maschinenstandard der Industrie notwendig, um keramische Komponenten erfolgreich einsetzen zu können. Weiters ist eine intensive Zusammenarbeit zwischen Konstrukteur und Werkstoffwissenschaftler notwendig.

Sowohl für Forschung als auch für die Entwicklung müssen genügend gut ausgebildetes Personal und entsprechend ausgestattete Einrichtungen vorhanden sein.

Ein hoher Automatisierungsgrad der Produktion hilft individuell bedingte Materialschwankungen vermeiden.

An Hand der spezifischen Anforderungen werden mögliche Anwendungsgebiete von hochfester Keramik diskutiert. Bild 4

Der Zusammenhang zwischen bestimmten Anforderungen und den dafür geeigneten Keramikwerkstoffen wird in Bild 5 aufgezeigt.

Der Verbundwerkstoff SiC-Si wurde vor etwas mehr als 20 Jahren erstmals beschrieben und stellt ein hervorragendes Material für verschiedene Verschleiß- und Hochtemperaturanwendungen wie Düsen, Gleitringdichtungen, Pumpenräder, Stahlrohre etc. dar. Auf dem Gebiet der Gleitringdichtungen wurden in den letzten 10 Jahren bis zu 30 % der WC-Co Qualitäten durch den neuen Werkstoff ersetzt.

Das Fließschema einer SiC-Si Fertigung, sowie die schematische Darstellung einzelner Produktionsschritte zeigen die Bilder 6 und 7. Hervorzuheben ist, daß Kleinserienfertigungen oft andere Prozessschritte beinhalten als Serienfertigungen, dies kann aber zu wesentlichen Qualitätsunterschieden führen. Um den Qualitätsstandard einer Serienfertigung zu charakterisieren, muß man eine Serienfertigung aufziehen (Aussage von ISUZU-Motors im Hinblick auf die Fertigung vollkeramischer Motoren).

Als weitere keramische Produktgruppe mit extrem zunehmender Bedeutung sind keramische Sensoren zu nennen:

Bekannte keramische Sensoren stellen die nachfolgenden Kombinationen dar:

| Anregung   | Type             | Materialien                                            |
|------------|------------------|--------------------------------------------------------|
| thermisch  | NTC-Thermistoren | Spinelle der Übergangsmetalle                          |
|            | PTC-Heizelemente | Ba, Sr, Pb-Titanate                                    |
| chemisch   | Sauerstoff       | ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub> |
|            | Feuchtigkeit     | MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>                       |
| elektrisch | Varistor         | ZnO                                                    |
| optisch    | Filter           | Gläser                                                 |
| magnetisch | Speicher         | Ferrite                                                |

In den Bildern 8, 9 und 10 werden Wirkungsweise und Anwendung von NTC, PTC und ZnO-Varistor veranschaulicht.

Konstruktionen im Zusammenhang mit diesen stoffspezifischen Eigenschaften derartiger Keramiken könnten in Zukunft die Basis vieler Kleinunternehmen darstellen.

Daß keramische Materialien Supraleitfähigkeit zeigen und dies bei extrem hohen Temperaturen 70 - 90 K, war sicher eine der Sensationen der Materialwissenschaften in den letzten Jahren. In den Bildern 11 und 12 werden mögliche Variationen der Zusammensetzung und Herstellungstechniken schematisch aufgezeigt. Wie lange es dauern wird, bis man diese Eigenschaften auf verkaufsfähige Produkte überträgt, läßt sich derzeit noch nicht abschätzen.

Das Auffinden neuer Eigenschaften in bestimmten keramischen Stoffgruppen weist aber darauf hin, daß hier ein sehr breites Forschungsgebiet vorliegt, in dem es noch viel aufzuspüren gibt. Das Gebiet der chemischen Sensoren kann hier als besonders vielversprechend angesehen werden.

Eine weitere sehr neue Entwicklung stellen plasmaaktivierte Verfahren zur chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) von ultraharten Verschleißschichten dar (Bild 13, 14). So konnte z.B. Diamant als verschleißfester Überzug mittels PA-CVD auf verschiedenen Substraten abgeschieden werden. Dies könnte ähnlich den Oxidbeschichtungen von Hartmetallen zu einer neuen Generation von Schneidstoffen in der Metallbearbeitung führen.

Zusammenfassend gibt Bild 15 auszugsweise jene keramischen Werkstoffe wieder, in denen in den nächsten Jahren (5 - 10 ?) außerordentliche Wachstumsraten zu erwarten sind.

# High-Performance Fine Ceramics in Japan

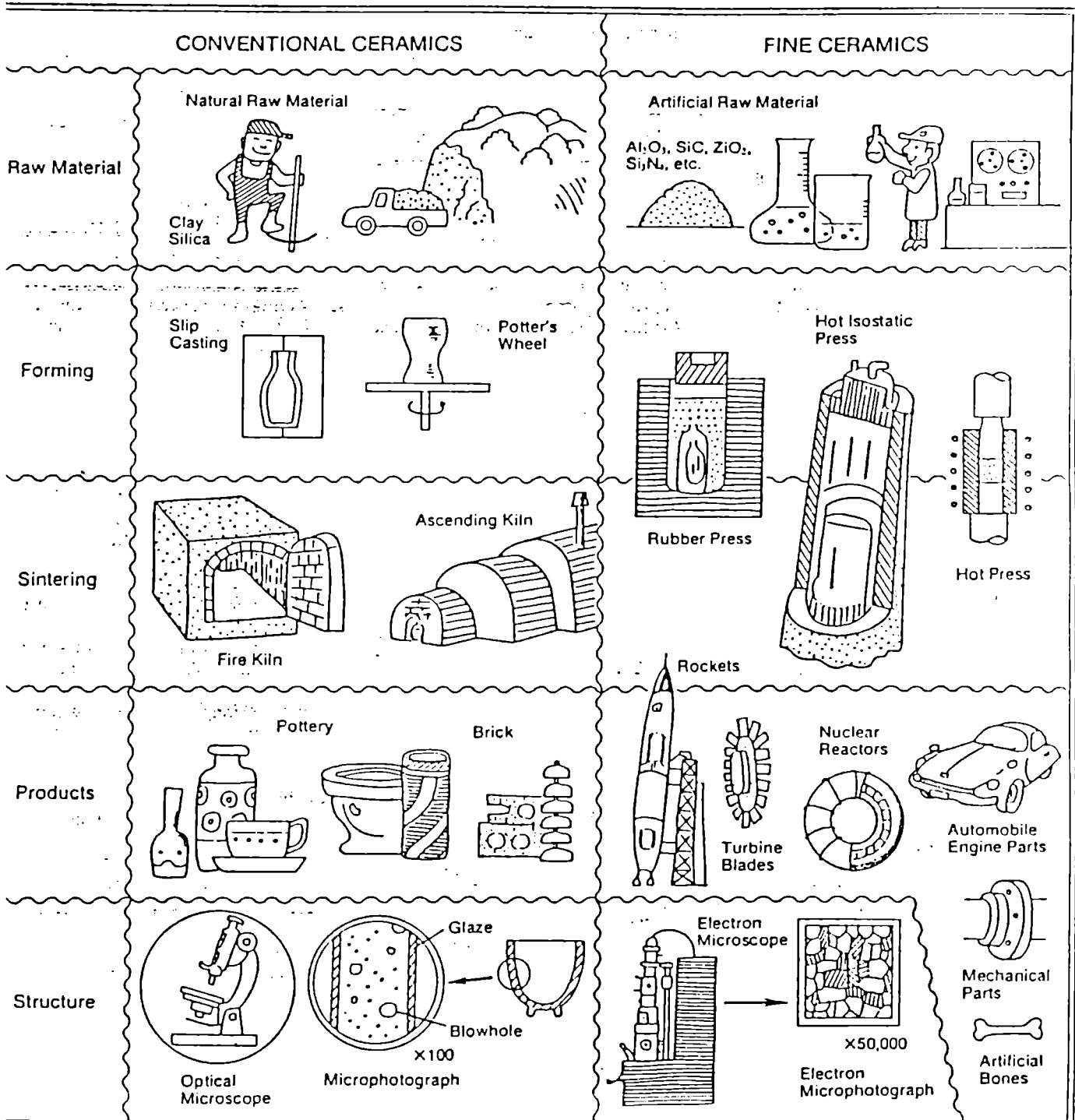


Fig. 1: Contrast between Conventional Ceramics and Fine Ceramics

# NEUE KERAMISCHE SONDERWERKSTOFFE

## MATERIALANFORDERUNGEN

### INGENIEURKERAMIK

STATIONÄRE TEILE  
BEWEGTE TEILE

HOHE FESTIGKEIT  
TEMPERATURBESTÄNDIGKEIT.  
OXIDATIONSBESTÄNDIGKEIT  
VERSCHLEISSFESTIGKEIT  
TWB - VERHALTEN

### OKERAMIK

HOHE FESTIGKEIT  
BIOVERTRÄGLICHKEIT

### EKTROKERAMIK

ISOLATOREN  
GEHÄUSE  
SUBSTRATE

ELEKTRISCHER WIDERSTAND  
TWB - VERHALTEN  
FESTIGKEIT  
WARMELEITFÄHIGKEIT

### EKTRONIK - KERAMIK

SENSOREN  
MAGNETE

STOFFSPEZIFISCHE EIGENSCHAFTEN

## STOFFKLASSEN

### OXIDE

#### EINSTOFFSYSTEME

$\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  
 $\text{ZnO}$ ,  $\text{BeO}$

#### MEHRSTOFFSYSTEME

$\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ ,  
 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ,  
(Titanate, Zirkonate, Ferrite etc.)

### NITRIDE

$\text{BN}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$

### OXINITRIDE

$\text{AlON}$ ,  $\text{SiAlON}$ ,  $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$


### KARBIDE

$\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{C}$ , C-Verbund

### GERMETS

$\text{SiC} - \text{Si}$ ,  $\text{ZrO}_2 - \text{Mo}$ ,  
 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Al}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Ti(CN)}$

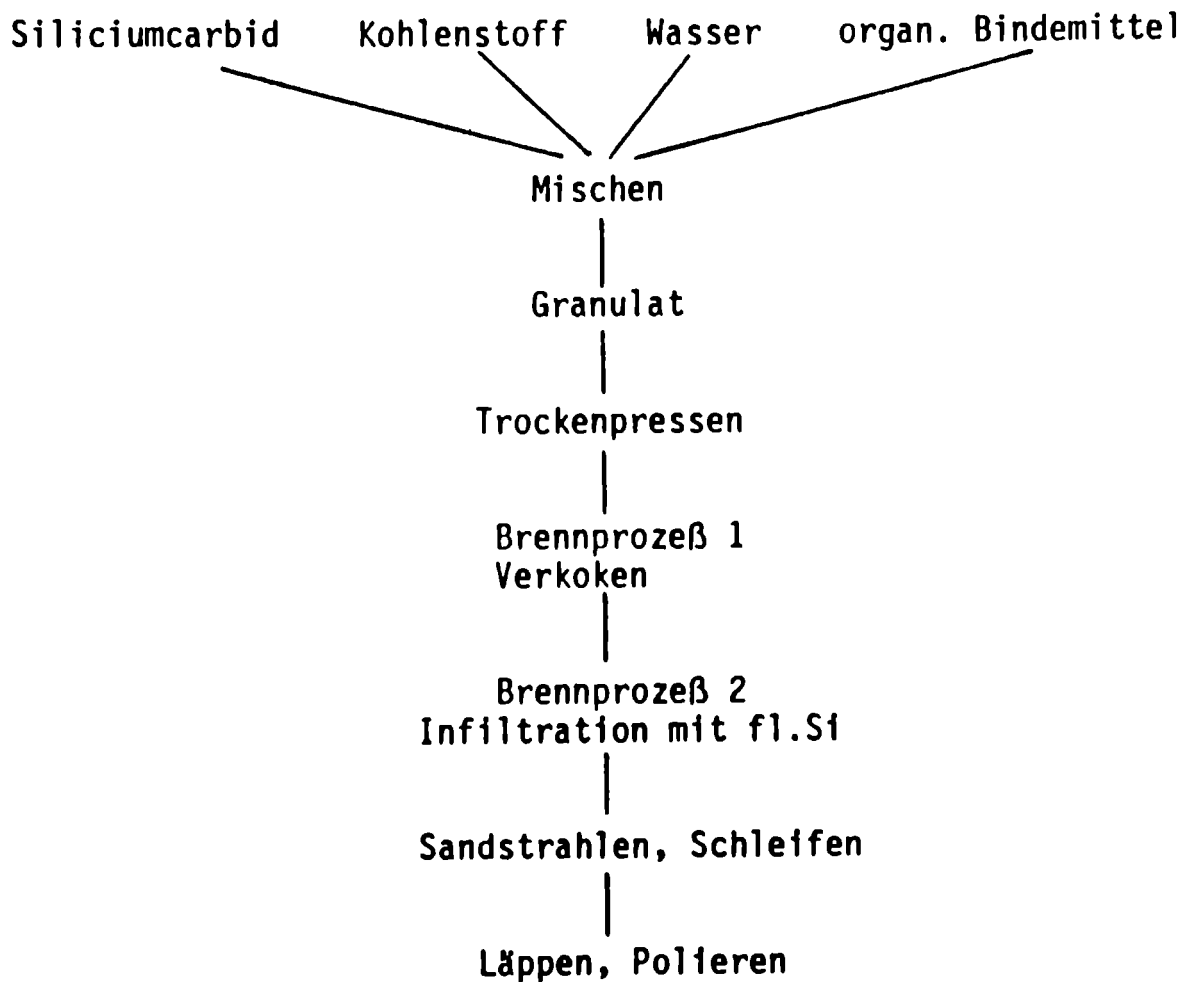


| ANWENDUNGSGEBIET                                                                   | TEILE                                                                                         | SPEZIFISCHE ANFORDERUNGEN                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>MOTOR</u>                                                                       |                                                                                               |                                                                                          |
| GASSTURBINE                                                                        | SCHAUFEL                                                                                      | OXIDATIONSVERHALTEN, THERMOSCHOCK, HOCHTEMPERATURFESTIGKEIT                              |
|                                                                                    | ROTOR                                                                                         | FESTIGKEIT, KRIECHFESTIGKEIT                                                             |
|                                                                                    | STATOR<br>BRENNKAMMER                                                                         | OXIDATIONSVERHALTEN, HOCHTEMPERATURFESTIGKEIT, THERMOSCHOCKVERHALTEN,                    |
|                                                                                    | LAGER                                                                                         | VERSCHLEISSVERHALTEN, REIBVERHALTEN                                                      |
| DIESELMOTOR                                                                        | KOLBEN                                                                                        | OXIDATIONSVERHALTEN, FESTIGKEIT, GERINGE THERMISCHE LEITFÄHIGKEIT, THERMOSCHOCKVERHALTEN |
|                                                                                    | ZYLINDER                                                                                      | VERSCHLEISSVERHALTEN, FESTIGKEIT, GERINGE WÄRMELEITFÄHIGKEIT                             |
|                                                                                    | VORHEIZKAMMER,<br>DÜSEN                                                                       | THERMOSCHOCKVERHALTEN, OXIDATIONSVERHALTEN, KORROSIONSV ERHALTEN,                        |
|                                                                                    | VENTILE                                                                                       | FESTIGKEIT, SCHLAGFESTIGKEIT, KORROSIONSV ERHALTEN, VERSCHLEISS,                         |
|                                                                                    | NOCKEN                                                                                        | VERSCHLEISSVERHALTEN,                                                                    |
|                                                                                    | TURBOLADER                                                                                    | HOCHTEMPERATURFESTIGKEIT, THERMOSCHOCKVERHALTEN, OXIDATIONSVERHALTEN                     |
|                                                                                    | LAGER                                                                                         | VERSCHLEISSVERHALTEN, REIBVERHALTEN                                                      |
|  | MÖGLICHE ANWENDUNGSGEBIETE VON HOCHFESTER<br>KERAMIK IM MOTORENBAU ( $Si_3N_4$ , SiC, SiC-Si) | WRUSS/LUX 83                                                                             |

Für einige spezielle Anwendungsfälle sind Kennwerte und die geeignetsten Werkstoffe zusammengestellt.

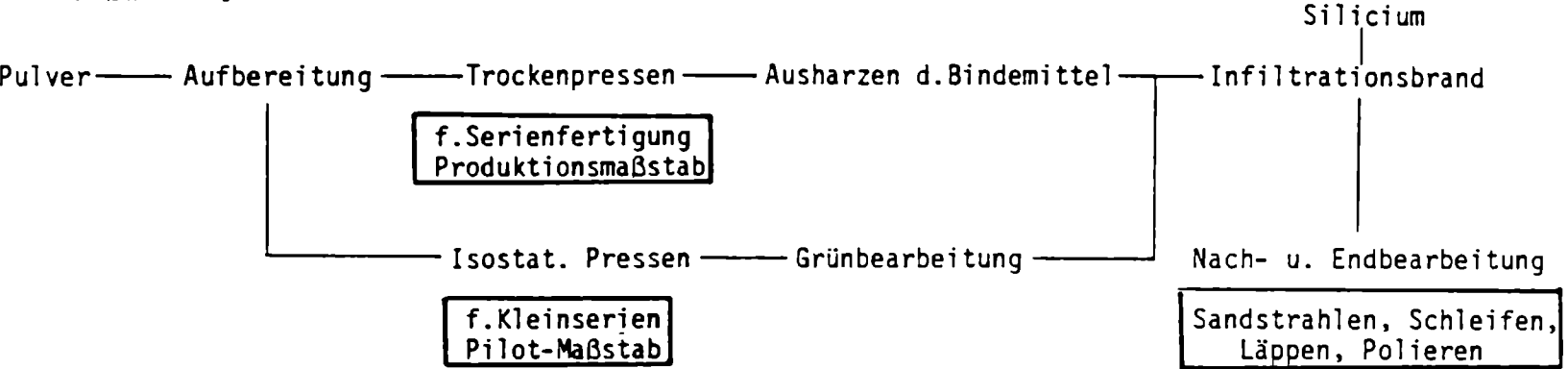
Examples of favourite materials and operational parameters are given for some special applications.

| Anforderung<br>demand                                                    | Kennwert<br>characteristic                    | geeignete Werkstoffe                                                                                          | suitable materials                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rotation<br/>rotation</b>                                             | $\frac{\sigma}{\rho \cdot g}$                 | Siliciumnitrid heißgepreßt<br>Siliciumcarbid infiltriert<br>Aluminiumoxid<br>Siliciumnitrid reaktionsgebunden | silicon nitride hot pressed<br>silicon carbide infiltrated<br>alumina<br>silicon nitride reaction bonded |
| <b>Thermoschock<br/>thermal shock</b>                                    | $\frac{\sigma \cdot \lambda}{E \cdot \alpha}$ | Siliciumnitrid heißgepreßt<br>Aluminiumtitanat<br>Siliciumcarbid infiltriert                                  | silicon nitride hot pressed<br>aluminiumtitanate<br>silicon carbide infiltrated                          |
| <b>Thermische Isolation<br/>thermal insulation</b>                       | $\lambda$                                     | Aluminiumtitanat<br>Cordierit<br>Siliciumnitrid reaktionsgebunden                                             | aluminiumtitanate<br>cordierite<br>silicon nitride reaction bonded                                       |
| <b>Bruchdehnung<br/>deformation capability</b>                           | $\frac{\sigma}{E}$                            | Aluminiumtitanat<br>Siliciumnitrid heißgepreßt<br>Siliciumnitrid reaktionsgebunden                            | aluminiumtitanate<br>silicon nitride hot pressed<br>silicon nitride reaction bonded                      |
| <b>Gasdichtheit<br/>density to gas</b>                                   | offene Porosität<br>open porosity             | Siliciumnitrid heißgepreßt<br>Aluminiumoxid<br>Siliciumcarbid infiltriert<br>Cordierit                        | silicon nitride hot pressed<br>alumina<br>silicon carbide infiltrated<br>cordierite                      |
| <b>Bearbeitbarkeit<br/>Maßhaltigkeit<br/>machinability<br/>shrinkage</b> | Kosten, Toleranzen<br>costs, tolerances       | Siliciumnitrid reaktionsgebunden<br>Siliciumcarbid infiltriert<br>Aluminiumtitanat                            | silicon nitride reaction bonded<br>silicon carbide infiltrated<br>aluminiumtitanate                      |
| <b>Reibung<br/>tribology</b>                                             | Verschleißfestigkeit<br>wear resistance       | Siliciumnitrid heißgepreßt<br>Aluminiumoxid<br>Siliciumnitrid reaktionsgebunden<br>Siliciumcarbid infiltriert | silicon nitride hot pressed<br>alumina<br>silicon nitride reaction bonded<br>silicon carbide infiltrated |

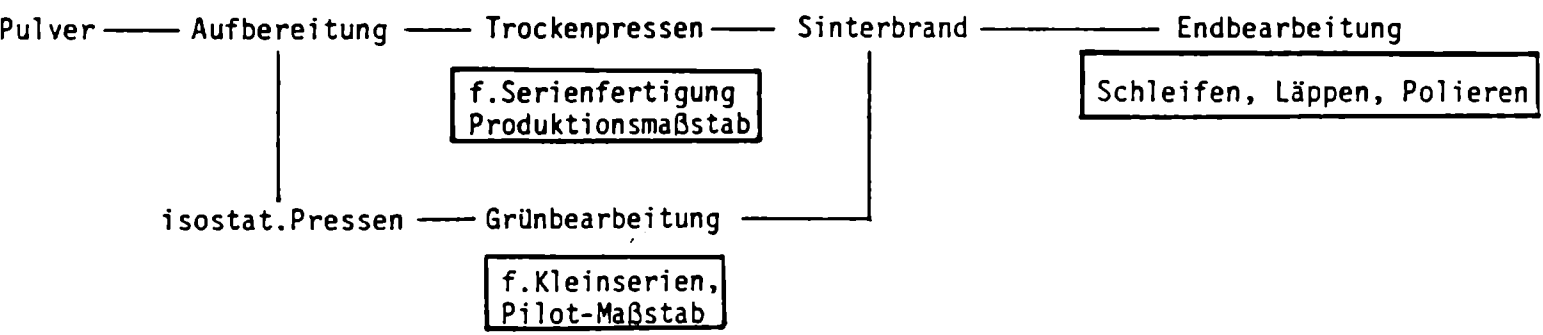
Fließbild Gleitringdichtungen SiC infiltriert

Gleitringdichtungen, Motorenbauteile

SiC infiltriert



SiC gesintert



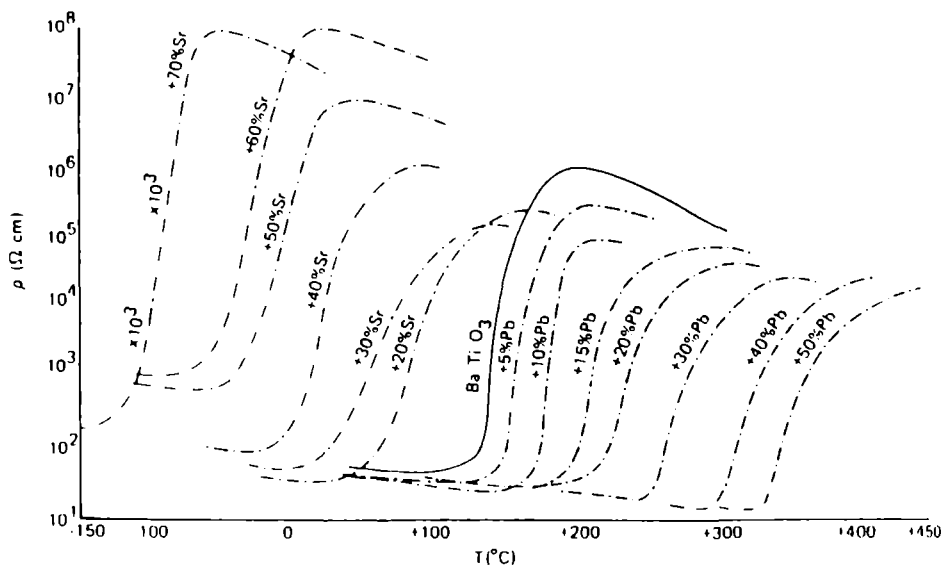


Figure 3 Resistivity-temperature curves for  $\text{BaTiO}_3$  PTC thermistors containing isovalent substitution for barium. The solid line represents  $\text{BaTiO}_3$  and the dashed lines show the effect of strontium (shift to left) and lead (shift to right) substitution in the proportions indicated. (From Ref. 43.)

### PTC- KERAMIK ANWENDUNGEN

- 1) BEWEGUNGSLOSE TEMPERATURSCHALTER
- 2) KLEINHEIZELEMENTE
- 3) MOTORSCHUTZSCHALTER

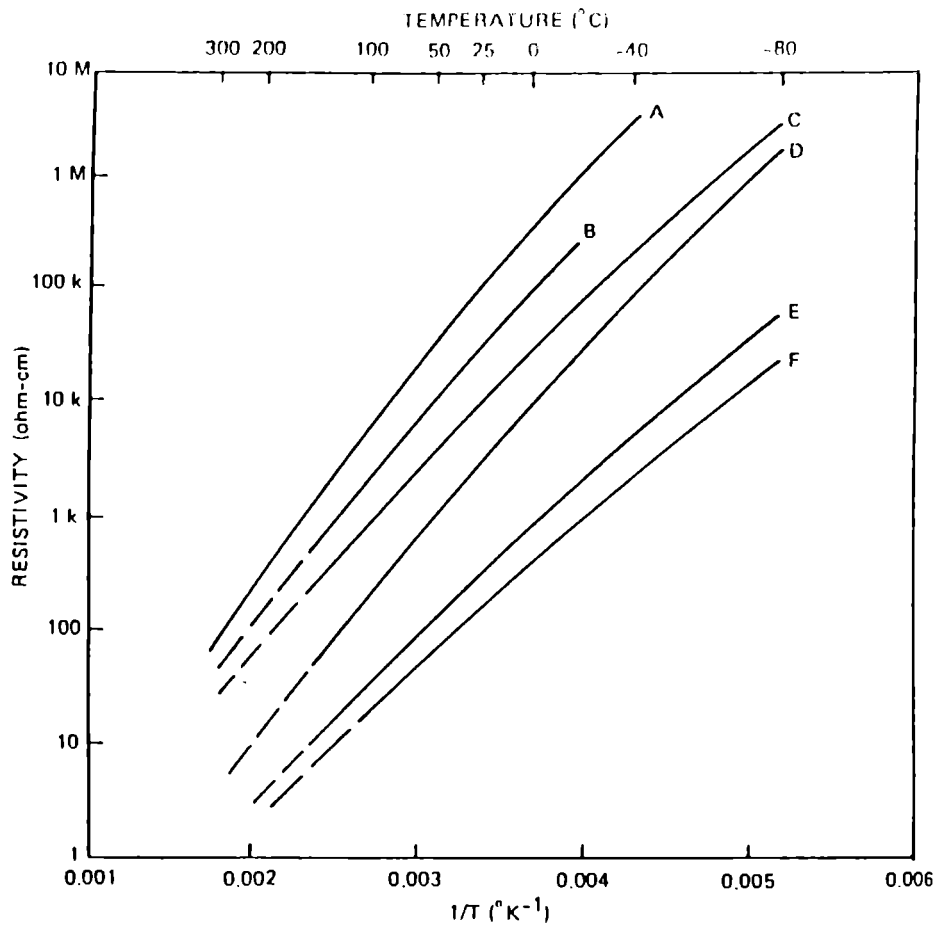


Figure 15 Resistivity-temperature behavior of some commercial NTC thermistor materials.

### NTC- KERAMIK ANWENDUNGEN

- 1) TEMPERATURMESSUNG
- 2) MESSUNG DES WÄRMEFLUSSES
- 3) STRahlungSMESSUNG
- 4) TEMPERATURKOMPENSATION
- 5) SPANNUNGSREGULIERUNG
- 6) FLÜSSIGKEITSSTANDMESSUNG
- 7) VAKUUM UND DRUCKMESSUNG

ZINKOXID- VARISTOR

97 Mo1% ZnO, 1 Mo1% Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,5 Mo1% Bi, Co, Mn, Cr-Ox.

VERZÖGERUNGSFREIER ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ

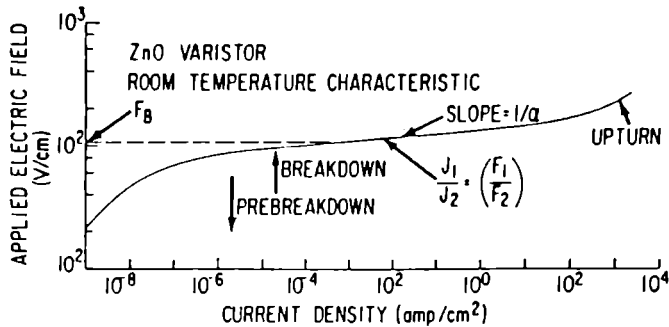


Figure 2 Log-log plot of current density versus applied field for a ZnO varistor. The varistor "breakdown field"  $F_{BR}$  is indicated. The exponent  $\alpha$  equals the inverse slope of the curve and is a measure of device nonlinearity. (From Ref. 22.)

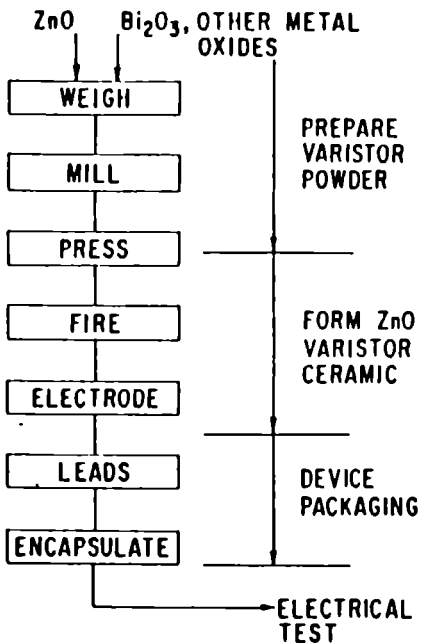


Figure 5 Simplified flow diagram for the fabrication of ZnO varistors. (From Ref. 22.)

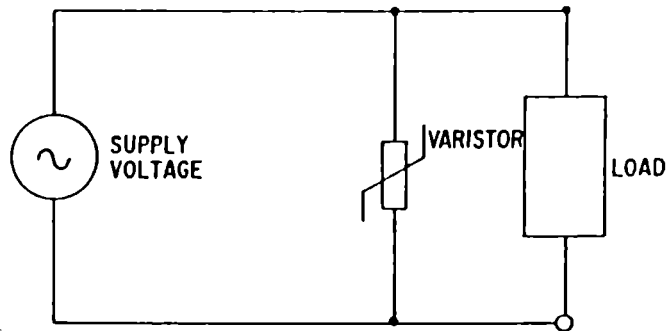


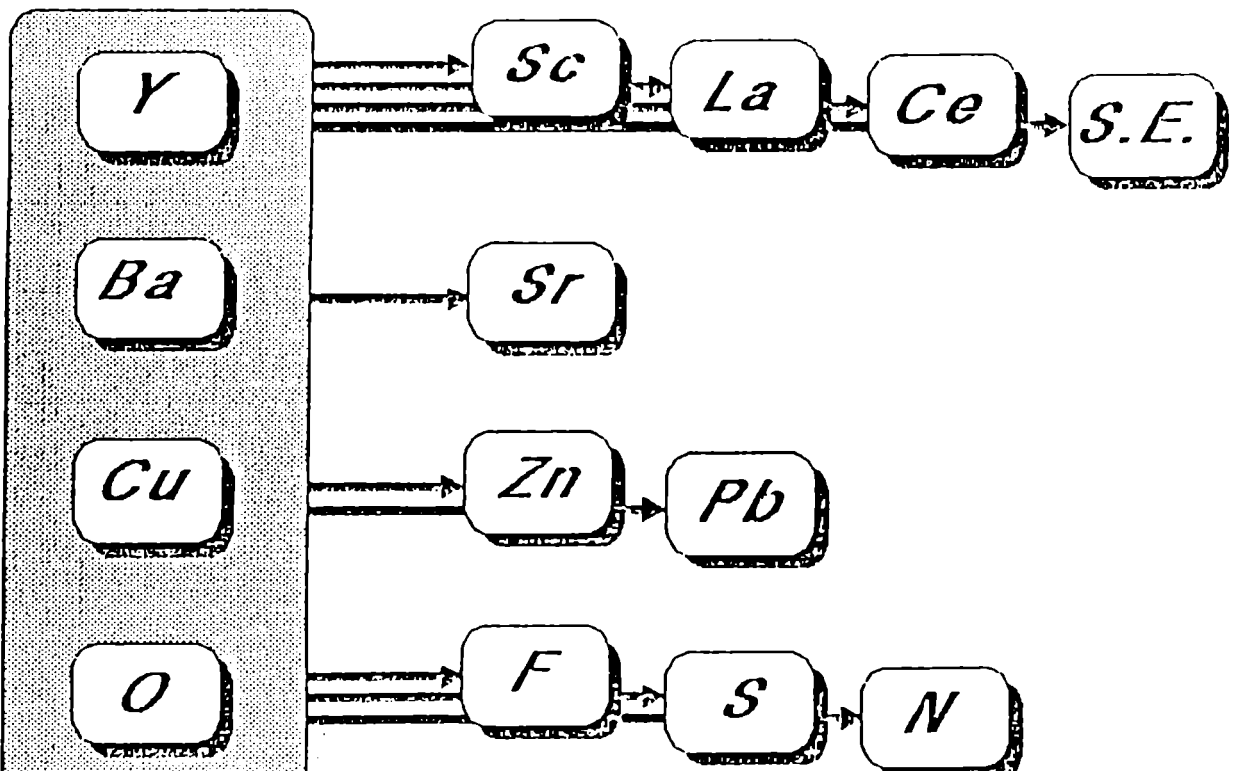
Figure 3 Typical application of ZnO varistor as a transient protective element. (From Ref. 22.)

# High – Tc Superconductors

Projekt:

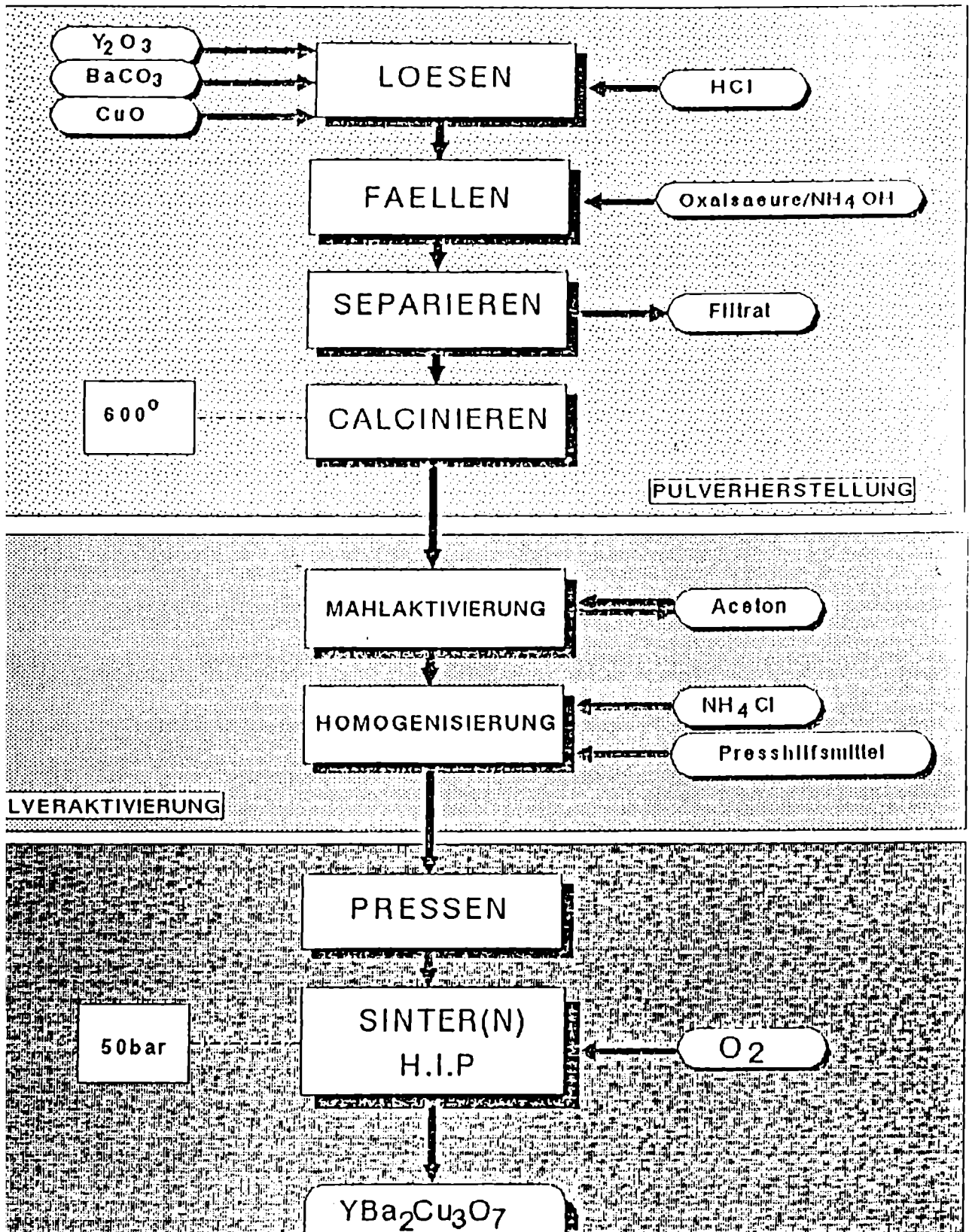
*systematische Substitution  
der Bestandteile des Hochtemperatur-  
Supraleiters  $YBa_2Cu_3O_7$*

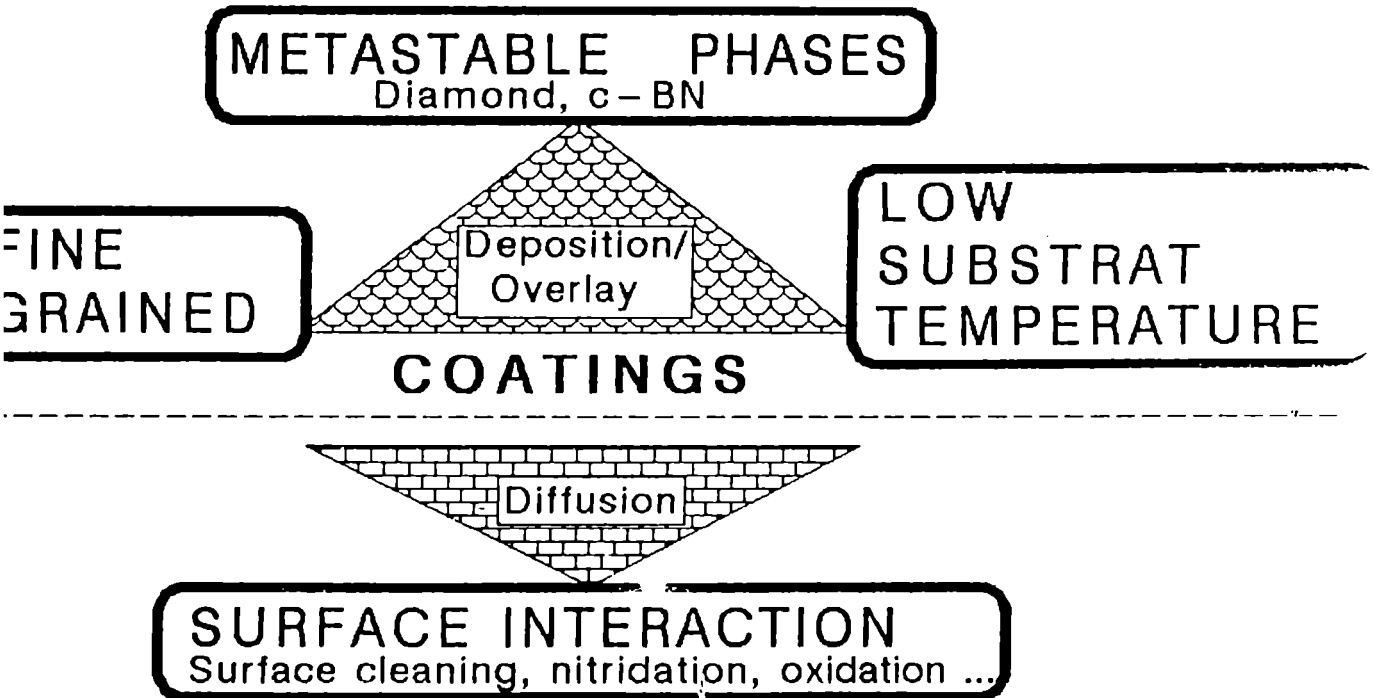
mögliche Substitutionen:



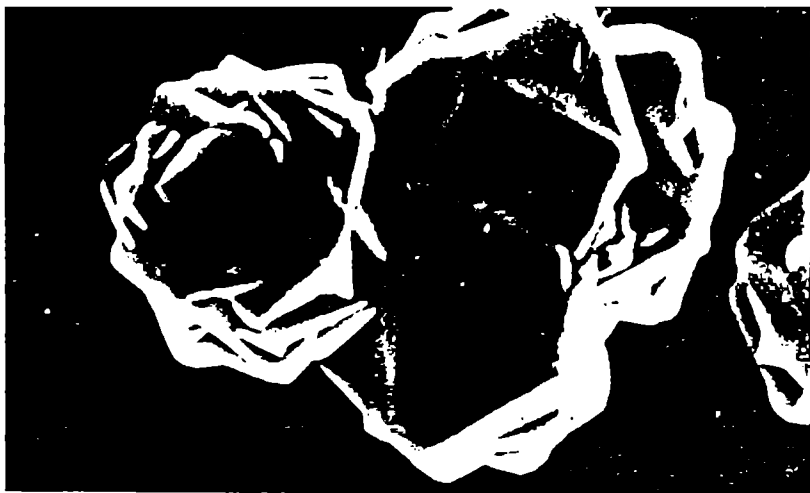


# Y - Ba - Cu - Oxid Supraleiter mit hoher T<sub>c</sub>

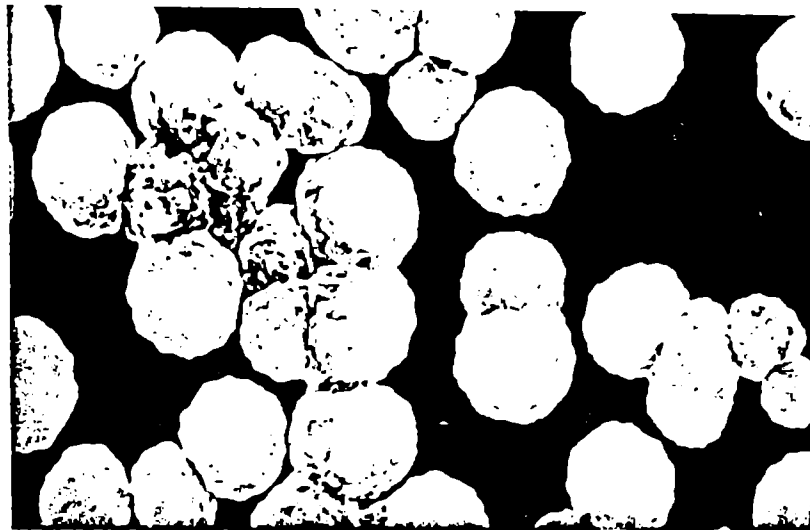




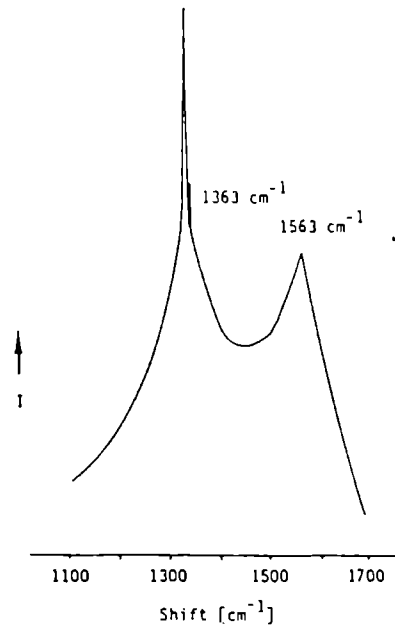
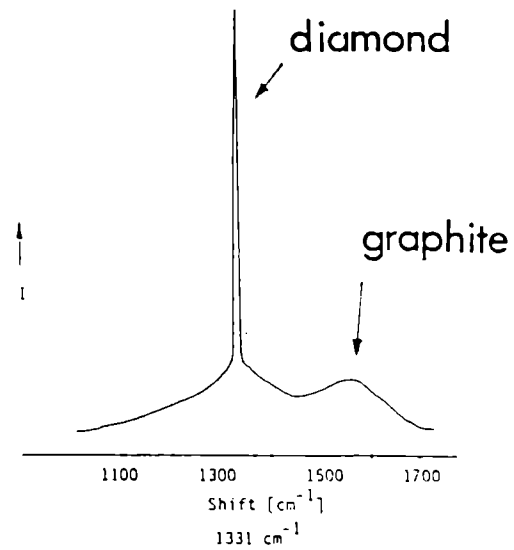
# PA – CVD: Technological applications and possibilities



10 μm



1 μm



- 102 -

WRUSS/F 14

# LOW PRESSURE DIAMOND

W. WRUSS

## DEMAND FOR CERAMICS-RELATED MATERIALS

|                                                                            | unit | 1985    | 1990      |
|----------------------------------------------------------------------------|------|---------|-----------|
| ELECTRIC-ELECTRONIC MATERIALS                                              |      |         |           |
| 1) Magnetic memory materials<br>-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> systems    | mt   | 4.400   | 6.500     |
| 2) Magnetic memory materials<br>Co- Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> systems | mt   | 12.000  | 17.000    |
| 3) High-performance magnets                                                | mt   | 76.000  | 111.000   |
| 4) Light emitting device mat.                                              | mt   | 30      | 250       |
| 5) Photo detector mat. ZnSe                                                | mt   | 3,8     | 29        |
| 6) Large sapphire single cryst.                                            | mt   | 10.000  | 20.000    |
| 7) BN heat conductive sheet                                                | mt   | 10      | 100       |
| 8) Silicon single crystals                                                 | mt   | 900     | 26.000    |
| 9) Transparent el.cond.mat.                                                | mt   | 2,5-25  | 6,2-62    |
| 10) PZT piezoelectric mat.                                                 | mt   | 80      | 400       |
| 11) Gas sensors ZnO system                                                 | mt   | 7       | 15        |
| 12) substrate materials                                                    | mt   | 500     | 1.500     |
| 13) semiconductor for laser InP                                            | kg   | 100     | 1.000     |
| 14) PLZT display                                                           | kg   | 0       | 100       |
| MATERIALS FOR METALLIC MECHANICAL ELEMENTS                                 |      |         |           |
| 15) Alumina fiber + Al alloys                                              | mt   | 2-3     | 10        |
| 16) Carbon fiber + Al alloys                                               | mt   | 2-3     | 10        |
| MATERIALS FOR NONMETALLIC MECHANICAL ELEMENTS                              |      |         |           |
| 17) Reaction sintered SN                                                   | mt   | 300     | 6.000     |
| 18) Reaction sintered SiC                                                  | mt   | 300     | 6.000     |
| 19) SiC high strength                                                      | mt   | 300     | 6.000     |
| 20) Hexagonal BN                                                           | mt   | 10      | 100       |
| 21) Single Crystal CBN                                                     | kg   | 50      | 1.000     |
| 22) Sintered Diamond                                                       | kg   | 14      | 140       |
| 23) SiC-fibers                                                             | mt   | 10      | 500       |
| 24) Alumina fiber                                                          | mt   | 100     | 500       |
| NONMETALLIC INORGANIC MATERIALS FOR LARGE STRUCTURES                       |      |         |           |
| 25) Fiber reinforced cement                                                | mt   | 100.000 | 1,000.000 |
| ORGANIC LARGE STRUCTURE MATERIAL                                           |      |         |           |
| 26) Carbon fiber (PAN)                                                     | mt   | 940     | 3.100     |
| 27) Carbon fiber pitch type                                                | mt   | 170     | 1.000     |
| 28) CFRP                                                                   | mt   | 2.200   | 8.200     |

Comment: mt = metric ton, kg = kilogram

Source: Survey by Industrial Research Institute, Japan.

Published: November 1983 Ceramic Industry/ 31



# **Flüssigmembranpermeation – effiziente Anreicherungstechnik**

von

Josef Draxler und Rudolf Marr

---

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.



# Flüssigmembranpermeation – effiziente Anreicherungstechnik

J. Draxler, R. Marr

Die Flüssigmembranpermeation (FMP) entwickelte sich aus der Solvent-Extraktion und stellt einen kombinierten, simultan ablaufenden Extraktions-/Reextraktionsprozeß dar. Ihr Ziel ist es, Schwermetalle und andere Substanzen aus wäßrigen Lösungen abzutrennen und in einer zweiten wäßrigen Lösung (Stripphase) anzureichern. Dabei wird das zu behandelnde Prozeßwasser nicht, wie bei der Solvent-Extraktion, nur mit dem organischen Extraktionsmittel in Kontakt gebracht, sondern mit einer Emulsion, die aus der organischen Phase und dem Reextraktionsmittel hergestellt wird (Abb. 1). Dies bedeutet, daß bei der FMP die Extraktion und die Reextraktion gleichzeitig in einer Stufe durchgeführt werden. Die Abbildung 2 zeigt die vier wesentlichen Prozeßschritte bei der FMP:

- 1) Herstellung der Emulsion
- 2) Permeation (Stofftransport)
- 3) Absetzen der Emulsion
- 4) Spalten der Emulsion

ad 1)

Die Emulsion wird hergestellt, indem die wäßrige Stripphase in einem statischen oder dynamischen Homogenisator in der organischen Membranphase fein emulgiert wird. Die dabei erzeugten wäßrigen Tröpfchen haben einen Durchmesser von ca. 1 bis 3  $\mu\text{m}$ . Die wäßrige Phase besteht in vielen Fällen aus verdünnter Schwefel- oder Salzsäure. Die organische Phase besteht zu ca. 90 % aus einem schwerlöslichen, aliphatischen Lösungsmittel, zu ca. 6 % aus Extraktionsmittel, welches mit den Metallen reagiert und in die organische Phase aufnimmt, und zu ca. 4 % aus einem Tensidgemisch, welches die Emulsion durch Erniedrigung der Grenzflächenspannung stabilisiert. Diese primäre Emulsion ist vom Wasser-in-Öl Typ, und besitzt daher nach außen organischen Charakter.

ad 2)

Der Permeationsvorgang wird durchgeführt, indem die primäre Emulsion mit dem zu reinigenden Prozeßwasser in einer Permeationskolonne in Kontakt gebracht wird, wobei die Emulsion durch Ein



rühren in dieses Prozeßwasser in Tropfen zerteilt wird (Durchmesser 0,5 - 2 mm). Dadurch entsteht eine Art multiple Emulsion mit der Phasenfolge Wasser/Öl/Wasser. Die organische Ölphase trennt die beiden wäßrigen Phasen und wirkt als flüssige Membran. Mit der auf diese Weise hergestellten multiplen Emulsion können außerordentlich große Stoffaustauschflächen erzeugt werden ( $10^6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ), wodurch der Stofftransport sehr schnell erfolgen kann.

ad 3)

Nach Beendigung des Stofftransportes koaleszieren die Emulsionstropfen zu einer einheitlichen Emulsion und werden durch einfache Schwerkraftabscheidung von dem gereinigten Prozeßwasser getrennt. Dieses wird am Fuß der Kolonne abgelassen, die beladene Emulsion wird am Kopf der Kolonne abgezogen und dem letzten Schritt, der Spaltung der Emulsion zugeführt.

ad 4)

Betrachtet man eine nach dieser Methode hergestellte flüssige Membran, so ist man leicht geneigt anzunehmen, daß die flüssige organische Membranphase keine hinreichende Barriere ist um die beiden wäßrigen Phasen vollständig zu trennen. Die bisherige Entwicklung der FMP hat aber gezeigt, daß nicht die Herstellung der Emulsion, sondern der umgekehrte Vorgang, die Spaltung der Emulsion das schwerwiegendste Problem darstellte. Durch Optimierung der Tensidzusammensetzung und Verbesserungen in der Emulsionsherstellung konnte die Emulsion derart stabilisiert werden, daß mit einem Aufplatzen der inneren dispergierten Tröpfchen von höchstens 0,1 % zu rechnen ist. Für eine vollständige Spaltung der Emulsion sind hingegen besondere Vorkehrungen notwendig. Heute werden W/O-Emulsionen ausnahmslos im elektrostatischen Feld gespalten, die zur Anwendung kommenden Emulsionsspalter sind sehr ähnlich den weit verbreitenden Rohölentsalzungsanlagen (Abb. 3), mit dem Unterschied, daß die verwendete Wechselspannung nicht 30 kV, sondern nur 1 kV hat, die verwendete Frequenz hingegen nicht 50 Hz, sondern 10000 Hz.

#### **Stofftransportmechanismus:**

Abbildung 4 zeigt schematisch den Stofftransportmechanismus am Beispiel der Cu-Permeation. Das Extraktionsmittel (hier mit X bezeichnet) reagiert an der Phasengrenzfläche Prozeßwasser/Emulsion mit den Cu-Ionen zu einem nur in der organischen Phase löslichen Komplex. Auf Grund des vorhandenen Konzentrationsgefälles wandert

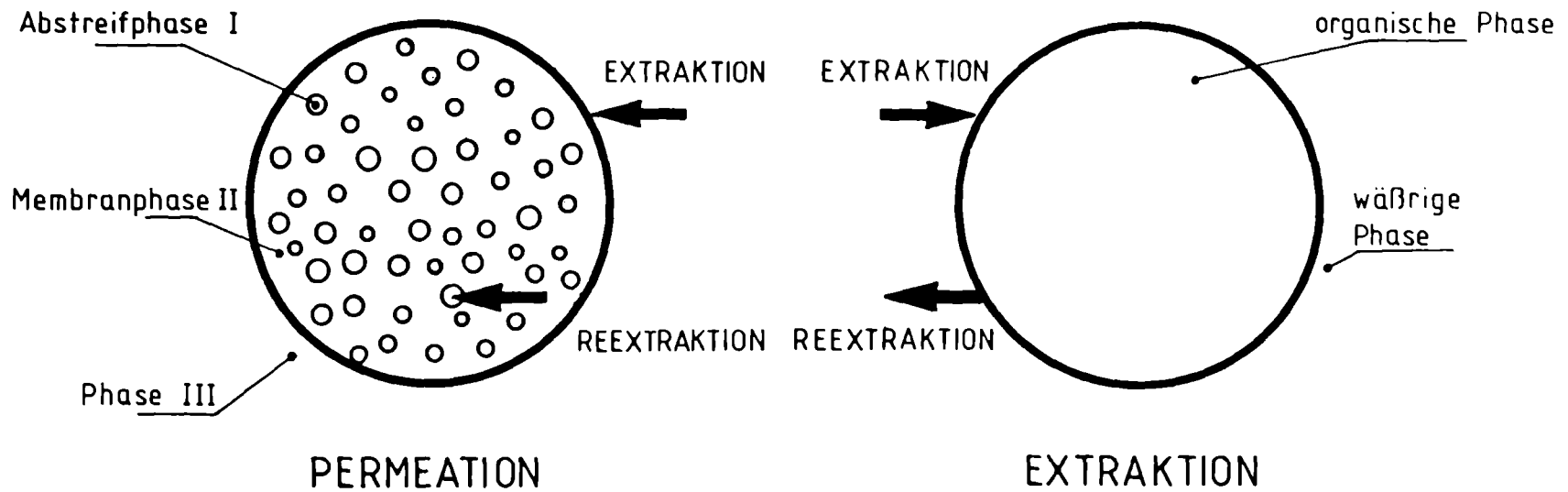


Abb. 1: Stofftransportvorgänge bei Extraktion und Permeation

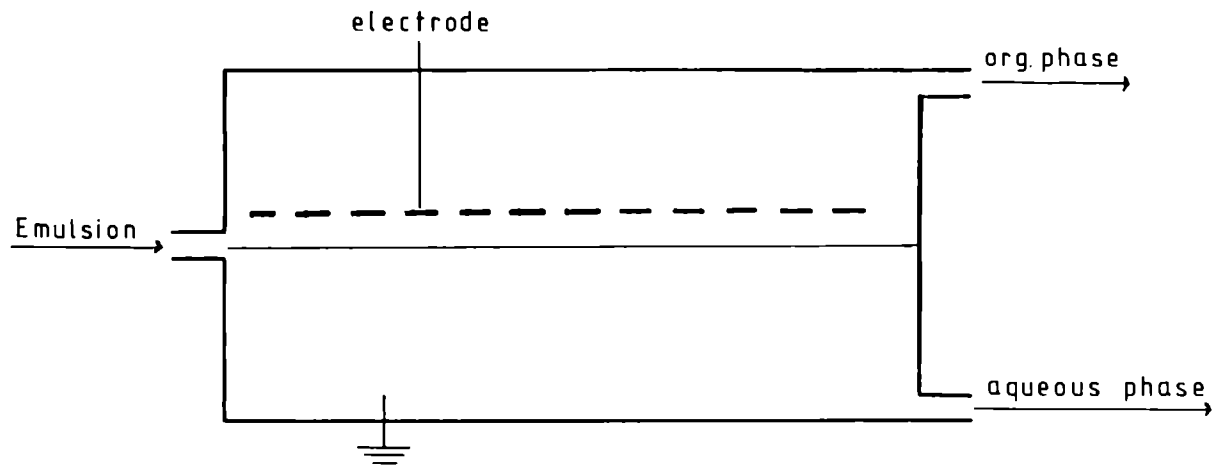


Abb. 3: elektrostatischer Emulsionsspalter

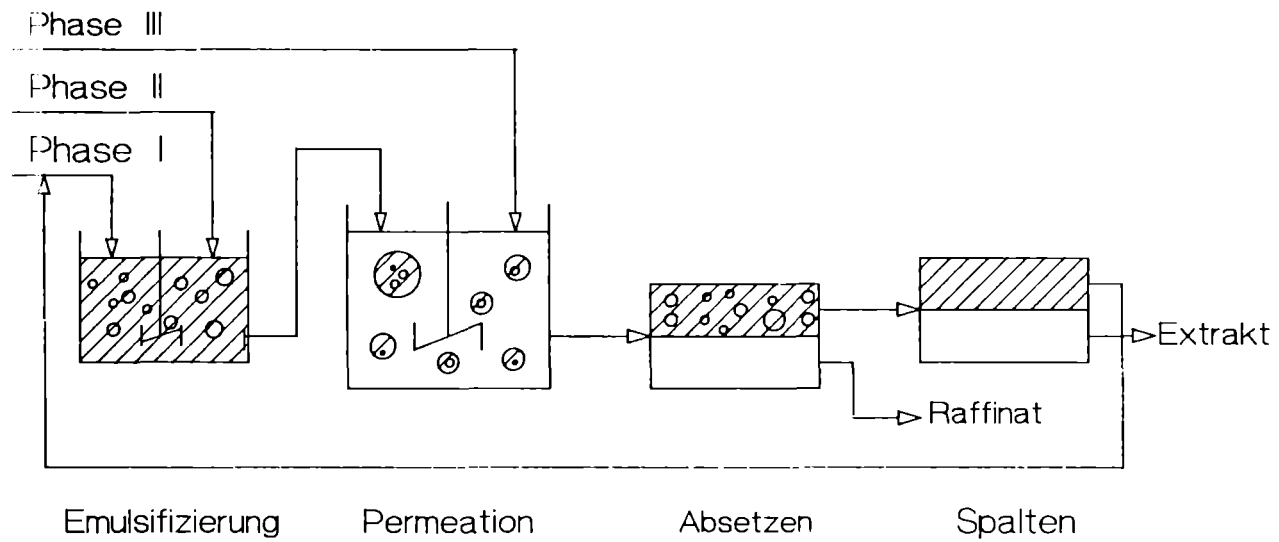


Abb. 2: Prozessschritte

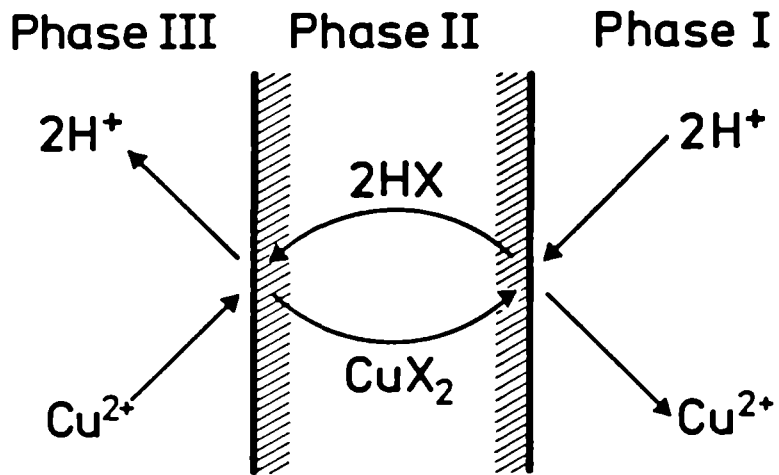
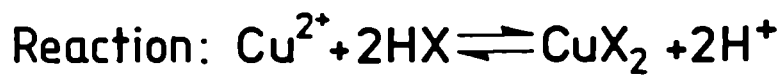


Abb. 4: Transportmechanismus

der Cu-Komplex durch die organische Membran und wird an der inneren Phasengrenzfläche (Stripphase/org.Membranphase) zerstört. Die in der Stripphase vorhandenen Protonen setzen die Cu-Ionen aus dem Komplex frei und das unbeladene Extraktionsmittel diffundiert wieder an die äußere Grenzfläche zurück um mit den nächsten Cu-Ionen einen Komplex zu bilden. Der Gesamtvorgang stellt somit einen Austausch von Kupferionen gegen Protonen dar.

Das besondere Merkmal der FMP ist nun, daß der Komplex nur dann durch die Membran diffundieren kann, wenn gleichzeitig ein unbeladenes Extraktionsmittelmolekül in die entgegengesetzte Richtung diffundiert. Dieser Schritt muß immer gleichzeitig erfolgen. Solange daher Protonen aus der inneren wäßrigen Phase in die äußere wäßrige Phase transportiert werden können, muß daher Kupfer in die innere Phase transportiert werden, auch wenn die Cu-Konzentration in der inneren Phase bereits wesentlich höher ist als in der äußeren Phase.

Bei einer genügend hohen pH-Differenz zu beiden Seiten der Membran kann somit das Metallion auch gegen die Konzentrationsdifferenz transportiert werden. Das Gleichgewicht ist nicht mehr, wie bei der Extraktion nur durch die Verteilung der Metallionen zwischen den Phasen gegeben, sondern auch durch das Verhältnis der Hilfskomponente (Protonen) zwischen der inneren und der äußeren Phase.

$$\text{Gleichgewicht: } \frac{\text{Cu,I}}{\text{Cu,III}} = \frac{\tau \text{ H,I}}{\tau \text{ H,III}} \quad \tau = \text{stöchiometr. Koeffizient}$$

Im Gleichgewicht muß daher das Verhältnis der Kupferkonzentrationen zwischen der inneren (I) und äußeren (III) Phase gleich hoch sein wie das der Protonenkonzentrationen. Das bedeutet, daß das Metallion nahezu vollständig in die innere Phase transportiert wird und der Anreicherungsfaktor nur durch das Phasenverhältnis gegeben ist.

Beispiel: Abwasserstrom: 100 m<sup>3</sup>/h, 500 ppm Cu  
Stripphase: 1m<sup>3</sup>/h

Bei einer Abtrennung des Cu auf 1 ppm ergibt sich daher eine Anreicherung in der Stripphase von  $499 \cdot 100/1 \approx 50 \text{ g/l}$

**Vorteile gegenüber der Solvent-Extraktion:**

- Das Extraktionsmittel wird beim FMP-Verfahren laufend gestrippt und nicht erst in einer nachfolgenden Reextraktionsstufe. Dadurch benötigt man beim FMP-Verfahren eine viel geringere Extraktionsmittelkonzentration und kann so auch teure Extraktionsmittel wirtschaftlich einsetzen.
- Es können aliphatische Lösungsmittel eingesetzt werden. Dadurch sind die organischen Verluste wesentlich geringer als bei der Extraktion (ca. 3 ppm gegenüber 50 - 100 ppm).
- Durch den kombinierten Transportmechanismus von Extraktion und Reextraktion genügt meist ein einstufiger Prozeß, um die gewünschte Abwasserreinheit zu erreichen.
- Beim FMP-Verfahren können besonders wirkungsvolle Extraktionsmittel angewendet werden, deren Einsatz bei der Lösungsmittel-extraktion an der schwierigen Reextraktion scheitert.

**Vorteile gegenüber anderen Membranverfahren:**

- hohe Flächen- bzw. Raumauslastung. Dadurch ist das Verfahren bei kompakter Bauweise auch für große Abwasserströme geeignet.
- kein Membranfouling
- geringe Empfindlichkeit gegen Feststoffe,.

**Anwendungen:**

Die FMP ist in erster Linie ein Konzentrierungsverfahren, d.h. die im Prozeßwasser vorhandenen Metallionen können in der Striplösung um einen Faktor 10 - 1000 angereichert werden. Daraus ergibt sich, daß vor allem niedrigkonzentrierte, metallhaltige wäßrige Lösungen (bis max. 10g/l) für eine Behandlung mit FMP geeignet sind.

Ein Schema der bisher größten Anlage ist in Abbildung 5 gezeigt. Diese Anlage wurde in der Viskosefaserindustrie von der Lenzing AG zur Rückgewinnung von Zink aus Spinnbädern errichtet. Das Abwasser enthielt ca. 400 mg/l Zn, welches auf  $\leq 5$  mg/l abgetrennt wurde. In der Stripphase wurde eine Zn-Konzentration von über 60 g/l erzielt, was einem Anreicherungsfaktor von über 150 entspricht.

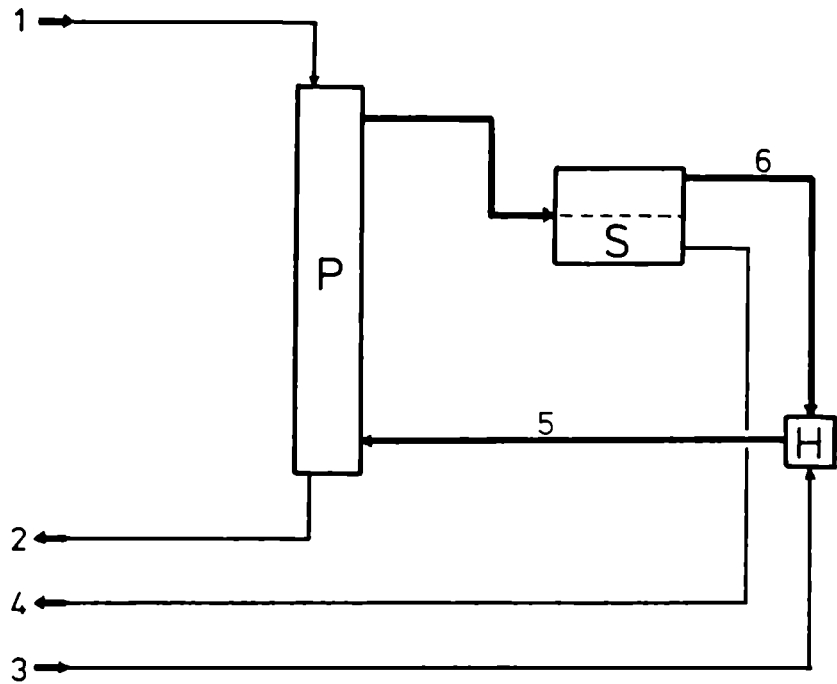


Abb. 5: Fließschema der Zink-Rückgewinnungsanlage

- 1 Abwasser,  $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $400 \text{ mg/l Zn}$
- 2 Raffinat,  $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $5 \text{ mg/l Zn}$
- 3 Stripphase,  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $250 \text{ g/l H}_2\text{SO}_4$
- 4 Produktphase,  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $60 \text{ g/l Zn}$
- 5 Emulsion,  $5,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- 6 organische Phase,  $5 \text{ m}^3/\text{h}$





Umfangreiche Erfahrungen bestehen auch für die Abtrennung verschiedener anderer Metalle wie Kupfer, Nickel, Cadmium, Blei, sowie für die Rückgewinnung von Ammoniak und Phenol. Nachfolgende Tabelle zeigt einige typische Ein- und Ausgangskonzentrationen für den Einsatz von FMP-Anlagen.

|                       | Konzentration im Abwasser |          |
|-----------------------|---------------------------|----------|
|                       | vor FMP                   | nach FMP |
| Zn (mg/l)             | 500                       | 3        |
| Ni (mg/l)             | 2000                      | 3        |
| Cu (mg/l)             | 800                       | 5        |
| Cd (mg/l)             | 10                        | 0,02     |
| Pb (mg/l)             | 10                        | 0,01     |
| NH <sub>3</sub> (g/l) | 10                        | 0,3      |
| Phenol (mg/l)         | 1000                      | 0,5      |



**Entwicklungen zur Erhöhung des  
integralen Metallausbringens bei  
der Raffination von primären und  
sekundären Kupferrohstoffen**

von

Hans Wöbking



# **Entwicklungen zur Erhöhung des integralen Metallausbringens bei der Raffination von primären und sekundären Kupferrohstoffen**

H. Wöbking

## **1. Einleitung**

Eine Steigerung des integralen Rohstoffausbringens kann in den einzelnen Prozeßschritten vom Erzabbau über die Aufbereitung und Raffination, bei der Wiederverwertung der bei der Herstellung von Halb- und Finalprodukten anfallenden Schrotte bis hin zum Recycling von Altschrotten und metallhaltigen Abfällen erfolgen.

Im Rahmen dieses Vortrages soll, vorgegeben durch den Erfahrungsbereich und Kenntnisstand des Autors, vorwiegend und als Beispiel gedacht das Metall Kupfer behandelt werden. Dabei werden die physikalisch/chemischen Grundlagen der wichtigsten Raffinationsschritte kurz dargelegt.

Aus der Vielzahl der Entwicklungen werden für die einzelnen Hauptprozeßstufen der Raffination spezielle Verfahren ausgewählt, an denen integrale Aspekte des Metallausbringens dargelegt werden können, und zwar:

- Ausbringen einzelner Komponenten aus komplex zusammengesetzten Erzen und Lösungen;
- selektive Rückgewinnung von Metallen aus Sekundärrohstoffen mittels Sauerstoffmetallurgie oder über die Reduktion von Schlacken;
- Verfahren zur Erhöhung des Durchsatzes bestehender Anlagen;
- Direktverfahren zur elektrolytischen Gewinnung von Metallen aus Erzen und aus Schrotten;
- Gewinnung bzw. Beseitigung von Metallionen aus Wässern.

Die angegebenen Methoden sind grundsätzlich nicht auf das Metall Kupfer beschränkt, sondern in abgewandelter und angepaßter Form auch auf andere Metalle anwendbar.

Die mir erwähnenswert scheinenden Verfahren können eher nur kurz-  
sitorisch aufgelistet werden - ich werde mir aber erlauben, einige  
Neuentwicklungen, die von Veröffentlichungen her nur einem kleinen  
Kreis von Fachleuten bekannt sein dürften, etwas ausführlicher  
darzulegen.

In der Raffination von Metallen erfolgte ein großer Schritt Richtung  
neuer Technologien durch Einführung der Raffinationselektrolysen am  
Ende des vorigen Jahrhunderts; durch das elektrische Raffinations-  
verfahren gelang es beispielsweise, Kupfer, ein Metall hoher Reinheit  
und damit entsprechend guter Verarbeitbarkeit, in großen Mengen  
herzustellen; gleichzeitig wurden durch den beim Elektrolyseprozeß  
entstehenden Anodenschlamm Edelmetalle abgetrennt und akku-  
muliert.

Ein weiterer richtungsweisender Schritt erfolgte, als konventionelle  
Metallgewinnungsverfahren, die durch pyrometallurgische Arbeiten  
gekennzeichnet waren, teilweise oder gänzlich seit den frühen sech-  
ziger Jahren durch hydrometallurgische Methoden ersetzt und ergänzt  
wurden - als Stichworte seien genannt: Drucklaugung, Solvent-  
extraktion, direkte Erzlaugung, Electrowinning sowie direkte Elek-  
trolyse von Erzen und Schrotten.

Der nächste Schritt in Richtung neuer Technologie wird durch ver-  
stärkte Einführung biotechnologischer, insbesondere mikrobiologischer  
Methoden zur Metallgewinnung, Selektion und Akkumulation zu  
setzen sein, wobei die Bakterienlaugung gewisser Erze bereits  
großtechnisch seit Jahren vor allem in Ländern mit wärmerem Klima  
im Einsatz ist.

Die Verbesserung bestehender Verfahren zwecks Steigerung des in-  
tegralen Metallausbringens hat dort anzusetzen,

- wo die Reaktion bei der Raffination relativ langsam verläuft,
- wo große Mengen an Metall als Umlaufvermögen gebunden sind,
- wo die Einhaltung und Kontrolle der notwendigen Prozeßparameter  
nur mangelhaft gegeben ist,
- wo die selektive Gewinnung von einzelnen Metallen aus Komplexen  
bestimmend ist für die Wirtschaftlichkeit

und

- wo aus Umweltschutzgründen oder aus Gründen der Alimentierung Metalle oder deren Verbindungen rückgewonnen und wiederverwendet werden müssen.

In allen Fällen wird das Hauptaugenmerk auf einem hohen Ausbringen des Hauptmetalls in möglichst reiner Form - sei es aus Erzkonzentraten oder Sekundärrohstoffen - sowie auf einem gleichzeitigen Gewinnen von etwaigen Begleitmetallen liegen, sofern diese wirtschaftliche verwendet werden können.

Im folgenden möchte ich einige Grundlagen der Raffination präsentieren, aus denen sich Möglichkeiten zur Verbesserung des integralen Metallausbringens ableiten lassen und wodurch Wege zu neuen Technologien vorgezeichnet sind.

## 2. Elektrochemische Spannungsreihe/Oxidationspotentiale

Betrachten wir einmal die elektrochemische Spannungsreihe der Metalle, so stehen ganz links mit stark negativen Potentialen die unedlen Elemente wie Alkali- und Erdalkalimetalle mit Potentialen zwischen  $-3,01$  V für Lithium und  $-1,70$  V für Beryllium; es folgen die unedlen Metalle Aluminium mit  $-1,66$  V, Zink  $-0,76$  V, Eisen II  $-0,44$  V, Cadmium  $-0,40$  V, Kobalt  $-0,27$  V, Nickel  $-0,23$  V und Zinn II mit  $-0,126$  V. Wasserstoff erhält definitionsgemäß das Potential  $0,00$  V. Rechts vom Wasserstoff stehen die Metalle mit positiven Potentialen: beginnend mit den halbedlen Metallen wie Wismuth, Antimon, Arsen mit Potentialen zwischen  $+0,2$  und  $+0,3$  V; Kupfer, Ruthenium, Tellur, Polonium mit  $+0,34$  bis  $+0,6$  Volt und schließlich die Edelmetalle von Silber mit  $+0,8$  V bis Gold I mit  $+1,7$  V.

Die angegebenen Potentiale sowie die hierarchische Reihung der Metalle ist abhängig von der Aktivität des jeweiligen Metalls sowie von der Temperatur der Lösung oder der Schmelze. Definitionsgemäß bezieht man die Potentiale auf eine Temperatur von  $20$  °C und eine Aktivität = 1.

Durch ihre Stellung innerhalb der Spannungsreihe sind sehr wesentliche Eigenschaften der Metalle, die ihre Raffination betreffen, vorgegeben.

Die Metalle mit negativem Potential lassen sich sehr leicht oxidieren, sie sind relativ einfach in Lösung zu bringen und wirken selbst als Reduktionsmittel; umgekehrt verhält es sich bei den rechts ste-



henden Metallen mit positivem Potential - sie lassen sich leicht reduzieren; sie sind bestrebt, sich aus Lösungen abzuscheiden und wirken eher als Oxidationsmittel.

Bei der Raffination nutzt man die dargelegten Metalleigenschaften aus. Durch abwechselndes partielles Oxidieren und Reduzieren werden aus einem komplexen Metallgemisch die edleren Metalle eher in einen reduzierten, d.h. metallischen Zustand überführt, während die unedleren Metalle größtenteils oxidiert, d.h. in die Form oxidischer Flugstäube, Schlacke oder positiv geladener Metallionen gebracht werden.

Aus der elektrochemischen Spannungsreihe und den sie bestimmenden Parametern lassen sich eine Reihe von Ansatzpunkten für eine Verbesserung der Ausbringungsziffern ableiten, die wiederum zu neuen Technologien geführt haben oder führen könnten und hier nur kurz dargestellt werden sollen.

- Exakte, metallbezogene Einstellung der Oxidationspotentiale in den Raffinationsaggregaten, z.B. in einem Konverter; gemeint ist die zeitgenaue Einstellung und Kontrolle der Oxidations- bzw. Reduktionsverhältnisse in der Ofenatmosphäre, abgestimmt auf die zu gewinnenden bzw. zu verschlackenden Metalle. Dieses läßt sich beispielsweise durch reduzierende Brennerführung, durch Ein- oder Aufblasen von Sauerstoff und Einstellung bestimmter Temperaturen und Aktivitäten von Metallen in der Schmelze erzielen. Als Stichworte seien angegeben: Sauerstoffmetallurgie, Top blown rotary converter, Kaldo- oder Contopverfahren.

Hierher gehören auch Pyrolyseverfahren zur Rückgewinnung von Metallen aus Metall-Kunststoff-Verbundstoffen.

- Selektive Laugung von Metallen aus komplexen Erzen oder aus Kuppelprodukten von Sekundärhütten durch gezielte Einstellung von pH-Wert und Temperatur sowie durch Verwendung spezieller Lösungsmittel.

Beispielsweise das Herauslösen von Zink aus Konverterstäuben, die ein Gemisch von Zinkoxid, Bleioxid und Zinnoxid darstellen, mittels Schwefelsäure oder mehr generell: die hydrometallurgische Aufarbeitung von oxidischen Stäuben oder Schlacken zur Rückgewinnung der in ihnen enthaltenen Wertmetalle.

- Verbesserung von Zementationsprozessen: Aus metallionenhaltigen Lösungen lassen sich durch Zusatz von stückigen Metallen diejenigen Ionen auszementieren, die edler sind als das Zusatzmetall. Beispielsweise: Zementation von Kupfer mittels Eisen im Complexprozeß bei der Drucklaugung komplexer Kupfererze oder Reinigung von Zinksulfatlösungen mittels Zinkpulver (Zementation von Kupfer und Cadmium); Gewinnung von Metallen aus und Reinigung von Abwässern durch Zementationsprozesse.

Die Entwicklung ging und geht dahin, dem Zusatzmetall, d.h. dem Reduktionsmittel, möglichst blanke, große Oberflächen zu verschaffen: Stichworte: Schwingmühle, Eleclean-Prozeß, Erzeugung von Metallpulvern, Einsatz kombinierter Elektrolyse- und Zementationsverfahren.

- Auch die Raffinations- und Gewinnungselektrolyse bestehen räumlich gesehen aus einer partiell oxidierenden Stufe - nämlich dem Anodenprozeß - und einem reduzierenden Anteil: der kathodischen Abscheidung von Metallen, wobei Metallionen durch Zufuhr von Elektronen zu Metall reduziert werden. Durch Schaffung optimaler elektrochemischer Abscheidebedingungen, durch Anpassung der kathodischen Überspannung zwischen Elektrolyt und Metallkathode an die gewünschte Abscheidung lassen sich hohe Metallreinheiten und andererseits hohe räumlich, zeitliche Ausbeuten erzielen. Darüberhinaus können die Begleitelemente wie z.B. Nickel, Blei und Edelmetalle bei der Kupferraffinationselektrolyse in separaten Phasen angereichert werden.

Als Neuentwicklungen der letzten Jahre seien erwähnt: Verwendung von Permanentkathoden aus Edelstahl in der Kupferelektrolyse; PCR-Verfahren, d.h. Verwendung von Rechteckströmen mit periodisch wechselnder Polarität; Einführung hoher Stromdichten in der Kupferraffinationselektrolyse, nämlich 350 A/m<sup>2</sup> anstelle der konventionellen 200 A/m<sup>2</sup> und damit Erhöhung der Raum-Zeit-Ausbeute und Verringerung des Umlaufvermögens; Rückgewinnung von Metallen aus niedrig konzentrierten Lösungen durch Fließbett-, Festbett- und Schüttelektroden-Elektrolysen, wobei die Stromdichte durch große Oberflächen der Kathoden möglichst klein gehalten wird.

Weitere Entwicklungen gehen

- a) in Richtung Direktelektrolyse, d.h. elektrolytische Metallgewinnung, wobei als Anodenmaterial verunreinigte Schrotte eingesetzt

werden, oder Direktmetallgewinnung aus einer Suspension von Erzkonzentraten.

b) in Richtung kontinuierlicher Raffinationselektrolyse.

Beispiel:

Es sei die Verwendung des "top blown rotary converters" (kurz TBRC genannt) zur Verarbeitung von Kupfersekundärmaterial angeführt.

Das TBRC-Aggregat ist ein kippbarer Konverter, der in allen Lagen rotiert werden kann. Die Chargierung erfolgt in Schrägstellung in die Konverteröffnung hinein. Die Verbrennungs- und Reaktionsgase sowie die Schlackenbildner werden über Lanzen zugeführt. Als besonderer Vorteil erweist sich, daß das Oxidationspotential im Reaktionsgefäß exakt eingestellt werden kann und daß durch die mechanische Bewegung eine weitgehende Homogenisierung des Einsatzmaterials sowie eine intensive Reaktion hervorgerufen wird.

Kupferhaltige Sekundärmaterialien wie Schlacken, Aschen, Kupfer-Eisen-Schrotte etc. werden bei niedrigen Temperaturen vorsichtig eingeschmolzen, wobei unter Berücksichtigung des entsprechenden Sauerstoffpotentials in der Gasatmosphäre ein Filterstaub entsteht, der vorwiegend ZnO enthält und in einem Sackfilter abgefangen wird. Zinn und Blei werden mit einem gewissen Anteil des Kupfers total verschlackt. Das verbleibende Metall wird in einem Trommelofen nachbehandelt und als Kupferanode abgegossen. Die Cu-Sn-Pb-Schlacke wird in einem zweiten TBRC mittels Kupfer-Eisen-Schrott reduziert. Durch kontrollierte Temperaturführung und spezielle Einstellung der Gasatmosphäre gelingt eine Abtrennung des Bleis und Zinns vom sogenannten Schwarzkupfer, welches recycelt wird. Das Blei-Zinn-Metall wird in einem Saigerungsprozeß gereinigt und als Lotmetall abgegossen. Auch bei der Schlackennachbehandlung wird ein Zinkoxidstaub erhalten, der in einem Filter abgefangen werden kann.

Als Vorteile gegenüber dem konventionellen Sekundärprozeß sind die kurze Raffinationszeit, die Abtrennung und separate Gewinnung von Blei und Zinn, die Gewinnung eines hochkonzentrierten ZnO-Staubes, die geringen Metallverluste und die eventuell mögliche Vereinigung des konventionellen Schachtofen- und Konverterprozesses zu einem Raffinationsschritt anzuführen.

### 3. Schmelzpunkte und Dampfdruck

Für die pyrometallurgische Raffination der Metalle sind zwei weitere Metalleigenschaften von Bedeutung: der Schmelzpunkt und der Dampfdruck.

Die Schmelzpunkte weisen für die wichtigsten Metalle einen relativ weiten Bereich auf: - 38° C bei Quecksilber bis 3410° C bei Wolfram.

Folgende Detailbereiche sind für die Raffination von Interesse: Die Schmelzpunkte für Zinn, Cadmium, Blei, Zink und Antimon liegen zwischen 232° C und 630° C, für Silber, Gold und Kupfer ergeben sich Werte von 962 - 1083° C; für Nickel, Kobalt, Eisen, Platin und Chrom solche von 1453 - 1890° C und für die hochschmelzenden Metalle Niob, Molybdän, Tantal, Osmium, Rhenium und Wolfram liegen die Werte zwischen 2610 und 3410° C.

Die Dampfdruckkurven überstreichen ebenfalls weite Bereiche, die wiederum von der Temperatur abhängig sind. Der Dampfdruck bei konstanter Temperatur ist für Brom, Indium, Quecksilber, Arsen, Selen, Kalium und Natrium relativ hoch; liegt für Kupfer, Aluminium, Silber, Nickel, Chrom und Silicium im Mittelfeld und nimmt für Bor, Zirkon, Molybdän, Platin, Tantal und Kobalt relativ niedere Werte an.

Unter Ausnutzung der oben beschriebenen Metalleigenschaften ergeben sich insbesondere für die Sekundärmetallgewinnung, nämlich bei der Verarbeitung von Metallgemischen, neue Verfahren (bzw. wiederentdeckte alte Verfahren), die nun zur Anwendung gelangen.

Von den unterschiedlichen Schmelzpunkten wird Gebrauch gemacht bei der Abtrennung der Zink- und Bleifraktion vom Eisenanteil in Shredderschrotten: Zink schmilzt bei 420° C, Blei bei 327° C, Eisen bei 1536° C; durch gezielte Temperaturführung ist die gewünschte Abtrennung möglich und wird auch bereits großtechnisch beim sogenannten SMA-Verfahren eingesetzt.

Von den unterschiedlichen Dampfdrücken wird vor allem bei der Destillation zur Entfernung von Verunreinigungen aus Metallen Gebrauch gemacht, wobei man stets vom flüssigen Zustand ausgeht, da die Diffusionsgeschwindigkeit in einer Flüssigkeit (Schmelze) zur verdampfenden Oberfläche wesentlich größer ist als im festen Zustand.

Neue Entwicklungen zielen darauf hin, z.B. Zink über Verdampfung direkt aus Messing oder Messingschrotten, die verunreinigt sein können, zu gewinnen. Die Anlage arbeitet unter Vakuum bei 20 Torr und bei Temperaturen von 900 - 1000° C; es werden Zinkgehalte von 96 % im Destillat erzielt.

Nach ähnlichen Verfahren kann Blei aus Rotguß gewonnen werden (1300° C).

Im Altmetallkonverter benutzt man die unterschiedlichen Dampfdrücke vom Kupfer (0,1 mbar bei 1500° C), Zinn (0,8 mbar), Blei (10 mbar) und Zink (1000 mbar) zur Abtrennung der letztgenannten Metalle vom Kupfer aus. Infolge der oxidischen Prozeßführung fallen Blei, Zinn und Zink als Mischoxide an und stellen ein wertvolles Vorprodukt für die Gewinnung von Zink für die Farbindustrie und von Zinn und Blei für die Herstellung von Lotmetall dar.

#### **4. Hydrometallurgie**

Bei den hydrometallurgischen Verfahren zur Metallgewinnung nutzt man elektrische Umladevorgänge, Ionentauscher- und Laugungsprozesse zur Metallgewinnung aus.

Im folgenden werden nicht mehr die elektrolytischen Verfahren behandelt, da diese bereits im vorletzten Kapitel dargelegt wurden. Aus dem weiten Feld der Hydrometallurgie seien hier vor allem Laugungs- und Ionentauscherprozesse ausgewählt.

##### **4.1 Laugung**

Diese kann sich sowohl auf Erze als auch auf Zwischenprodukte, die bei der Raffination der Metalle anfallen, beziehen.

Bei der Erzlaugung ist dabei zwischen der Laugung oxidischer und sulfidischer Erze zu unterscheiden. Oxidische Erze werden bereits seit Jahrzehnten mit Säuren gelaugt, da bisher oxidische Erze nur schwer flotierbar waren und bei der pyrometallurgischen Raffination zu großen Schlackenmengen führen würden. Die Laugung oxidischer Erze hat durch die Einführung der Solventextraktion zur Laugenreinigung und durch Verbesserungen beim Electrowinning einen relativ großen Aufschwung genommen.

Die Laugung sulfidischer Erze, die aufgrund der relativ hohen chemischen Stabilität der Sulfide mit erheblichem Aufwand betrieben werden muß, hat gewisse Chancen: einmal aus Umweltschutzgründen,

· da der  $\text{SO}_2$ -Anfall, wie er bei der pyrometallurgischen Verarbeitung auftritt, entfällt, andererseits die Laugung bei der Aufarbeitung von low grade ores und eventuell von Flotationsabgängen wirtschaftlich betrieben werden kann.

In der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit können nur die wichtigsten Laugungsverfahren gebracht werden, und zwar im wesentlichen bezogen auf Kupfererze:

- Laugung mit Ammoniak und Eisen III-Salzen bei Normaldruck: Problem: es entsteht im ersten Falle Ammonsulfat, das entsorgt werden muß, im zweiten Fall werden große Mengen von  $\text{FeISO}_4$  erhalten.
- Drucklaugung direkt von Erzen mittels Autoklaven und Sauerstoffzufuhr. Zum Teil werden die Erze vorbehandelt, wobei die Vorbehandlung eine chlorierende, sulfatisierende oder aktivierende Röstung sein kann.

Interessante Perspektiven eröffnen sich durch eine Kombination von beispielsweise Drucklaugung mit Zugabe von  $\text{FeII}$ -Salzen, z.B. bei der Verarbeitung komplexer Erze mit hohen Antimon- und Arsengehalten, wobei diese Elemente als stabile Eisenarsenate bzw. Eisenantimonate abgetrennt werden können.

An dieser Stelle soll die Bakterienlaugung erwähnt werden. Diese Art der Laugung wird im wesentlichen zur Laugung sehr armer Erze in Abraumhalden angewandt. Die Lösung von Sulfiderzen mittels Bakterien beruht im wesentlichen darauf, daß die eigentliche Laugungssubstanz, nämlich  $\text{FeIII}$ , welche nach der Laugung als  $\text{FeII}$  vorliegt, durch die Bakterien wieder zu  $\text{FeIII}$  oxidiert wird. Hierzu nutzbare Bakterien sind *Thiobacillus ferrooxidans* und *Ferrobacillus ferrooxidans*.

Laugung von Zwischenprodukten bei der Raffination. Bekannt geworden sind ammoniakalische und schwefelsaure Laugungen von oxidischen Filterstäuben und eisenhaltigen oxidischen Materialien. In der Entwicklung stehen wiederum mikrobielle Akkumulationsverfahren durch Absorption von Metallen an der Zelloberfläche oder durch Aufnahme direkt in die Zellen der Mikroorganismen. Die Metalle können dann durch Verbrennen der Bakterien oder durch Stripprozesse mit anschließender Reduktionselektrolyse gewonnen werden.

## 4.2 Ionentausch

Zur selektiven Gewinnung von Metallen aus Lösungen oder zur Reinigung metallhaltiger Abwässer und von Elektrolytlösungen erweisen sich Ionentauscher und Mikroorganismen als geeignet.

Als Ionentauscher stehen bevorzugt organische Feststoffe und Flüssigkeiten in Verwendung; beim Ionenaustausch werden im allgemeinen Wasserstoffionen der organischen Substanz durch Metallionen ersetzt, die nach einer Abtrennung des metallbeladenen organischen Mittels gestrippt und über Reduktionselektrolysen als Metalle gewonnen werden.

Die Selektivität ist abhängig von der gewählten organischen Ionentauschersubstanz, vom pH-Wert der Lösung, von der Temperatur und von der Aktivität der Metallionen in der Lösung. Bekannt gewordene Prozesse sind: Solventextraktion, Flüssigmembranpermeation, Verwendung von Ionentauscherharzen.

Spezielle Mikroorganismen können selektiv Metalle absorbieren oder einlagern bzw. zu einer Chelatbildung dieser Metalle beitragen. Die Metallgewinnung erfolgt im allgemeinen über Strip-Prozesse und Electrowinning.

Entwicklungen gehen dahin:

- möglichst selektiv wirkende organische Ionentauscher mit gleichzeitig hoher Metallabsorption zu entwickeln.
- Entwicklung von Ionentauschern auch für extreme pH-Bereiche
- Isolierung und Züchtung von Mikroorganismen mit extremen Toleranzen auch gegenüber an sich toxischen Schwermetallen bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad bei der Metallaufnahme.

Zum Kapitel Hydrometallurgie sei es mir gestattet, zwei Beispiele zu bringen:

### a) Direktelektrolyse von sulfidischen Erzkonzentraten

Dieser sogenannte Electroslurry-Prozeß ist ein hydrometallurgisches Verfahren zur Gewinnung von Kupfer aus Kupferkies- und Kupferglanz-Konzentraten, aus Filterstäuben und sonstigen Kupferniederschlägen. Die Einzigartigkeit des Prozesses liegt in der Verwendung einer Elektrolysezelle, in der das Kupfer aus einer Konzentratsuspension gleichzeitig gelaugt und kathodisch abgeschieden wird.

Die Suspension besteht aus einer Verteilung von Erzkonzentraten oder sonstigen kupferhaltigen Substanzen in einer schwefelsauren Lösung von Eisen- und Kupfersulfat. FeIII-Ionen, die an der Anode laufend durch Oxidation von FeII erzeugt werden, laugen die sulfidischen Kupfererze und bringen das Kupfer als zweiwertiges Kupferion in Lösung. Auf der Kathode wird dieses Kupfer nach dem Verfahren der Gewinnungselektrolyse abgeschieden.

Der bei diesem Prozeß entstehende elementare Schwefel wird aus den Rückständen nach deren Abfiltration mittels Dampf verflüchtigt und findet sich im Filtrat einer weiteren Filtration wieder. Das Ausbringen an Kupfer beträgt nach der einschlägigen Literatur bei Kupferkies 98 %, bei Kupferglanz 99 %, bei Flugstäuben 96 % und bei Zementkupfer 97 %. Die in den Konzentraten vorhandenen Edelmetalle werden nicht in Lösung gebracht, sie verbleiben in den Rückständen und gelangen nach der zweiten Filtration zur Aufarbeitung in eine Edelmetallanlage.

b) Als letztes Beispiel möchte ich die Drucklaugung von komplexen Kupfererzen erwähnen, und zwar von Erzen, wie sie in den Schwazer Bergbauen anfallen.

Im Konzentrat weisen diese Erze etwa folgende Zusammensetzung auf:

Cu 37,5 %, Ag 0,51 %, Hg 1,56 %, Zn 5,4 %,  
Fe 2,3 %, Mn 0,50 %, Sb 18,60 %, As 6,2 %,  
S 25,8 %, Rest Dolomit.

Für die Drucklaugung dieser Erze wurde das sogenannte Complex-Verfahren in modifizierter Form getestet. Dabei wird das Fahlerzkonzentrat in einer schwach schwefelsauren Eisensulfatlösung suspendiert und im Mehrkammerautoklaven einer Drucklaugung bei 220 °C mit einem Sauerstoffüberdruck von 30 atü und einer Verweilzeit von ca. einer Stunde unterzogen. Als Endprodukte werden eine schwefelsaure Lösung von Kupfer und Zink und eine feste Substanz, welche Antimon, Arsen, Silber und Quecksilber enthält, gewonnen.

Aus der erwähnten Lösung wird nach der Neutralisation Kupfer durch Zementation mit Eisen niedergeschlagen. Die Zinkgewinnung erfolgt über Solventextraktion, wobei eine hochreine Zinksulfatlösung erhalten wird, aus der über Reduktionselektrolyse Reinstzink gewinnbar ist. Die feste Substanz, welche als gewinnbare und wertvolle Metalle Silber und Quecksilber enthält, wird bei 80 - 90 °C



mit einer hochkonzentrierten Kochsalzlösung gelaugt. Bei Einhaltung eines bestimmten Oxidationspotentials, welches durch Einleiten von Chlor eingestellt wird, gehen Silber und Quecksilber als Chlorkomplex in Lösung und können nach Abfiltration des Eisenarsenates und Eisenantimonates mittels Zink als Zementat gefällt werden. Quecksilber wird durch Verdampfung und anschließende Kondensation gewonnen.

Vorversuche haben ergeben, daß das Ausbringen bei Kupfer 97,3 %, bei Zink 95,6 % und bei Silber 98,4 % beträgt. Unbefriedigend ist, daß sich nach dem derzeitigen Stand der Entwicklung Antimon nicht rückgewinnen läßt, sondern als schwerlösliches Eisenantimonat zusammen mit Eisenarsenat deponiert werden muß.

## 5. Zusammenfassung

Die hier dargelegten Verfahren sind zum Teil bereits Stand der Technik, zum Teil werden sie gerade im Pilotmaßstab getestet. Einige Verfahren sind erst in der Entwicklung begriffen, zeigen aber bereits Ergebnisse, die einen großtechnischen Einsatz erwarten lassen.

Die Steigerung des Stoffausbringens wird in einigen Fällen dadurch bewirkt, daß nunmehr auch komplex zusammengesetzte Rohstoffe in ihren Einzelkomponenten für die Wirtschaft verfügbar gemacht werden können. In anderen Fällen wird der Durchsatz bestehender Aggregate erhöht und der Metallstock herabgesetzt; einige Verfahren zielen darauf hin, Metalle aus Abfällen zu gewinnen, die üblicherweise auf Deponie gegeben werden müßten. Gerade in diesem letzten Fall sei auf den Aspekt des Umweltschutzes verwiesen: Die meisten Schwermetalle sind in höheren Konzentrationen als toxisch einzustufen; eine Rückgewinnung aus an und für sich für Deponien vorgesehenen Materialien kann zu einer merkbaren Entlastung insbesondere von Sonderdeponien führen.

# **Entwicklung auf dem Gebiet der Bergbaumaschinen**

von

Helmuth Habenicht

---

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.



# **Entwicklung auf dem Gebiet der Bergbaumaschinen**

H. Habenicht

## **Zusammenfassung**

Nach einer Vorstellung der bereits bekannten Serie der Alpine Miner Vortriebsmaschinen werden deren Qualitäten und Einsatzweisen erörtert. Gesichtspunkte für deren Wahl zur Verwendung als Gewinnungsmaschine werden aufgezeigt. Zwei Neuentwicklungen der letzten Jahre, der ABLS und der AL 60 werden vorgestellt. Für den ABLS wird ein Einsatzfall einer Kombination desselben mit einem AM 65 mit Brückenband zur Kohlegewinnung beim Langpfeilerbau beschrieben. Diese Gerätezusammenstellung bietet eine Lösung für kontinuierliche Produktion in besonderen Verhältnissen, insbesondere bei weichem Liegenden. Der AL 60, ein Ladegerät für Stollenvortrieb oder zur Erzaufnahme mit Ladeleistungen von größenordnungsmäßig 300 t/h ist geeignet, den bisher häufigen Radladerbetrieb zu ersetzen.

## **1. Einleitung**

Die im Untertagebergbau am meisten bekannte Maschinengruppe aus dem Werk Zeltweg ist jene der Alpine Miner. Diese seit 1964 für das hauptsächlichliche Verwendungsgebiet des Streckenvortriebs hergestellte Maschinenserie ist durch Neuentwicklung zusätzlicher Typen andauernd erweitert worden. Diese Vorgänge andauernder Verbesserung halten auch derzeit noch an. Die Maschinen sind aber auch in vielen Fällen als Gewinnungsmaschinen eingesetzt, wo besondere Bedingungen der Lagerstätte oder des Abbauverfahrens die herkömmlichen Gewinnungsmaschinen ausschließen. Für solche Fälle sind auch Kombinationen der Alpine Miner mit Geräten erfolgt, welche den Produktionsablauf begünstigen. Zusätzlich sind Maschinen entwickelt worden, welche andere Teilarbeiten vor Ort übernehmen, wie etwa die Ausbaufunktion oder das Wegfüllen, auch in Anwendungsfällen ohne Alpine Miner. Die bedeutenderen unter diesen Entwicklungen sollen kurz erörtert werden.

## **2. Die Alpine Miner Serie für den Bergbau**

### **2.1 Herkömmliche Gesichtspunkte:**

Die althergebrachten Teilarbeiten beim Streckenvortrieb, wie die des Lösens, des Wegfüllens, und des Ausbauens werden im Grunde auch

derzeit als wesentliche Teile des Vortriebszyklus durchschritten. Die Alpine Miner Serie bewältigt dabei das Lösen und das Wegfüllen. Für den Ausbau wird im Zusammenhang mit der Vortriebsmaschine durch verschiedene Maßnahmen gesorgt, wie etwa durch Hilfsgeräte, die entweder unabhängig von der Maschine oder auf dieser aufgebaut sein können. Der Aufbau der Alpine Miner richtet sich nach den für diese Funktionen wesentlichen Maschinenkomponenten. Das Lösen erfolgt durch einen Querschneidkopf auf einem horizontal und vertikal schwenkbaren Ausleger. Der Einsatz von Längsschneideköpfen wird neuerdings vorbereitet.

Die Haufwerksaufnahme erfolgt durch einen hinter dem Schneidkopf angeordneten Ladetisch. An diesem wird das geschnittene Gut mittels Greifarmen oder Ladesternen in einen Stegkettenförderer geschoben, der das Haufwerk nach hinten fördert und hinter der Maschine in ein Transportmittel abwirft. Der Stegkettenförderer kann am hinteren Ende starr oder gelenkig ausgeführt sein und ist höhenverstellbar. Schneidkopfausleger und Ladegerät mit Stegkettenförderer sind auf einem Maschinenrahmen montiert, welcher auch die Antriebsaggregate und die Komponenten für die Nebenfunktionen trägt. Der Maschinenrahmen ist auf einem Raupenfahrwerk gelagert, welches gute Fahreigenschaften und stabiles Standverhalten sichert.

## 2.2 Weiterentwicklungen

Die ununterbrochenen Entwicklungsarbeiten an diesen Maschinen haben Schneidkopfausführungen erbracht, welche das wirtschaftliche Schneiden von Gesteinen bis zu einer einachsigen Würfeldruckfestigkeit von 130 MPa ermöglichen. Mit einhergehend in diesen Entwicklungsschritten waren die Einführung von Rundmeißeln, die Schneidspurbedüsung mit eingriffgesteuertem Wasserverbrauch, die Erarbeitung einer Profil- und Richtungskontrolle, sowie eines Prognose- und Diagnosesystems für Fehlerentwicklung. Der Anbau von Nebenanlagen wie z.B. einer Staubabsaugung, einer Bewetterungs- oder Kühlanlage, von Ausbaumanipulatoren, Anker- Bohr- und Setzeinrichtungen, Sprenglochbohrarmen und Spritzbetondüsen ist in den meisten Fällen möglich. Im Mittelpunkt der entwicklungsorientierten Bemühungen steht u.a. auch die Verkürzung oder Einsparung der Schneidstillstände, welche bei der Ausbautätigkeit eintreten. Es wird die Gleichzeitigkeit von Schneiden und Ausbauen angestrebt und somit ein möglichst wenig unterbrochener Betrieb des Schneidens.

## 2.3 Umfang und Eigenheiten

Mit Entwicklungen in diesen Bereichen hat die Serie der Alpine Miner ihre Leistungsfähigkeit auch im Umfeld gegenüber der Konkurrenz andauernd bewiesen und verbessert. Die Serie umfaßt für den Untertagebau (1) derzeit fünf Baugrößen, die in Abbildung 1 schematisch dargestellt sind. Demgemäß überspannt der Rahmen den Bereich der Schneidkopfleistungen von 30 - 300 kW und der Maschinengewichte von 12 - 80 t für Gesteinsfestigkeiten von 40 - 120 MPa (Nominalbeträge) und für Profilgrößen von 2,3 m Durchmesser bei Kreisquerschnitt bis 5,5 x 7,7 m im angenährten Rechteckquerschnitt. Mit Zusatzformen für das Schwenklager und den Schneidausleger können Profilquerschnitte bis zu 76 m<sup>2</sup> aus einem Stand aufgefahren werden.

Durch ihre Flexibilität für die Auswahl von Profilformen sind diese Maschinen vorwiegend in Streckenvortrieben mit bogenförmigem oder kreisförmigem Querschnitt eingesetzt. Der sich vorzugsweise bietende Markt hierfür sind die Kohlebergbaue Europas, in welchen Einzelstrecken für die Ausrichtung dienen. Doch auch in anderen Kontinenten gibt es ähnlich gelagerte Ausrichtungsmuster, wo derartige Maschinen zum Einsatz kommen.

Die zweite Form der Flexibilität der Alpine Miner Serie ist in ihrer Natur als Teilschnittmaschine gegeben, die es erlaubt, die Ortsbrust selektiv zu bearbeiten und somit die Gesteinsschichten separat zu gewinnen. Einsatzfälle für diesen Vorteil sind z.B. Kohleflöze mit Mächtigkeiten geringer als der Streckenquerschnitt oder Salzgesteinsschichten, die mit verhältnismäßig hohem Wert aber geringer Mächtigkeit eingebettet sind in andere Schichten, oder etwa Gesteinseinlagerungen mäßiger Mächtigkeit innerhalb nutzbarer Schichtpakete, deren Vermengung mit dem Gestein vermieden werden soll. In solchen Fällen kann es auch eintreten, daß diese Teilschnittmaschinen als reguläre Produktionsmaschinen genutzt werden.

Eine weitere Stärke der Teilschnittmaschinen dieser Art liegt in den hohen Gesteinsfestigkeiten, welche sie bewältigen können. Aus diesem Grund gibt es viele Einsatzfälle in Verhältnissen, wo hochfestes Gestein in der gesamten oder in Teilen der Ortsbrust ansteht, oder wo das zu gewinnende Mineral entweder selbst hochfest ist oder aber von hochfesten Begleitschichten eingeschlossen ist. Auch in solchen Fällen kann die Teilschnittmaschine in die Rolle der Produktionsmaschine treten.

Dazu kommt noch eine Form der Flexibilität betreffend die Beweglichkeit der Maschinen. Einerseits sind sie relativ klein gebaut, sodaß ihr Platzbedarf manchmal zurücktreten kann gegenüber anderen zusätzlich erforderlichen Geräten. Andererseits bieten sie größtmögliche Wendigkeit im Bewältigen von Kurven (Abzweigungen), Mulden, Kuppen und auch Steigungen. Sie eignen sich also auch für stärker verzweigte Grubenbaue, kleine Querschnitte und unregelmäßige geometrische Verhältnisse.

Schließlich ist noch ihre Anpassungsmöglichkeit zu erwähnen, durch welche sie aus einer Maschinentype noch für besondere Anforderungen modifiziert werden können. Durch ein Baukonzept für weitgehende Austauschbarkeit von Baukomponenten verschiedener Größe, Form und Leistung kann eine Maschinentype (Baugröße) meist sehr gut für die besonderen Verhältnisse eines Einsatzes abgeändert werden. Auch die bereits erwähnte Hinzufügung von Zusatzeinrichtungen und Hilfsgeräten ist generell vorgesehen.

Über die Beschreibung praktischer Einsatzfälle dieser Teilschnittmaschinen entsprechend den bisher beschriebenen Fähigkeiten soll aus Gründen der Kürze hinweggegangen werden. Anstelle dessen sollen drei Einrichtungen neuerer Art in den Vordergrund gerückt werden.

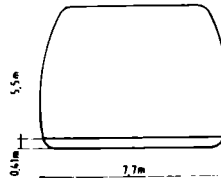
### **3. Besondere Maschinen neuer Art**

#### **3.1. Der Alpine Breaker Line Support (ABLS)**

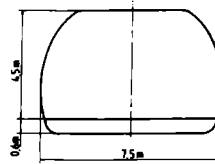
Für den Abbau von Kohleflözen in flacher Lagerung ist vom Werk Zeltweg der VOEST ALPINE Maschinenbau GesmbH ein neuartiger Ausbau entwickelt worden, der beim Rauben der Kohlepfeiler vorteilhaft zum Einsatz kommt. Bei den verschiedenen Verfahren des Pfeilerraubens, bei denen vorzüglich Continuous Miner als Gewinnungsgeräte eingesetzt werden, besteht das Erfordernis, den Arbeitsraum, in welchem die Kohle geschnitten wird, so zu sichern, daß die unterschrittene Firstfläche nicht vorzeitig niederbricht. Es gibt hiefür eine arbeitstechnisch definierte Grenzlinie, bis zu welcher der Niederbruch der Dachsichten heranlaufen darf, ohne den Betrieb zu gefährden. Diese Grenzlinie wird als Bruchkante oder Breaker Line bezeichnet.

Um sie auch praktisch zu verwirklichen, wird an ihrer geometrischen Position herkömmlicherweise eine Doppelreihe von Holzstempeln aufgestellt, die einerseits sichtbar den Arbeitsraum vom Bruchraum

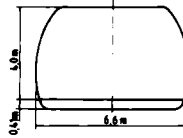
AM 100 - 80 / 300 / 120



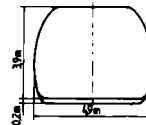
AM 75 - 45 / 160 / 120



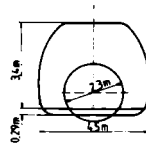
AM 65 - 32 / 132 / 80



AM 50 - 24 / 110 / 80



F6-A - 12 / 30 / 40



Key. AM 100 - 80 / 300 / 120 =  
Machine type - machine weight / cutter head power / rock strength limit

Abbildung 1

GOB

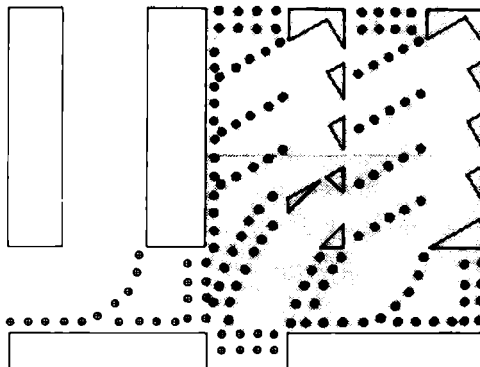


Abbildung 2



LAYOUT AND MINING SEQUENCE IN PILLAR EXTRACTION PANEL

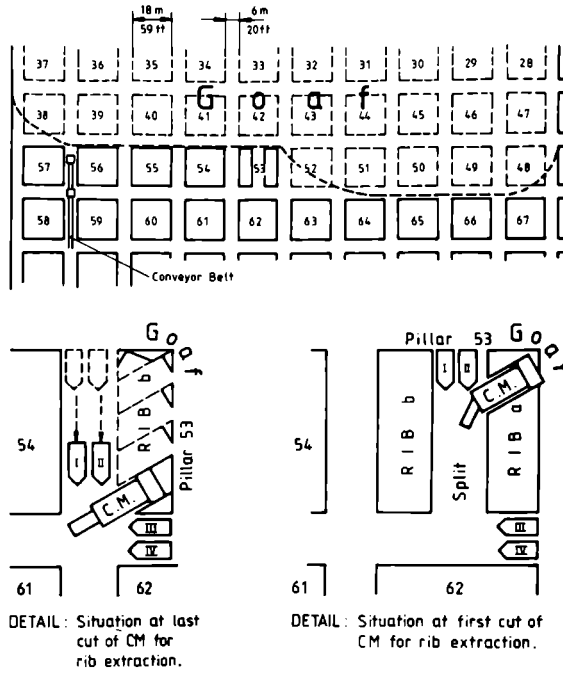


Abbildung 3

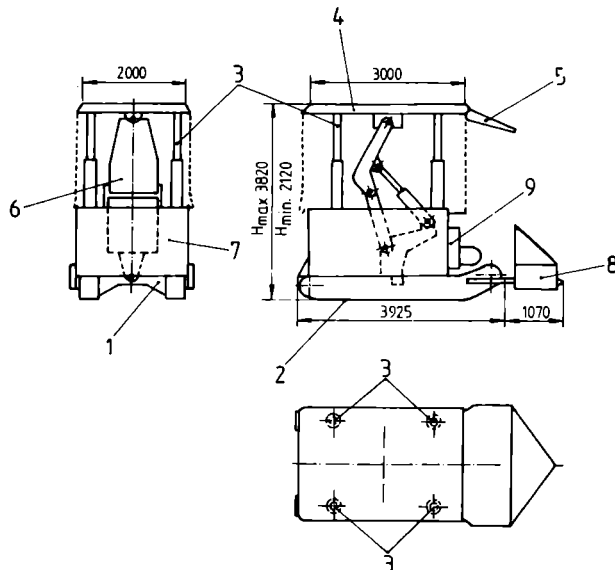


Abbildung 4

trennt und andererseits die Dachsichten so stützen soll, daß der Niederbruch an ihr aufgehoben wird. Das Aufstellen dieser Holzstempel ist mühsam, gefährlich und bedeutet meist eine Unterbrechung der Gewinnung, weil der Continuous Miner erst in die Kohle einschneiden darf, nachdem die Holzstempel aufgestellt sind. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel (2) für den Holzstempelaufwand bei Pfeilern mit der Seitenabmessung von 18 x 18 m. Solche Pfeiler werden von der Gewinnungsmaschine in einem ersten Arbeitsgang mittig durchgeschnitten (= Erstellung des Split) und danach werden die zwei verbleibenden Pfeilerteile (Ribs) hereingewonnen, wobei der Continuous Miner vom Split aus schräge Schnitte im Kohlebein (Rib) ausführt. Mit der Entwicklung des ABLs steht nunmehr anstelle der Holzstempel ein fahrbarer hydraulischer Ausbau zur Verfügung, der im Arbeitsprozeß mit dem Continuous Miner fortwährend mitschreitet (3,4,5,6). Dieser Ausbau wird in Form von Einzelgeräten solcher Form und Baugröße hergestellt, daß z.B. vier Stück davon, wie in Abb. 3 dargestellt wird, in einem Baufeld mit dem Continuous Miner zusammen wirken. Jede Ausbaueinheit trägt eine Nennlast von z.B. 540 t bei einer Setzlast von ca. 430 t. Der in Abbildung 3 dargestellte Betrieb verläuft so, daß nach Fertigstellung des Split zwei Stück des ABLs an sein fernes Ende gesetzt werden. Wenn nun der Continuous Miner Schnitt für Schnitt das Kohlebein gewinnt, werden ihm die zwei ABLs-Einheiten im Split jeweils sofort nachgerückt, so daß der Abstand zum Continuous Miner möglichst klein bleibt. Die Einheiten werden ferngesteuert. Wenn der letzte Schnitt im Kohlebein vorgenommen wird (6), erfolgt eine momentane Vergrößerung der freien Spannweite der Firste, wofür jedoch die zwei ABLs-Einheiten im Querschlag zusätzlich Schutz bieten.

Die Gewinnung der in Abbildung 3 aufscheinenden Rib b erfolgt von der Strecke aus und verläuft sinngemäß wie bei Rib a.

Der Aufbau einer ABLs-Einheit ist in Abbildung 4 gezeigt. Ein starkgebauter Grundrahmen ist mit einem Raupenfahrwerk ausgestattet. Der Grundrahmen trägt vier hydraulische Stempel, die eine rechteckige, vollflächige und biegesteife Hauptkappe stützen. Zur Lenkung der Stempel beim Aus- und Einfahren dient ein Lemniskatengetriebe. Diese Baueinheiten erlauben einen durchgehenden Kraftfluß von der Firste in die Sohle bei einer jederzeit gegebenen Bereitschaft des Ausbaus fürs Einrauben und Wegfahren. Die Lemniskate ist jedoch aktiv und passiv neigbar, sodaß in den Richtungen seitwärts und vorwärts/rückwärts die Stempel schräggestellt werden können. Diese Eigenschaft dient als Überlastschutz und auch zur Vermeidung von Kollisionen, weil in

engen Raumverhältnissen die Gestalt des ABLS angepaßt werden kann.

An den Seiten trägt der Ausbau einen Bruchschutz als Abschirmung gegen das Eindringen von Gebirgsbruchstücken in das Innere der Maschine. Im unteren Teil ist dieser Bruchschutz durch steife Stahlbleche verwirklicht, im oberen Teil durch einen Kettenvorhang. An der Vorderseite führt die Maschine einen Räumflug zur Beseitigung von im Wege liegendem Material. Von außen wird der Maschine elektrische Energie (z.B. 30 kW) zum Betrieb eines zentralen Elektromotors zugeführt. Dieser treibt eine zentrale Hydraulikpumpe, welche ihrerseits sämtliche Funktionen des ABLS versorgt.

In fünf Kohlengruben Südafrikas, Australiens und der USA sind derzeit 14 Einheiten des ABLS im Einsatz und weitere Fälle sind in Vorbereitung. Die bisher durch diese Geräte erzielten Verbesserungen sind vielfacher Art, und können kurz wie folgt zusammengefaßt werden:

- verbesserte Dachschichtenunterfangung
- verbesserte Arbeitssicherheit
- vereinheitlichter Mechanisierungsgrad
- verbessertes Arbeitsklima
- erhöhte Produktionsleistung
- verbesserte Wirtschaftlichkeit.

### **3.2. Alpine Miner AM 65 als Produktionsmaschine in Verbindung mit dem ABLS**

Die Alpine Miner Typen AM 50 und AM 65 haben sich bei Western Collieries Inc. in Westaustralien als Vortriebs- und als Gewinnungsmaschinen bewährt und sind dort in besonderer Kombination als quasi kontinuierliches Gewinnungsmittel eingesetzt. Insbesondere der Fall eines AM 65 soll hier kurz erörtert werden, der in einem Abbaufeld beim Langpfeilerabbau eingesetzt ist (7). Der AM 65 fährt die Pfeilerstrecken auf, wobei mittels eines separaten Ankergeräts die Firste geankert wird. Da Pendelwagen wegen des weichen Liegenden zur Abförderung nicht eingesetzt werden können, wird in der Pfeilerstrecke ein Förderband auf der Sohle verlegt. Der Austrag von der Gewinnungsmaschine auf das Förderband wird durch ein Brückenband bewältigt, welches einerseits am AM 65 aufgehängt ist und andererseits auf einem fahrbaren Aufgabetrichter, der entlang des Förderbandes rollen kann. Abb. 5 zeigt die Anordnung mit einem AM 50 anstelle des AM 65. Die Länge des Brückenbandes beträgt ca. 16 m, womit jene Distanz gekennzeichnet ist, nach welcher das För-

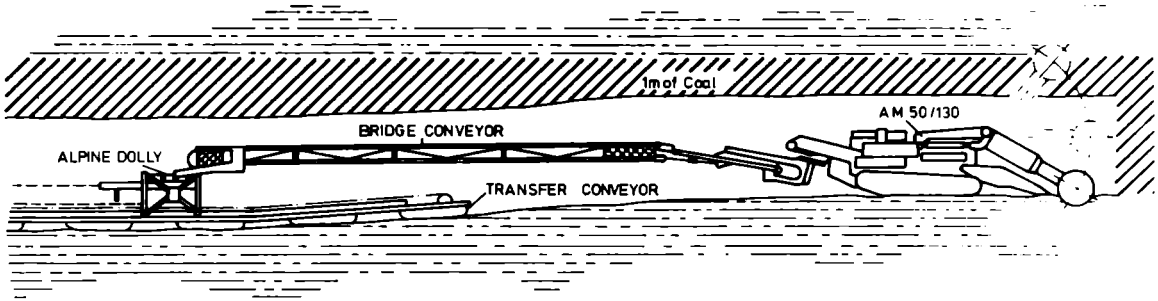
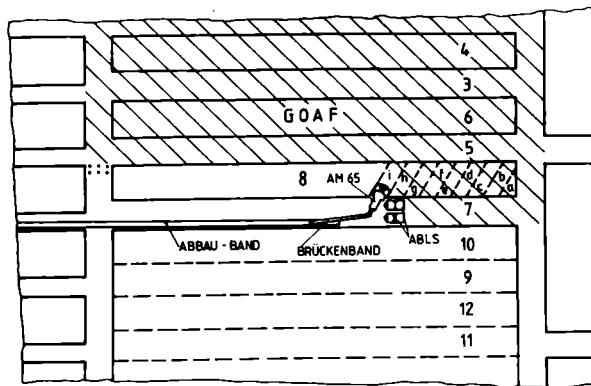


Abbildung 5



LEGENDE :

1,2,3 REIHENFOLGE DES BAUFORTSCHRITTES

a,b,c REIHENFOLGE DER SCHNITTE

::: HOLZSTEMPEL - BREAKER LINE

Abbildung 6



Abbildung 7

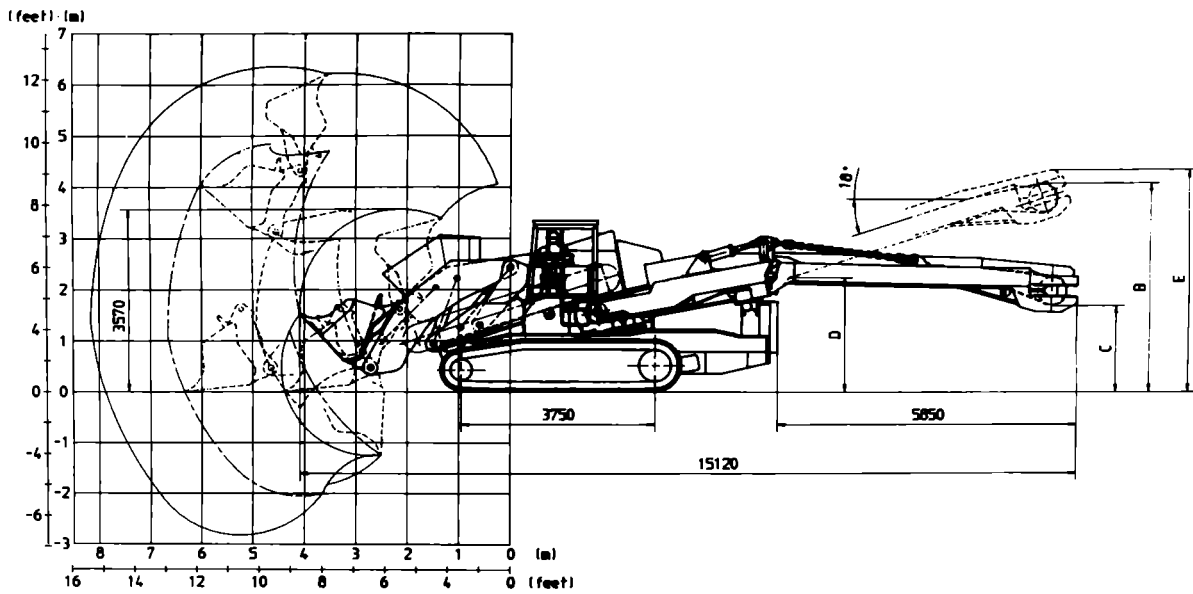


Abbildung 8

derband verlängert (Vortrieb) oder eingeraubt (Rückbau) werden muß. Diese Gerätekombination überwindet die Schwierigkeiten mit der weichen Sohle und eignet sich zudem auch zu einem kontinuierlichen Betrieb, wenn man von den Verlängerungsintervallen für das Förderband absieht.

Die Produktionsleistungen sind ebenfalls zufriedenstellend. Wenn das Ende der Pfeilerstrecke erreicht ist, wird der nun freigeschnittene Langpfeiler durch den AM 65 hereingeschnitten, wobei der AM 65 beginnend am fernen Ende Schnitt für Schnitt im Langpfeiler ausführt. Dabei zieht er sich gegen die Abbaustrecke zurück und es muß auch hier die Firste an der Bruchkante mittels Holzstempeln gesichert werden. Es ist nun vorgesehen, ab Mitte 1988 für die Bruchkante zwei Einheiten des ABLS einzusetzen. Abbildung 6 illustriert das Abbaumuster hierfür. Mit diesen Maßnahmen ergibt sich auch hier ein vollmechanisierter Betrieb mit weitgehend kontinuierlichem Verlauf. Der Einsatz des ABLS läßt auch hier eine weitere Leistungssteigerung erwarten.

### 3.3 Der Alpine Loader AL 60

Für größere Ausbruchsquerschnitte des Erzbergbaus, Streckenvortriebs und Tunnelbaus bietet sich in der herkömmlichen Technik als Ladegerät der Radlader an, welcher durch seine Pendelfahrten jedoch nur einen diskontinuierlichen Betrieb ermöglicht. Andererseits gibt es kontinuierlich arbeitende Systeme, die aber entweder geringe Kapazität oder teure Investitionen bzw. feste Anlagen wie z.B. Gleise erfordern. Als Alternative hierzu hat das Werk Zeltweg der VA das Ladegerät AL 60 entwickelt, welches einen mehr kontinuierlich gearteten Ablauf ermöglicht.

Wie Abbildung 7 zeigt, ist das Gerät auf Raupen (oder fallweise auf Rädern) gebaut. Es besitzt eine Frontschaufel, die bei stationärem Fahrwerk durch eigene Zylinder in das Haufwerk geschoben wird, und in einer Kippbewegung nach hinten ihren Inhalt auf ein Plattenband entleert. Das Plattenband weist durch seine Länge ein Speichervermögen für 20 - 80 sec. Ladezeit auf (z.B. für 23 t Haufwerk). Die somit fahrbare aber stationär vor Ort arbeitende Maschine kann daher die Zeitintervalle des LKW-Wechsels ganz oder teilweise überbrücken. Der LKW kann direkt vor Ort fahren und die Pendelzeiten des ansonsten eingesetzten Radladers fallen weg. Für den Einsatz beim Sprengvortrieb und beim Wegfüllen an Erzrollen (z.B. Blockbruchbau) gibt es gesonderte Ausführungsweisen. Die Maschine wird grundsätzlich in einer Serie verschiedener Baugrößen entwickelt, wovon der AL 60 derzeit die größte darstellt (Abb.8). Seine

Ladeschaufel von 2 m<sup>3</sup> Inhalt erlaubt Wegfüllraten von 6 m<sup>3</sup>/min. Das Gerät ist bei einem Gesamtgewicht von ca. 50 t gebaut für Querschnitte von 15 - 50 m<sup>2</sup>. Als Antriebsaggregat können wahlweise Diesel- (200 kW) oder Elektromotoren (160 kW) zum Einsatz kommen. Der Energieaufwand je t geladenes Gut erweist sich außerordentlich günstig gegenüber den herkömmlichen Geräten. Dies wirkt sich wirtschaftlich, aber auch bewetterungstechnisch günstig aus.

Maschinen dieser Type haben sich im Tunnelbau und bei Ladearbeit an Erzrollen im Erzbergbau in Australien und Kanada bewährt. So z.B. konnte die Ortsladeleistung bei einer Erzrolle in abrasivem Komplexerz mit einem spezifischen Gewicht von 4,3 des Feststoffes auf 1400 t/Schicht gesteigert werden, wogegen vorangegangene mechanisierte Systeme ca. 400 t/Sch bewältigten. Besonders hervorzuheben ist die robuste, wartungsarme und verschleißfeste Ausführung dieser Maschinen. Kleinere Bautypen und Typenmodifikationen sind derzeit in Vorbereitung.

#### **4. Schlußbemerkung**

Die an und für sich weitläufigen und in besonderen Bereichen sehr ins Detail gehenden Entwicklungsarbeiten im Werk Zeltweg der VOEST ALPINE Maschinenbau GesmbH haben Ergebnisse erzielt, deren einige hier vorgestellt worden sind. Mit Bedacht wurden nur Produkte vorgestellt, deren Bewährung in der Praxis bereits vollzogen ist. Entwickelt und gebaut für die Bedürfnisse des weltweiten Bergbaus lassen sie eine weitere Verbreitung und auch manche Weiterentwicklung bezüglich Typenvielfalt und Anpassung an einzelne Verhältnisse erwarten.

**Regionale und überregionale  
Basisaufnahme als Grundlage der  
Rohstoffforschung in Österreich**

von

Herbert Pirkl

---

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.





# **Regionale und überregionale Basisaufnahme als Grundlage der Rohstoffforschung in Österreich**

H. Pirkl

## **Einleitung:**

Impulse zur Intensivierung der Rohstoffforschung, der Prospektion und Exploration heimischer Rohstoffe kamen in Österreich in unserem Jahrhundert hauptsächlich durch Krisen und Notzeiten, so nach dem ersten Weltkrieg, in der Zeit 1938 - 1945 und nach dem zweiten Weltkrieg. Die Methodik war daher jeweils sehr ähnlich und einfach. Die schon über Jahrhunderte bekannten Lagerstätten, Schürfe und Vorkommen wurden besucht, neu auskartiert, beprobt und auf dieser Basis bewertet. In den meisten Fällen folgten darauf Schurfarbeiten, die nur in wenigen Fällen zu Abbautätigkeiten überleiteten. Der fachliche Informationsstand änderte sich auch bei großen Anstrengungen wie z.B. während des 2. Weltkrieges nur relativ gering. Praktisch alle Prospektionsvorhaben - abgesehen von der Wolfram (Scheelit) -Prospektion in den 60er Jahren, die auch prompt zu Erfolg führte - gingen bisher von rein indikativen methodischen Ansätzen aus.

Erst mit der neuerlichen Intensivierung der Rohstoffforschung in den Jahren 1977/78 wurde begonnen, auch systematisch ausgehend von deduktiven Denkansätzen, die Prospektion und Exploration zu strukturieren, so durch Aufbau auf Genese- und Faziesmodellen, Paläogeographie, Sedimentgeologie und prinzipieller Klärung tektonischer Hypothesen.

Der Start moderner überregionaler und großflächiger Untersuchungen (Basisaufnahmen) sollte dabei die Basis für Neubewertungen der Höffigkeitsgebiete einerseits bilden, andererseits wurde auch die Hoffnung auf Neufunde damit verbunden. Zielvorstellung war damals freilich, die Strategie einer neuen, systematischen Erzprospektion in Österreich zu fundieren. Die sachliche und regionale Schwerpunktsetzung orientierte sich dabei an einer Liste der für die österreichische Wirtschaft als besonders kritisch (nach ihrer Versorgungssicherheit) eingestuften Roh- und Grundstoffe. Die Zielsetzungen und die gewählte Vorgangsweise orientierte sich also an den Zielen einer klassischen Erzprospektion.

Theoretisch wurde in den letzten Jahren versucht, eine einheitliche Abfolge in der Projekthierarchie einzuhalten, die soweit wie möglich von den regionalen Basisuntersuchungen (Geologie, Geochemie, Geophysik) über einen integrativen Zwischenschritt zur Detailprospektion führen soll. Bereits in den integrativen Zwischenphasen werden mögliche Konflikte oder Konkurrenzen mit anderen Nutzungen oder bestehenden Planungen geprüft.

## **Methodik und Ergebnisse der Basisaufnahmen**

### **Aeromagnetik**

Einheitliche, flächendeckende Befliegung von ganz Österreich in mehreren Horizonten. Dokumentation in verschiedenen Maßstäben (1:1 Mio, 1:200.000 nach Horizonten, 1:50.000 im Raster der Österreich-Karte). Für die einzelnen Bundesländer wurde eine erste Interpretation des Anomaliemusters vorgenommen, sowie die wichtigsten Anomalien näher definiert und zum Teil durch Störkörperberechnungen charakterisiert. Ermöglicht neue Denkansätze für großtektonische Überlegungen (Kruste/Mantel - Trennung), neue Daten über Tiefenstrukturen.

Wichtiges Planungsinstrument für die KW-Prospektion unter Kalkalpen und Helvetikum.

### **Bodenmagnetik, Bodengravimetrie**

Ausgehend von universitären Forschungsprojekten wurden große Teile des Bundesgebietes durch die Institute für Geophysik in Wien und Leoben magnetisch und gravimetrisch vermessen.

Gemeinsam mit den Daten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen und der ÖMV AG wäre damit der Grundstock für eine flächendeckende gravimetrische Landesaufnahme gegeben, die mit relativ geringen Mitteln gesamtdeckend für Österreich fertiggestellt werden könnte.

### **Hubschrauber-geophysik**

Ab 1980 wurde, basierend auf den Ergebnissen der Aeromagnetik, begonnen - zuerst in Kooperation mit BGR-Hannover, ab 1982 mit eigenen Geräten - in Zusammenarbeit mit dem Bundesheer regional geschlossene Gebiete mit Hubschrauber-geophysik zu vermessen.

Als Meßsysteme wurden dabei in jedem Fall eingesetzt:

- Gammastrahlenspektrometrie (Total, K, U, Th)
- Magnetik (Totalintensität)
- Elektromagnetische Widerstandskartierung

In den Karten 1:25.000 dargestellt werden (im Maximalfall)

- Lage der Flugprofile
- Scheinbarer Widerstand 3600 Hz
- Scheinbarer Widerstand 900 Hz
- Scheinbare Tiefe 3600 Hz
- Scheinbare Tiefe 900 Hz
- Totalintensität (in maximal 2 nT konturiert)
- Gesamtstrahlung in cps
- K <sup>40</sup> cps
- U (Bi <sup>214</sup>) cps
- Th (Tl <sup>208</sup>) cps
- U/Th - Verhältnis cps

In den Meßgebieten könnten mit diesen Methoden zahlreiche unterstützende Hinweise erbracht werden für:

- tektonischen Bau (Störungen)
- Verfolgung von Gesteinskörpern unter Bedeckung
- Grafitlager, Vererzungen und deren Lagerung
- Abgrenzung v. Lockersedimenten und Auflockerungszonen
- flächenhafte Darstellung der natürlichen Strahlung

Etwas begrenzt werden die Interpretationsmöglichkeiten der einzelnen Meßergebnisse dadurch, daß einerseits für die Darstellung der elektromagnetischen Daten Verrechnungsprogramme nur für die Oberflächensituation vorliegen, andererseits die starken und störenden morphologischen Effekte vorläufig nur zum Teil automatisch eliminiert werden können.

Aus diesem Grund umfaßt ein Teil der Tätigkeiten des zuständigen Teams Weiterentwicklung der Meßinstrumente (Hardware) sowie der Auswertungsprogramme. Ab der Meßkampagne 1988 steht ein Videosystem zur Flugwegaufzeichnung zur Verfügung, das versuchsweise auch mit IR-Filtern ausgerüstet wird.

## **Systematische Geochemie**

Gerade für eine von neuen Ansätzen getragene Erzprospektion sind systematische geochemische Untersuchungen notwendig. Deshalb wurde 1978 bereits ein großflächiges Bachsedimentgeochemieprogramm gestartet, das die Kristallingebiete Österreichs umfaßte.

Die Ergebnisse dieser mehrjährigen Kampagne - getragen durch ein Team aus Firmen, Forschungsinstituten und öffentlichen Stellen - liegen dokumentiert in mehrfacher Form vor:

- Geochemischer Atlas für 35 Elemente 1:1 Mio
- Elementverteilungskarten (Punktsymbol- und Rasterdarstellung 1:50.000)
- EDV-Datendokumentation

Die Datenumsetzung, -auswertung und Interpretation erfolgt bereits in verschiedenen Formen:

- bei großflächigen Prospektionen (z.B. W/Mo-Suche)
- in integrativen Projekten (Rohstoffpotential bestimmter Gebiete)
- in gezielten multivariat-statistischen Verrechnungen über größere geographische oder geologische Einheiten.

Flankierend zum Einsatz der oben beschriebenen modernen Methoden wurde die Geologische Landesaufnahme als die Basis aller Basisaufnahmen forciert. Neben dem systematisch laufenden Programm wurden, in von der Rohstoffforschung angepeilten Schwerpunktgebieten, zusätzliche Kartierungsprojekte begonnen.

Die Entwicklung der letzten Jahre (sinkende Metallpreise, Substituierung, Recycling, neue Werkstoffe) läßt es freilich notwendig erscheinen, die bisher eingeschlagene Strategie zu überdenken. Dies gilt einerseits für die Zielrohstoffe (Liste der "kritischen" Rohstoffe), andererseits für den Methodeneinsatz und deren interpretative Umsetzung, sowie regionale Schwerpunktsetzungen.

Eine systematische, konventionelle Erzprospektionskampagne, auf die die bisherige Strategie zum Teil ausgerichtet war, erscheint nicht mehr realisierbar und auch ökonomisch unvertretbar.

- Immer kritischer entwickelt sich die Reserven- und Produktionssituation bei Massenrohstoffen auch in Österreich. Dies nicht sosehr aus Mangel an Rohstoffen als den immer offenkundiger werdenden Nutzungskonflikten und Überbeanspruchung des Naturraumes.

- Neue zukunftssträchtige und innovative Industriesparten benötigen neue Roh- und Grundstoffe, die zum Teil in Österreich zu gewinnen oder nach entsprechender Aufbereitung herzustellen wären.

Allein diese zwei Aspekte zeigen einerseits die Notwendigkeiten, andererseits aber auch die Möglichkeiten zukünftiger Strategien auf.

Mögliche Ziele und Rahmenbedingungen eines zukünftigen Konzeptes könnten sein:

- systematische Erhebung chemisch-physikalischer Gesteinsparameter als Basis einer Neubewertung von Industriemineralvorkommen

- Rohstoffsicherung nur in Konnex mit Umwelt- und Raumverträglichkeit und in Abwägen von Nutzungskonflikten

- Geänderte Schwerpunktsetzung auf bestimmte Zielrohstoffe (Neudiskussion der Liste der "kritischen Rohstoffe")

- Beschränkung der Erzprospektion auf besonders hochwertige Metallrohstoffe (z.B. Gold, Halbmetalle)

Das bedeutet für die Weiterführung und Umsetzung der Basisaufnahmen:

- Gezielte Interpretation der geochemischen Daten, neben einer breiten Datenverwertung für chemische Gesteinscharakterisierung und für Umweltfragestellungen

- Anpassung der Methodik der Hubschraubergeophysik für Messungen in flachliegenden Lockersedimenten, einschließlich hydrogeologischer Fragestellungen

- Verbesserung der geologischen Kartierung hinsichtlich detaillierter lithologischer (geochemischer) Gesteinscharakterisierung

- Erarbeitung eines mittelfristig wirksamen regionalen Zielkatalogs von Spezialprospektionsgebieten für die Planung der Hubschrauber-geophysik



# **Naturraumpotential – Raumplanung**

von

**Walter Gräf**

---

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.





# Naturraumpotential – Raumplanung

W. Gräf

Die rasch fortschreitende Verringerung natürlicher Reserven und das vermehrte Auftreten von Umweltkonflikten haben in Nordamerika bereits in den frühen 60er Jahren, in Europa erst in den mittleren 70er Jahren zu einer systematisierten Erhebung von Naturraumpotentialdaten und vor allem in der Bundesrepublik Deutschland zu deren Dokumentation in Form von Naturraumpotentialkarten geführt. Damit sollte ein wesentliches Planungsinstrument für die Bewältigung und Vermeidung von Umweltkonflikten sowie zur Sicherung des Naturraumpotentials geschaffen werden.

Unter dem Eindruck der Energie- und Rohstoffkrise der frühen 70er Jahre lag der Schwerpunkt der Arbeiten in der Bundesrepublik Deutschland im geowissenschaftlichen Bereich. Die Stoßrichtung war vor allem auf die Erhebung und Ausweisung von Rohstoffvorkommen gerichtet. Das Ziel war die Zugriffsicherung auf diese Vorkommen für die Zukunft. Als Instrumentarium wurden geogene Naturraumpotentialkarten entwickelt, in denen alle verfügbaren Daten der Sachgebiete Geologie, Baugeologie, Hydrogeologie/Hydrologie, Rohstoffgeologie und Bodenkunde gesammelt, aufbereitet und als Entscheidungshilfe für Planer und Politiker entsprechend dargestellt wurden. Hintergrund war und ist die Tatsache, daß die enorme Ausweitung des Siedlungsraumes und der Verkehrsflächen, der Natur-, Landschafts- und Wasserschutzgebiete, vor allem aber das in den letzten Jahren bewußter gewordene Bedürfnis nach einer schönen, gesunden und ungestörten Umwelt Interessenskonflikte erzeugt, die oft über langwierige Behördenverfahren und fast schon regelhafte Bürgerinitiativen vielfach eher emotional als rational entschieden werden.

Den Startschuß zu einer intensiveren Befassung mit der "Ideologie" und "Strategie" der Naturraumpotentialkarten in Österreich gab eine Informationstagung, zu der das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung im Jahre 1978 eingeladen hatte, der aber bereits ein Jahr zuvor Initiativen an der Steirischen Verwaltungsakademie in Graz und an der Montanuniversität Leoben vorausgegangen waren. Dabei ergab sich zunächst das grundsätzliche österreichweite Interesse an derartigen Karten.

Man war sich auch darin einig, daß sie im Gegensatz zum deutschen Vorbild sowohl den biotischen als auch den abiotischen Bereich erfassen sollten. Einigkeit herrschte auch in der Maßstabfrage, wobei

als flächendeckende Maßstäbe solche von 1:200.000 und 1:50.000 als notwendig erachtet wurden. Übereinstimmung herrschte allerdings auch darin, daß die vorhandenen Kapazitäten materiell und personell für eine bundesweite Durchführung nicht ausreichen.

Im Jänner 1980 konstituierte sich innerhalb der Österreichischen Raumordnungskonferenz ein Arbeitskreis mit dem Auftrag, "das Vorhaben Erstellung von Naturraumpotentialkarten hinsichtlich methodischer, organisatorischer und finanzieller Fragen zu beraten und in enger Zusammenarbeit mit der Geologischen Bundesanstalt entsprechende Vorschläge auszuarbeiten". Im Jahre 1982 konnte die erste Arbeitsstufe abgeschlossen werden. Es ist dies eine österreichweite Dokumentation der kartenmäßigen Darstellung von Naturraumpotentialfaktoren der Fachgebiete:

1. Geologie und Geodynamik
2. Geomorphologie und Landschaftsökologie; Speläologie
3. Bodenkunde
4. Klimatologie, Luftgüte; Erdbeben
5. Hydrologie und Wassergüte
6. Vegetation und Biotope

Die Dokumentation erfolgte auf Formblättern für das EDV-System "GEOKART" der Geologischen Bundesanstalt; sie wurde dort verarbeitet und ist dort auch zugänglich. Damit wurde auch in Österreich der erste Schritt auf einem Weg getan, der im Ausland seit langem begangen ist, denn:

Die unüberblickbare Menge und Vielfalt der gewonnenen Daten sowie das Erfordernis der wiederkehrenden Aktualisierung ließen von Anfang an deren EDV-mäßige Speicherung in Datenbanken (Landschafts- und Naturraumdatenbanken) als zweckmäßig erscheinen. In Verbindung mit Programmen zur Manipulation, Analyse und graphischen Darstellung von ortsbezogenen Daten entstanden daraus Geographische Informationssysteme (GIS).

So konnte in der Steiermark ein auf der Datenbasis der Bezirke Radkersburg und Leibnitz begonnenes mehrjähriges Arbeitsvorhaben zur digitalen Erfassung, Speicherung und Bearbeitung ortsbezogener Daten (DESBOD) 1985 abgeschlossen werden. Es ermöglicht u.a. die Erstellung von Synthesekarten, die ja erst eine planungsrelevante Zusammenführung von Einzeldaten aus verschiedenen Fachbereichen und damit eine echte Basis für raumordnende Entscheidungen bringen. Projektträger war das Institut für Digitale Bildverarbeitung und Graphik an der Forschungsgesellschaft Joanneum.

Zur Zeit ist unter Mitarbeit der Sektion Rohstoffforschung der Forschungsgesellschaft Joanneum bei den steirischen Planungsbehörden das landesweite Umweltinformationssystem LUIS in Vorbereitung.

Zur gezielten Speicherung, Verknüpfung und objektiven Bewertung der in einem GIS bereitstehenden punktuellen und flächenbezogenen Naturraumpotentialdaten sind gebiets- und problemorientierte Methoden für deren Auswertung erforderlich.

Die Auswahl von Bewertungsmodellen, die Überprüfung ihrer Anwendbarkeit auf österreichische Verhältnisse und die Bestandsaufnahme der österreichischen Datensituation war in jüngster Zeit Gegenstand eines Auftrages der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK) an das Institut für Umweltforschung der Forschungsgesellschaft Joanneum in Graz. Die Arbeitsergebnisse sind in zwei Berichten niedergelegt.

Im Verlaufe der über mehrere Jahre geführten Diskussion im Rahmen der ÖROK hat der Begriff "Naturraumpotential" eine bedeutende Wandlung durchgemacht und eine wesentliche Erweiterung erfahren. War anfänglich, ganz nach dem Vorbild von Niedersachsen, das Hauptgewicht auf das Rohstoffpotential gelegt worden, so war dieses am Schluß der Beratungen lediglich eines aus einer Reihe partieller Naturraumpotentialkategorien, deren österreichweite Erfassung und Auswertung nach einheitlichen Gesichtspunkten empfohlen wurde.

Es sind dies das:

- Rohstoffpotential
- Wasserpotential
- Biotische Regenerationspotential
- Biotische Ertragspotential
- Klimatische Regenerationspotential
- Naturschutzpotential
- Erholungspotential
- Bebauungspotential
- Entsorgungspotential.

Auch was die aktuelle Arbeit in Österreich, hier aus der Sicht der Steiermark, betrifft, hat sich eine Schwerpunktverschiebung und Anforderungserweiterung ergeben. Die planerische Umsetzung der erhobenen Daten zielt nicht mehr allein auf die Festlegung von Rohstoffsicherungsgebieten, Trinkwasserhoffnungsgebieten und landwirtschaftlichen Vorrangzonen ab. Immer mehr gewinnt die Auswei-

sung geologisch geeigneter Deponiestandorte für regionale Müllkonzepte und die Möglichkeit an Bedeutung, die aufbereiteten Daten für die immer massiver geforderten und meist unter Zeitdruck stehenden Umweltverträglichkeitsprüfungen für Bauvorhaben, von Trassenvarianten im Straßenbau bis zu Industrieansiedlungen, einsetzen zu können.

Vielleicht ist es vor diesem Hintergrund angezeigt, den derzeitigen Bearbeitungsstand in der Steiermark vorzustellen. Die hier seit 1979 laufende, großteils bezirkweise, z.T. auch nach Tallandschaften erfolgende Erfassung und Darstellung naturräumlicher Daten der Sachgebiete Geologie, Hydrologie, Bodenkunde, Vegetation und Klima konnte in den Bezirken Graz, Graz-Umgebung, Voitsberg, Deutschlandsberg, Leibnitz und Radkersburg sowie im Mürztal und im Murtal bis Scheifling abgeschlossen werden. Im Bezirk Liezen, dem größten der Steiermark, sind die Arbeiten im Gange.

Die Mittel hierzu stammen von den Bundesministerien für Wissenschaft und Forschung sowie für Handel, Gewerbe und Industrie, nunmehr Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, und vom Land Steiermark, das hierfür sogar eine eigene Budgetpost eingerichtet hat. Projektträger ist die Forschungsgesellschaft Joanneum, die Mitarbeiter kommen aus nahezu allen facheinschlägig tätigen Bundes- und Landesdienststellen, die Daten überdies auch von den Gemeinden, Kammern sowie von zahlreichen Firmen und privaten Institutionen.

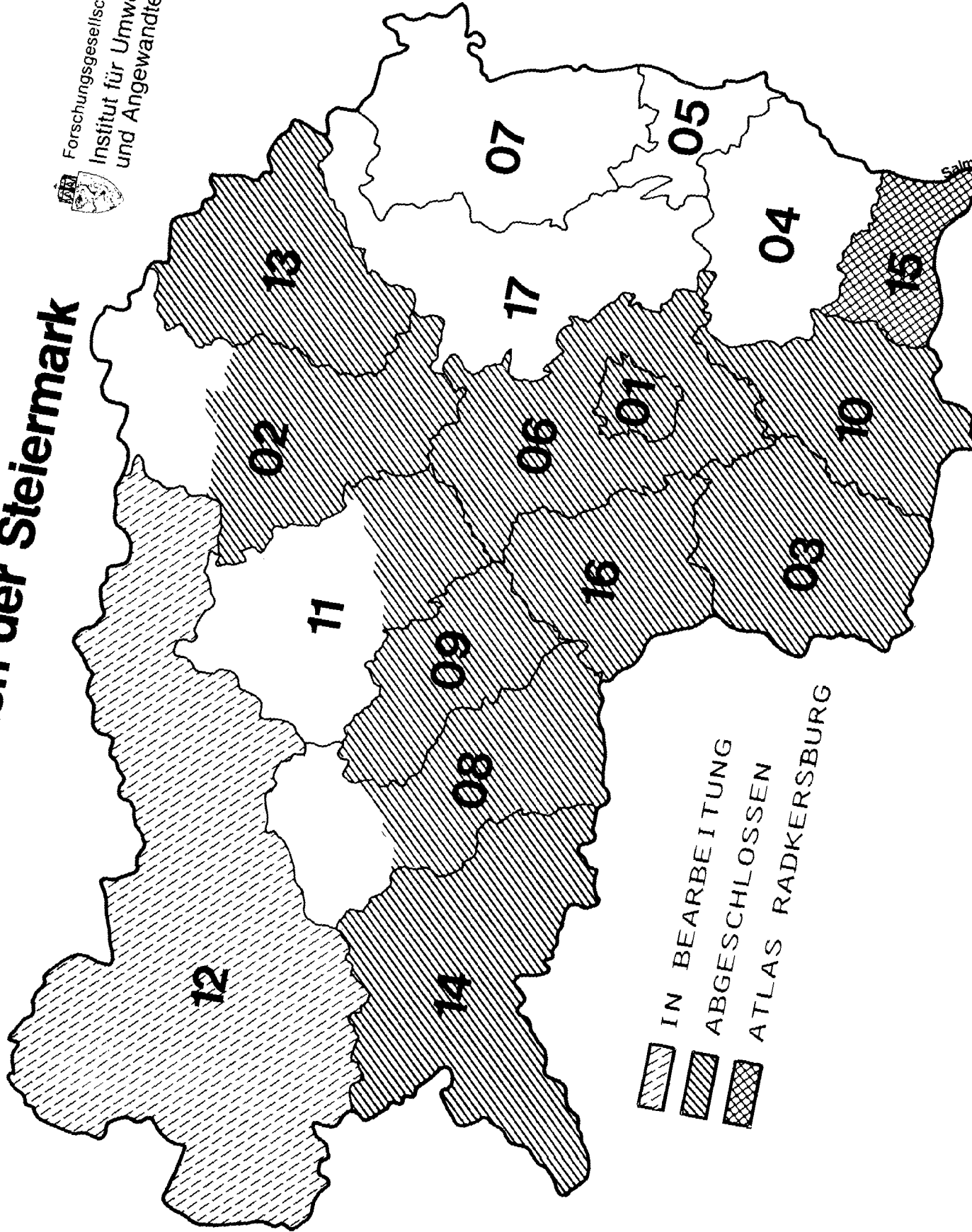
Was den Inhalt der Projekte und die Aufbereitung der Daten anlangt, so hat sich ebenfalls eine Erweiterung und Schwerpunktverlagerung ergeben. Zunächst wurde nur die Daten-Erfassung und isolierte Themendarstellung angestrebt mit dem Ziel, den Planungsbehörden wertfrei objektive Entscheidungsgrundlagen in die Hand geben zu können. Ein Beispiel ist die im Jahre 1982 abgeschlossene Aufnahme des Bezirkes Radkersburg im äußersten Südosten der Steiermark.




Folgende Sachbereiche wurden bearbeitet, in Karten, Profilen und Tabellen dokumentiert und textlich erläutert (Maßstab 1:25.000):

# ...aukkarten der Steiermark



Forschungsgesellschaft Joanneum  
Institut für Umweltgeologie  
und Angewandte Geographie



-  IN BEARBEITUNG
-  ABGESCHLOSSEN
-  ATLAS RADKERSBURG



Geologie:

- Geologische Grundkarte
- Aufschlußkarte
- Bohrpunktkarte
- Karte des Tertiärreliefs
- Karte der Quartärmächtigkeit
- Karte der Kies-Sand-Mächtigkeit
- Karte der Kies-, Sand- und Lehmgruben und der Steinbrüche
- Böschungswinkelkarte
- Baurisikokarte

Hydrologie/Hydrogeologie:

- Gewässergütekarte
- Grundwasserkarten (Grundwasserschichtenlinien, Grundwasserüberdeckung, Grundwasserstände)
- Artesische Brunnen
- Geothermische Gradientenkarte

Bodenkunde:

- Angewandte Bodenkarten (Bodentyp, Bodenschwere, Wasserverhältnisse, Erosion)
- Bodenwertkarte

Naturschutz i.w.S.:

- Karte der Schutzgebiete

Klima:

- Kaltluftkarte
- Temperaturmaximalkarte
- Temperaturgunstzonenkarte
- Besonnungskarte
- Sonnenscheindauer
- Schneesverhältnisse
- Niederschlagsverhältnisse
- Windverhältnisse
- Nebelverhältnisse

Vegetation:

- Vegetationskarte
- Auwaldkartierung

Dieser Bearbeitungsmodus wurde, allerdings nicht überall in der gesamten Bandbreite, auch in den Bezirken Leibnitz, Deutschlandsberg, Voitsberg, Graz-Umgebung und Graz durchgezogen.



Es ist nicht verwunderlich, daß diese, hier kurz vorgestellten Projekte auch das Interesse der Militärgeographie bzw. der militärischen Geodienste gefunden haben. Die Struktur des Österreichischen Bundesheeres als Landwehr mit dem Milizsoldaten, der seine eigene unmittelbare Heimat verteidigt, weist dem Vorteil in der Kenntnis der Landschaft gegenüber einem etwaigen Angreifer eine zentrale Bedeutung zu. Vor diesem Hintergrund sind die in den Naturraumpotentialkarten ausgewiesenen Daten über Gestein, Boden, Wasser, Vegetation und Klima zunächst zu sehen. Dazu kommt die unmittelbare Umsetzbarkeit für Fragen der Wasserversorgung (Quellen, Grundwasser), der Versorgung mit Baurohstoffen (Schotter, Kies, Sand, Ton), der Befahrbarkeit mit Kettenfahrzeugen (Hangneigung, Bodenverhältnisse), der Tarnmöglichkeiten (Vegetation), der Anlegung von Depots (Höhlen) etc. Und schließlich ist der sicherheitspolitische Aspekt auch eine der wesentlichsten Motivationen und Rechtfertigungen der bundesweit durchgeführten Lagerstätteninventur, selbst unter Hintanstellung vordergründiger ökonomischer Erwägungen. Gerade die Erfahrungen unseres Jahrhunderts haben gelehrt, daß es in länger andauernden Krisen- und Notzeiten oft gar nicht so entscheidend ist, was die Gewinnung eines Rohstoffes kostet, sondern daß die Bedeutung dann vielmehr darin liegt, ob er im Lande überhaupt vorhanden, sein Vorkommen auch bekannt und datenmäßig dokumentiert ist und vor allem, daß ein Zugriff aufgrund einer vorausschauenden Raumordnung überhaupt möglich ist.

In einer speziellen militärwissenschaftlichen Studie von F. EBNER wurde untersucht, inwieweit die genannten Naturraumpotentialerhebungen für Belange der Landesverteidigung von Bedeutung sein können. Am Beispiel der Naturraumpotentialkarte Leibnitz wurde sehr erfolgreich versucht, aus den zur Verfügung stehenden Daten militärische Führungsunterlagen wie Geländebefahrbarkeitskarten, Grabbarkeitskarten, Baugrundkarten, Wasserversorgungskarten und Klimakarten zu entwickeln.

Doch jetzt wieder zurück zum zivilen Bereich:

Die Umsetzungsmöglichkeit der in den einzelnen Themenkarten dargestellten Daten in planerische Vorschläge und Entscheidungen war in der Steiermark von Anfang an durch die stete und enge Kontaktnahme mit den Planungsbehörden gesichert. Trotz der benutzerfreundlichen Darstellung der einzelnen Sachbereiche ergab sich aber doch der Wunsch nach einer noch planungsnäheren Aufbereitung mit dem Ziel einer unmittelbaren Umsetzbarkeit in Flächenwidmungspläne, Müllkonzepte, Kiesabbaupläne, Rekultivierungs- und Folgenutzungskonzepte, Umweltverträglichkeitsprüfungen und ähnliches.

Diesem Bedürfnis der Landesplanung kam das Interesse des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung an der Zusammenführung der zunächst rein analytischen Karten zu Synthesekarten und der Wunsch des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten nach Rohstoffsicherungskarten sehr entgegen. In einer 2. Generation von Naturraumpotentialkarten wurde das Mürztal und das obere Murtal vor diesem Hintergrund daher insofern wesentlich umsetzfreundlicher bearbeitet, als hier durch Themenüberlagerung bereits eine Interessensabwägung und eine deutliche Prioritätenvorgabe erfolgt.

Ausgehend von der Prämisse, daß die notwendige Versorgung der Wirtschaft mit kostengünstigen Rohstoffen mit den Erfordernissen des Siedlungs- und Verkehrswegebau, der Wasserversorgung, der Land- und Forstwirtschaft, des Natur- und Umweltschutzes sowie der Erholung abzustimmen ist, werden durch Darstellung und Überlagerung von Nutzungsansprüchen einzelner Sachbereiche Nutzungskonflikte aufgezeigt und über Planungsgrundsätze einer Lösung nach Prioritäten vor einem ganzheitlichen Hintergrund zugeführt. Im Gesamtansatz handelt es sich dabei um eine interdisziplinäre Konfliktbearbeitung aus der Sicht des Sachbereiches Rohstoff mit dem Ziel, jene Gebiete auszuweisen, deren flächenhafte Sicherung für eine zukünftige Rohstoffgewinnung Vorrang haben sollte.

Nun könnte man einwenden, daß es nicht die Aufgabe von Geowissenschaftlern sei, derart intensiv in Raumplanungsagenden einzugreifen und tatsächlich wird, speziell aus dem Ausland, über Spannungen und Konflikte mit den Planungsbehörden berichtet. Der stete und enge Kontakt mit der Raum-, Regional- und Ortsplanung, der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung und der Naturschutzbehörde hat in der Steiermark derartige Vorbehalte nie aufkommen lassen, zumal die Projektinhalte nur als Vorschlag oder Empfehlung auf Basis der bearbeiteten Themen zu sehen sind. Dazu kommt noch der Umstand, daß von Anbeginn der Arbeiten in der Steiermark klar war, daß die Lösung von Umweltproblemen ein Höchstmaß an interdisziplinärer Kooperation, nicht nur innerhalb der Erdwissenschaften selbst erfordert. Demgemäß hat sich mit dem Zentrum am Institut für Umweltgeologie und Angewandete Geographie der Forschungsgesellschaft Joanneum in Graz eine Arbeitsgruppe zusammgefunden, in der Geologen, Hydrologen, Morphologen, Bodenkundler, Klimatologen, Botaniker und Raumplaner vertreten sind.

Wie sinnvoll und volkswirtschaftlich notwendig eine möglichst frühzeitige Überführung rohstoffkundlicher Erkenntnisse in planerische

Entscheidungen ist, zeigt etwa ein aktuelles Beispiel aus der Steiermark, wo in Bärnbach, im Köflacher Kohlenrevier, eine neue Siedlung auf einem sehr mächtigen, sehr ausgedehnten und qualitativ hochwertigen Flöz steht. Der vom Landtag beschlossene und 1984 von der Landesregierung verordnete steirische Rohstoffplan regt daher die Erstellung von Rohstoffsicherungskarten im Rahmen der Naturraumpotentialerhebungen insbesondere auch für jene oberflächennahen Rohstoffe an, die, wie die Massenrohstoffe, einerseits nicht den Schutz des Berggesetzes genießen, andererseits aber besonders kritisch in bezug auf Umweltbelastung und Nutzungskonflikte sind.

Die Tatsache, daß Massenrohstoffe angesichts ihrer Frachtkostenempfindlichkeit verbrauchernah, d.h., in der Nähe von Ballungsräumen verfügbar sein müssen und durch ihren Abbau im Tagbau das Landschaftsbild nachhaltig beeinflussen, wird meist noch dadurch verschärft, daß die Räume, in denen die Lagerstätten derartiger Rohstoffe liegen, auch massive anderweitige Nutzungsansprüche befriedigen sollen, als Siedlungsraum, für Verkehrsflächen, für landwirtschaftliche Zwecke, als Naherholungsräume. Darüberhinaus drohen aber auch Nutzungskonflikte mit dem Natur- und Landschaftsschutz, etwa bei Auegebieten, oder mit der Wasserwirtschaft, sofern die Rohstoffe selbst Grundwasserspeicher darstellen oder Verunreinigungsfahr für nahegelegene Wasserversorgungsanlagen besteht; selbst Konflikte mit der Bodendenkmalpflege sind nicht selten, wie etwa im Bereich der ehemaligen römischen Siedlung Flavia Solva im Leibnitzer Feld südlich von Graz.

Schließlich bringen Kies-/Sandabbaue eine meist kaum vermeidbare Umweltbelastung durch Lärm und Staub und eine leider immer wieder feststellbare Umweltgefährdung durch nicht genehmigte Naßbaggerungen und die "Folgenutzung" als wilde Mülldeponien mit sich.

Dieser überaus sensible Problembereich wird umso spürbarer, als die mangelnde Berücksichtigung von Lagerstätten der Massenrohstoffe in der Raumplanung in verschiedenen Ländern bereits zu bedeutsamen Verknappungen und Versorgungsschwierigkeiten geführt hat. Allmählich findet diese allzulange verdeckt gewesene Problematik über warnende Artikel in der Presse auch Eingang in das öffentliche Bewußtsein. Wenn die Neue Zürcher Zeitung hervorhebt, daß etwa allein im Kanton Zürich 15% der Arbeitsplätze, d.s. für diesen Raum über 100.000, von einer geregelten und lückenlosen Kiesversorgung abhängen, so zeigt dies die arbeitsmarktpolitische Größenordnung des Problems! Was die wirtschaftliche Seite betrifft, so beträgt nach einer Erhebung von Volker STEIN 1982 der Jahresbedarf an Kies in der BRD rund eine Viertel Milliarde m<sup>3</sup>, in der Schweiz (H.JÄCKLI

1983) rund 30 Millionen m<sup>3</sup> oder rund 5 m<sup>3</sup> pro Kopf und Jahr. Für Österreich gibt J.H.HADITSCH 1984 für den Verbrauch von Massenerohstoffen einen Richtwert von 8-10 t Jahr und Einwohner an. Um den zukünftigen Bedarf allein an Kies zu decken, rechnet man in der BRD mit einem Landbedarf von 30-40 km<sup>2</sup>/Jahr, in der Schweiz von 2 km<sup>2</sup>/Jahr.

Diese hier schlaglichtartig geschilderte Situation am Sektor der Lockergesteine ist der Grund dafür, daß die Erfassung und Dokumentation von Vorkommen und Vorräten österreichweit einen deutlichen Schwerpunkt darstellt. Auch in der Steiermark lief ein mehrjähriges Programm zur systematischen Erfassung der Lockergesteine. In der ersten Stufe wurden über 1300 Vorkommen von Kiesen, Sanden, Tonen und Lehmen auf Datenblättern erfaßt und kartenmäßig im Maßstab 1:100.000 und 1:50.000 festgehalten. Dabei erfolgte sowohl eine Einbindung in die Geologie als auch eine Konfrontierung mit alternativen Nutzungen wie Siedlungsgebieten, wasserrechtliche Schongebiete.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Basiserhebungen des ersten Projektjahres wurden im 2. und 3. Jahr detaillierte Untersuchungen hinsichtlich der Rohstoffzusammensetzung, der Lagerstättenausdehnung und der jeweils verfügbaren Rohstoffmengen durchgeführt. Daraus ergaben sich schließlich 469 definierbare Hoffnungsgebiete in allerdings recht ungleicher Verteilung über die Steiermark. Gerade diese ungleiche Verteilung unterstreicht vor dem Hintergrund der an sich umweltpolitisch sensiblen Massenrohstoffgewinnung die Bedeutung einer landesweiten Erfassung und Bilanzierung.

Der gesamte Lockergesteinssektor in der Steiermark wird sehr wesentlich von der speziellen Situation im Grazer und Leibnitzer Feld geprägt, liegen hier doch nicht nur die größten und besten, sondern, was ihre Gewinnung betrifft, zweifellos auch die konfliktreichsten Vorkommen. Dem trägt das nun abgeschlossene Lockergesteinsprojekt durch die vorrangige Ausscheidung von solchen Hoffnungsgebieten Rechnung, in denen ein konfliktfreier Zugriff auf die Rohstoffe möglich erscheint. Allerdings muß dabei in den übrigen Regionen des Landes in Kauf genommen werden, daß die Vorkommen meist nach Qualität und Quantität deutlich hinter jenen des Murtales zurückstehen. So wird etwa der in der Oststeiermark herrschende Mangel an qualitativ hochwertigen Massenerohstoffen derzeit noch durch Zufuhr aus dem Grazer und Leibnitzer Feld ausgeglichen. Hier ist jedoch für die Zukunft unschwer eine weitere Verschärfung der Nutzungskonflikte zu prognostizieren, sodaß für Ersatz vorgesorgt werden

muß. Dies zeigt deutlich die Notwendigkeit der Ausweisung und des Schutzes auch von zunächst wirtschaftlich noch wenig interessanten Lagerstätten. Dies auch vor dem Hintergrund, daß durch den fortlaufenden Abbau und Verbrauch der wertvollen Lagerstätten - oder auch durch behördliche Restriktionen - die vorher weniger wertvollen in eine höhere Wertklasse aufsteigen und auf diese Weise wirtschaftliche Bedeutung erlangen.

Dies ist ein Gedanke, der freilich über die Massenrohstoffe hinaus auf die gesamte Lagerstättensituation der Steiermark und Österreichs insgesamt zu übertragen ist. Hier gilt auch nach heutigem Kenntnisstand voll die vielzitierte Feststellung vom "Reichtum an armen Lagerstätten".

Ein vor einigen Jahren in Graz durchgeführter Meinungsaustausch zwischen Vertretern der Steiermark und Niedersachsens aus dem Bereich Geowissenschaften und Raumordnung hat klar ergeben, daß es sich bei der weit überwiegenden Zahl der steirischen Lagerstätten und Vorkommen um Größenordnungen und Erkundungsstufen handelt, die nach den von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover ausgearbeiteten Usancen in der BRD keinerlei Chance auf Ausweisung in Flächenwidmungsplänen hätten. Damit wäre aber eine vorausschauende und vorsorgende Freihaltung von anderweitigen Nutzungsansprüchen und eine Zugriffssicherung für die Zukunft unmöglich oder jedenfalls Zufälligkeiten überlassen. Von steirischer Seite wurde dazu die Meinung vertreten, daß, ganz abgesehen von der Größenordnung des vorhandenen Rohstoffpotentials, seine Erfassung sowie die zweifelsfreie und objektive Dokumentation die Grundvoraussetzung dafür sei, vor dem Hintergrund der dynamischen Entwicklung der Abbau-, Aufbereitungs- und Bergbautechnik, der fluktuierenden Preissituation und zunächst unvorhersehbarer marktpolitischer Veränderungen Bewertungskriterien entwickeln und der jeweiligen Situation angepaßte Neubewertungen der Rohstoffvorkommen durchführen zu können.

Tatsächlich greifen wird das Ergebnis dieser Arbeiten jedoch nur dann, wenn über Rohstoffsicherungskarten der Einbau in Landesentwicklungskonzepte und Flächenwidmungspläne gelingt.

Der im Rahmen des Landesentwicklungsprogramms von der Steiermärkischen Landesregierung 1984 erlassene Rohstoffplan sieht in seinem Maßnahmenkatalog daher vor: die vorrangige Erstellung von Rohstoffsicherungskarten im Zuge der Naturraumpotentialerhebung; die Aufnahme von Lagerstätten mineralischer Rohstoffe in die regionalen Entwicklungspläne; die Ausweisung von bestehenden und

geplanten Rohstoffgewinnungsgebieten und Vorrangzonen in den Flächenwidmungsplänen. Überdies wurde festgelegt, daß in Übereinstimmung mit dem Steiermärkischen Raumordnungsgesetz 1974 die Freihaltung von Rohstoffgewinnungsgebieten und Rohstoffvorkommen von allen Nutzungsansprüchen zu sichern ist, die eine Verwertung nachhaltig unmöglich machen würden.

Der Steirische Rohstoffplan bestimmt jedoch auch, daß bei allen Rohstoffprojekten bereits im Stadium der geowissenschaftlichen Erkundung auf Fragen der Raumordnung sowie des Natur- und Umweltschutzes Bedacht zu nehmen und möglichst frühzeitig Kontakt mit den Planungsinstanzen herzustellen ist.

Überdies sind entsprechend den regionalen Entwicklungsplänen bereits bei der Planung von Rohstoffgewinnungsbetrieben Maßnahmen für eine zweckentsprechende Folgenutzung der beanspruchten Flächen vorzusehen. Unter starker Beteiligung der Erdwissenschaften sind derzeit Rekultivierungskonzepte bzw. Folgenutzungskonzepte für das Grazer und Leibnitzer Feld sowie für das Köflach-Voitsberger Revier in Ausarbeitung.

Wenngleich jeder Abbau mineralischer Rohstoffe zweifellos einen Eingriff in ökologische Gleichgewichte und Gesetzmäßigkeiten bedeutet, so könnte dieses planerische Instrumentarium doch eine Zugriffssicherung auf Rohstoffvorkommen für die Zukunft garantieren, ohne die Umweltqualität in den betroffenen Gebieten deutlich oder auf Dauer zu mindern; dies selbst oder gerade dann, wenn man den vielzitierten Brückenschlag zwischen Ökologie und Ökonomie im Auge hat!

Die prioritäre Wertung, die der Erfassung des Naturraumpotentials in den Rohstoffforschungs- und Rohstoffsicherungskonzepten der Bundesministerien für Wissenschaft und Forschung sowie für Handel, Gewerbe und Industrie aus dem Jahre 1981 zugemessen wird, gibt Hoffnung in dieser Richtung. Diese Hoffnung wird verstärkt durch den Beschluß des Ministerrates vom 6.8.1986, das Naturraumpotential österreichweit umfassend zu erfassen und zu dokumentieren, wobei die Bundesministerien für Handel, Gewerbe und Industrie, Wissenschaft und Forschung, Gesundheit und Umweltschutz sowie öffentliche Wirtschaft und Verkehr die Ziele vorgegeben haben.

Ich möchte mit den sehr positiven Feststellungen schließen, die der damalige steirische Agrarlandesrat und jetzige Landwirtschaftsminister Dipl.-Ing.J.RIEGLER anläßlich der Bund-Bundesländerkooperation für Rohstoff- und Energieforschung in

Eisenerz 1984 getroffen hat: "Gerade mit der Erfassung und Bewertung des Naturraumpotentials ist wieder eine Gesamtschau über die Natur eingetreten, nachdem eine jahrzehntelange Spezialisierung viel zu gegenläufigen Positionen beigetragen hat, und ich glaube, daß das eine entscheidende Veränderung in der Denkrichtung und Betrachtungsweise geworden ist. Gerade die Bewertung des Potentials des Rohstoffes Natur bringt die verschiedenen Experten wieder zusammen und sie lernen, wieder miteinander über den heimatlichen Boden zu reden".

**Zusammenfassung der Vorträge des  
Symposiums "Neue Rohstoffe für  
neue Technologien"**

von

Günter B. Fettweiß

---

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.





# Zusammenfassung der Vorträge des Symposiums "Neue Rohstoffe für neue Technologien"

G.B. Fettweis (1)

Wir haben uns anderthalb Tage mit dem Thema: Neue Rohstoffe für neue Technologien befaßt. drei Themengruppen waren vorgegeben:

1. "Perspektiven der Nachfrage und Versorgung" mit drei Vorträgen (Kramer, Weber, Paschen),
2. "Entwicklungstendenzen auf dem Werkstoffsektor" mit vier Vorträgen (Jeglitsch, Krenn für Bauer, Wruß, Lackner für Marr, wobei der letztgenannte Vortrag auch der dritten Themengruppe zugeordnet werden könnte).
3. "Verfahrensentwicklungen; Begleitmaßnahmen" mit vier Vorträgen (Wöbking, Habenicht, Pirkl, Gräf)

Sie werden von mir keine zusammenfassende Wiederholung dessen erwarten, was Sie alle selbst gehört haben, sondern daß ich versuche, ein gewisses Resumé zu ziehen. Dazu will ich zunächst einige wichtige Sachverhalte nennen, die bei diesem Symposium offenkundig geworden sind und deren sich bewußt zu werden mir für den Zweck des Symposiums wichtig zu sein scheint. Der Zweck ist ja, Beiträge zur weiteren Entwicklung zu leisten. Natürlich kann ich meine Aufgabe nur subjektiv und vor allem nur aus dem Augenblick heraus erfüllen; das möchte ich voranstellen.

## **Wichtige Sachverhalte**

Ein erster Sachverhalt, den ich als sehr fruchtbar im Hinblick auf die weitere Entwicklung ansehe, ist darin zu erblicken, daß sich die Vortragenden, die Diskussionsteilnehmer und die Diskussionsleiter aus einem breiten interdisziplinären Kreis zusammensetzten und daß damit ein interdisziplinäres Gespräch begonnen worden ist. Wir haben vom Rohstoffgeologen über den Bergingenieur, den Hütteningenieur als Verfahreningenieur und als Produktforscher, den Verfahreningenieur im allgemeinen Sinn bis zum Werkstoffwissenschaft-

---

(1) Formal überarbeitete Fassung der auf Tonband aufgenommenen Ausführungen, welche der Verfasser am Ende des Symposiums "Neue Rohstoffe für neue Technologien" am 22. März 1988 in der Akademie der Wissenschaften - Wien vortrug.

ler als Produktforscher und bis zum Ökonomen eigentlich alle präsent gehabt, die unserem Thema in einer besonderen Weise nahe stehen und die damit auch voneinander lernen können.

Damit steht ein zweiter Sachverhalt in Verbindung, den wir uns immer in Erinnerung rufen sollten: Natur und Arbeit sind die beiden einzigen direkten Güterquellen. Das hat nicht nur Marx, sondern das hat vorher - d.h. vor bald 150 Jahren - auch schon der berühmte österreichische Bergmann Otto von Hingenau gesagt. (2) Stoffe der Natur müssen wir uns jedoch zuerst verfügbar machen, um dann durch unsere anschließende Arbeit etwas für uns Nützliches aus ihnen zu gestalten. Entsprechend waren unter den Vortragenden aber auch zwei Gruppen von Leuten vertreten, diejenigen, welche die Naturstoffe bereitstellen, also die Geologen und die Bergleute, und diejenigen, die dann weiterarbeiten, wie die Hüttenleute und die Verfahrenstechniker. Ökonomen lassen sich zu beiden Gruppen zählen.

Damit waren für unser Thema auch zwei Betrachtungsgesichtspunkte vorhanden. Die Abbildung 1 möge das veranschaulichen. Wir haben gesprochen über das Ziel "Neue Rohstoffe für neue Technologien" und über unseren gegenwärtigen Standort im Hinblick auf dieses Ziel. Die Vorträge dazu sind teils von der Rohstoffseite, teils von der Werkstoffseite hergekommen, teils also von der Versorgung, teils vom Bedarf. Zum Teil gingen die beiden Betrachtungsweisen allerdings auch durch die Vorträge hindurch.

Für einen weiteren Sachverhalt will ich ein heute sehr gebräuchliches, dem Segelsport entnommenes Wort verwenden. Wir stehen zweifellos an einer Wende bei unserem Kreuzen, an einer Wende der Rohstoffentwicklung, die durch das Thema angesprochen worden ist.

Die letzte große und entscheidende Wende hatte im Jahr 1972 der Bericht des Club of Rome gebracht. Es gibt kaum eine wirtschaftlich ausgerichtete Prophezeiung, die - gleichgültig wie man zu ihr stehen mag und zu ihrem Gehalt - soviel Folgen auf dem Rohstoffsektor gehabt hat, zumal sie durch Zufall noch zusammenfiel mit der sie unterstützenden Erdölkrise. Dies gilt auch für das Rohstoffgebiet bei uns im Lande. Ich erinnere an die verschiedenen Konzepte für geowissenschaftliche und geotechnische Forschung in Österreich u.ä. die

---

(2) Vgl. Hingenau, Otto von: Bergwirtschaftslehre, Brünn 1849.

# Neue Rohstoffe für neue Technologien

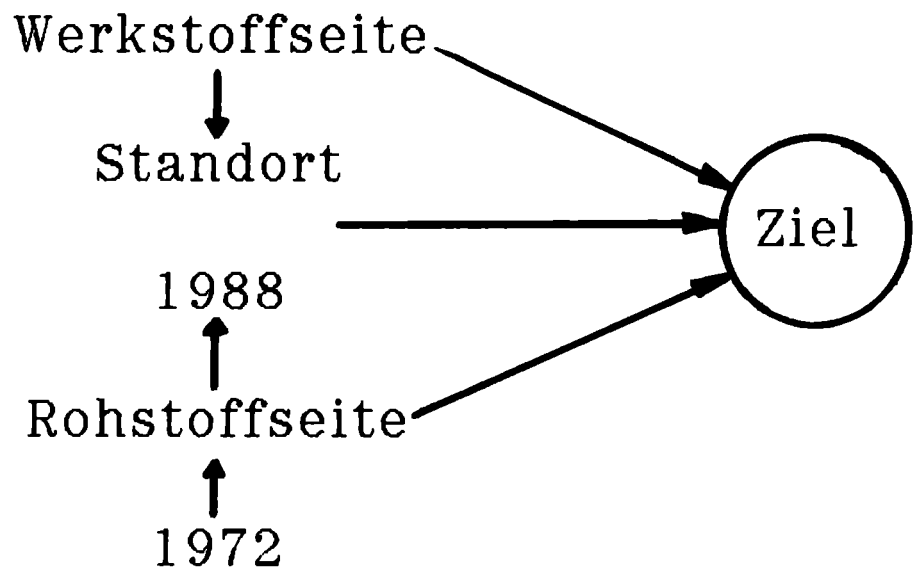


Abb.1.1.:



wir entwickelt haben. (3)

Unser Standort bei der heutigen Wende 1988 ist folglich vorgegeben durch die Fahrt, die seit der letzten Wende gemacht worden ist. Daher mag es nicht verwundern, daß über diese Fahrt und unseren heutigen Standort bei unserer Tagung viel berichtet worden ist, vor allem von den Leuten auf der Rohstoffseite. Fraglos ist es auch erforderlich, den heutigen Standort zu kennen, um neue Ziele ansprechen zu können. Wir müssen alle Erfahrungen nutzen, die wir auf unserem bisherigen Weg gewonnen haben. Viele von ihnen sind unmittelbar auf neue Zielsetzungen übertragbar.

Einschlägig positiven Entwicklungen auf der Rohstoffseite, die in den vergangenen 15 Jahren erzielt werden konnten, waren daher auch die Berichte gewidmet, die wir zum Schluß auf dem Programm hatten.

Im ersten Teil seines Vortrages hat Herr Dr. Pirkl die bemerkenswerten Anstrengungen dargelegt, die in Österreich mit dem Aufwand von mehreren Hundert Millionen Schilling auf dem Gebiet der Basisaufnahmen unternommen worden sind: Geophysik, Geochemie, geologische Landesaufnahme, ich brauche das jetzt nicht zu wiederholen. Ausdrücklich sei jedoch auf folgendes verwiesen. Man darf nicht erwarten, daß aus den genannten Untersuchungen nun unbedingt und sofort konkrete bergbauliche Ergebnisse erwachsen. Die Sachlage entspricht vielmehr derjenigen der Grundlagenforschung überhaupt; der Wert solcher Untersuchungen zeigt sich oft erst nach Jahrzehnten. Dies gilt übrigens vielfach auch bei angewandter Forschung; man möge an die Mondfahrt denken, deren Sekundärfolgen wahrscheinlich viel bedeutsamer sind als die Tatsache, daß ein Mensch auf dem Mond spazieren gehen konnte. Der Vortrag von Herrn Dr. Gräf enthält eine außerordentlich aufschlußreiche Darstellung der Kenntnisse, die wir seit 1972 auf den Gebieten der Erfassung des Naturraumpotentials, der Rohstoffinventur und der Um-

---

(3) Siehe insbesondere: Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung: Konzept für die geowissenschaftliche und geotechnische Forschung in Österreich, Wien 1973; Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung: Österreichisches Energieforschungskonzept, Wien 1975; Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung: Konzept für die Braunkohlenforschung in Österreich, Wien 1977; Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung: Konzept für Rohstoffforschung in Österreich, Wien 1981; Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie: Konzept für die Versorgung Österreichs mit mineralischen Roh- und Grundstoffen, Wien 1981.

weltberücksichtigung im Hinblick auf die Schaffung objektiver Entscheidungsgrundlagen in Problemsituationen gewonnen haben.

Sehr Wichtiges zur Standortbestimmung haben wir desweiteren aus den verfahrenstechnischen Vorträgen gelernt. Die seinerzeitige Prophezeiung des Club of Rome über die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe war ja nicht zuletzt deswegen falsch, weil sie den menschlichen Geist nicht ins Kalkül gezogen hat, weil sie die technischen Entwicklungen unberücksichtigt ließ, die in Wirklichkeit ganz maßgeblich die Verfügbarkeit von Rohstoffen bestimmen. Ich nenne zur Bergtechnik den Vortrag von Dr. Habenicht. Ein ähnlicher Vortrag hätte lauten können: "Von der Schaufel zum Schaufellader"; wir haben vor einem Vierteljahrhundert ja noch geschaufelt und jetzt haben wir ferngesteuerte Schaufellader. Aus den Darlegungen von Herrn Dr. Wöbking und denjenigen, die Prof. Marr durch seinen Mitarbeiter Dr. Lackner zum Vortrag gebracht hat, ging nicht zuletzt die Fülle von weiteren technischen Möglichkeiten hervor. Man rufe sich nur die zahlreichen Einflußgrößen in Erinnerung, die von Dr. Wöbking als Ansatzpunkte für die Verbesserung des Ausbringens genannt worden sind.

Alle diese Darstellungen, darunter im weiteren Sinne auch der ungarische Diskussionsvortrag, unterstreichen, was ich eben schon angesprochen habe. Die technischen Möglichkeiten bestimmen weitaus mehr die wirtschaftliche Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe als die schiere Substanz. Wir selbst leiden zur Zeit darunter u.a. mit unserem schönen Lithium-Vorkommen auf der Koralpe; die Technik hat bisher unbauwürdige, Lithium-führende Salzsolen (Brines) in Bolivien und Chile nutzbar und wirtschaftlicher werden lassen. Im Prinzip ist dieser Sachverhalt aber auch positiv für uns und für Vorkommen in unserem Lande zu bewerten und entsprechend in unserem Bewußtsein zu verankern. Durch technische Entwicklungen werden geringwertige Vorkommen verfügbar gemacht, an die früher niemand gedacht hat. Die Zukunft hält noch eine Fülle einschlägiger Möglichkeiten für uns bereit. Wir werden u.a. auch im Bergbau als nächstes die Automatisierung zahlreicher Vorgänge und dann die Optimierung dieser Automatisierung erleben, wir werden bei den Verfahren selbst noch gewaltige Entwicklungen vor uns haben, jedenfalls die Jüngeren unter uns.

Zur Standortbestimmung gehört demzufolge auch die Erkenntnis, daß die Prophezeiung des Jahres 1972 falsch war. Dies gilt im übrigen aus den Gründen, die ich eben genannt habe ebenso wie aus Gründen der geologischen Existenz von Rohstoffen in der Erdkruste. Dr. Weber hat darüber berichtet und Prof. Paschen im ersten Teil

seines Vortrages: Die Vorkommen mineralischer Rohstoffe dieser Welt sind von der Substanz her gesehen - und mit Ausnahme der fossilen Brennstoffe - praktisch unerschöpflich. Sie unterscheiden sich lediglich im Hinblick auf die Kosten für ihre Bereitstellung.

Ich möchte die persönliche Bemerkung nicht zurückhalten, daß ich die einschlägigen Feststellungen mit Genugtuung zur Kenntnis genommen habe. In einem öffentlichen Seminar in Leoben bin ich schon ein Jahr nach dem Bericht des Club of Rome zum selben Ergebnis gelangt, nachdem mir die Computerdurchläufe bekannt geworden waren, auf denen dieser Bericht beruhte. (4) Und auch bei anderen Gelegenheiten, darunter bei einer öffentlichen Veranstaltung der Akademie vor acht Jahren in diesem Hause habe ich das Gleiche gesagt. (5)

Zur Standortbestimmung gehört folglich auch die Feststellung, daß es in erster Linie die ehernen Gesetze des Marktes - also des Wettbewerbes - sind und damit Kosten und Erlöse, nach denen sich die Produktion von und die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen richtet. Der Markt wird maßgeblich durch technische Entwicklungen bestimmt. Die schiere Existenz von Rohstoffen in der Erdkruste ist hierbei eine notwendige, aber keine hinreichende Grundlage.

Eine Schlüsselstellung bei unserer Standortbestimmung nahm der Vortrag von Dr. Kramer ein. Seine Ausführungen bestätigten zunächst die Problematik aller Prophezeiungen bzw. Prognosen. Die Überkapazitäten bei der Roh- und Grundstoffproduktion, die er als unser heutiges Problem erörterte, stellen ja gerade das Gegenteil von dem dar, was vor 15 Jahren erwartet worden ist. Zwar ist es besser, Prognosen anzustellen als darauf zu verzichten; ebenso notwendig ist aber auch eine kritische Distanz zu den Voraussagen.

Das Problem der Überkapazitäten hat Dr. Kramer am Beispiel der Stahlindustrie in unserem Land und ihrer Schwierigkeiten erläutert. Wie er darlegt, darf man bei den einschlägigen Schlußfolgerungen

---

(4) Fettweis, G.B.: Seminar über das Buch "Die Grenzen des Wachstums" am 12., 13. und 14. 3. 1973 im Rahmen des Arbeitskreises "Pläne zum Überleben" der Katholischen Hochschulgemeinde Leoben.

(5) Fettweis, G.B.: Bergmännische Gesichtspunkte zur Rohstoffversorgung, in: Österreichische Akademie der Wissenschaften, Rohstoffe und Energie in Österreich - Beispiele für Möglichkeiten und Grenzen, Wien 1981. Vgl. ferner u.a.: G.B. Fettweis: Zu den Vorräten von Kernbrennstoffen und fossilen Brennstoffen, in: Österreich Dokumentation Kernenergie Band 2, Herausgegeben vom Bundespressdienst Wien 1977, S. 19-31.



aber auch jetzt nicht übertreiben; Stahlindustrie wird es sehr wohl auch weiterhin in Österreich geben. Allgemein gilt für die Grundstoffherzeugung in den Industrieländern, daß zwar gewisse Einschränkungen nötig, aber andererseits auch weiterhin durchaus Chancen für entsprechende Produktionen vorhanden sind. Dr. Kramer hat die verschiedenen Voraussetzungen dafür wie folgt genannt: Nähe zum Markt (=Wettbewerbsvorteil), Erfordernis einer hohen Qualifikation der Arbeitskräfte, Erfordernis von viel Software-Entwicklung sowie ein spezifischer Schutz durch ausreichende Rohstoffbasis, Transportkostenvorteile und Handelspolitik.

Als Bergmann möchte ich den letzten Gesichtspunkt unterstreichen und für die Bergbauproduktion noch einen Punkt hinzufügen. Das ist die geologische begründete Gunst von Lagerstätten. Für diese Gunst ist es gleichgültig - oder fast gleichgültig -, wo auf diesem Globus die Lagerstätten existieren. Wir haben ja auch in Österreich eine entsprechendes Beispiel in den letzten Jahrzehnten mit Mittersill gehabt. Und wenn wir die südamerikanischen Brines hätten und dort lägen unsere Spodumenvorkommen, so würden wir die Brines für die Lithium-Erzeugung abbauen. Daß es in ähnlichen Zusammenhängen durchaus noch Möglichkeiten gibt, ist auch bei unserer Tagung zum Ausdruck gekommen; wir haben auch in Österreich die Erdkruste teilweise erst angekratzt.

Ausdrücklich hat Dr. Kramer also auf die Chancen hingewiesen, die sehr wohl in unserem Umfeld existieren. Besonders hat er aber auch mehrfach die faszinierenden Möglichkeiten angeführt, die sich neuerdings aus den modernen Werkstoffen und aus den neuen Technologien ergeben. Als Vermutungen über die Mengenzunahme bei keramischen Werkstoffen und Verbundwerkstoffen bis zum Jahre 2000 nannte er eine Spanne zwischen dem 6-fachen und 30-fachen des heutigen Verbrauchs.

Allerdings hat er auch darauf verwiesen, daß wir "bedauerlicherweise" wirklich verlässliche Daten über diese Entwicklung bisher kaum besitzen. Dasselbe haben wir auch aus unseren einschlägigen Vorträgen gelernt. Viele von uns - ich will mich nicht ausnehmen - sind in der Hoffnung hergekommen, nun zu erfahren, welche neuen Rohstoffe wir brauchen und daher auch suchen sollen. Wir waren uns nicht ausreichend bewußt, daß wir eigentlich erst am Beginn eines Lernprozesses stehen und daß ein Symposium wie das unsere nicht plötzlich alle diesbezüglichen "Welträtsel" lösen kann.

Dies gilt aus mehreren Gründen. Zum ersten kommen die Fachleute der Werkstoffseite, die hier gesprochen haben, aus einer ganz ande-

ren Denkschule als diejenigen der Rohstoffseite. Beide Gruppen schauen vor allem auf ihre jeweiligen Hauptprobleme (Natur und Arbeit) und müssen sich offensichtlich erst daran gewöhnen, im Hinblick auf das Tagungsthema miteinander zu diskutieren. Eine zweite Tatsache ist es, daß natürlich die Zukunft überhaupt und prinzipiell unvorhersehbar ist; siehe unsere Erfahrung seit 1972. Zum dritten sind wir ja auch erst mit unserer Wende beschäftigt und können noch nicht wieder in voller Fahrt sein, um bei der Seglersprache zu bleiben. Zu hoch geschraubte Hoffnungen waren daher gar nicht erfüllbar.

Stellt man jedoch, wie man zu sagen pflegt, den "Erwartungshorizont" nicht zu hoch ein, dann haben wir einen ganz beachtlichen Lernprozeß mitgemacht. Besonders wichtig erscheint mir ein Sachverhalt, den uns vor allem Prof. Jeglitsch gezeigt hat, der aber auch aus den Ausführungen von Dr. Krenn und Prof. Wruß hervorging. Die Kernfragen auf der Werkstoffseite - und das gilt vor allem bei den Metallen - liegen nicht bei der Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe, sondern sie liegen bei deren Verarbeitung; sie betreffen die Behandlung der Stoffe, ihre Legierung und Wärmebehandlung, ihren Verbund, das Aufschichten usw.

Zum zweiten ging aus den Vorträgen der genannten Herren kein nennenswerter Bedarfszuwachs an "neuen" Rohstoffen hervor, also an Stoffen, insbesondere Metallen, die bisher in der Rohstoffwirtschaft keine Rolle gespielt haben. Ich erinnere an eine diesbezügliche Diskussion zum Vortrag von Dr. Krenn, wo von weltweit möglicherweise nur einigen tausend Tonnen an Sondermetallen für die Wertstoffe der Mikroelektronik die Rede war.

Aus den drei Vorträgen der Werkstoffleute - Prof. Jeglitsch über das große Spektrum der Metalle, Dr. Krenn über die Werkstoffe der Mikroelektronik und Prof. Wruß über die Werkstoffe auf dem Gebiet der Keramik - ergibt sich daher als wichtiger Sachverhalt für die Rohstoffleute dieser: Unverändert wird es vor allem darauf ankommen, die Rohstoffe möglichst billig zu produzieren und bereit zu stellen. Bezogen auf die Produktionsmöglichkeiten im eigenen Lande hieß es dazu ja auch ausdrücklich in der Diskussion: Sonst importieren wir die Rohstoffe eben.

Im Lande gilt es daher auch unverändert, Lagerstätten von benötigten Rohstoffen aller Art zu suchen, die nach Bonität und Qualität Vorteile gegenüber solchen im Ausland haben. Gleichzeitig ist die technische Entwicklung bei der Lagerstättennutzung weiterzutreiben,

soweit bei uns die Voraussetzungen dafür bestehen. Das sollten jedenfalls unverändert Hauptaufgaben bleiben.

Selbstverständlich sind vorrangig Lagerstätten mit Inhalten an denjenigen Wertstoffen zu suchen, die in zunehmendem Maß benötigt werden, auch wenn heute noch keiner genau weiß, in welchem Maße. Dies gilt - außer für alle in den Vorträgen genannten Metalle bzw. Elemente - im besonderen für die Rohstoffe auf dem Gebiet der Keramik.

Dabei kommt ein Sachverhalt ins Spiel, der im Prinzip für die gesamte Rohstoffgewinnung zutrifft: Je mehr die Natur bereits einen Wertstoff angereichert und je weniger Schadstoffe sie dabei zugelassen hat, umso wertvoller ist der jeweilige Rohstoff. Auf den Gebieten der Keramik benötigen wir in extremer Weise möglichst hochreine Rohstoffe. Nach ihnen ist entsprechend zu suchen.

#### **Ergänzende Hinweise**

Im vorstehenden Zusammenhang sei ergänzend auf folgendes hingewiesen: Kostengünstig bereitgestellte Rohstoffe hoher Qualität ermöglichen im Falle ihrer Weiterverarbeitung eine große Wertschöpfung im eigenen Lande. Daher dürfte es richtig sein, das Thema unseres Symposiums nicht nur von der Bedarfsseite her zu betrachten, d.h. von den Notwendigkeiten, die sich aus bestimmten Werkstoffentwicklungen für neue Technologien ableiten lassen. Im Prinzip ist auch ein umgekehrter Vorgang möglich. Vorkommen seltener Stoffe vermögen - sofern sie dem allgemeinen Trend der Entwicklung dienlich gemacht werden können - auch ihrerseits Anregungen zur Werkstoffentwicklung zu leisten. Mit einer entsprechenden Fertigung ist dann auch eine höchstmögliche Wertschöpfung im Lande erzielbar. Allerdings könnten wir darüber schon aus zeitlichen Gründen nicht diskutieren.

Selbstverständlich mußte auch darüber hinaus sehr vieles zum Thema des Symposiums in den anderthalb Tagen ungesagt bleiben. Das betrifft nicht nur die Massenrohstoffe des Bauwesens, sondern auch die Industriemineralien, die in Österreich eine zunehmende Rolle spielen; zu einem der größten Tagebaue des Landes hat sich z.B. in den letzten 10 Jahren der Bergbau auf Füllstoffe in Gummern (Kärnten) entwickelt. Auch auf die Seltenen Erden und die Platinmetalle konnte z.B. kaum eingegangen werden.

Ergänzend sei aber auch auf die allgemeine Aktualität unseres Themas aufmerksam gemacht. So hat unlängst die Zeitschrift "Scientific

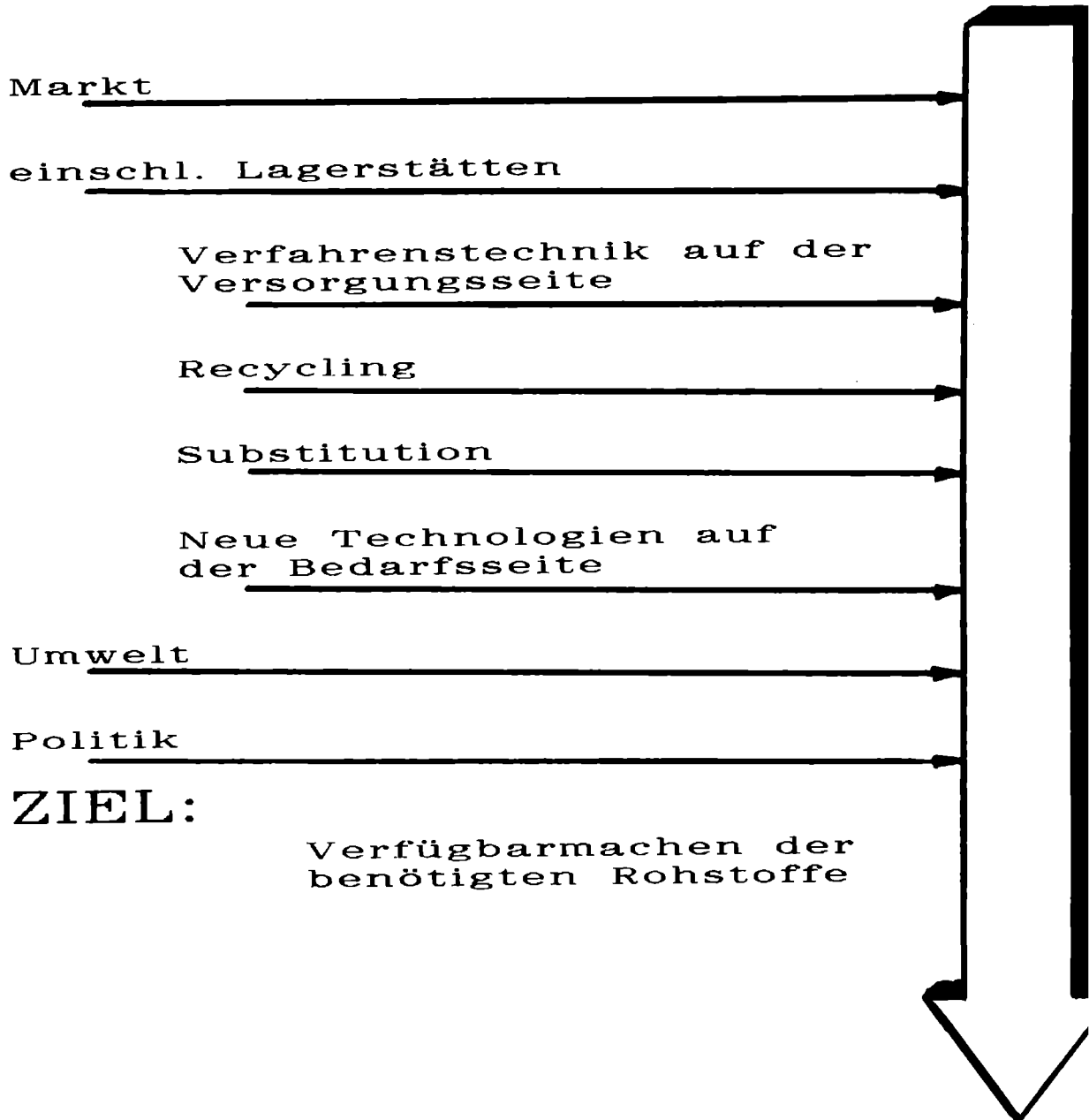


Abb.2.:



American", die bei uns als "Spektrum der Wissenschaft" erscheint, dem Thema eine ganze Serie von Aufsätzen gewidmet. (6) Ferner wird im Herbst 1988 die deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover ihr fünftes internationales Rohstoffsymposium unter dem Thema "Rohstoffe für neue Technologien" abhalten. Nicht zuletzt sei an den Vortrag von Dr. Sterk beim Österreichischen Bergbautag 1986 erinnert. (7)

### **Schlußfolgerungen**

Welche Schlußfolgerungen lassen sich abschließend für das weitere Vorgehen auf den Gebieten der Rohstoffversorgung und der Rohstoffsicherung in Österreich ziehen? Im Zuge der besprochenen "Wende" ist sicher mit weiteren Veränderungen des Rohstoffbedarfes zu rechnen. Dies gilt auch im Hinblick auf die Substitutionen innerhalb des Rohstoffmarktes selbst, auf die Prof. Paschen im zweiten Teil seines Vortrages eingegangen ist.

Daher möchte ich mich zunächst voll den beiden Vorschlägen anschließen, die Dr. Pirkl im zweiten Teil seiner Ausführungen vorgebracht hat. Wir sollten zum ersten die bisherige Strategie und damit auch die offizielle Liste der kritischen Rohstoffe überprüfen, mit einem entsprechenden Aufwand, wie es seinerzeit geschehen ist, und nicht nur in anderthalb Tagen. Ebenso bedeutsam erscheint mir zum zweiten die von Dr. Pirkl vorgeschlagene Aufnahme einer systematischen und umfassenden Erhebung und Auswertung von chemisch-physikalischen Gesteinsparametern im Bundesgebiet, um möglichst vielen zukünftigen Anforderungen entsprechen zu können.

Zum dritten sollten wir uns - wie ich meine - stärker, als dies "manchmal mancherorts" der Fall ist, der Bedeutung der exogenen Bedingungen für das Verfügbarmachen der mineralischen Rohstoffe bewußt sein und damit der Bedeutung von Kosten und Erlösen und der mit ihnen verbundenen technischen Entwicklungen bei der bergbaulichen Produktion. Die Marktbedingungen sind gemäß Abbildung 2 ihrerseits die Funktion vieler Gruppen von Einflußgrößen, die - wie beim Recycling - bis in das Psychologische hineinreichen.

Sehr wichtig ist in diesem Zusammenhang auch ein Sachverhalt, der auf unserer Tagung relativ wenig diskutiert werden konnte, obwohl

---

(6) Vgl. Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1986. Mehrere Aufsätze zum Thema: Moderne Werkstoffe.

(7) Sterk, G.: Neue Rohstoffe für Neue Technologien. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 131 (1986), S. 356-367.

er zunehmender Beachtung bedarf. Ich meine die Umweltpolitik. Hierbei spielen auch Einflußgrößen eine Rolle, die aus politischen Bedingungen erwachsen. Die Zusammenhänge sind entsprechend komplex. Wir dürfen uns dadurch aber nicht davon abschrecken lassen, das Notwendige zu tun, ohne allerdings die Ansprüche zu hoch zu stellen.

Eine nächste Schlußfolgerung stellt die Forderung dar, einschlägige Forschungsbemühungen fortzusetzen. Dies bezieht sich nicht nur auf die Errichtung und Finanzierung des Forschungsschwerpunktes Werkstoffe, die seit Monaten angekündigt worden ist, sondern auch auf die baldige Errichtung des Instituts für Rohstoff- und Grundstoffforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, von welcher der Präsident der Akademie, Prof. Dr. Hittmair, bei seiner Eröffnung gesprochen hat. Die Arbeitsaufnahme dieses von der Akademie gegründeten Instituts ist bisher leider infolge des zeitlichen Zusammentreffens von zwei unglücklichen Umständen unterblieben. Es war dies die Absage des bereits ernannten Geschäftsführenden Direktors des Instituts infolge einer Erkrankung - die wenige Wochen später zu seinem Tode führte - und die in die gleiche Woche fallende Kürzung des Akademiebudgets im März 1987.

Auf jeden Fall sollte ehestens mit einem möglichst umfassenden Forschungsvorhaben zum Thema unseres Symposiums begonnen werden; es steht derzeit als eine Aufgabe der Kommission für die Grundlagen der Mineralrohstoffforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften zur Diskussion.

Damit verbindet sich eine weitere wichtige Schlußfolgerung: Interdisziplinäre Kontakte nach Art dieses Symposiums sind in Zukunft verstärkt zu pflegen.

Angesichts der akuten Situation auf dem Rohstoffsektor fühle ich mich zu guter Letzt noch zu einer besonderen Bemerkung verpflichtet, auch wenn ich damit den Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit etwas relativiere, den ich vorstehend herausgestellt habe. Die Rohstoffversorgung gehört zur Urproduktion. Die Urproduktion nimmt nach meiner festen Überzeugung im Rahmen des gesamten wirtschaftlichen Geschehens eine Sonderstellung ein. Sich der eigenen Möglichkeiten der Urproduktion zu entledigen, wäre gefährlich und daher kurzsichtig. Dies gilt nicht nur für die Landwirtschaft, sondern auch für den Bergbau. Seitdem der Cromagnonmensch auf dem Erdball erschienen ist, hat sich an der Sicherheit des Lebens nicht

allzuviel geändert, auch wenn es uns im Augenblick so gut geht wie noch nie zuvor. Man sollte bei allen Überlegungen der Rohstoffpolitik diese Tatbestände nicht vergessen.





## **Anschriften der Verfasser**

Dr. Helmut Kramer  
Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung  
Arsenal, Objekt 20  
1103 Wien

Oberrat Dr. Leopold Weber  
Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten  
Oberste Bergbehörde  
Landstraßer-Hauptstraße 55-57  
1031 Wien

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Paschen  
Montanuniversität Leoben  
Institut für Technologie und Hüttenkunde der Nichteisenmetalle  
Franz Josef-Straße 18  
8700 Leoben

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Franz Jeglitsch  
Rektor der Montanuniversität Leoben  
Institut für Metallkunde und Werkstoffprüfung  
Franz Josef-Straße 18  
8700 Leoben

Dr. Heinz Krenn  
Montanuniversität Leoben  
Institut für Physik  
Franz Josef-Straße 18  
8700 Leoben

A.o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Werner Wruß  
Technische Universität  
Karlsplatz 13  
1040 Wien

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing. Dr. Rudolf Marr  
Technische Universität Graz  
Institut für Verfahrenstechnik  
Innfeldgasse 25  
8010 Graz

Dipl.-Ing. Dr. Josef Draxler  
Technische Universität Graz  
Institut für Verfahrenstechnik  
Innfeldgasse 25  
8010 Graz

Dr. Hans Wöbking  
Austria Metall AG  
Montanwerke Brixlegg  
6230 Brixlegg

Dipl.-Ing. Dr. Helmuth Habenicht  
VOEST-Alpine AG  
8740 Zeltweg

Oberrat Dr. Herbert Pirkl  
Geologische Bundesanstalt  
Rasumofskygasse 23  
1031 Wien

A.o.Univ.Prof. Dr. Walter Gräf  
Landesmuseum Joanneum  
Raubergasse 10  
8010 Graz

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing.Dr.-Ing.  
Dr.-Ing.h.c. Günter B. Fettweis  
Montanuniversität Leoben  
Institut für Bergbaukunde  
Franz Josef-Straße 18  
8700 Leoben