

Günter B. L. Fettweis

## Urproduktion mineralischer Rohstoffe und Zivilisation – geschichtliche Entwicklungen und aktuelle Probleme\*

### Inhaltsverzeichnis

#### Summary

1. Einleitung
  2. Bedeutung und Verbrauch mineralischer Rohstoffe
    - 2.1 Gegenwärtige Situation
    - 2.2 Geschichtlicher Rückblick
      - 2.2.1 Vorbemerkungen
      - 2.2.2 Zur Wirtschaftsgeschichte
      - 2.2.3 Zur Umweltgeschichte
  3. Probleme der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe
    - 3.1 Faktoren der Verfügbarkeit
    - 3.2 Aktuelle Probleme
  4. Zum Konzept der nachhaltigen Entwicklung
  5. Schlußbemerkungen
- Zitierte Literatur

### Summary

#### *Primary Production of Mineral Raw Materials and Civilization – Historic Developments and Current Problems*

On the occasion of the 150th anniversary of the Austrian Academy of Sciences, its "Commission for Fundamental Research on Mineral Raw Materials" organized a symposium on "Energy Resources and Mineral Raw Materials: How Much Longer?" which took place in Vienna on September 25, 1997. The task of the

---

\* Geringfügig überarbeitete Fassung eines Vortrages beim Symposium „Energievorräte und mineralische Rohstoffe: Wie lange noch?“ der Kommission für die Grundlagen der Mineralrohstoffforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften am 25. September 1997 in Wien, einer Veranstaltung im Rahmen der 150-Jahr-Feier der ÖAW, zuzüglich Anmerkungen und Literaturverzeichnis.

lecture delivered by the author and reflected in this paper was to outline the historic and current framework for the subject of the symposium. This is done in four sections following "1. Introduction". In the first part of section "2. Significance and Consumption of Mineral Raw Materials", the author discusses the present situation. He starts out with the assumption that there is only little public awareness of the relationships between the primary production of mineral raw materials and civilization, and the ensuing significance of mining as the primary producer. Accordingly, among other things, he points out that the entire life world of modern society, as far as its material side is concerned, from houses to infrastructure, consists mainly of transformed deposits of mineral raw materials and that the supply of consumer goods and energy is to a large extent also based on such raw materials. Following that, a historic survey briefly deals with the causes for these relationships and then focusses on the area of economic history since its beginning. After explaining the main factors of economic development which can be seen in population, raw materials/working materials with their consumption figures, and technology, the paper states that since the end of World War II humanity has required a larger amount of mineral raw materials than in all history before that. The associated environmental problems have, among other things, brought into being the field of environmental history, which is treated briefly in the third part of section two. – Section "3. Problems of the Availability of Mineral Raw Materials" first introduces four groups of factors on which availability depends. These groups differ accordingly whether they are geologically, technically-economically, ecologically or politically determined. They are further subdivided in a table contained in the text. After that, the most important current problems associated with these factors are discussed. The present state of discussions following the publication in 1972 of Dennis Meadows' "The Limits to Growth" shows that the mentioned limits do not – as was expected then – lie in the availability of raw materials but rather in the earth's capacity to bear the emissions. Regarding mineral raw materials, in contrast, there is obviously a "Growth of Limits". From the author's point of view, especially the technical-economic developments regarding the utility value of materials in the earth's crust and regarding the accessibility and mineability of their occurrences have a great deal of influence for that. Section "4. On the Concept of Sustainable Development" contains both a basic approval of this concept as well as criticism of a partly represented unrealistic, and therefore damaging aim to do without utilizing the earth's crust as soon as possible. On the contrary, as stated in "5. Conclusions", it will be most important to effect the necessary utilization as carefully as possible and, for that purpose, develop a kind of geoethics.

## 1. Einleitung

Die Aufgabe dieser Ausführungen ist es, den historischen und den aktuellen Rahmen zu umreißen, in dem das Thema des Symposiums „Energievorräte und mineralische Rohstoffe: Wie lange noch?“ zu sehen ist. Das vorstehende Inhaltsverzeichnis zeigt die dafür gewählte Vorgangsweise. Wenn nicht anders vermerkt,

werden die angesprochenen Energievorräte einschließlich von Erdöl und Erdgas als Teil der mineralischen Rohstoffe betrachtet. Zur Urproduktion dieser Stoffe steht uns in erster Linie die feste Erdkruste – wie in Bild 1 am Steirischen Erzberg – zur Verfügung.

Die Entnahme der festen mineralischen Rohstoffe aus der Erdkruste geschieht durch den Bergbau. Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei ausdrücklich vermerkt, daß der Bergbau entsprechend im weitesten Sinne verstanden wird und so auch zu verstehen ist. Das gilt nicht nur aus der Sicht des vom Verfasser vertretenen wissenschaftlichen Fachs, d. h. von Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft, sondern auch aufgrund von internationalen Definitionen, darunter noch unlängst einer der Internationalen Arbeitsorganisation der Vereinten Nationen in Genf (ILO, 1995). Im öffentlichen Bewußtsein ist allerdings oft nicht präsent, daß dieses Verständnis jedenfalls auch die Urproduktion der Rohstoffe für das Bauwesen einschließt, d. h. der Steine, Erden, Tone, Sande und Kiese, und daß diese Stoffe sogar die bei weitem größte Fördermenge des Bergbaus auf der Welt stellen.

Im weitesten Verständnis, wie es in Österreich vorherrscht, zählt auch die Gewinnung von Erdöl und Erdgas zum Bergbau. Dagegen trifft dies nicht für die Wassergewinnung zu. Auch wird das Wasser im allgemeinen ebenso wie in diesem Symposium nicht in den Sammelbegriff „mineralische Rohstoffe“ einbezogen, obwohl es fraglos ein Rohstoff und – jedenfalls im weiteren Sinne – auch mineralischer Natur ist.

## **2. Bedeutung und Verbrauch mineralischer Rohstoffe**

### *2.1 Gegenwärtige Situation*

Die Ausführungen zum Abschnitt 2. mögen mit zwei an sich trivialen Feststellungen beginnen. Wegen des häufig mangelnden Bewußtseins dieser Sachverhalte in der Öffentlichkeit ist jedoch immer wieder auf sie zu verweisen (FETTWEIS, 1994 b, 1995). Sie lauten:

1. Die Wirtschaft liefert die materielle Basis für unsere Zivilisation und Kultur, gleichgültig, wie man die beiden letztgenannten Begriffe versteht (ELIAS, 1995).

2. Die Wirtschaft ihrerseits beruht auf der Verarbeitung von Rohstoffen, die ihr von ihrer ersten Stufe, d. h. von der Urproduktion aus der Natur, zur Verfügung gestellt werden. „Natur und Arbeit (sind) die beiden einzigen direkten Güterquellen“, so hat dies vor fast 150 Jahren der berühmte Wiener Montanist Otto von Hingenuau beschrieben, wobei Güter all das meinen, was wir materiell für unser Leben und unseren Wohlstand benötigen (v. HINGENAU, 1849).

In der Öffentlichkeit ist vor allem auch das Zusammenspiel dieser beiden Sachverhalte vielfach wenig bewußt. Das gilt entsprechend auch bezüglich der Bedeutung des Bergbaus als Urproduzent. Es waren ja nicht nur die Zinkbade-

wannen in den Haushalten unserer Großeltern, sondern es sind auch die Plastikkübel in unseren Haushalten, die sich letztlich auf einen Bergbau zurückführen lassen. Daher sei in diesem Zusammenhang noch das folgende dargelegt, das oft nicht beachtet wird.



Abb. 1: Steirischer Erzberg, Foto Fr. Ebner, Leoben/Graz. – *Beispiel für Lagerstättenextraktion*

Soweit sie materiell bestimmt ist, besteht unsere gesamte Lebenswelt – wie z. B. in den Bildern 2 und 3 die Bundeshauptstadt Wien – mit ihren Straßen und Wohnungen, mit ihren Schulen, Krankenhäusern und Kirchen, mit ihren Werkstätten und Fabriken und mit all den zugehörigen Einrichtungen zum überwiegenden Teil aus weiterverarbeiteten mineralischen Rohstoffen, die aus der Erdkruste gewonnen worden sind (s. Bild 1 und 4). D. h. sie besteht aus transformierten Lagerstätten dieser Stoffe. Der Inhalt dieser Lagerstätten ist durch Bergbau zunächst extrahiert worden, um dann in weiteren Schritten in Werkstoffe der verschiedensten Art und in Baustoffe sowie schließlich in Produktionsgüter und in Infrastruktur im weitesten Sinne umgewandelt zu werden. Der gleiche Prozeß gilt für einen sehr bedeutsamen Teil unserer Konsumgüter. Und auch die ungeheuren Energiemengen, die zum Ablauf all dessen und damit für unser Leben benötigt werden, stammen in Gestalt von Kohle, Erdöl und Erdgas und – weltweit gesehen – auch in der von Kernbrennstoffen zum überwiegenden Teil aus unserer Erdkruste.

Im Durchschnitt werden je Kopf der Bevölkerung in den entwickelten Industriestaaten zur Zeit jährlich 15 bis 20 t Stoffe aus der Erdkruste benötigt,

also etwa ein halber Eisenbahnwagon, um die vorhandene Infrastruktur aufrecht zu erhalten, um sie weiter zu verbessern und auszubauen und um unsere Lebensbedürfnisse zu decken. Angesichts von Grauzonen der Statistik, vor allem bei den Baurohstoffen, sind die Mengen möglicherweise sogar noch höher.<sup>1</sup>



Abb. 2: Wien, Luftaufnahme (POPELKA, 1997). – *Beispiel für transformierte Lagerstätten*

Das folgende Beispiel möge gleichfalls den gegenwärtigen Stand kennzeichnen. Ein Computer enthält je nach Bauart 20 bis 30 verschiedene mineralische Rohstoffe. Und für deren Bereitstellung sind viele Tonnen Erdkrustenmaterial zu bewegen. Auch unsere Informations- und Kommunikationsgesellschaft ist also entsprechend ohne eine materielle Infrastruktur auf der Basis mineralischer Rohstoffe nicht möglich.

Vor allem ist mit all dem, was soeben umrissen wurde, eine Fülle von Lebensvorzügen verbunden (LÜBBE, 1990). Durch diese Vorzüge auf der Basis der Verfügbarkeit von Rohstoffen aus der Erdkruste unterscheidet sich unser Leben

---

<sup>1</sup> Für Österreich kann der diesbezügliche Verbrauch allein bei festen mineralischen Rohstoffen – einschließlich eines geschätzten Rohstoffförderäquivalents für Importe – auf jeden Fall auf etwa 18 t je Kopf und Jahr oder auf rund 145 Mio. t je Jahr veranschlagt werden (FETTWIS, 1997a). Darin enthalten ist eine Menge von 104 Mio. t je Jahr oder rund 13 t je Kopf und Jahr an Baurohstoffen, die im Land selbst gefördert werden. Das entspricht einem Kubus – in Lockermaterial gerechnet – von rund 400 m Kantenlänge.

in den Industrieländern heute fundamental von dem unserer Vorfahren. Dazu gehört nicht nur die Anhebung des allgemeinen Gesundheitsniveaus und der Lebenserwartung, sondern auch die Befreiung von der ständigen Angst vor Hunger und von dem Zwang zu niederdrückender und physisch und psychisch korrumpierender Arbeit, die noch vor wenigen Generationen auch in Europa weit verbreitet war. Zu nennen sind ferner die Mehrung von sozialer Sicherheit und von sozialem Frieden sowie insbesondere von disponiblen Teilen unserer Lebenszeit und damit verbunden von individueller Selbstbestimmung. Das ist in einem Maße der Fall, das sich auch der besser gestellte Teil unserer Vorfahren kaum hätte erträumen können.



Abb. 3: Wien, Blick über die Ringstraße beim Stadtpark zur Karlskirche (HAUSNER, 1991)

Um die zur Aufrechterhaltung und weiteren Verbesserung unserer Zivilisation benötigten mineralischen Rohstoffe aus der Natur zu extrahieren, sind aber selbstverständlich Eingriffe in diese Natur und damit in unsere Umwelt durch Bergwerke des Tagebaus (Bild 1), des Untertagebaus (Bild 4) und des Bohrlochbergbaus erforderlich. Im Gegensatz zur Landwirtschaft sind diese zwangsläufig notwendigen Eingriffe im einzelnen jedoch zeitlich begrenzt und sie beanspruchen auch in ihrer Abfolge wesentlich kleinere Flächen. Im großen Durchschnitt der Bergbauländer entfallen auf eine laufende Beeinflussung durch Bergbau nur wenige Promille der Landoberflächen, u. a. je nach Bevölkerungsdichte. In Österreich kann dieser Wert auf etwa 2,7 Promille veranschlagt werden.

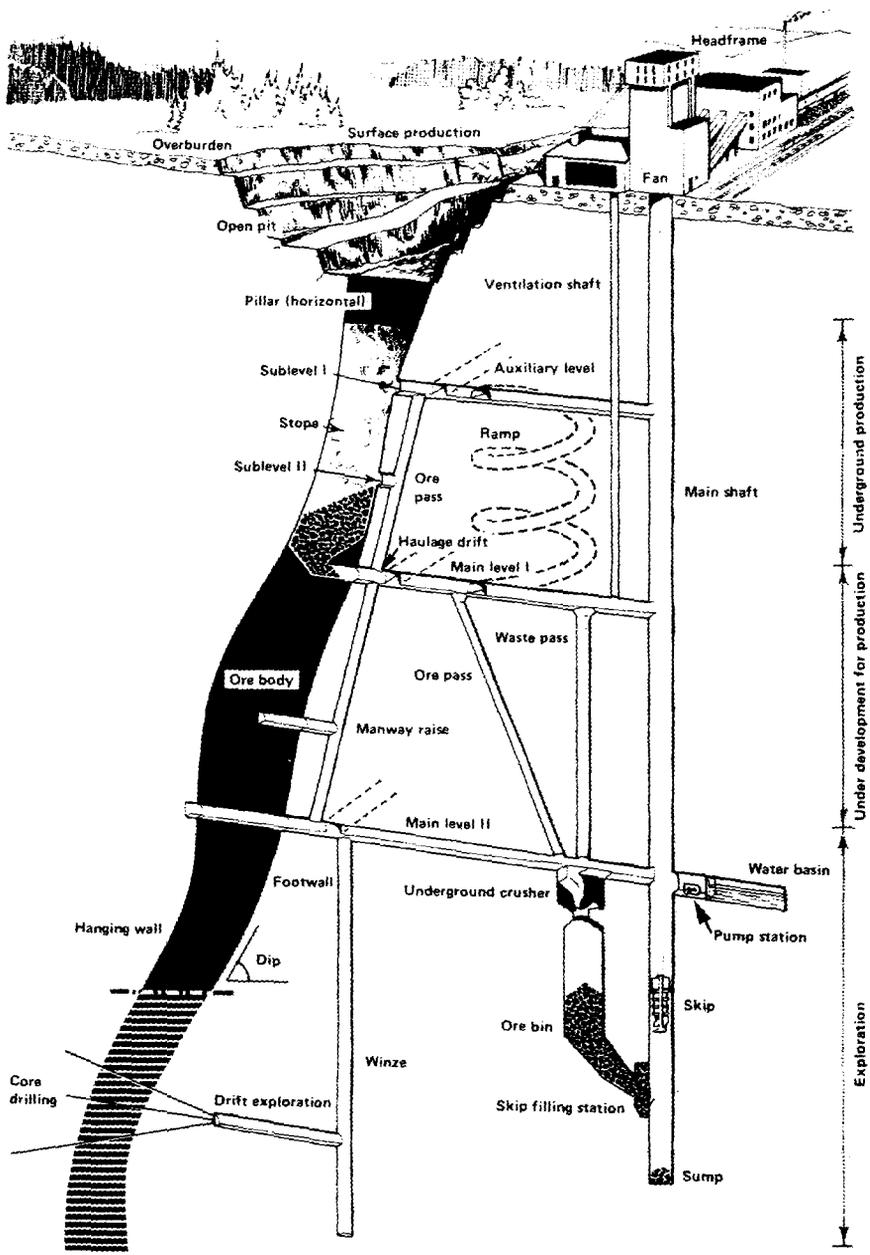


Abb. 4: Untertagebau in Fortsetzung eines Tagebaues (HUSTRULID, 1982)

Ohne Frage wären aber bei Versuchen, die aufgezeigten Zusammenhänge in einer Kosten-Nutzen-Rechnung zu quantifizieren, zumindest große Teile der genannten Eingriffe auf der Kostenseite zu verbuchen. Allerdings würde bis zum heutigen Tage und im großen Durchschnitt gesehen der Saldo einer solchen Rechnung auf jeden Fall positiv zugunsten der Rohstoffversorgung und damit auch des Bergbaus auszugehen haben. Andererseits gehört aber die Befürchtung, daß sich dies durch zunehmende, da nicht mehr ausreichend beeinflussbare Umweltzerstörungen in einer absehbaren Zukunft umkehren könnte, gleichfalls zu unserer heutigen Zivilisation. Dies wird im dritten Abschnitt der Ausführungen noch einmal zur Sprache kommen.

Zuvor ist es jedoch nützlich, etwas näher auf geschichtliche Entwicklungen einzugehen. Eine solche Rückwendung zu vergangenen Epochen ist geeignet, das Verständnis und die Beurteilung der Situation in der Gegenwart zu verbessern.

## *2.2 Geschichtlicher Rückblick*

### 2.2.1 Vorbemerkungen

Zwischen der Geschichte unserer Zivilisation und Kultur sowie der Urproduktion mineralischer Rohstoffe und damit dem Bergbau bestehen in der Tat viele und sehr mannigfache Zusammenhänge.<sup>2</sup> Vor allem ist dies der Fall, da mineralische Rohstoffe neben den Produkten der belebten Natur die materielle Grundlage jeder historischen Epoche gebildet haben. Und Änderungen im Wechselspiel der historisch wirksamen Kräfte, welche die Art und damit die Eigenschaften sowie die Menge der verfügbaren Rohstoffe betreffen, bestimmen dann ihrerseits maßgeblich wieder das übrige historische Geschehen in fast allen seinen Teilgebieten. Das reicht bis zur Kunstgeschichte (Bild 5). Mit Recht werden daher auch die Fortschritte der Zivilisation mit Montanprodukten bezeichnet: Steinzeit, Kupferzeit, Bronzezeit, Eisenzeit, Zeitalter von Kohle und Stahl und von Erdöl.<sup>3</sup>

Eine große Bedeutung für das historische Geschehen besitzen neben Menge und Eigenschaften der verfügbaren Rohstoffe aber auch die geologisch bedingten Wesenszüge ihrer Lagerstätten. Das betrifft vor allem ihre Standort-

---

<sup>2</sup> Von der zu diesen Zusammenhängen verwendeten Literatur mögen hier außer den im Text angeführten die folgenden Arbeiten genannt sein: FISCHER, 1986; GEISS, 1993, 1995; GREGORY, 1980; HEILFURTH, 1972, 1981; LUDWIG u. SIKA, 1989; RICKARD, 1974; SLOTTA, 1988; SUHLING, 1988; WILSDORF, 1987; WILSON, 1994; WINKELMANN, 1971. Vgl. dazu ferner: FRIEDENSBURG, 1966; sowie FETTWEIS, 1996 u. 1997b.

<sup>3</sup> Außer den genannten Stoffen haben im geschichtlichen Ablauf vor allem auch die Edelmetalle und Edelsteine eine herausragende Stellung eingenommen. Dies ist der Fall, da sie infolge ihrer Merkmale Schönheit, Seltenheit und Beständigkeit geeignet sind, Reichtum und Macht im wörtlichen Sinne des Wortes zu verkörpern.



Abb. 5: Bergbau in den Alpen. Federzeichnung von Hans Holbein d. J. um 1530; Britisches Museum London. – Die Zeichnung wird wegen ihrer Darstellungskraft und Dramatik als ein herausragendes, ja als ein geniales Meisterwerk bezeichnet (Winkelmann, 1971)

gebundenheit und ihre ungleichmäßige Verteilung über den Erdball. Daneben sind aber auch die Verborgenheit der Lagerstätten in der Erdkruste anzuführen, ihre ungleiche Ausbildung im Hinblick auf ihren Reichtum, die besonderen Gefahren bei ihrem Abbau und die damit verbundenen Herausforderungen sowie ihre Endlichkeit. Als zugehörige Einflußnahmen auf die Geschichte sind vor allem die Suche nach und der Kampf um Lagerstätten zu nennen sowie die mit deren Abbau unmittelbar verbundenen sozialen und technischen Prozesse und Probleme. Auch aus diesen Gründen beeinflusst der Bergbau keineswegs nur die

Geschichte von Wirtschaft und Umwelt, sondern auch viele der übrigen großen historischen Teilbereiche.<sup>4</sup>

### 2.2.2 Zur Wirtschaftsgeschichte

Der größte Einfluß der Urproduktion mineralischer Rohstoffe auf die Entwicklung der Zivilisation betrifft aber fraglos den Bereich der Wirtschaftsgeschichte. In der Tat war es ein weiter Weg, der das Dasein der Vormenschen und ihren Lebenskampf vor vielen 100.000 Jahren von unserem Leben heute trennt (Bild 6 und 7). Den Lebensbedingungen, darunter den Behausungen in Höhlen oder Zelten, und den einfachen Steinwerkzeugen unserer damaligen Vorfahren stehen heute die außerordentlich vielgestaltige Lebenswelt und die Lebensvorteile gegenüber, die schon angesprochen wurden.

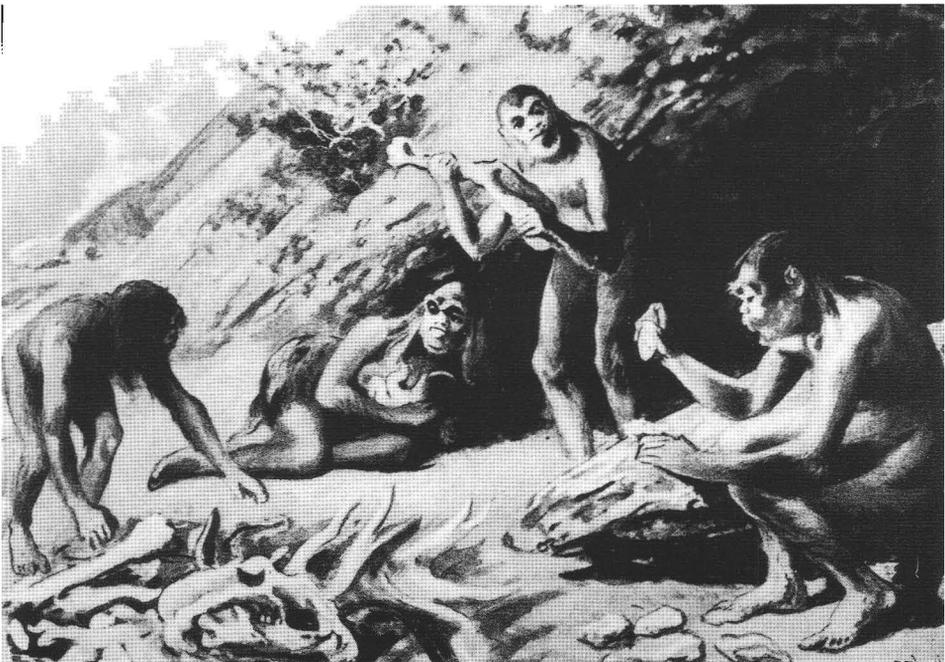


Abb. 6: Darstellung von Menschen im Altpaläolithikum (CUNLIFFE, 1996). Das in England im Jahre 1906 angefertigte Bild ist in Einzelheiten umstritten. – *Beispiel für Gestern*

<sup>4</sup> Einige Hinweise mögen die im Text getroffenen Aussagen untermauern. – In der politischen Geschichte bilden die Suche nach und der Kampf um Rohstofflagerstätten sowie die Macht, die aus ihrer Verfügbarkeit erwachsen kann, einen über die Jahrtausende konstanten historischen Mechanismus (GEISS, 1995). – Die Geschichte der Technik setzt mit der Geschichte des Menschen selbst ein, d. h. damit, daß man begann, Werkzeuge planmäßig herzustellen und dazu geeignete Steine aufzusuchen und zu gewinnen. (Fortsetzung auf S. 18)



Abb. 7: Wien, Blick auf den Graben, Fußgängerzone (HAUSNER, 1991). – *Beispiel für Heute*

In der großen dazwischen liegenden Zeitspanne durchzieht, wie es der Historiker Geiss (1995) ausdrückt, allen Schwankungen zum Trotz, ein Kontinuum die menschliche Entwicklung. Das ist das Wachstum aller in wirtschaftlicher Hinsicht wesentlichen Faktoren wie insbesondere die Zunahme der Bevölkerung, der Produktion, der Produktivität sowie der Zahl der verfügbaren Stoffe und der Erfindungen. „Abstrakt läßt sich dieses existentielle Wachstum mit einer Exponentialkurve ausdrücken, die zuletzt immer steiler und rasanter ansteigt“ (GEISS, 1995).

Das veranschaulicht auch gut das Bild 8, das der Verfasser – mit geringfügigen Anpassungen – Publikationen werkstoffwissenschaftlicher Kollegen entnommen hat (PETZOW, 1987; DANZER u. FELLNER, 1997). Es zeigt das Wachstum für die Faktoren Mensch, Rohstoff-Werkstoff und Technik, für die letzten beiden gemessen an einer geschätzten Zahl der Ereignisse. Waagrecht ist in einer gestauchten Form die Zeitachse dargestellt.

---

(Fortsetzung der Fußnote 4 von S. 16)

Im weiteren Verlauf ist die technische Entwicklung sodann durch die spezifischen Eigenschaften vieler Rohstoffe und durch die besonderen Herausforderungen maßgeblich mitbestimmt worden, die sich für den Bergbau in vielen Fällen aus seiner unmittelbaren Konfrontation mit der Natur ergaben. Jede mit Gefahren für den Menschen verbundene Konfrontation, nicht etwa nur der Krieg, der in diesem Zusammenhang i. d. R. genannt wird, ist ein Vater vieler Dinge. Damit hängt auch zusammen, daß sich in der Neuzeit die Montanwissenschaften als älteste zivile wissenschaftliche Disziplin der Technik herausgebildet haben (WAGENBRETH, 1995); Stichworte dafür sind Georgius Agricola im 16. Jahrhundert sowie die Bergakademien im 18. Jahrhundert. – Am Beginn der Geschichte von Kultus und Kunst steht die Verwendung von Blutstein, d. h. von Rotocker, für einschlägige Zwecke, darunter für Bestattungen, in der Altsteinzeit. Dafür – und damit in eher magisch bestimmten Zusammenhängen und nicht, wie man lange annahm, zur Gewinnung des praktisch bedeutsamen Feuersteins – ist auch, wie wir heute wissen, der erste Bergbau unter Tage entstanden. Vor 30.000 bis 40.000 Jahren geschah dies bereits im Swaziland im südlichen Afrika (GREGORY, 1982) und vor 12.000 bis 15.000 Jahren auf der Mittelmeerinsel Thasos (BARTELS, 1990). In diesen Zusammenhang gehören ferner die Beiträge, die ein durch Bergbau geschaffener Reichtum generell zur kulturellen Entwicklung geleistet hat, wie z. B. der Silberbergbau von Laurion zur Glanzzeit der griechischen Antike (CONOPHAGOS, 1980). – Ähnlich wie bei der Technik und teilweise auch bei Kultus und Kunst hat der Bergbau des weiteren im Bereich der Sozialgeschichte manche Schrittmacherdienste geleistet. Ein Beispiel hierfür sind der Frühkapitalismus im Montanwesen der Renaissance und die damals bereits entwickelten bemerkenswerten Arbeitsordnungen zur Lösung von sozialen Fragen, vom Verbot von Frauen- und Kinderarbeit bis zur Fünf-Tage-Woche sowie zu dem wahrscheinlich ersten von einer Versicherungsgemeinschaft getragenen Berufskrankenhaus, dem 1510 in Schwaz gegründeten Bruderhaus der Tiroler Bergleute. Mit großem Recht wird daher auch von einer entsprechenden frühen Kulturleistung des europäischen Montanwesens gesprochen (LUDWIG & SIKI, 1989), auch wenn von diesen Fortschritten im weiteren Verlauf zeitweise wieder vieles verloren ging. – Weitere Ausführungen zu alledem finden sich bei FETTWEIS 1996b und 1997b sowie bei FRIEDENSBURG 1966.

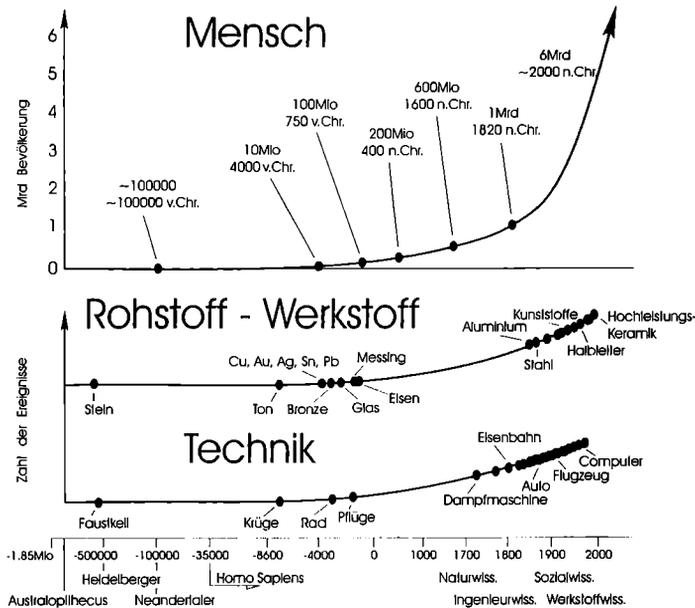


Abb. 8: Die Evolutionskurve von Mensch, Rohstoff-Werkstoff und Technik (PETZOW, 1987; DANZER u. FELLNER, 1997; mit geringfügigen Ergänzungen durch den Verfasser)

Allerdings erscheint an dieser Stelle ein Exkurs angebracht. Der steile Ast des Bevölkerungswachstums ist nach jüngsten Untersuchungen am Institut für Angewandte Systemanalyse, dem IIASA in Laxenburg bei Wien, bereits dabei, sich abzuflachen und in den oberen Teil einer logistischen bzw. S-Kurve, d. h. einer normalen Wachstumskurve, überzugehen (LUTZ et al., 1997). Nach den diesbezüglichen Rechnungen wird sich daher auch – entgegen früheren Annahmen – die Weltbevölkerung mit größter Wahrscheinlichkeit nicht mehr verdoppeln. Sie dürfte stattdessen in der zweiten Hälfte des kommenden Jahrhunderts einen Höhepunkt bei etwa 11 Mrd. Menschen erreichen, um sich dann wieder langsam zu verringern. In den Bereichen Rohstoff-Werkstoff und Technik kann von einer gleichartigen Abflachung der Entwicklung dagegen keineswegs die Rede sein.

Zwei Epochen während des im Bild gezeigten Geschehens werden als „Revolutionen“ angesprochen, da in ihnen die Wachstumsfaktoren besonders stark auftreten. Es ist dies zum ersten die agrarische Revolution, das heißt der Übergang vom Dasein der Menschen als Jäger und Sammler zu Ackerbau und Viehzucht mit Beginn im achten bis siebenten Jahrtausend vor Christi, d. h. in der jüngeren Steinzeit, aus der auch das Bild 9 stammt. Und es ist zum zweiten die industrielle Revolution seit etwa dem Ende des 18. Jahrhunderts nach Christi, in deren Ablauf wir heute noch leben.

Notwendigerweise war bereits die landwirtschaftliche Revolution mit einer beträchtlichen Ausweitung und einem Anstieg der Urproduktion von mi-

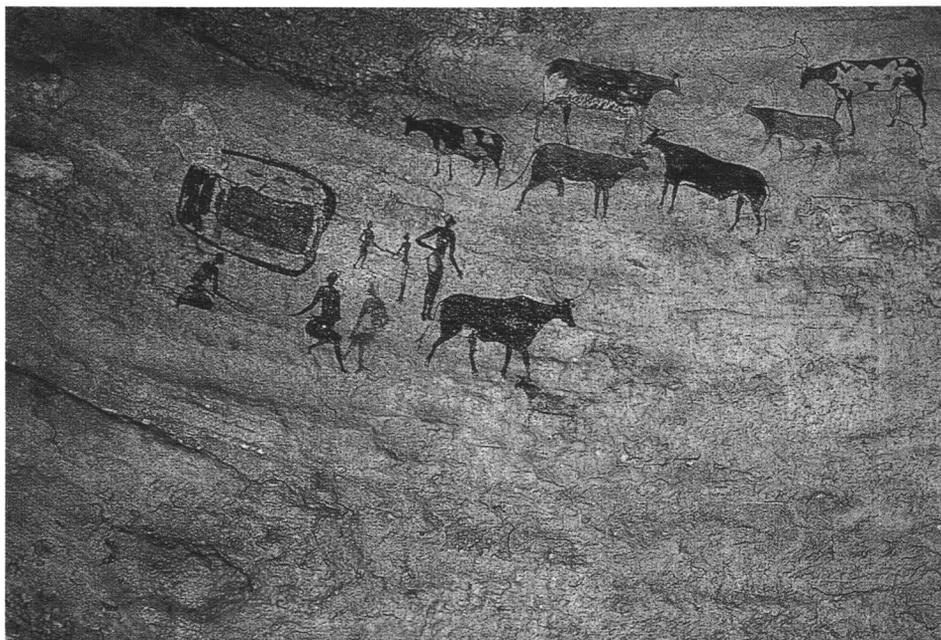


Abb. 9: Hirten mit Vieh, Felsmalerei aus der Tassili-Region in der mittleren Sahara (damals Grasland), Entstehung um 6000–3500 v. Chr. (PARKER, 1996)

neralischen Rohstoffen verbunden.<sup>5</sup> Man denke nur an die notwendigen Geräte und Vorratsbehälter. Diese Zunahme verstärkte sich, als um etwa 3000 v. Christi die ersten Hochkulturen und die damit verbundenen Bauten entstanden, vor allem an Euphrat und Tigris und am Nil (Bild 10), und die Menschen es im Zuge dieser Entwicklung bzw. in den folgenden Jahrhunderten auch lernten, in größerem Umfang Metalle zu produzieren. Damit setzte, was für die Entwicklung der Zivilisation sehr wichtig ist, auch der erste Fernhandel ein. Schon in der Kupferzeit etwa 3000 v. Christi beginnen ferner Gold und in geringerem Umfang Silber Mittel zur wertbeständigen Akkumulation bzw. Konkretisierung von Reichtum zu werden und damit zur Verkörperung – im wörtlichen Sinne – von Reichtum und Macht. Einen besonderen Schritt in diesem Zusammenhang bildete der Beginn der Geldwirtschaft nach der erstmalig

---

<sup>5</sup> Dies betraf z. B. die Gewinnung von Steinen und Erden für verbesserte Werkzeuge, für Mühlsteine, für Krüge, für Schreibtäfelchen und für Bauten. Darüber hinaus mußte nunmehr auch Salz gewonnen werden, als Konservierungsmittel und wegen der veränderten Ernährung der Menschen, bei welcher der Salzbedarf nicht mehr ausreichend durch den Salzgehalt des Fleisches gejagter Tiere gedeckt werden konnte. Nicht zuletzt wurde im Verlauf dieser Entwicklung erstmalig auch Metall in Gestalt von gediegen vorkommendem Kupfer genutzt. – Erdfarben dienten Zwecken der Kunst (s. Abb. 9) und des Mythos.

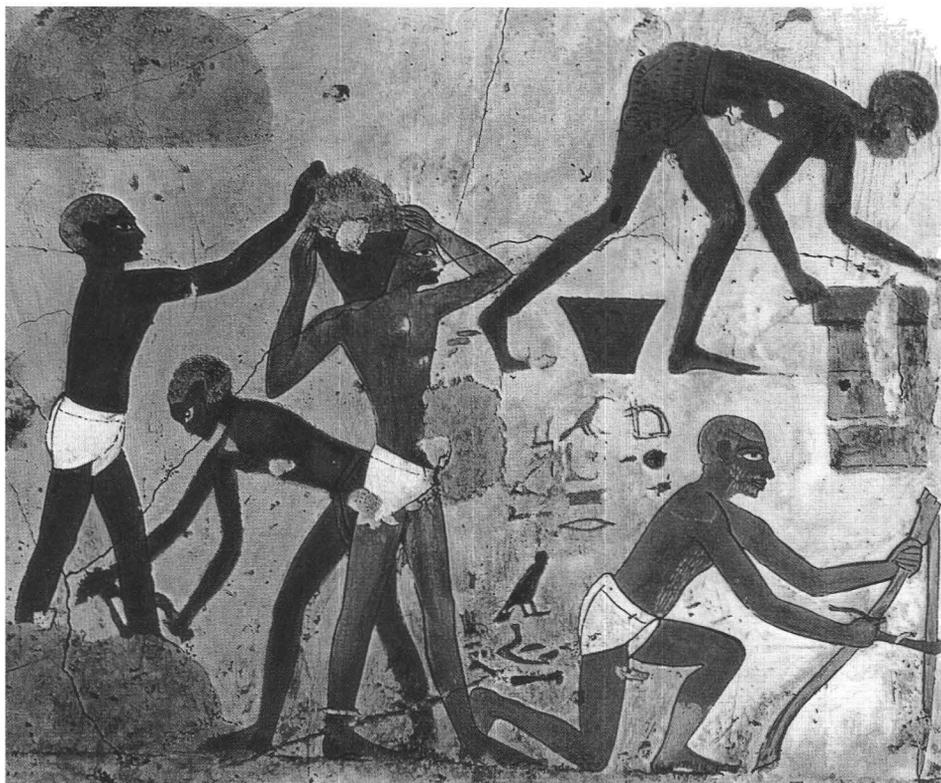


Abb. 10: Gewinnung von Lehm zur Herstellung von Ziegeln, Fries aus der altägyptischen Königsstadt Theben (ZENTNER, 1995)

gen Prägung von Münzen aus Edelmetall in Kleinasien um etwa 600 vor Christi (NORTH, 1995).<sup>6</sup> Bild 11 zeigt frühe Münzen.

Im übrigen verlief aber die weitere Entwicklung von Bergbau und Wirtschaft und ihrer Beziehungen zueinander bis zu Beginn des 19. Jahrhunderts eher langsam. Noch Goethe lebte in wirtschaftlicher Hinsicht nicht viel anders als ein Edler im alten Ägypten, und der Alltag der ihm zeitgenössischen, zur Robot verpflichteten Bauern in den Alpen dürfte sich – sieht man von Landschaft und Klima ab – wenig von dem der Fellachen am Nil 2000 Jahre vorher unterscheiden haben.

<sup>6</sup> Diese Übertragung der Geldfunktion auf die Edelmetalle wurde relativ schnell im ganzen Mittelmeerraum und Nahen Osten übernommen. Sie führte zu der überragenden ökonomischen Bedeutung, welche nicht nur im Altertum, sondern auch im Mittelalter und in der Neuzeit bis in unsere Tage die Münzmetalle Gold und Silber und damit der zugehörige Bergbau besitzen haben. Wertmäßig gesehen ist diese Bedeutung erst im Laufe der Neuzeit von derjenigen der Gebrauchsmetalle und der fossilen Brennstoffe übertroffen worden.



Abb. 11: Frühe Münzen; von oben nach unten: phönizischer Schekel (385–372 v. Chr.), lydischer Stater (560–546 v. Chr.), persischer Dareikos (um 500 v. Chr.). (PARKER, 1996)

Das änderte sich in den letzten 1 ½ bis 2 Jahrhunderten dramatisch mit der industriellen Revolution, zu der anfangs sehr maßgeblich die Entwicklung des Eisenbahnwesens gehörte (Bild 12), und mit der damit verbundenen zunehmenden Verfügbarkeit fossiler Energie. Nicht zuletzt wegen dieser Verfügbarkeit begann diese Entwicklung in England als dem an oberflächennahen Kohlenlagerstätten wohl reichsten Land Europas. Sie hat sich dann im 19. Jahrhundert zunächst ungefähr entlang den großen europäischen Kohlenvorkommen ausgebreitet – von Belgien über Nordostfrankreich, das Saar- und das Ruhrgebiet, Böhmen, Oberschlesien bis zum Donezbecken – und hat schließlich die ganze Welt erfaßt. Sie be-

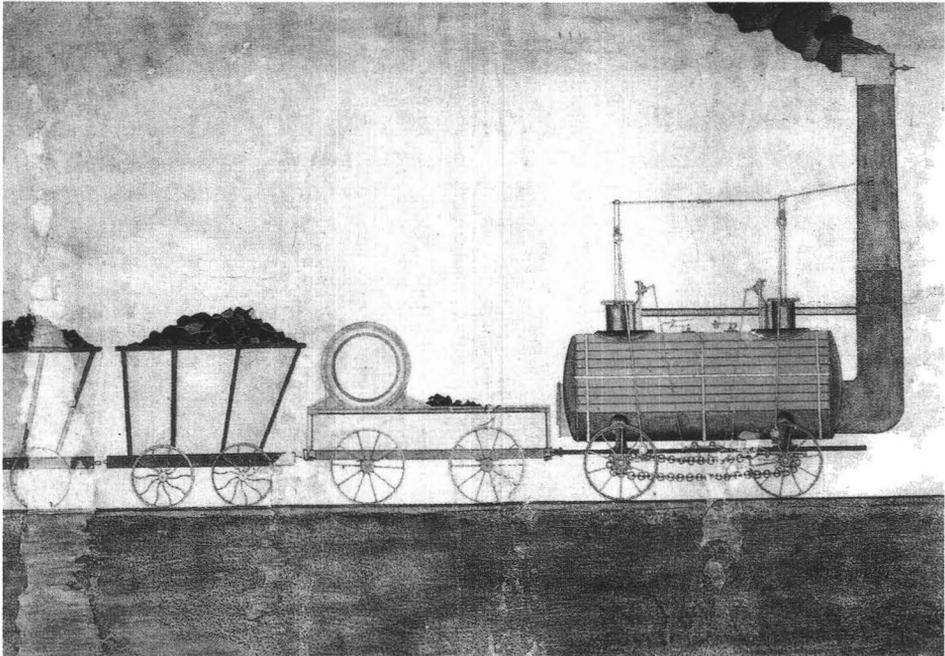


Abb. 12: Dampflokomotive Killingworth von Georg Stephenson; möglicherweise eigenhändiges Aquarell des britischen Eisenbahningenieurs, um 1815. (PAULINYI u. TROITZSCH, 1997)

stand aus einer Zunahme von Produktion und Produktivität in einem gewaltigen Umfang. Während in früheren Zeiten der Gebrauch von höherwertigen Gütern auf der Basis mineralischer Rohstoffe, insbesondere von Metallen, vornehmlich nur auf wenige privilegierte Gruppen von Menschen beschränkt war – Adel, Kirche, Armee –, weitete er sich nunmehr zunehmend auf die Masse der Bevölkerung aus. Infolgedessen hat sich die industrielle Produktion auf der Erde seit der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts um fast den Faktor 100 vermehrt und diejenige pro Kopf der Bevölkerung um etwa das 15fache (BAIROCH, 1982).

Beispiele für die gewaltigen Produktions- und damit auch Verbrauchssteigerungen der letzten 100 Jahre vermitteln die Abbildungen 13, 14 und 15. Der in



Abb. 13: Entwicklung des jährlichen Verbrauchs von Aluminium, Blei, Kupfer und Zink auf der Erde 1892–1992 (MACQUEEN u. NÖTSTALLER, 1997)

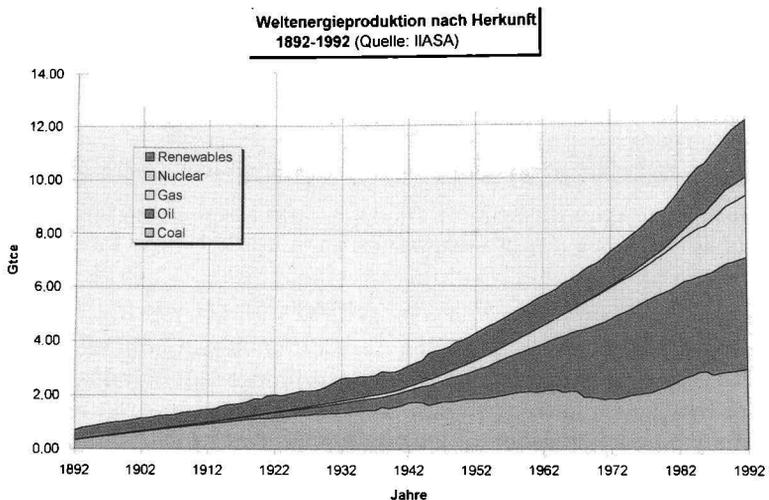
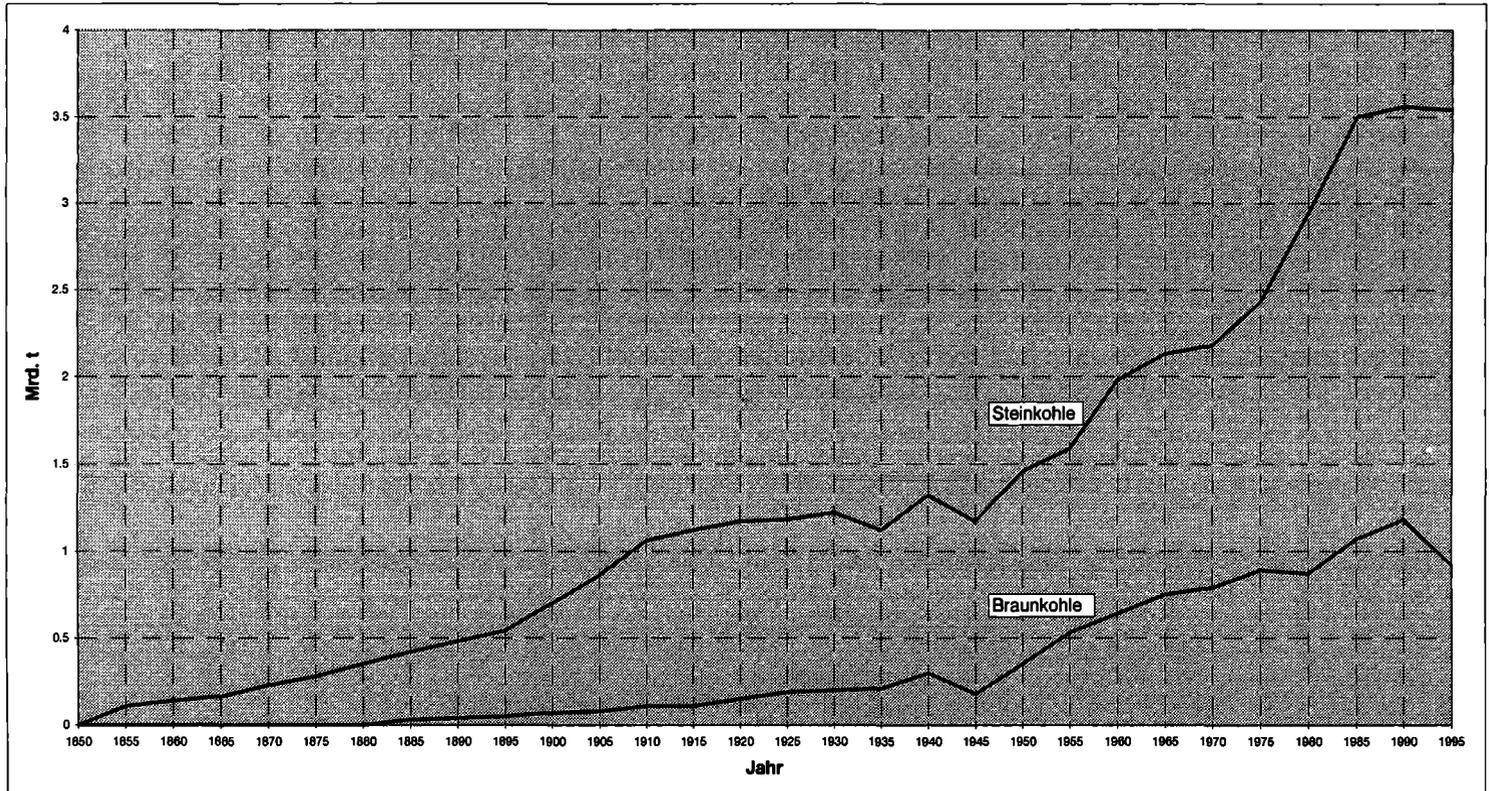


Abb. 14: Entwicklung der Energieproduktion auf der Erde nach Herkunft 1892–1992 (MACQUEEN u. NÖTSTALLER, 1997)

## Stein- und Braunkohleförderung, Welt 1850 - 1995 (Mrd. t) - Jahresförderung -



Steinkohleproduktion 1850 - 1995 insgesamt rd. 187 Mrd. t  
 Braunkohleproduktion 1850 - 1995 insgesamt rd. 47 Mrd. t

Zusammengestellt von R. Ehrhardt  
 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
 Hannover, 1996, unveröffentlicht

Quelle: Friedensburg, F. (1948), (1956), (1965): Die Bergwirtschaft der Erde.- 4., 5., 6. Auflage; Stuttgart (F. Enke)  
 Jahresbericht des Reichskohlenverbandes für das Geschäftsjahr 1936/37, 1937/38, 1938/39  
 Melsner, M. (1925), (1932): Weltmontanstatistik 1860-1922.- I: 15-75, 1920-1930.- II: 5-45; Stuttgart (F. Enke)  
 Statistik der Kohlenwirtschaft - Zahlen zur Kohlenwirtschaft -; Essen (Glückauf)  
 UN-ECE, Energy/WP.1/R41/Add.1, August 1995

Abb. 15: Entwicklung der Jahresfördermenge in Milliarden t von Steinkohle und Braunkohle auf der Erde 1850–1995 (EHRHARDT, 1996).  
 Der Verfasser dankt für die Erlaubnis, dieses bisher unveröffentlichte Bild zu publizieren

diesen Bildern dargestellte Metallverbrauch nahm in der betrachteten Zeit um das knapp 37fache zu, der Energieverbrauch um das 17fache, obwohl sich die Bevölkerung nur etwa vervierfachte. Der größte Teil dieses Wachstums ist in den letzten 50 Jahren eingetreten.

Das Bild 16 erläutert die Entwicklung des Metallverbrauchs gemäß Bild 13 weiter durch eine Gegenüberstellung mit derjenigen der Weltbevölkerung. Wie die Darstellung deutlich macht, ist nur ein vergleichsweise geringer Anteil der Zunahme des Metallverbrauchs sozusagen bevölkerungsgetrieben, der weitaus überwiegende Teil ist wohlstandsgetrieben. In der Tat hat sich der Pro-Kopf-Verbrauch in der betrachteten Zeit rund verneunfacht, von knapp 1 kg je Kopf bei rund 1,3 Mrd. Menschen im Jahre 1892 auf rd. 9 kg je Kopf bei 5,3 Mrd. Menschen im Jahre 1992 (MACQUEEN, M., NÖTSTALLER, R., 1997).

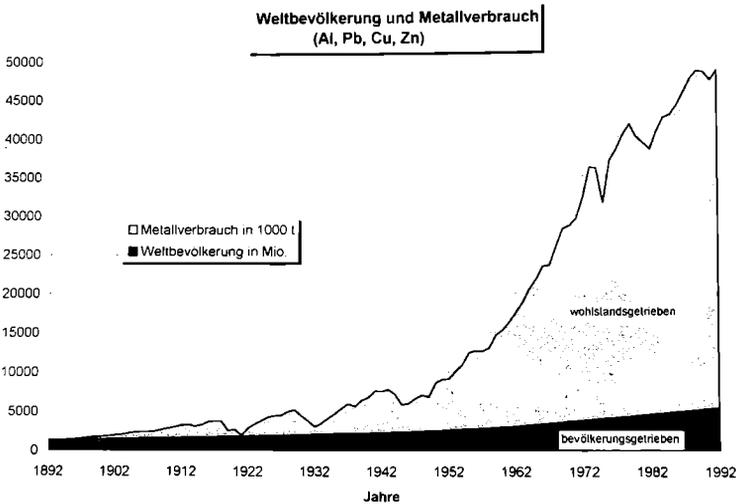


Abb. 16: Entwicklung der Bevölkerung und des Verbrauchs von Aluminium, Blei, Kupfer und Zink auf der Erde 1892–1992 (MACQUEEN u. NÖTSTALLER, 1997)

Dieser Nutzungszunahme und der damit verbundenen Wohlstandssteigerung entspricht, daß die Menschheit seit dem Ende des 2. Weltkrieges mehr Rohstoffe benötigt hat als in der gesamten Menschheitsgeschichte vorher (WELLMER, 1996). Das Bild 17 zeigt als Beispiel dieser Entwicklung den bisherigen Gesamtverbrauch auf der Erde von Eisenerz, Gold, Kupfer und Zinn bis zum Jahre 1990. Der Verbrauch in diesem Jahr wird als 100 % ausgewiesen. Ein Anteil von 50 % dieses Verbrauchs wird bei allen betrachteten Rohstoffen,

darunter auch bei dem besonders lange schon verwendeten Gold, erst nach 1945 erreicht. Das Bild 18 zeigt die gleichartige Entwicklung bei der Kohle.<sup>7</sup>

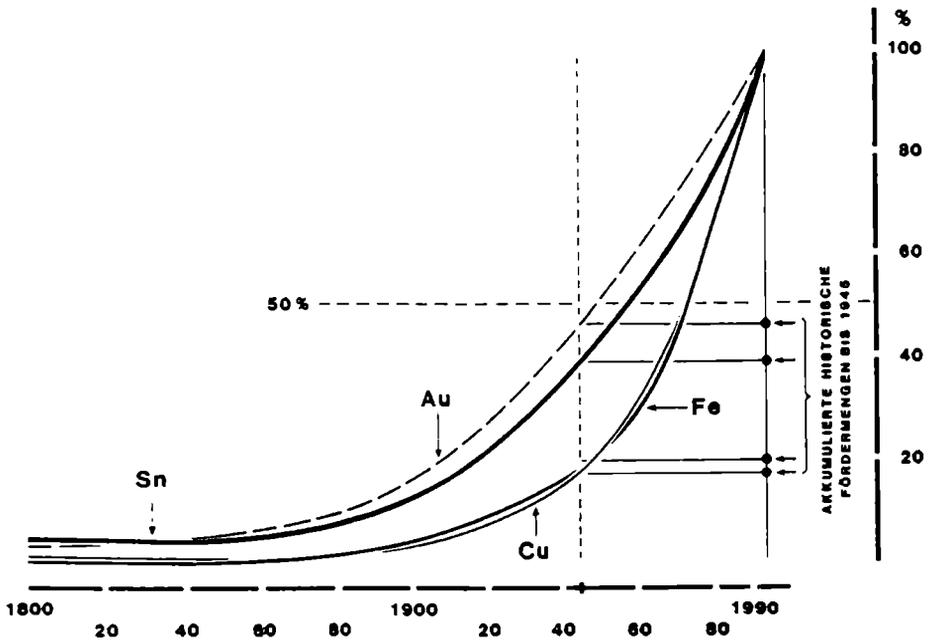
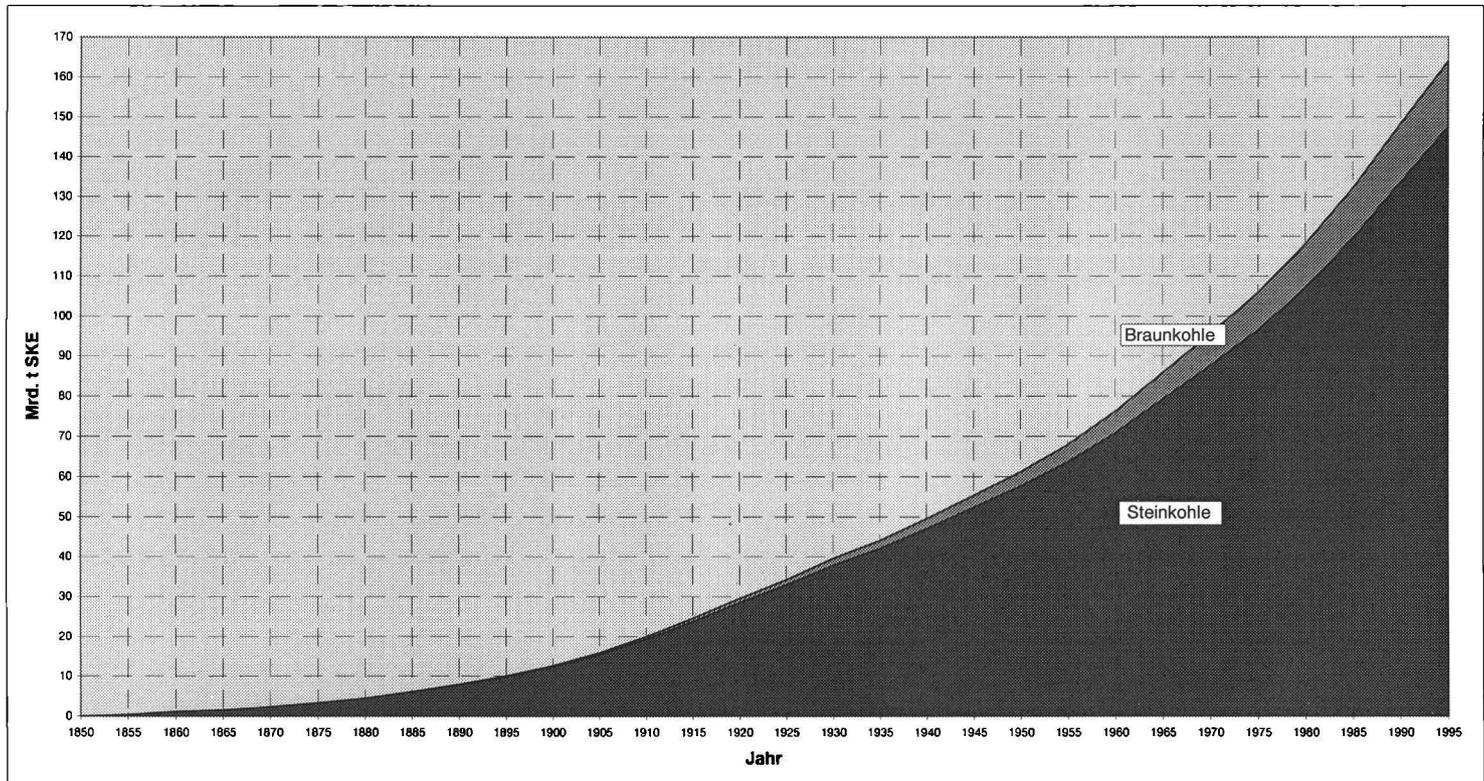


Abb. 17: Akkumulierte historische Verbräuche für Eisenerz, Gold, Kupfer und Zinn (WELLMER 1996)

Wie die vorgestellte exponentielle Entwicklung zeigt, hat die Urproduktion mineralischer Rohstoffe als materielle Grundlage unserer Zivilisation – und folglich die darauf beruhende Wirtschaft – in der bisherigen Lebenszeit der meisten Zuhörer des Verfassers bei seinem Vortrag dieses Textes im September 1997 eine völlig neue Dimension von Größe und von Wachstum im Vergleich zu der gesamten Geschichte der Menschheit vorher erreicht. Und gegenwärtig hält diese Entwicklung offensichtlich weiter an. Es ist daher nur zu verständlich, daß sich mit dem dargestellten Ablauf auch zahlreiche Probleme eingestellt haben. Diese Probleme betreffen insbesondere, wie uns allen bewußt ist, die Beeinträchtigungen der Umwelt durch die mit dem dargestellten Prozeß verbundenen negativen Vorgänge. Diese sind insbesondere Emissionen und Abfälle. Gleichzeitig wirkt sich erstmals in der Geschichte menschliches Handeln auf die Erde als Ganzes aus. Entsprechend bedeutsam ist der planmäßige Umweltschutz geworden.

<sup>7</sup> Auf die besondere, aber lösbare Problematik, daß sich all dies bisher vor allem in den Industrieländern abgespielt hat und die Entwicklungsländer einen entsprechenden Nachholbedarf haben, kann hier allerdings nicht eingegangen werden.

## Akkumulierte Stein- und Braunkohleproduktion, Welt 1850 - 1995 (Mrd. t SKE)



Steinkohleproduktion 1850 - 1995 insgesamt 147,4 Mrd. t SKE  
 Braunkohleproduktion 1850 - 1995 insgesamt 16,4 Mrd. t SKE  
 Gesamtproduktion 1850 - 1995 163,8 Mrd. t SKE

Ø SKE-Faktor für Stein- und Braunkohleförderung (1850-1995) ermittelt aus Jahresförderung 1995, d.h. für Steinkohle: 1 t (t=) = 0,79 t SKE, für Braunkohle: 1 t (t=) = 0,35 t SKE

Quelle: Friedensburg, F. (1948), (1956), (1965): Die Bergwirtschaft der Erde - 4., 5., 6. Auflage: Stuttgart (F. Enke)  
 Jahresbericht des Reichskohlenverbandes für das Geschäftsjahr 1936/37, 1937/38, 1938/39  
 Meisner, M. (1925), (1932): Weltmontanstatistik 1860-1922.- I: 15-75, 1920-1930.- II: 5-45; Stuttgart (F. Enke)  
 Statistik der Kohlenwirtschaft - Zahlen zur Kohlenwirtschaft - ; Essen (Glückauf)  
 UN-ECE, Energy/WP.1/R41/Add.1, August 1995

Zusammengestellt von R. Ehrhardt  
 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
 Hannover, 1996, unveröffentlicht

Abb. 18: Akkumulierte Fördermenge in Mrd. t SKE von Steinkohle und Braunkohle auf der Erde 1850–1995 (EHRHARDT, 1996).  
 Der Verfasser dankt für die Erlaubnis, dieses bisher unveröffentlichte Bild zu publizieren

### 2.2.3 Zur Umweltgeschichte

Als Ergebnis der Umweltdiskussion und der Umweltbewegung der vergangenen Jahrzehnte ist u. a. auch eine Umweltgeschichte als eigene Teildisziplin der historischen Wissenschaften entstanden. Ihre Aufgabe sieht sie vor allem darin, die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur in der Geschichte zu untersuchen (BAYERL et al., 1996).<sup>8</sup>

In der Tat gibt es ein Bewußtsein für Umweltprobleme im Zusammenhang mit dem Bergbau seit der Antike. Eine erste größere Diskussion in unserem Raum ist uns aus der Renaissance mit zwei lateinisch verfaßten Schriften überliefert. Das ist zum einen das „Iudicium Jovis“ des Paulus Nivis, zu deutsch „Das Gericht der Götter über den Bergbau“ des Paul Schneevogel, das zwischen 1475 und 1490 geschrieben worden ist und dessen Deckblatt die Abb. 19 zeigt (NIAVIS, 1953). Und es ist zum anderen und vor allem das erste der „Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen“ des großen sächsischen Humanisten, Arztes und Begründers der Montanwissenschaften Georgius Agricola aus dem Jahre 1556 (AGRICOLA, 1977). In beiden Schriften wird das Für und Wider der bergmännischen Eingriffe in die Natur eingehend erörtert. Letztendlich fällt die Entscheidung aber eindeutig für den Bergbau, da auf ihm Wohlstand und Kultur der Menschheit beruhen.

## 3. Probleme der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe

### 3.1 Faktoren der Verfügbarkeit

Die Umweltdiskussion unserer Tage gilt der Wirtschaft als Ganzer einschließlich des Bergbaus. Daneben gibt es aber seit dem Beginn der 70er Jahre auch einen zweiten großen Diskussionsbereich, der durch die aufgezeigten geschichtlichen Entwicklungen der vergangenen 50 Jahre ausgelöst worden ist und der nur den Bergbau betrifft. Er bezieht sich auf das Thema unseres Symposiums, d. h. auf die Frage, ob der gegenwärtige und zukünftige Rohstoffverbrauch nicht in einer absehbaren Zeit zu einer Erschöpfung der Lagerstätten in der Erdkruste und damit zu einem Ende der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe führen muß (SKINNER, 1989; STREISSLER, 1980). Daher mögen, wie bereits angekündigt, in diesem Abschnitt zunächst einige Ausführungen zu dem folgen, was unter der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe verstanden werden kann.

Die wichtigste Aussage dazu ist wahrscheinlich die, daß für die Verfügbarkeit der betrachteten Stoffe eine ganze Reihe komplex miteinander verknüpfter Faktoren eine Rolle spielen (FETTWEIS, 1983, 1990, 1997). In Anlehnung an eine vom Verfasser vor 20 Jahren für andere Gelegenheiten entworfene Systematik (FETTWEIS 1979, 1981) lassen sich diese Faktoren gemäß Tabelle 1 untergliedern.

---

<sup>8</sup> Allerdings ist dieses Fach noch im Aufbau begriffen und zeigt daher auch ein breites Spektrum im Hinblick auf seine Ausrichtung betreffend Methoden, Themen und Potentiale. Das reicht u. a. von nüchtern-sachlichen Ansätzen bis zu solchen, die ideologisch, und dabei zum Teil unverändert marxistisch, ausgerichtet sind (siehe bei BAYERL et al., 1996).



*Re Archetypum Banca uniplex fec. de G...*

Abb. 19: Titelbild des „Iudicium Jovis“ des Paulus Nivius (SUHLING, 1996)

Tabelle 1: Faktoren der Verfügbarkeit mineralischer Primärrohstoffe

Faktoren der Verfügbarkeit mineralischer Primärrohstoffe	
- im Land bzw. in Europa	- in der Welt
1. Geologisch bedingte Verfügbarkeit	2. Technisch-wirtschaftlich bedingte Verfügbarkeit
1.1 Vorhandensein	2.1 Gebrauchswert
1.2 Entdecktsein	2.2 Zugänglichkeit
	2.3 Abbauwürdigkeit
	2.4 Erschließung
3. Ökologisch bedingte Verfügbarkeit	4. Politisch bedingte Verfügbarkeit
3.1 Bergbau	4.1 Rechtsnormen
3.2 Transport	4.2 Handhabungspraxis von 4.1
3.3 Nutzung	4.3 Akzeptanz
3.4 Entsorgung	

Wie die Überschrift besagt, bezieht sich die Tabelle nur auf Primärrohstoffe. Zur Frage der Sekundärrohstoffe und damit des Recycling sei im Rahmen dieser Ausführungen lediglich vermerkt, daß diese Rohstoffquelle nach allen einschlägigen Erhebungen auf weitaus absehbare Zeit die Urproduktion von Primärrohstoffen nur wird ergänzen aber keineswegs gänzlich ablösen können. Mit den in der zweiten Zeile stehenden Hinweisen „im Land bzw. in Europa“ sowie „in der Welt“ sind die Fragen der Zahlungs- bzw. Leistungsbilanz eines Staates bzw. Währungsgebietes – Rohstoffe aus dem eigenen Boden entlasten diese Bilanz – und ferner das Problem der Versorgungssicherheit für Krisenfälle angesprochen (FETTWEIS, 1994a). Darauf kann hier jedoch gleichfalls nicht weiter eingegangen werden.

Zur geologisch bedingten Verfügbarkeit müssen Rohstoffe nicht nur in der Erdkruste existieren, worüber bestimmte Kalkulationsmethoden Auskunft geben können, sondern sie müssen im einzelnen auch entdeckt worden sein.

Die technisch-wirtschaftlich bedingte Verfügbarkeit ist in der einen oder anderen Weise jedenfalls eine Funktion der Zeit. Das gilt insbesondere auch im Hinblick darauf, welche in der Erdkruste vorkommenden Stoffe einen Gebrauchswert besitzen und daher als Rohstoffe zu gelten haben. Bei Bauxit als einem Aluminium enthaltenden Gestein war dies zum Beispiel vor 150 Jahren noch keineswegs der Fall, da Aluminium nicht benötigt wurde.

Zugänglichkeit bedeutet, daß die begehrten Stoffe im betrachteten Zeitpunkt jedenfalls in Reichweite der menschlichen Technik liegen müssen. Dabei ist heute zwar bereits sehr viel möglich, siehe die Landungen auf Mond und Mars, in der Erdkruste bestehen aber mit zunehmender Teufe durchaus auch noch echte technische Grenzen.

Die Abbauwürdigkeit eines bestimmten Vorkommens mineralischer Rohstoffe hängt vor allem von den Kosten und Erlösen bei seinem Bergbau ab. Sie kann damit eine sehr komplexe Frage sein, die u. a. vielen zeitlichen Einflüssen unterliegt, von wechselnden Marktbedingungen bis zum ständig fortschreitenden Stand der Technik bei Gewinnung, Aufbereitung und Transport.

Um technisch-wirtschaftlich verfügbar zu sein, müssen gefundene und als abbauwürdig befundene Vorkommen auch rechtzeitig erschlossen worden sein. Das heißt ihr Bergbau muß genehmigt und dann vorbereitet werden. Das ist unmittelbar eine Zeitfrage, wobei die Größenordnung der notwendigen Zeit in der Regel im Bereich von einigen bis zu 10 oder gar mehr Jahren liegt.

Unter der ökologisch bedingten Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe sollen vor allem Einflüsse umweltschädigender Art verstanden werden, die sich bislang nicht unmittelbar in Geld ausdrücken und entsprechend den Verursachern zuordnen lassen. Dies kann sowohl den Bergbau selbst betreffen und den Transport der Bergbauprodukte als auch – und dies steht sogar bei weitem im Vordergrund – die Nutzung der mineralischen Rohstoffe durch die weiterverarbeitende Wirtschaft sowie die Entsorgung, d. h. den Verbleib dessen, was nach der Nutzung anfällt und damit die Umwelt belasten kann. Alle vier der genannten Teilbereiche vermögen Einflüsse auf die Bereitstellung mineralischer Rohstoffe auszuüben.

Vor allem aber bestimmen Einflüsse ökologischer Art vielfach auch den Bereich, der in der Tabelle mit politisch bedingter Verfügbarkeit benannt ist. Bekanntlich werden Fragen als politisch bezeichnet, die mit dem Durchsetzen bzw. dem Ausgleich von bestimmten allgemeinen Interessen im Zusammenleben der Menschen zu tun haben, darunter vor allem auch mit solchen Interessen, die auf allgemeinen Wertvorstellungen sowie auf Zukunftserwartungen der verschiedensten Art beruhen. Davon hängen, wie in der Tabelle 1 aufgezeigt, die für die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe maßgeblichen in einer Volkswirtschaft geltenden Rechtsnormen und die diesen ähnlichen Richtlinien ebenso ab wie die Handhabungspraxis bei deren Ausübung durch staatliche Organe. Vor allem ist in einer demokratischen Gesellschaft zu diesem Bereich aber auch die Akzeptanz der Urproduktion mineralischer Rohstoffe durch die Bevölkerung zu zählen, die wiederum maßgeblich die Rechtsnormen und Rechtspraxis beeinflussen kann.

### *3.2 Aktuelle Probleme*

Aus den in der Tabelle 1 genannten Einflüssen und Abhängigkeiten erwachsen auch die aktuellen Probleme und Diskussionspunkte im Zusammenhang zwischen Urproduktion mineralischer Rohstoffe und Zivilisation.

Auslöser für die bis heute anhaltende Diskussion der geologisch bedingten Verfügbarkeit waren vor allem die vielen Computersimulationen in dem Buch „Die Grenzen des Wachstums“, das 1972 im Namen des Club of Rome vom Ehepaar Meadows u. a. publiziert worden ist (MEADOWS, 1972). Danach muß die Menschheit bei Fortdauer der laufenden Entwicklung bereits in wenigen Jahrzehnten mit dem Zusammenbruch durch Verhungern rechnen, und zwar unabhängig von allen Bemühungen zur Krisenbewältigung. Dies beruht in allen simulierten Fällen, von denen Bild 20 ein Beispiel zeigt, letztlich auf einer einzigen grundlegenden Annahme. Dies ist die in wenigen Jahrzehnten zu erwartende Erschöpfung der als eng begrenzt angenommenen Rohstoffvorräte und der entsprechende Rückgang der Bereitstellung von Rohstoffen für die Wirtschaft. Damit entfallen zwangsläufig auch die technischen Möglichkeiten, mit den

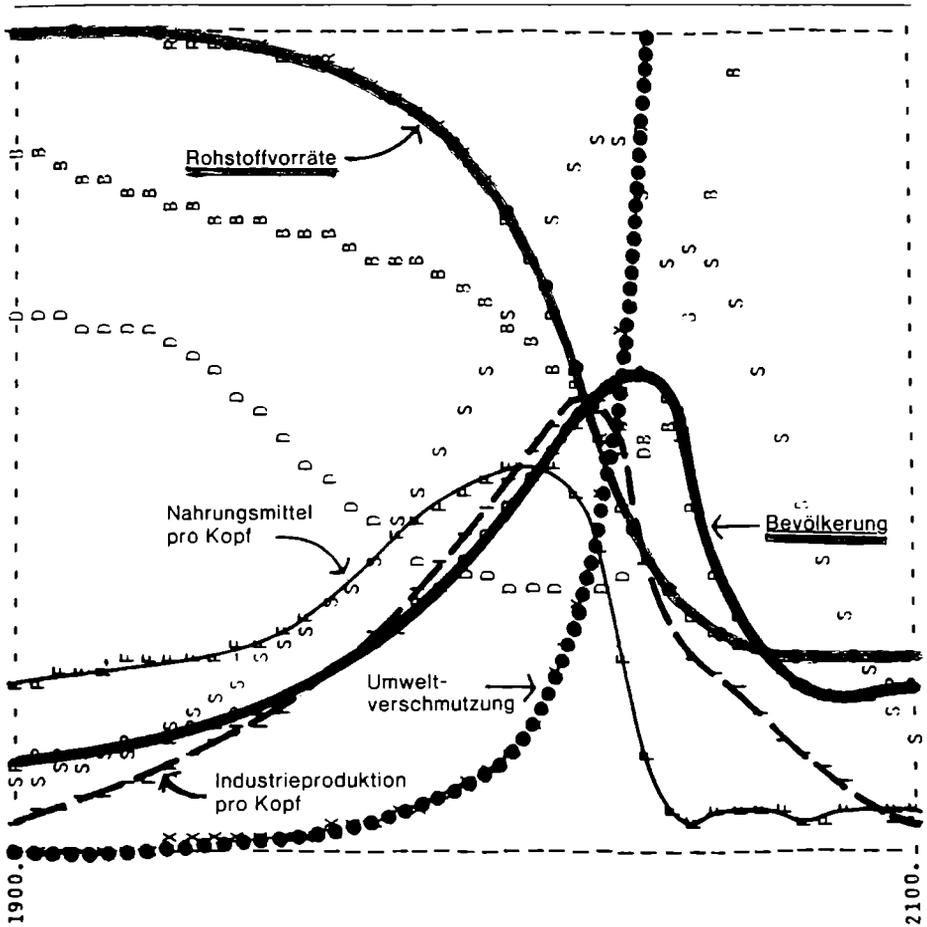


Abb. 20: Typisches Szenario aus „Die Grenzen des Wachstums“ (MEADOWS, 1972)

durch das Bevölkerungswachstum verursachten Existenzproblemen der Menschheit, darunter insbesondere auch mit der Umweltverschmutzung, fertig zu werden. Die weltweite Diskussion dieses Buches, dessen Auflagen inzwischen 10 Mio. Exemplare überschritten haben (JISCHA, 1993), wurde dann 1973 noch durch die erste von der OPEC ausgelöste Erdölkrise verstärkt.

Es ist fraglos das Verdienst des Buches, das einschlägige Problembewußtsein geweckt zu haben, sodaß inzwischen eine ganze Bibliothek von Publikationen und Verlautbarungen in diesem Zusammenhang erschienen ist. Soweit sie bergbauwissenschaftlich aussagekräftig sind, haben diese Veröffentlichungen allerdings das gleiche Ergebnis ausgewiesen, wie die reale Erfahrung der seit dem Erscheinen des Buches bereits verstrichenen 2½ Jahrzehnte. Danach ist die Grundannahme von Meadows unzutreffend. Stattdessen gilt, daß für nahezu alle

mineralischen Rohstoffe – wahrscheinlich allerdings mit Ausnahme des fließfähigen Erdöls – bisher und auf lange Zukunft kein Ende der Produktionsmöglichkeiten des zugehörigen Weltbergbaus infolge Vorratsmangels zu befürchten ist. Allein die Neufunde an Vorräten in der genannten Zeit und deren absehbare weitere Entwicklung führen zu diesem Ergebnis.

Darüber hinaus ist für den angesprochenen Fragenkreis nach Wissen und Dafürhalten des Verfassers aber auch noch der nachstehend erörterte Sachverhalt von sehr großer und wahrscheinlich sogar von entscheidender Bedeutung. Er besagt, daß die Entwicklung bei der geologisch bedingten Verfügbarkeit von Rohstoffen nur im Zusammenhang mit den Entwicklungen bei der technisch-wirtschaftlich bedingten Verfügbarkeit gesehen werden kann. Das ist ein Umstand, der in der diesbezüglichen Diskussion vielfach zu kurz kommt. Zwar trifft es fraglos zu, daß einzelne in Abbau stehende Rohstofflagerstätten und auch Lagerstättenprovinzen sich erschöpfen, aber im Weltmaßstab gesehen sind die Rohstoffvorräte kein diesem Sachverhalt vergleichbarer, nur einer Erschöpfung entgegensehender fester Stock. Sie unterliegen vielmehr ständig zahlreichen zusätzlichen Veränderungen und darunter vor allem zahlreichen Erweiterungen aufgrund technisch-wirtschaftlicher Fortschritte. Dabei lassen sich zwei Gruppen von Entwicklungen unterscheiden.

Das sind zum ersten Veränderungen im Gebrauchswert mancher Stoffe. Außer auf Bedarfsänderungen im Zuge der allgemeinen technischen und wirtschaftlichen Entwicklung gehen sie vor allem auf die laufenden Fortschritte der Werkstofftechnik zurück (STERK et al., 1994). Zu diesen Fortschritten gehören sowohl die Entwicklung und der Einsatz von sogenannten fortgeschrittenen Materialien als auch von gänzlich neuen Werkstoffen wie Kunststoffen, manchen Keramiken oder Verbundwerkstoffen. Auch fortwährende Substitutionen von Werkstoffen sind in diesem Zusammenhang zu nennen wie z. B. in der jüngeren Vergangenheit die Verwendung von Glas statt Kupfer für Kabel zur Telekommunikation.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> In der Studie der Kommission für die Grundlagen der Mineralrohstoffforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften „Rohstoffe für neue Technologien“ (STERK et al., 1994) heißt es in diesem Zusammenhang: „Die Substitution vieler konventioneller Grund- bzw. Werkstoffe durch qualitativ bessere und/oder kostengünstigere Materialien hält nach wie vor an, ebenso wie die Entwicklung immer leistungsfähigerer und kostengünstigerer oder gar völlig neuartiger Technologien und Produktinnovationen. Die OECD wendet dieser Entwicklung, dem Eindringen moderner Technologien auf dem Material-Entwicklungssektor (auch als stille Revolution bezeichnet), schon seit längerer Zeit ein verstärktes Augenmerk zu. Viele dieser Technologien sind von der Öffentlichkeit noch weitgehend unbemerkt, könnten aber im Laufe der nächsten Dezennien zu einer ähnlichen Umwandlung führen wie die industrielle Revolution durch Siliziumtechnologie. Vielfach werden die Produkte dieser neuen Materialentwicklung auch als fortgeschrittene Materialien bezeichnet. Darunter werden transformierte Primärmaterialien verstanden, die durch Anwendung chemischer Prozesse und geeigneter Techniken der Bearbeitung, Miniaturisierung, Verbindung und Formgebung zu Materialien mit verbesserten Eigenschaften (größere Festigkeit, Hitzebeständigkeit usw.) umgewandelt werden ... Zu derartigen fortgeschrittenen Materialien zählen unter anderem: elektronische

Von großer Bedeutung sind zum zweiten aber auch die stetigen Fortschritte der bergbaulichen Technik, d. h. der Technik von Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung. Durch sie wachsen immer mehr geologische Körper in der Erdkruste, die Rohstoffe enthalten, in die Bereiche des Entdecktseins, der Zugänglichkeit und der Abbauwürdigkeit. Im übrigen können sich in gleicher Richtung auch bereits sehr geringe Preisanstiege aufgrund wachsender Nachfrage auswirken.

Der Mensch verbraucht also nicht nur sogenannte nicht-erneuerbare Rohstoffe, sondern er schafft vielmehr durch sein wissenschaftliches und technisch-wirtschaftliches Wirken auch stetig solche Rohstoffe bzw. Lagerstätten von ihnen neu; er macht sozusagen immer größere Teile der Erdkruste für seine Zwecke nutzbar. Auch aus diesen Gründen ist die Kurve der Rohstoffvorräte von Meadows 1972 gemäß Abb. 20 falsch.<sup>10</sup>

Das korrespondiert im übrigen mit dem grundlegenden Sachverhalt, daß ja überhaupt erst durch die schiere Existenz des Menschen und nur bezogen auf ihn und seine Aktivitäten mineralische Teile der Natur als Rohstoffe definiert werden können. Diese Stoffe haben einen Wert nur für den Menschen und nicht für andere Lebewesen.

Insgesamt gesehen sind für die Menschheit im Laufe ihrer Geschichte daher auch fraglos weitaus mehr mineralische Naturstoffe zu Rohstoffen geworden als sie an diesen Rohstoffen verbraucht hat. Dies wird nicht nur durch die stetige Vermehrung der nachgewiesenen und vermuteten Rohstoffvorräte bezeugt, sondern ebenso dadurch, daß der reale Preis der Rohstoffe im Laufe der menschlichen Entwicklung ständig gefallen ist. Entsprechend relativiert ist demnach der Begriff „nicht erneuerbar“ zu sehen. Der Verfasser hält es folglich auch für erforderlich, das Wort von den „Grenzen des Wachstums“ durch den Hinweis auf das „Wachstum der Grenzen“ zu ergänzen.<sup>11</sup>

---

und optoelektronische Funktionswerkstoffe, Supraleiter, amorphe Metalle, Superplastische Legierungen, Memory-Legierungen, Verbundwerkstoffe mit metallischer Matrix, Hochleistungskeramiken, Nanokristalline „Finemente“ für weichmagnetische Werkstoffe, synthetische Zeolite, usw.“ – Im einzelnen führt die Studie dafür bemerkenswerte Beispiele an. – Nach der Einschätzung des Verfassers dieser Zeilen ist daher auch nicht auszuschließen, daß die zukünftige Entwicklung in eine Richtung verläuft, die es ermöglichen wird, aus immer weniger Arten von Rohstoffen immer mehr Arten von Werkstoffen für die verschiedensten Zwecke herzustellen, darunter insbesondere aus solchen Rohstoffen, die Silizium, Aluminium, Eisen und Kohlenstoff enthalten, und die mit Hilfe ausreichender Energie in praktisch unbegrenzten Mengen gewonnen werden können; Stichwort: Sonnenenergie. Hinzu kommen die sich gleichfalls bereits abzeichnenden Möglichkeiten der Elementumwandlung, vor allem im Zuge der mit großer Wahrscheinlichkeit eines Tages zu erwartenden friedlichen und sicheren Verwendung der Fusionsenergie.

<sup>10</sup> Der Verfasser ist auf diesen Fragenkomplex auch bereits in früheren Arbeiten eingegangen (FERTWEIS, 1981, 1995).

<sup>11</sup> Sprachlich korrekt müßte es wohl „Erweiterung der Grenzen“ oder ähnlich heißen. Damit ginge jedoch das Wortspiel verloren, an dessen „Witz“ dem Verfasser bei seinem Vortrag

Innerhalb des damit umrissenen Zusammenhangs kommt eine Sonderstellung allerdings aus verschiedenen Gründen den Lagerstätten der Düngemittelrohstoffe zu – siehe dazu Wellmer in diesem Buch – sowie insbesondere denen der fossilen Energierohstoffe im herkömmlichen Verständnis, darunter vor allem denen des fließfähigen Erdöls. Die fossilen Brennstoffe sind erst im Zuge von Lebensprozessen entstanden und daher nur in Teilen der Erdkruste enthalten. Auf die Ausführungen von Schollnberger und Wilke in diesem Heft wird verwiesen. Andererseits erstrecken sich aber die hier zugehörigen Substitutionsmöglichkeiten nicht nur auf Armlagerstätten der betroffenen Stoffe, wie Teersande und Ölschiefer, sondern auch auf Kernbrennstoffe und vor allem auf Sonnenenergie in Kombination mit Wasserstoff.

Möglicherweise hängt es jedoch mit dieser Sonderstellung von Erdöl und Kohle zusammen, daß sich – ungeachtet der angesprochenen Diskussionsergebnisse im Gefolge des Buches von Meadows – weiterhin in einem breitem Rahmen die Sorge hält, wir stünden in absehbarer Zeit vor einem Ende der geologischen Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe. Als Beispiel hierfür möge die Schlußerklärung der ökumenischen Versammlung der europäischen Kirchen im Juni des Jahres 1997 in Graz genannt sein. Sie wendet sich nicht nur gegen Umweltverschmutzung und Zerstörung der Ökosysteme im allgemeinen, sondern ausdrücklich auch gegen die „rücksichtslose Ausbeutung von nichterneuerbaren Ressourcen“ als Bedrohung zukünftiger Generationen und der ganzen Schöpfung (Siehe die Zeitung „DIE PRESSE“ vom 30. 6. 1997, S. 4.).<sup>12</sup>

Allerdings wird hierbei mit dem Wort „rücksichtslos“ fraglos auch der andere bereits erwähnte große Problemkreis im Zusammenhang von Urproduktion mineralischer Rohstoffe und Zivilisation angesprochen, nämlich der Problemkreis Umwelt und damit die ökologisch bedingte Verfügbarkeit in der Tabelle 1.

Es ist hier nicht der Rahmen für eine ausführliche Diskussion dieser Problematik. Auf jeden Fall haben die durch Meadows bzw. den Club of Rome ausgelösten Untersuchungen gezeigt, daß nicht die Rohstoffversorgung, sondern die Tragfähigkeit unserer Erde bezogen auf die Abfälle und Emissionen unserer Wirtschaft, in der Tabelle 1 also die Nutzung und die daraus entstehende Um-

---

aus didaktischen Gründen lag. Auch ist die Aussage trotz der sprachlichen Problematik jedenfalls in ihrem Informationsgehalt eindeutig.

<sup>12</sup> Vermerkt sei in diesem Zusammenhang auch die offensichtlich überwiegende Meinung deutscher Mittelschulprofessoren (Lehrer an Höheren Schulen). Die meiste Zustimmung im Rahmen einer 1992 in zahlreichen deutschen Bundesländern veranstalteten umfangreichen Befragung von insgesamt 283 Lehrpersonen zum Geschichtsbewußtsein erhielt nämlich der Satz: „Seit 200 Jahren verschwendet die Industrie die begrenzten Bodenschätze. Künftig muß die Industrie auf sanfte Technologien und erneuerbare Rohstoffe umsteigen.“ (VON BORRIES, 1994). Nach einer persönlichen Erfahrung des Verfassers dürfte eine Umfrage in Österreich zu einem ähnlichen Ergebnis führen. – Leider kann aber auch das noch jüngst erschienene und im übrigen sehr seriöse Buch eines geologischen Fachmannes, der aber eben kein Bergingenieur oder Ökonom ist, als Beispiel für die Auffassung herangezogen werden, die mineralischen Rohstoffe würden sich in absehbarer Zeit erschöpfen (KESLER, 1994).

weltverschmutzung, das primäre und eigentliche Problem im Hinblick auf Grenzen des Wachstums darstellt; Stichwort: CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre.

Nach der festen Überzeugung des Verfassers werden diese Probleme aber nicht zum Ende der Zivilisation führen. Nach seiner Meinung werden sie stattdessen langfristig gesehen durch weitere Entwicklungen wissenschaftlicher, technischer und wirtschaftlicher Art weitgehend gelöst werden können, wie dies auch auf Teilgebieten, wie z. B. bei vielen Wasser- und Luftverschmutzungen, schon geschehen ist. Dafür spricht nicht zuletzt auch der Umkehrschluß aus den 1972 veröffentlichten Untersuchungen von Meadows gemäß Bild 20: wenn ausreichend Rohstoffe verfügbar bleiben, wie es der Verfasser dargelegt hat, so bleiben auch die Möglichkeiten bestehen, mit den Existenzproblemen, die auf die Menschheit nach den Vorhersagen der Meadows zukommen, fertig zu werden. Diese Schlußfolgerung läßt sich im übrigen ähnlich auch aus einer jüngeren und weit weniger pessimistischen Publikation von Meadows ziehen (MEADOWS u. RANDERS, 1992).

Der Bergbau selbst kommt bei der Diskussion der Umweltbeeinträchtigungen in globalen Zusammenhängen eher gut weg, jedenfalls weitaus besser als die Landwirtschaft. Das hängt schon mit seiner weitaus geringeren Landanspruchnahme zusammen. Hinzu kommt, daß ein umfassender Umweltschutz während des Betriebes und eine vollständige Rekultivierung nach Betriebsende in den entwickelten Ländern heute zu den Grundelementen der Betriebsgestaltung gehört (vgl. z. B. FETTWEIS, 1983; FETTWEIS et al., 1988; UN/DTCD, 1992). Leider liegen allerdings in den Entwicklungsländern in diesem Zusammenhang teilweise noch mannigfache Mängel vor, ähnlich denen, die auch in den Industrieländern noch vor geraumer Zeit beobachtet werden konnten.<sup>13</sup>

In der Praxis setzt sich die globale ökologisch bedingte Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe naturgemäß aus der Summe der regionalen Verfügbarkeiten zusammen. In aller Regel ist dies gleichzeitig eine Frage der politisch bedingten Verfügbarkeit gemäß Punkt 4. in der Tabelle 1. Bei dieser politisch bedingten Verfügbarkeit spielen zusätzlich zu den echten ökologischen und ökonomischen Problemen aber vielfach auch manche mehr oder weniger unwägbare Interessen und Emotionen von Personen und Personengruppen eine nicht zu unterschätzende Rolle. Ein Beispiel dafür bot im Jahre 1997 die Diskussion um das Berggesetz in Österreich, insbesondere im Zusammenhang mit dem Abbau von Sand- und Kieslagerstätten.

---

<sup>13</sup> Zu einer ähnlichen Aussage kommt der Jahresbericht 1996 des wissenschaftlichen Beirates der deutschen Bundesregierung zu Fragen der globalen Umweltveränderung (Wissenschaftlicher Beirat, 1996). Von den 16 darin erörterten Syndromen des globalen Wandels, d. h. aktuellen Krankheiten unserer Erde, entfällt auf den Bergbau nur das sogenannte Katanga-Syndrom. Darunter „werden die Schädigungen der Umwelt zusammengefaßt, die entstehen, wenn ohne Rücksicht auf Bewahrung der natürlichen Umgebung nicht-erneuerbare Ressourcen über oder unter Tage abgebaut werden.“ Dies sei zur Zeit „beim Tagebau in Entwicklungs- und Schwellenländern besonders ausgeprägt“ und wirke sich überall dort besonders intensiv aus, „wo mangels Kapital veraltete Bergbautechnologien mit geringer Energieeffizienz und Rohstoffauswertung eingesetzt werden“.

#### 4. Zum Konzept der nachhaltigen Entwicklung

Die Ausführungen zu den Zusammenhängen zwischen Bergbau und Zivilisation in Vergangenheit und Gegenwart möchte der Verfasser nicht ohne einen Bezug auf die Zukunft beenden. Dazu diene eine kurze Erörterung des Konzeptes der nachhaltigen Entwicklung, begleitet von den Bildern 21 bis 24, welche parallel zu den Ausführungen des Textes die Nachnutzung von früheren Tagebauen im Köflacher Braunkohlenrevier zeigen und welche für sich sprechen mögen.<sup>14</sup>

Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung ist das wahrscheinlich wichtigste Ergebnis der seit dem Buch von Meadows anhaltenden Diskussionen über die Zukunft unserer Erde. Es ist inzwischen auch im wesentlichen als Leitlinie für zukünftige Entwicklungen international akzeptiert worden. Das betrifft auch den Bergbau (GOCHT, 1996).

Zwar gibt es keine offizielle Definition des Konzeptes, im allgemeinen wird aber als nachhaltig eine Entwicklung bezeichnet, welche „den Erfordernissen der



Abb. 21: Rekultiviertes Gelände im Köflacher Braunkohlenrevier, Golfplatz Piberstein (GKB Archiv)

---

<sup>14</sup> Der Verfasser dankt o. Univ.-Prof. Dr. Fritz Ebner, Leoben, für die Bereitstellung der Bilder, die diesem von der Graz Köflacher Bergbau und Eisenbahn GesmbH für Zwecke der Steirischen Landesausstellung 1997 „made in styria“ und für weitere Verwendungen zur Verfügung gestellt worden waren.

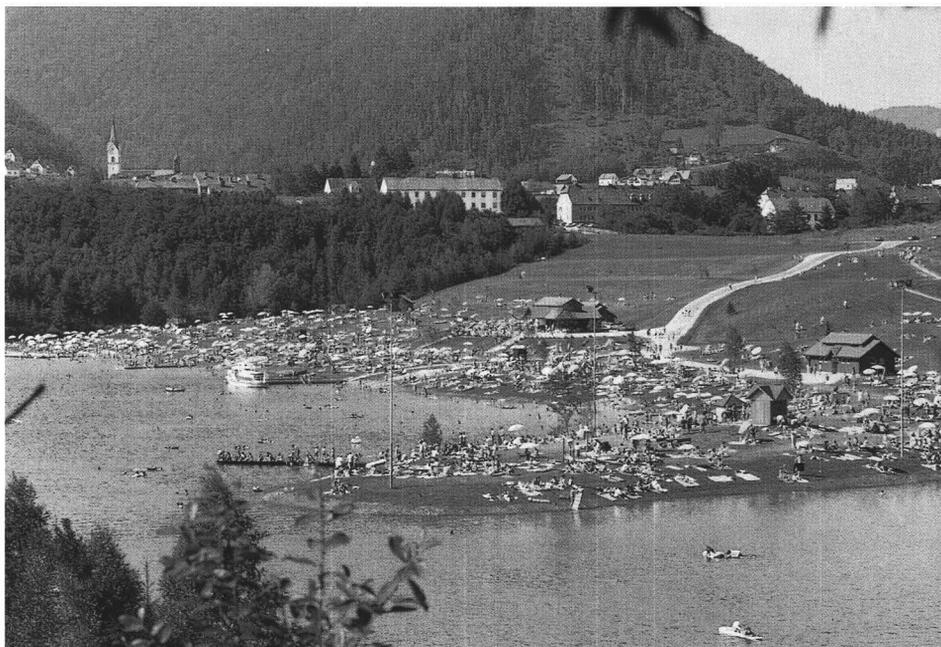


Abb. 22: Rekultiviertes Gelände im Köflacher Braunkohlenrevier, Badesee Piberstein, Foto Koren (GKB Archiv)



Abb. 23: Rekultiviertes Gelände im Köflacher Braunkohlenrevier, Biotop (GKB Archiv)



Abb. 24: Rekultiviertes Gelände im Köflacher Braunkohlenrevier (Kinder pflanzen einen Baum), Foto Reiter (GKB Archiv)

Gegenwart angemessen gerecht wird, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu beschränken, ihren eigenen Bedürfnissen nachzukommen.“ Wie aus der sogenannten Rio-Deklaration der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro abgeleitet werden kann, geht es dabei – mit großer Berechtigung, wie der Verfasser meint – vor allem um die Integrität der Ökosysteme der Erde, die so weit wie möglich erhalten oder wiederhergestellt werden müssen.

Die Art und Weise, wie das Konzept operationell umgesetzt werden soll, ist allerdings keineswegs unumstritten (GOLDIN & WINTERS, 1996; KLEMMER, 1994). Dies betrifft auch die in diesem Zusammenhang vielfach angesprochene sogenannte Ressourcenschonung. Als völlig unrealistisch und daher falsch und schädlich ist jedenfalls die hierzu stellenweise vertretene Zielvorstellung abzulehnen, den Abbau der sogenannten nicht erneuerbaren Ressourcen in absehbarer Zukunft gänzlich zu beenden und ihn bis dahin nur noch in dem Umfang zu betreiben, in welchem gleichzeitig erneuerbare Ressourcen zum Ersatz der abgebauten Vorräte bereitgestellt werden können. Die dem zugrunde liegende Annahme einer bevorstehenden Erschöpfung der sogenannten endlichen Ressourcen ist unzutreffend, wie versucht wurde darzulegen, sodaß auch die daraus gezogene Schlußfolgerung zwangsläufig nur Schaden stiften kann.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Erfreulicherweise findet sich diese Auffassung inzwischen auch in dem bereits vorstehend zitierten Gutachten maßgeblicher deutscher Fachleute des Umweltschutzes (Wissen-

Soweit mit Ressourcenschonung jedoch eine pflegliche Nutzung der Erdkruste gemeint ist, eine Verringerung der Abfallmengen und Emissionen durch mehr Effizienz in den Stoffkreisläufen, ist diesem Ziel auch hinsichtlich der sogenannten nicht-erneuerbaren Rohstoffe in vollem Umfang zuzustimmen. In einer früheren Arbeit mit dem Titel „Keine Zukunft der Menschheit ohne pflegliche Nutzung der Erdkruste“ ist der Verfasser näher darauf eingegangen (FETTWEIS, 1995)

## 5. Schlußbemerkungen

Mit zwei kurzen Schlußbemerkungen sei versucht, eine Art Essenz dieser Ausführungen zu geben.

Die erste Bemerkung bezieht sich auf das Symbol des Bildes 25 und ist entsprechend übertragen zu verstehen. Das Bild stammt vom Eingangstor der vor einem halben Jahrtausend gebauten gotischen Pfarrkirche in Eisenerz am Fuß

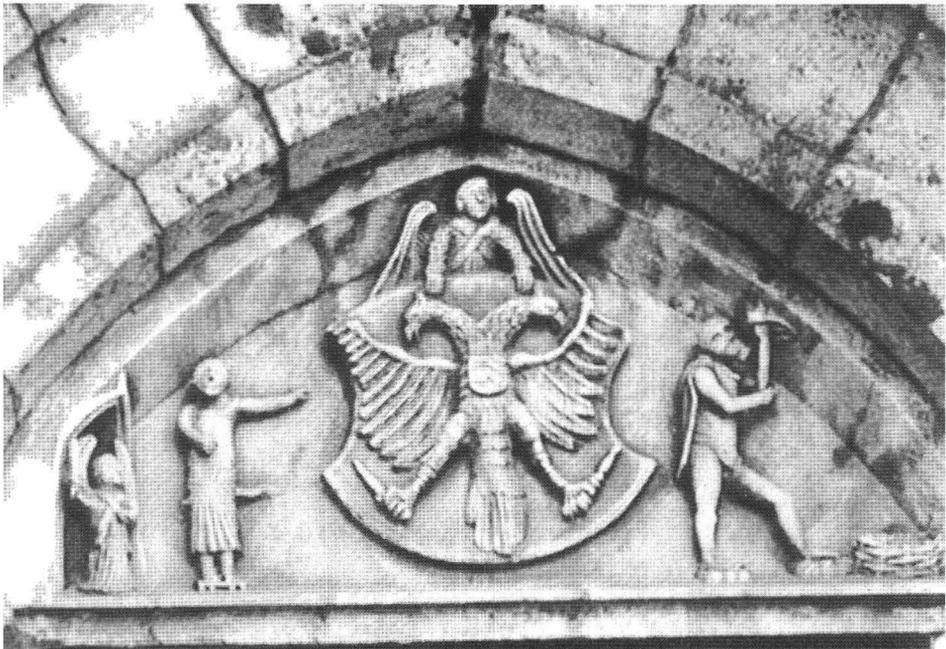


Abb. 25: Relief aus dem Jahr 1534 am Eingangstor der Oswaldi Kirche in Eisenerz/Steiermark. Foto Freisinger, Eisenerz

schaftlicher Beirat, 1996). Damit wird indirekt auch gegenteiligen Ausführungen der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages aus dem Jahre 1994 widersprochen, gegen die sich auch der Verfasser bereits an anderer Stelle gewandt hatte (FETTWEIS, 1995).

des Steirischen Erzberges. Es zeigt Adam als Bergmann, den ersten Menschen, unser aller Vorfahr. Die Erbauer dieser Kirche waren sich somit der fundamentalen Bedeutung voll bewußt, welche die Urproduktion mineralischer Rohstoffe und damit der Bergbau für unser Dasein nach der „Vertreibung aus dem Paradies“ besitzen, fundamental im direkten Sinne des Wortes.

Mit der zweiten Schlußbemerkung sei auf eine nennenswerte Entwicklung in den letzten Jahren hingewiesen, die mit den angesprochenen Themen zusammenhängt und die von einer bergbaulichen Tagungsreihe in Pzribram, einem montanistisch sehr traditionsreichen Ort in Tschechien, ausgegangen ist. Dort hat sich eine inzwischen auch international zusammengesetzte Gruppe von Fachleuten aus den Bereichen Bergingenieurwesen, Geologie, Umweltschutz und Ethik gebildet. Ihr Ziel ist es, einen geoethischen Code zu erarbeiten, d. h. ethisch begründbare Richtlinien dafür, wie die notwendige Nutzung unserer Erdkruste so pfleglich wie möglich gestaltet werden kann. Diesem Vorhaben ist der best denkbare Erfolg im Interesse unserer Zivilisation zu wünschen.

### Zitierte Literatur

- AGRICOLA, G. (1977): Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. Nach dem lateinischen Original von 1556 übersetzt und bearbeitet von C. Schiffner. Deutscher Taschenbuch Verlag, München.
- BAIROCH, P. (1982): International Industrialization Levels from 1750 to 1980. *The Journal of European Economic History* 11, 269–333.
- BARTELS, C. (1990): Der Bergbau vor der hochindustriellen Zeit. Ein Überblick. In: SLOTTA R., Chr. BARTELS: Meisterwerke bergbaulicher Kunst vom 13. bis 19. Jahrhundert. Selbstverlag des Deutschen Bergbau Museums Bochum, Bochum.
- BAYERL, G., FUCHSLOCH, N., MEYER, T. (1996): Umweltgeschichte – Methoden, Themen, Potentiale. Waxmann Verlag, Münster-New York.
- BORRIES, B. v. (1994): Didaktische Möglichkeiten und Grenzen der Umweltgeschichte. In: BAYERL u. a. (1996) a. a. O., 309–324.
- CONOPHAGOS, C. E. (1980): *Le Laurium Antique*. Ekdotike Hellados S. A., Athènes.
- CUNLIFFE, B. (Hrsg.) (1996): *Illustrierte Vor- und Frühgeschichte Europas*. Campus Verlag, Frankfurt-New York.
- DANZER, R., FELLNER, M. (1997): Grundlagen der Werkstofftechnik. In: Kulturreferat der Steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.): Begleitband zur Steirischen Landesausstellung '97 – Leoben „made in styria“, 120–129.
- EHRHARDT, R., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (1996): Zahlen und Bilder zur Entwicklung der Förderung von Steinkohle und Braunkohle auf der Erde 1850–1995; bisher nicht publiziert.
- ELIAS, N. (1995): *Über den Prozeß der Zivilisation*; Bd. 1 u. 2, 19. Aufl. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main.

- FETTWEIS, G. B. (1979): Über die Verfügbarkeit von festen mineralischen Energierohstoffen. In: Montanuniversität Leoben (Hrsg.): Energie – Verfügbarkeit und Einsparungsmöglichkeiten. Radex Rundschau 1979, 1042–1060.
- FETTWEIS, G. B. (1981): Bergmännische Gesichtspunkte zur Rohstoffversorgung. In: Österreichische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Rohstoffe und Energie in Österreich – Beispiele für Möglichkeiten und Grenzen, Öffentliche Vorträge 1980. Verlag der ÖAW; Wien, 17–65.
- FETTWEIS, G. B. (1983): Zusammenhänge und technische Entwicklungen bei der Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe – Übersicht unter Berücksichtigung einschlägiger Leobener Arbeiten. Sitzungsberichte der Österr. Akademie der Wissenschaften math.-nat. Klasse, Abt. I., 192. Bd., 5. bis 10. Heft, Springer Verlag, Wien-New York, 141–166.
- FETTWEIS, G. B. (1990): Der Produktionsfaktor Lagerstätte. In: FETTWEIS, G. B.; GENTZ, H., von der GATHEN, R.: Die elementaren Produktionsfaktoren des Bergbaubetriebs, Bd. 3 von v. WAHL, S. (Hrsg.): Bergwirtschaft. Verlag Glückauf, Essen, 1–148.
- FETTWEIS, G. B. L. (1994a): Zum ökonomischen Prinzip im Bergbau – Besonderheiten und Einordnung in das übergeordnete Rationalprinzip. *Erzmetall* 47, 23–33. – Siehe auch: On the economic principle in mining – particularities and integration into the superordinate rational principle. *Natural Resources and Development* 42 (1996), 92–111.
- FETTWEIS, G. B. L. (1994b): Zur Zukunft des Bergfachs. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 139, 107–121.
- FETTWEIS, G. B. L. (1995): Keine Zukunft der Menschheit ohne pflegliche Nutzung der Erdkruste. *Erzmetall* 48, 452–553. – Siehe auch: No future for mankind without careful use of the earth's crust. *Mineral Resources Engineering* 5 (1996), 139–154.
- FETTWEIS, G. B. L. (1996a): Zur Bedeutung der Montanhistorie für Bergbau und Bergbauwissenschaften heute. In: CERNAJSEK, T., u. a.: Das kulturelle Erbe geowissenschaftlicher und montanwissenschaftlicher Bibliotheken. Berichte der Geologischen Bundesanstalt Bd. 35, Wien, 115–123.
- FETTWEIS, G. B. L. (1996b): Reflexionen über den europäischen und insbesondere den ostalpinen Bergbau zur Zeit des Georgius Agricola – Thesen und Erörterungen zu seiner Bedeutung. *res montanarum Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich* Nr. 14, 7–35.
- FETTWEIS, G. B. L. (1997a): Lagerstätten und Bergbau. In: WEBER, L. (Hrsg.): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs, Erläuterungen zur Metallogenetischen Karte 1 : 500.000. Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt Bd. 19, Wien, 19–41.
- FETTWEIS, G. B. L. (1997b): Vom Bergbau in der Geschichte – Zusammenhänge und Ereignisse, die des Erinnerens wert sind. Vortrag bei der Tagung des Bayerischen Bergbaus und der Grundstoffindustrie 1997 am 10. Oktober 1997 in Bad Reichenhall. *Erzmetall* 50, 785–803.
- FETTWEIS, G. B., WEBER, F., WEISS, A. (Hrsg.) (1988): Bergbau im Wandel. Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz, u. Verlag Glückauf GmbH, Essen.
- FISCHER, W. u. a. (1986): Handbuch der europäischen Wirtschafts- und Sozialgeschichte. Verlag Klett-Cotta, Stuttgart.

- FRIEDENSBURG, J. (1966): Der Bergbau in der Weltgeschichte, *Erzmetall 19*, 61–66.
- GEISS, J. (1993): Geschichte griffbereit. 6 Bände und Registerband. Harenberg Lexikon Verlag, Dortmund.
- GEISS, J. (1995): Geschichte im Überblick – Daten und Zusammenhänge der Weltgeschichte. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg.
- GOCHT, W. (1996): Der Bergbau in Entwicklungsländern und das Konzept der nachhaltigen Entwicklung. *Geowissenschaften 14*, 59–62.
- GOLDIN, I., WINTERS, L. A. (Ed.) (1996): *The economics of sustainable development*. Cambridge University Press, Cambridge.
- GREGORY, C. E. (1982): *A Concise History of Mining*. Pergamon Press, London.
- HAUSNER, E. (1991): Wien. Jugend und Volk Verlagsgesellschaft, Wien.
- HEILFURTH, G. (1972): Das Montanwesen als Wegbereiter im sozialen und kulturellen Aufbau der Industriegesellschaft Mitteleuropas. Leobener Grüne Hefte, Heft 140, Montan-Verlag, Wien.
- HEILFURTH, G. (1981): *Der Bergbau und seine Kultur*. Atlantis Verlag, Zürich.
- HINGENAU, O. Frh. v. (1849): *Bergwirtschaftslehre*. Druck von Karl Winiker, Brünn.
- HUSTRULID, W. A. (Ed.) (1982): *Underground Mining Methods Handbook*. Society of Mining Engineers of AIME, New York.
- ILO International Labour Organisation (1995): Übereinkommen über den Arbeitsschutz in Bergwerken, Übereinkommen 176, vom 22. Juni 1995. Genf.
- JISCHA, M. F. (1993): Herausforderung Zukunft – Technischer Fortschritt und ökologische Perspektiven. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin-Oxford.
- KESLER, St. E. (1994): *Mineral Resources, Economics and the Environment*. Macmillan, New York-Oxford-Singapore-Sydney.
- KLEMMER, P. (1994): Ressourcen und Umweltschutz um jeden Preis? In: Voss G. (Hrsg.): *Sustainable development – Leitziel auf dem Weg in das 21. Jahrhundert*. Deutscher Instituts-Verlag, Köln.
- LÜBBE, H. (1990): *Der Lebenssinn der Industriegesellschaft – Über die moralische Verfassung der wissenschaftlich-technischen Zivilisation*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- LUDWIG, K. H., SIKKA, P. (1989): *Bergbau und Arbeitsrecht*. Verlag der wissenschaftlichen Gesellschaften Österreichs, Wien.
- LUTZ, W., SANDERSON, W., SCHERBOV, S. (1997): Doubling of world population unlikely. *Nature*, Vol. 387, 803–805.
- MACQUEEN, M., NÖTSTALLER, R. (1997): Langfristige Entwicklung der Metallnachfrage – Tendenzen und Paradigmen. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 142*, 352–357.
- MEADOWS, D. et al. (1972): *The Limits to Growth*. Universe Books, New York. In Deutsch: *Die Grenzen des Wachstums*. DTV, Stuttgart.
- MEADOWS, D., RANDERS, J. (1992): *Die neuen Grenzen des Wachstums*. DTV, Stuttgart.
- NAVIS, P. (1953): *Iudicium Jovis oder Das Gericht der Götter über den Bergbau*. Deutsch von P. Krenkel. Freiburger Forschungsheft D3. Berlin.

- NORTH, M. (Hrsg.) (1995): Von Aktie bis Zoll – Ein historisches Lexikon des Geldes. C. H. Beck, München.
- PARKER, G. (1996): The Times – Große illustrierte Weltgeschichte. Verlag Orac, Wien.
- PAULINYI, A., TROITZSCH, U. (1997): Mechanisierung und Maschinisierung 1600–1840. Dritter Band von: KÖNIG W. (Hrsg.): Propyläen Technikgeschichte. Ullstein Bücherverlag, Berlin.
- PETZOW, G. (1987): Der Mensch, seine Werkstoffe und Technik im Dreiklang des Fortschrittes. *Keramische Zeitschrift* 39, 610–614.
- POPELKA, H. (1997): Wien, 12 Luftbild – Farbdias, freigegeben vom BMFLV. Verlag Bauer, Wien.
- RICKARD, T. A. (1974): *Man and Metals – A history of mining in relation to the development of civilisation*. Whittlesey House – McGraw – Hill Book Co, New York und London 1932 (Nachdruck Arno Press, New York).
- SKINNER, B. J. (1989): Resources in the 21st century: Can supplies meet needs? *Episodes* 12, 267–275.
- SLOTTA, R. (1988): Die kulturbildende Kraft des Bergbaus. In: Die Technikgeschichte als Vorbild moderner Technik. Schriften der Georg-Agricola-Gesellschaft Nr. 14, 18–37.
- STEENBUCK, K. (1986): Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra, Johann Wolfgang von Goethe und die Societät der Bergbaukunde. *Erzmetall* 39, 605–613.
- STERK, G. et al. (1994): Rohstoffe für neue Technologien. Bd. II der Schriftenreihe der Erdwissenschaftlichen Kommissionen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Springer Verlag, Wien.
- STREISLER, E. (1980): Die Knappheitsthese – Begründete Vermutungen oder vermutete Fakten? In: SIEBERT, H. (Hrsg.): *Erschöpfbare Ressourcen*. Duncker & Humblot, Berlin, 9–36.
- SUHLING, L. (1988): Aufschließen, Gewinnen und Fördern – Geschichte des Bergbaus. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg.
- SUHLING, L. (1996): Hüttentechnik und Umwelt im 16. Jahrhundert. In: BAYERL et al. (1996) a. a. O., 87–102.
- UN/DTCD, UN Department of Technical Co-operation for Development and German Foundation for International Development (Ed.) (1992): *Mining and the Environment – The Berlin Guidelines*. Mining Journal Books, London.
- WAGENBRETH, O. (1995): Georg Agricola als Renaissance-Wissenschaftler und Begründer der Montanwissenschaften. *res montanarum Zeitschrift des Montanhistorischen Vereins für Österreich* Nr. 11, 3–6.
- WELLMER, F.-W. (1996): Gewinnung und Nutzung von Rohstoffen im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie. *Geowissenschaften* 14, 51–57.
- WILSDORF, H. (1987): *Kulturgeschichte des Bergbaus*. Verlag Glückauf, Essen.
- WILSON, A. J. (1994): *The Living Rock – the story of metals since earliest times and their impact on developing civilization*.
- WINKELMANN, H. (1971): *Der Bergbau in der Kunst*. Verlag Glückauf, Essen.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Hrsg.) (1996):  
Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft – Jahresgutachten 1996.  
Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

ZENTNER, Chr. (1995): Der große Bildatlas der Weltgeschichte. Unipart-Verlag, Stuttgart.

Anschrift des Verfassers:

emer. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Günter B. L. FETTWEIS

Institut für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft der Montanuniversität Leoben

Franz-Josef-Straße 18

A-8700 Leoben