

**Horst Wagner**

## **Zur Frage der wirtschaftlichen Nutzung von Vorkommen mineralischer Rohstoffe**

### **Abstract**

The economic recovery of mineral deposits can be described by the term mineability. Mineability is given when the proceeds from the sale of the mineral product exceed the cost of mining and mineral processing. A frequently observed shortcoming of mine valuation is that the valuation is confined to the assessment of the content of the deposit while the costs of mining and processing are neglected.

The paper discusses the most important parameters governing mineability. The geographic factors determine the natural, social, legal, fiscal and political environment under which mining has to take place. Experience shows that in highly industrialised countries the geographic factors have a largely negative impact on the exploitation of mineral deposits. As a result of this there has been a shift in mineral exploitation from the industrialised to the developing countries. The geologically controlled parameters which influence the mineability of mineral deposits are the mineral content of the deposit, the size of the deposit and the quality of the deposit and surrounding strata. The first two of these parameters determine the size of the mining operations and the proceeds from the sale of the mineral product. The quality of the deposit and the surrounding strata govern the cost of exploitation. The most important quality parameters are the shape and spatial position of the mineral deposit, the mechanical and strength properties of the rock strata, the stresses in the rockmass, structural discontinuities, hydrology and the geothermal environment.

The influence of the shape of the mineral deposit on mineability is demonstrated using the examples of the German hard coal industry and tabular orebodies. It is shown, that labour productivity and the cost of mining are strongly influenced by the thickness and the angle of dip of the mineral deposit. In the case of highly mechanised coal mining operations this has led to the exclusion of all but near horizontal and medium to thick coal seams from the mineable reserves. As a result of this development only a small portion of the large coal reserve in the Ruhr-district is under present conditions considered mineable. In the case of thin tabular mineral deposits the dip range between 30 and 60 degrees is particularly

unfavourable from the point of view of mechanisation. Consequently the deposits which fall in this range are only mineable in a low wage environment.

A world wide study of underground mining operations has shown that good strata conditions are essential for highly productive low cost mining operations. Geologically disturbed mineral deposits and low strength rock strata are very costly to mine because of the considerable mine development and support requirements. Both factors have a negative impact on mining costs and labour productivities.

A prerequisite for the economic recovery of mineral deposits in highly developed countries is the political will to exploit local mineral deposits. However this will is often lacking. In addition to an increase in exploration activities, particularly in respect of obtaining a deeper insight into the factors which determine the quality of the mineral deposits, industry is well advised to convince decision makers for the need to exploit local mineral deposits.

## 1. Einleitung

Das Symposium anlässlich des 150jährigen Bestehens der Österreichischen Akademie der Wissenschaften hat das für die weitere Entwicklung der Zivilisation so wichtige Thema „Energievorräte und mineralische Rohstoffe: Wie lange noch?“. Im einleitenden Vortrag hat Fettweis zwei bedeutende Feststellungen gemacht, nämlich

- (i) Die Wirtschaft liefert die materielle Basis für unsere Zivilisation und Kultur, und
- (ii) 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.

Soweit sie materiell bestimmt ist, besteht die gesamte Lebenswelt mit ihren Straßen und Wohnungen, mit ihren Schulen, Krankenhäusern, Kirchen, mit ihren Werkstätten und Fabriken und den dazugehörigen Maschinen und Einrichtungen zum überwiegenden Teil aus weiterverarbeiteten mineralischen Rohstoffen, die aus der Erdkruste gewonnen worden sind. Dies geht auch aus dem jährlichen Verbrauch an mineralischen Rohstoffen hervor. Dieser liegt in industrialisierten Ländern im Durchschnitt bei 15 Tonnen je Kopf der Bevölkerung. Der wirtschaftlichen Nutzung von Vorkommen mineralischer Rohstoffe kommt demnach eine besondere und anhaltende Bedeutung zu.

Im Rahmen dieses Vortrages soll die Frage untersucht werden, welche Faktoren die wirtschaftliche Nutzung von Vorkommen mineralischer Rohstoffe besonders beeinflussen. Die Beantwortung dieser Frage ist auch im Zusammenhang mit der Veröffentlichung der metallogenetischen Karte von Österreich, welche mehr als 2000 Vorkommen mineralischer Rohstoffe ausweist, von Interesse. Insbesondere ist dabei die Frage der Abbauwürdigkeit, d. h. die Frage ob ein Vorkommen mineralischer Rohstoffe mit wirtschaftlichem Nutzen gewonnen werden kann, zu behandeln.

Ausgehend von einer kurzen Besprechung der verschiedenartigen Vorkommen mineralischer Rohstoffe werden jene Faktoren näher diskutiert, welche einen besonderen Einfluß auf die wirtschaftliche Nutzung von Mineralrohstoffvorkommen haben. Im Hinblick auf die allgemeine Thematik dieses Symposiums werden dabei vor allem die geologisch bestimmten Einflußgrößen näher betrachtet. Dabei wird versucht, soweit möglich, quantitative Zusammenhänge zwischen den geologischen Gegebenheiten und deren Auswirkungen auf die wirtschaftliche Nutzung eines Rohstoffvorkommens zu erarbeiten. Es zeigt sich, daß der Grad der Mechanisierung und somit die erzielbare Arbeitsproduktivität in einem entscheidendem Maß von den geologischen Rahmenbedingungen des Rohstoffvorkommens beeinflusst werden. Daneben werden jedoch noch eine Reihe von anderen Einflußgrößen, welche für die wirtschaftliche Nutzung von Rohstoffvorkommen von kritischer Bedeutung sind, diskutiert. Im abschließenden Teil des Vortrages wird die Frage der wirtschaftlichen Nutzung von heimischen Vorkommen mineralischer Rohstoffe näher betrachtet.

## **2. Vorkommen mineralischer Rohstoffe**

Vorkommen mineralischer Rohstoffe stellen Rohstoffanhäufungen in der Erdkruste dar, dies nicht nur im Hinblick auf das Überschreiten eines Mindestgehaltes an mineralischem Wertstoff, sondern auch im Hinblick auf das Überschreiten einer Mindestmenge an mineralischem Wertstoff. Die wert- und mengenmäßige Anhäufung mineralischer Rohstoffe ist das Ergebnis geologischer Prozesse. Dementsprechend unterscheiden Petraschek und Pohl (19)

- Magmatogene Vorkommen
- Verwitterungsvorkommen
- Sedimentäre Vorkommen
- Metamorphe Vorkommen
- Regenerierte Vorkommen
- Metamorphogene Vorkommen

Geprägt durch die geologischen Prozesse weisen die Rohstoffvorkommen Besonderheiten hinsichtlich der Lage, Größe, Form und Beschaffenheit, der Wertstoffverteilung sowie der geotechnischen Gegebenheiten auf, welche für eine spätere wirtschaftliche Nutzung entscheidend sein können. Der erste Schritt der technisch-wirtschaftlichen Beurteilung eines Rohstoffvorkommens ist daher ein klares Verständnis der Genese der Vorkommen. Auf dieser Grundlage können bereits erste Aussagen über eine mögliche wirtschaftliche Nutzung getroffen werden.

## **3. Abbauwürdigkeit von Rohstoffvorkommen**

### *3.1 Allgemeines*

Aus bergtechnischer und bergwirtschaftlicher Sicht spricht man von der „Abbauwürdigkeit“ von Rohstoffvorkommen. Unter diesem Begriff versteht

man die Eignung eines Rohstoffvorkommens, wirtschaftlichen Nutzen stiften zu können (6). Mineralrohstoffvorkommen, welche „abbauwürdig“ sind, werden als Lagerstätten bezeichnet. Da sich der wirtschaftliche Nutzen aus dem für die Gewinnung des mineralischen Rohstoffes erforderlichen Aufwand (Kosten) und dem aus dem Verkauf des Rohstoffs resultierenden Erlös ableitet und sowohl der Aufwand als auch der Erlös zeitvariable Größen sind, folgt, daß die Abbauwürdigkeit eines Vorkommens eine zeitabhängige Größe ist. Dem wird unter anderem dadurch Rechnung getragen, daß man Lagerstätten als abbauwürdige und bedingt abbauwürdige Rohstoffvorkommen ansieht. Als bedingt abbauwürdige Lagerstätten bezeichnet man dabei Mineralrohstoffvorkommen, die nach Lage, Größe und Beschaffenheit innerhalb absehbarer Zukunft von mehreren Jahrzehnten für einen Bergbau mit wirtschaftlichem Nutzen in Frage kommen können, Abbildung 1.

Bei der Beurteilung der Abbauwürdigkeit von Lagerstätten ist auf technische und wirtschaftliche Entwicklungen Rücksicht zu nehmen. Als ein wesentlicher Faktor, sehr zum Nachteil des europäischen Bergbaus, hat sich dabei die zunehmende Globalisierung der Rohstoffmärkte herausgestellt. Grund dafür ist vor allem der Strukturwandel auf dem Transportsektor. Als Folge davon werden heute mineralische Rohstoffe in Europa zu Preisen angeboten, zu denen sie infolge der hohen Lohn- und Lohnnebenkosten lokal nicht mehr produziert werden können. Die direkte Folge davon ist, daß viele der europäischen Rohstoffvorkommen unter den neuen Gegebenheiten nicht mehr oder nur beschränkt bauwürdig sind. Als Beispiel sei der europäische Steinkohlenbergbau genannt. Andererseits können neue berg- und aufbereitungstechnische Entwicklungen

## Bauwürdigkeit von Lagerstätten

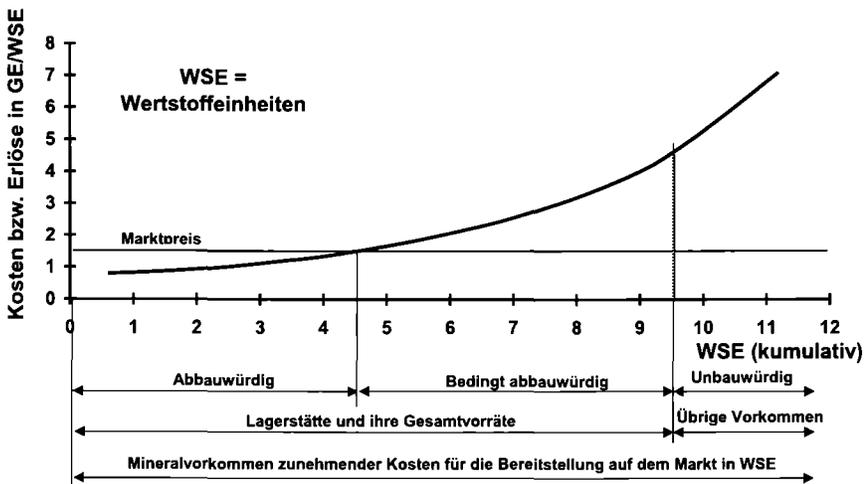


Abb. 1: Unterteilung der Lagerstätten in abbauwürdig, bedingt abbauwürdig und unbauwürdig

dazu führen, daß bislang unbauwürdige Rohstoffvorkommen bauwürdig werden. In diesem Zusammenhang sei auf das UG2 Platinflöz des Buschfeld-Komplexes im südlichen Afrika hingewiesen. Dieses Flöz war infolge seiner komplexen Mineralogie nicht aufbereitbar und aus diesem Grunde auch nicht abbauwürdig. Durch die Entwicklung eines neuen Aufbereitungsverfahrens der Firma MIN-TEK wurde dieses Flöz nutzbar. Dies führte zu einer Verdopplung der Weltplatinumvorräte.

Neben der Abbauwürdigkeit ist auch die Verfügbarkeit eines Rohstoffvorkommens bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Nutzung zu berücksichtigen. Dieser Aspekt ist insbesondere in den hochentwickelten Ländern Europas mit den unterschiedlichen Ansprüchen an das Naturraumpotential ein einschränkender Faktor für die Nutzung von Vorkommen mineralischer Rohstoffe.

### *3.2 Einflußgrößen auf die Abbauwürdigkeit*

Die Abbauwürdigkeit eines Rohstoffvorkommens hängt neben der Größe und dem Wertstoffinhalt des Vorkommens von einer Reihe weiterer Einflußgrößen ab. Diese lassen sich in folgende Hauptgruppen unterteilen:

- Geographisch bestimmte Einflußgrößen
- Geologisch bestimmte Einflußgrößen
- Betriebstechnische Einflußgrößen

Im folgenden wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten Einflußgrößen gegeben. Es muß jedoch bereits jetzt darauf hingewiesen werden, daß die Abbauwürdigkeit einer Lagerstätte im allgemeinen von der komplexen Wechselwirkung der verschiedenen Einflußgrößen bestimmt wird. Dabei sind die geographisch und geologisch bestimmten Einflußgrößen als weitgehend vorgegebene Größen anzusehen, während die betriebstechnischen Einflußgrößen durch die Wahl der Betriebsverfahren beeinflussbar sind.

#### **3.2.1 Geographische Einflußgrößen**

Tabelle I gibt einen Überblick über die geographischen Einflußgrößen. Wie aus der Aufstellung hervorgeht, bestimmen die geographischen Einflußgrößen das naturräumliche, soziale, rechtliche, fiskalische und politische Umfeld, in welchem der Abbau von Rohstoffvorkommen erfolgt. Eine kritische Beurteilung der geographischen Einflußgrößen zeigt deutliche Unterschiede zwischen hochentwickelten Industriestaaten und Entwicklungsländern auf, Tabelle II.

Tabelle I: Geographische Gegebenheiten (i.w.S.) am Standort eines Rohstoffvorkommens  
(nach S. v. WAHL)

*1. Naturräumliche Gegebenheiten*

- a) Klima: Temperaturen und Niederschläge im jahreszeitlichen Wechsel
- b) Oberflächenbedingungen: Topographie, Gewässer, Vegetation, ökologische Gegebenheiten
- c) Grundwasserbedingungen
- d) Besondere Gefahren: Hochwasser, Muren, Lawinen

*2. Infrastruktur und Bebauung*

- a) Politische Grenzen
- b) Verkehrsanschlüsse und andere Überlandanschlüsse; Straßen, Eisenbahnen, Wasserwege, Flughäfen; Elektrizitätsleitungen, Pipelines; Tarife bzw. Kosten
- c) Eigentumsverhältnisse; Nutzung, Verfügbarkeit und Kosten von Land
- d) Besiedlung einschließlich kultureller Bedingungen sowie Bebauung; Baumöglichkeiten und Baukosten
- e) Energieversorgung: Strom, Gas, Brennstoffe, Kraftstoffe; Verfügbarkeiten und Kosten
- f) Versorgung mit Trink- und Gebrauchswasser; Verfügbarkeiten, Qualitäten, Kosten
- g) Versorgung mit Massengütern wie Baustoffe und Holz; Verfügbarkeiten, Qualitäten, Kosten
- h) Versorgung mit sonstigen Betriebsmitteln; Verfügbarkeiten, Qualitäten, Kosten
- i) Versorgung auf den Gebieten von Schulen, Bildung, Erholung und medizinischer Betreuung
- j) Landwirtschaftliches, forstwirtschaftliches, industrielles und kulturelles Umfeld

*3. Arbeitskräfte*

- a) Verfügbarkeiten
- b) Ausbildungsstand und Motivation
- c) Lohn- und Gehaltsniveau
- d) Gewerkschaftliche Organisation

*4. Empfindlichkeit gegen Eingriffe in die Umwelt und Umweltschutz*

- 5. *Eventuelle konkurrierende Ansprüche an das Naturraumpotential*
  - a) Land- und Forstwirtschaft
  - b) Bebauung für Wohn- oder Industriezwecke
  - c) Wassergewinnung
  - d) Gewinnung anderer mineralischer Rohstoffe
  - e) Fremdenverkehr

*6. Rechtliche Gegebenheiten*

- a) Bergrecht und Bergbehörden, Energierecht, Produktionsvorschriften
- b) Gesellschaftsrecht, Gewerberecht
- c) Arbeits- und Sozialrecht
- d) Normen auf den Gebieten der Raumordnung und des Umweltschutzes; Grundrecht, Wegerecht, Wasserrecht, Naturschutzrecht u. ä.
- e) Handels-, Außenhandelsrecht
- f) Steuerrecht
- g) Vorgangsweise bei und Ablauf von Genehmigungsverfahren

*7. Fiskalische, finanzielle und rohstoffpolitische Gegebenheiten*

- a) Besteuerung und sonstige Abgaben (Förderzins, Feldeszins), Steuerliche Förderungen, Abschreibungsvorschriften
- b) Wechselkurs und Transfermöglichkeiten
- c) Kapitalmarktverhältnisse
- d) Monetäre Entwicklungen
- e) Rohstoff- und energiepolitische Gegebenheiten
- f) Wirken internationaler Organisationen

*8. Rechtssicherheit, politische Stabilität*

Tabelle II: Vergleich der geographischen Einflußgrößen für hochentwickelte Industriestaaten und Entwicklungsländer

	Hochentwickelte Industriestaaten	Entwicklungsländer
Naturräumliche Gegebenheiten	ähnlich	ähnlich
Infrastruktur		
Transportinfrastruktur	gut entwickelt	fehlt häufig
Energieversorgung	gut entwickelt, jedoch häufig hohe Energiekosten	häufig schlecht entwickelt
Zugang zu Grund und Boden	schwierig und kostspielig	im allgemeinen kein Problem, und kostengünstig
Arbeitskräfte		
Ausbildungsstand	gut	oft mangelhaft
Lohnniveau	hoch	nieder
Umweltfragen	kritisch	häufig nicht kritisch
Naturraumansprüche	häufig Konflikte	geringes Konfliktpotential
Rechtliche Gegebenheiten	hochentwickeltes, teilweise überentwickeltes Rechtssystem	große Unterschiede zwischen einzelnen Ländern
Fiskalische und rohstoffpolitische Gegebenheiten	häufig rohstofffeindlich oder indifferent	oft rohstofffreundlich
Rechtssicherheit, politische Stabilität	hoch	sehr unterschiedlich zwischen Regionen

Aus dem Vergleich sieht man, daß mit Ausnahme der Infrastruktur, dem Zugang zu gut ausgebildeten Fachkräften und der teilweise unsicheren politischen Stabilität die Entwicklungsländer im allgemeinen bessere geographische Voraussetzungen für den Abbau von mineralischen Rohstoffen aufweisen. Es ist daher auch nicht verwunderlich, daß weltweit eine Konzentration der neuen Bergbauinvestitionen mit Ausnahme von Nordamerika in den weniger entwickelten Ländern mit verhältnismäßig hoher politischer Stabilität zu beobachten ist (18), Abbildung 2.

Im Gegensatz zur generell rohstofffreundlichen Politik der Entwicklungsländer besteht in vielen hochentwickelten Ländern, wie auch in Österreich, eine weitreichende Rohstofffeindlichkeit, welche durch komplexe, langwierige und entsprechend kostspielige Genehmigungsverfahren, Interessenkonflikte auf dem Gebiet der Raumordnung und Bürgerinitiativen gegen Rohstoffprojekte gekenn-

zeichnet ist. Als Ergebnis dieser Entwicklung werden in diesen Ländern immer weniger Rohstoffprojekte in Angriff genommen. Dies führt zu einer Verknappung der zum Abbau zur Verfügung stehenden Lagerstättenreserven. Als Beispiel sei Oberösterreich erwähnt, wo in einem Zeitraum von nur 8 Jahren die genehmigten Reserven von Sand und Kies von 12,2 auf 7,1 Jahre zurückgegangen sind (10).

## Bergbauinvestitionen

seit 1995

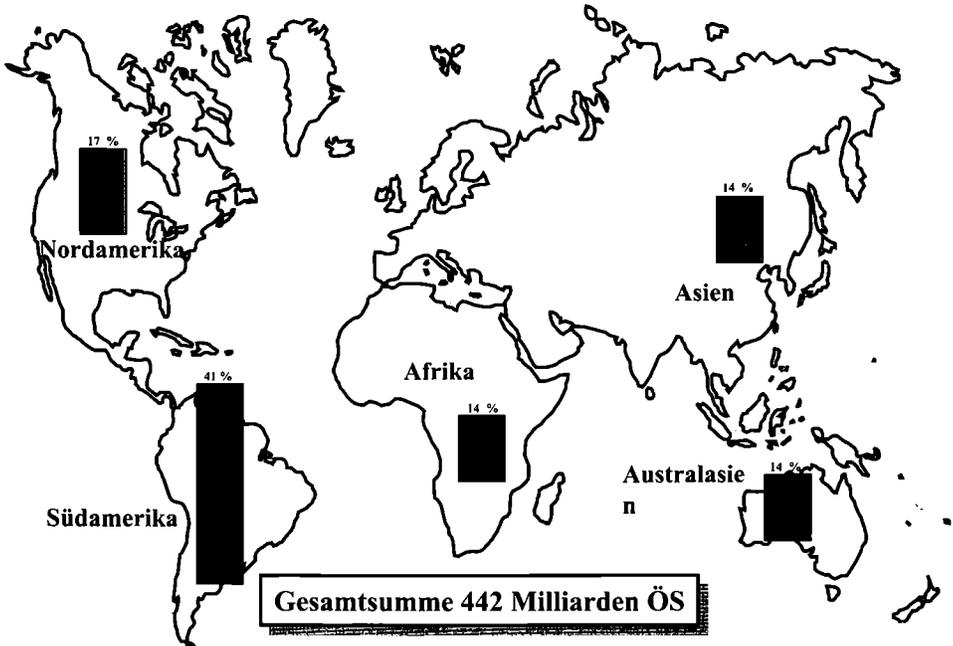


Abb. 2: Weltweite Bergbauinvestitionen seit 1995

Insgesamt ist festzustellen, daß die relative wirtschaftliche Bedeutung der Mineralrohstoffgewinnung in den hochentwickelten Ländern, sieht man von Norwegen mit seinen reichen Kohlenwasserstoffvorkommen ab, im Bereich von einigen wenigen Prozenten des Bruttonationalproduktes liegt, während der Anteil der Mineralrohstoffindustrie in den weniger entwickelten Ländern im Bereich von 10 % bis 20 % liegt, Tabelle III.

Tabelle III: Zusammenhang zwischen Pro-Kopf-Einkommen und Anteil der Mineralrohstoffindustrie am Bruttonationalprodukt (Quelle: HARGREAVES et al.)

	Pro-Kopf-Einkommen (US \$)			
	0-1000	1000-10000	10000-20000	≥ 20000
Anteil am Bruttonationalprodukt, %	19,3	14,7	4,35	2,1

### 3.2.2 Geologische bestimmte Einflußgrößen

Die geologisch bestimmten Einflußgrößen von Lagerstätten können nach Fettweis (1990) unter den Begriffen Lagerstättenqualität, Lagerstättenquantität und Lagerstättenbonität zusammengefaßt werden.

Unter dem Begriff **Lagerstättenqualität** versteht man dabei die Konzentration und Verteilung der Wertstoffe in der Lagerstätte, die Art und Beschaffenheit der Lagerstättensubstanz im Hinblick auf die produzierbaren Bergbauprodukte, die Aufbereitbarkeit der Lagerstättensubstanz einschließlich der Auswirkungen einer gegebenenfalls unvermeidbaren Verdünnung aus dem Nebengestein.

Die **Lagerstättenquantität** beschreibt die Größe des Lagerstättenvorrats. Hinsichtlich der Größe von Erzlagerstätten unterscheiden Petraschek und Pohl (1992) in:

- Großlagerstätten, deren Substanz bei Eisenerz mehr als 1 Mrd. t, bei wertvollerelem Erz mehr als 20 Mill. t beträgt
- Mittellagerstätten mit einer Substanz von 300 Mill. bis 1 Mrd. t Eisenerz bzw. 1 Mill. bis 20 Mill. t von anderem Erz
- Kleinlagerstätten mit 50 Mill. bis 300 Mill. t Eisenerz bzw. 0,5 Mill. bis 1 Mill. t wertvollerelem Erz
- Zwerglagerstätten mit geringen Vorräten

Die Lagerstättengröße (Vorräte) bestimmt in einem entscheidendem Maß die Betriebsgröße (21).

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse einer am Institut für Bergbaukunde der Montanuniversität Leoben durchgeführten Untersuchung von mehr als 150 untertägigen Bergwerken in entwickelten Ländern (16). Die Zunahme der Betriebsgröße mit zunehmenden Vorräten ist deutlich erkennbar. Von einem gewissen Interesse ist, daß die Größe der heimischen Betriebe unter der international üblichen Größe liegt. Einer der Gründe dafür könnte das im Vergleich zu den ausländischen Betrieben höhere Alter der österreichischen Betriebe sein.

Unter dem Begriff **Lagerstättenbonität** versteht Fettweis die Gesamtheit derjenigen geologischen Merkmale eines Rohstoffkörpers und seines Nebengebirges, mit Ausnahme der Lagerstättenquantität, die auf die Gewinnung des Rohstoffs einen Einfluß ausüben. Zu den wichtigsten Bonitätsfaktoren zählen die Lage und Gestalt des Rohstoffkörpers (geometrische Faktoren), die geomechanischen Gegebenheiten (gebirgsmechanische Faktoren), die hydrogeologischen Gegebenheiten, die geothermischen Gegebenheiten und sicherheitlichen Gegebenheiten.

Im weiteren soll vor allem auf den Einfluß der Bonitätsfaktoren auf die Abbauwürdigkeit von Lagerstätten und die bergtechnischen Entscheidungen näher eingegangen werden.

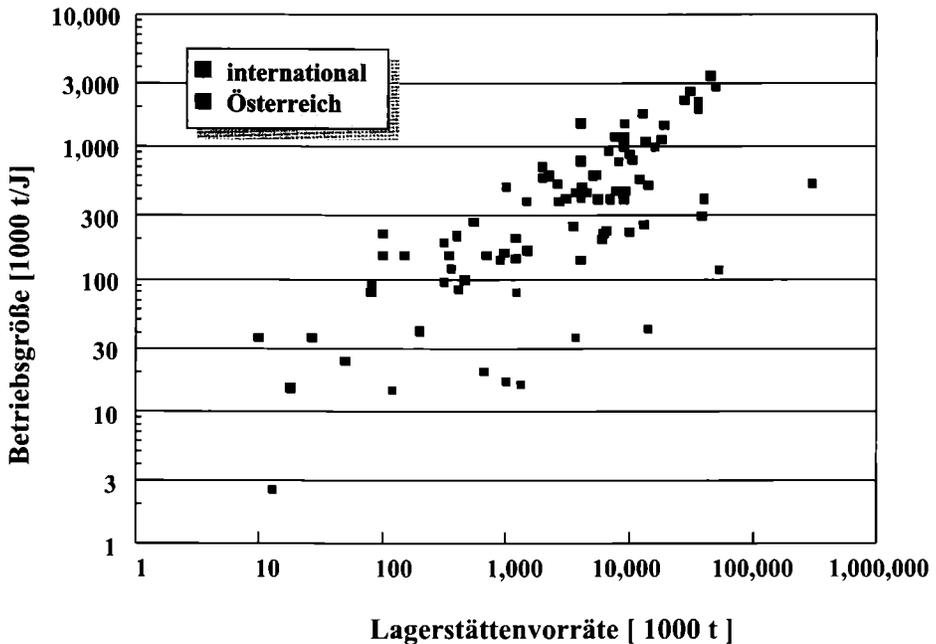


Abb. 3: Zusammenhang von Lagerstättenvorräten und Betriebsgröße

### 3.2.2.1 Lage und Gestalt der Lagerstätte

#### *Aufsucharbeiten*

Die Lage und Gestalt eines Rohstoffvorkommens beeinflusst die Abbaubarkeit, d. h. die wirtschaftliche Nutzung von Mineralrohstoffvorkommen, in vielerlei Weise. Zunächst hängt der Aufwand für das Aufsuchen des Vorkommens, d. h. für die Prospektion und Exploration von der Lage und Gestalt des Vorkommens ab. Ganz allgemein darf festgestellt werden, daß der Aufwand für das Aufsuchen eines Vorkommens bis zur Feststellung der Abbauwürdigkeit mit der Tiefe und Komplexität zunimmt. Dies gilt insbesondere für die direkten Methoden der Exploration, wie das Niederbringen von Erkundungsbohrungen, das Abteufen von Untersuchungsschächten und das Auffahren von Untersuchungsstrecken. Der Kernbohraufwand pro 1000 Tonnen Jahresförderung liegt je nach geologischer Komplexität und Lagerstättenform zwischen 0 und 200 m pro 1000 Tonnen, Abbildung 4. Nimmt man den Kernbohraufwand als Maß der geologischen Komplexität, so zeigt sich, daß die Produktivität mit zunehmender Komplexität deutlich abnimmt. Hartmann und Lacy (1992) schätzten auf der Grundlage veröffentlichter Daten aus Nordamerika und Australien, daß die Kosten für das Aufsuchen wirtschaftlich attraktiver Mineralrohstoffvorkommen im Bereich von 14–20 % des minimalen erwarteten Einkommens aus dem Abbau des Vorkommens liegen (8). Diese Werte stimmen auch mit den Angaben größerer Bergbaufinanzgesellschaften überein, welche ganz all-

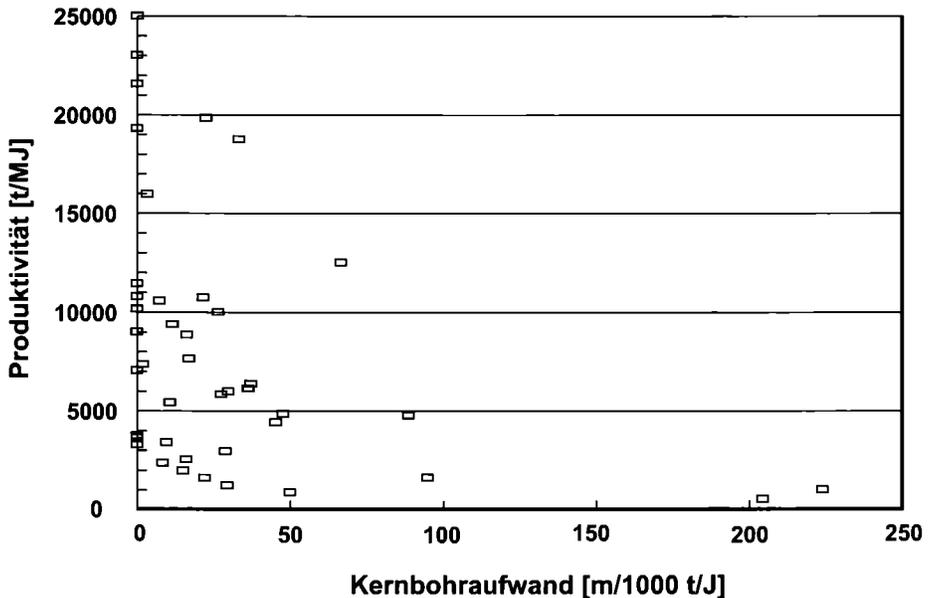


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Kernbohraufwand und Produktivität

gemein davon ausgehen, daß der Aufwand für das Aufsuchen neuer Lagerstätten nicht unter 10 % des jährlichen Gesamtumsatzes fallen sollte.

Eine Besonderheit der Kosten für die Aufsucharbeiten ist, daß die zum Teil sehr hohen Kosten lange bevor an den Abbau eines Vorkommens, d. h. an ein Einkommen gedacht werden kann, anfallen. Aus diesem Grunde werden verstärkte Anstrengungen unternommen, den Zeitraum zwischen den Aufsuch- und Abbauarbeiten soweit möglich zu verkürzen. Durch technologische und organisatorische Innovationen ist es vielfach gelungen, den Zeitraum von der Feststellung der Abbauwürdigkeit eines Rohstoffvorkommens bis zur Inbetriebnahme eines Bergwerkes zu halbieren. Auf diese Weise können die hohen Finanzierungskosten von Bergwerken minimiert werden. Als Beispiel sei auf das Steinkohlenbergwerk „Secunda Collieries“ mit einer Jahresförderung von 28 Millionen Tonnen verwiesen, welches in einem Zeitraum von weniger als 6 Jahren in Betrieb genommen wurde. Demgegenüber sind die überlangen Genehmigungsverfahren, wie sie in Europa üblich sind, zu sehen. Diese wirken sich investitionsfeindlich, d. h. auch rohstofffeindlich aus.

#### *Aufschlußarbeiten*

Die Lage und Gestalt der Lagerstätte beeinflussen auch den nächsten Schritt der bergmännischen Tätigkeiten, nämlich den Zugang zur Lagerstätte. Im Falle von oberflächennahen Lagerstätten geschieht dies durch das Freilegen des Lagerstättenkörpers oder wenigstens eines Teiles des Lagerstättenkörpers.

Zu diesem Zweck muß das über dem Lagerstättenkörper liegende Deckgebirge entfernt, d. h. abgeräumt werden. Bei tief liegenden Lagerstättenkörpern erfolgt der Zugang entweder durch das Auffahren von Stollen oder das Abteufen von Schächten oder Rampen. Die Wahl des Zuganges wird dabei im wesentlichen von der Topographie bestimmt.

Der Aufwand für das Freilegen der Lagerstätte für den übertägigen Abbau wird durch das Abraumverhältnis beschrieben. Das Abraumverhältnis, AR, wird dabei entweder als Volumensverhältnis ( $\text{m}^3$  Abraum je  $\text{m}^3$  Lagerstätteninhalt) oder als Volumen- zu Tonnenverhältnis ( $\text{m}^3$  Abraum je Tonne Lagerstätteninhalt) ausgedrückt.

Der Einfluß der Lagerstättenform auf das Abraumverhältnis wird häufig unterschätzt. Aus diesem Grunde werden drei idealisierte Lagerstättenkörper untersucht. Die betrachteten Lagerstätten haben einen Inhalt von jeweils 1 Mill.  $\text{m}^3$  und eine durchschnittliche Teufe von 50 m. Lagerstätte 1 ist eine vertikale plattenförmige Lagerstätte mit einer Mächtigkeit von 20 m, einer streichenden Erstreckung von 500 m und einer Teufenerstreckung von 100 m. Lagerstätte 2 hat identische Dimensionen, ist jedoch im Vergleich zu Lagerstätte 1, horizontal gelagert. Die mittlere Teufe der Lagerstätte beträgt 50 m. Lagerstätte 3 ist eine massige Lagerstätte mit Dimensionen in allen drei Richtungen von jeweils 100 m. Die Lagerstätte reicht bis an die Tagesoberfläche.

Abbildung 5 zeigt die geometrische Form der drei Lagerstätten sowie die Entwicklung des Abraumverhältnisses über den gesamten Betriebszeitraum. Wie aus der Abbildung hervorgeht, bestehen deutliche Unterschiede. Die Lagerstätten 1 und 3, welche an der Tagesoberfläche ausbeissen, weisen zunächst ein sehr niedriges Abraumverhältnis auf. Mit zunehmendem Abbau, d. h. zunehmender Teufe verschlechtert sich das Abraumverhältnis zunehmend, wobei die Situation für Lagerstätte 1 jedoch wesentlich ungünstiger ist als für Lagerstätte 3.

Im Falle der horizontal gelagerten Lagerstätte 2 wird zunächst nur Abraummaterial bewegt, bis die obere Grenze der Lagerstätte freigelegt ist. Von diesem Punkt an wird das Abraumverhältnis zunehmend günstiger. Auf den Gesamtlagerstätteninhalt bezogen weist Lagerstätte 2 das geringste Abraumverhältnis, d. h. den geringsten Aufwand für die Abraumarbeiten auf. Dem steht jedoch gegenüber, daß bis zum Zeitpunkt des Freilegens der Lagerstätte nur Kosten anfallen. Der Abbau der Lagerstätte 2 erfordert demnach eine kapitalstarke Organisation, welche in der Lage ist, die umfangreichen Abraumarbeiten vorzufinanzieren. Das Beispiel zeigt in eindrucksvoller Weise, in welchem Maße die Gestalt des Mineralvorkommens die Abbauwürdigkeit beeinflussen kann.

Im Falle des untertägigen Abbaus von Vorkommen mineralischer Rohstoffe erfolgt der Aufschluß der Lagerstätten durch Stollen, Rampen oder Schächte. Die Wahl der Aufschlußmethode hängt weitgehend von den lokalen Gegebenheiten ab (16). Auch hier spielt die Lage und Gestalt der Lagerstätte eine entscheidende Rolle. Für Lagerstätten in großer Teufe und bei höheren Fördermengen kommt nur noch ein Aufschluß durch Schächte in Frage. Die Ko-

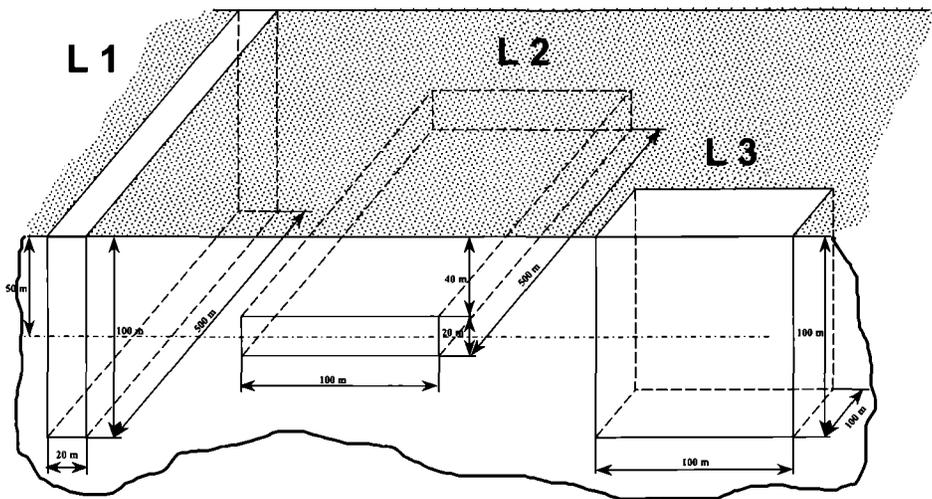
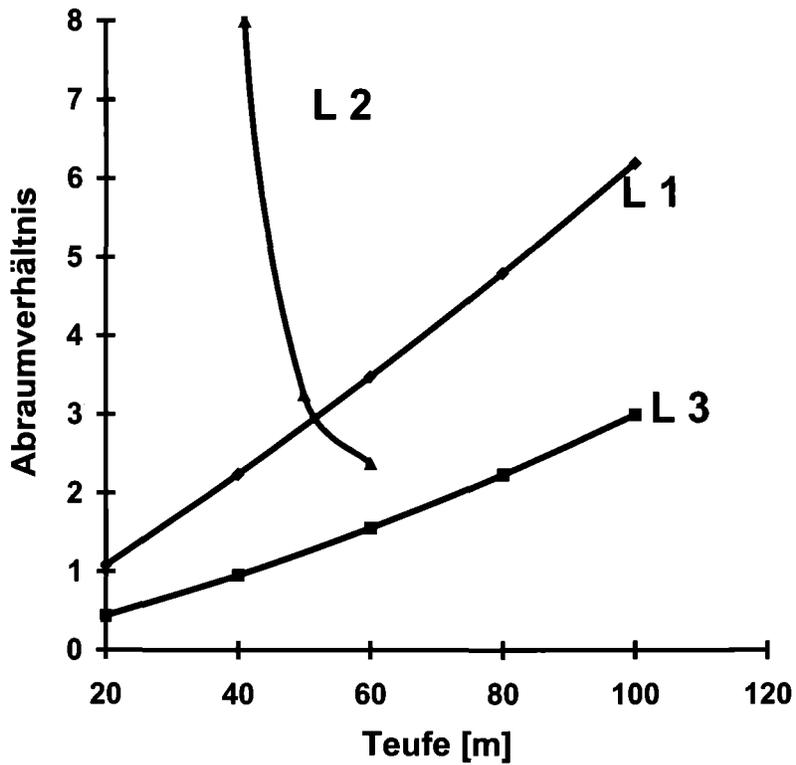


Abb. 5: Einfluß der Lagerstättenform auf das Abraumverhältnis

sten für das Abteufen und Ausrüsten von Förderschächten liegen dabei je nach Schachtdurchmesser, Ausbauerfordernissen und Förderkapazität zwischen öS 50.000 und 150.000 pro Meter Schacht. Daraus ergibt sich die Forderung nach großen qualitativ hochwertigen Lagerstätten. Dies geht aus Abbildung 6 hervor, welche den Zusammenhang zwischen Betriebsgröße, Teufe und Betriebsverfahren zeigt. Aus der Abbildung geht deutlich hervor, daß im Falle tiefer liegender Lagerstätten eine Mindestförderung, d. h. eine Mindestlagerstättengröße erforderlich ist, um einen wirtschaftlichen Abbau zu ermöglichen.

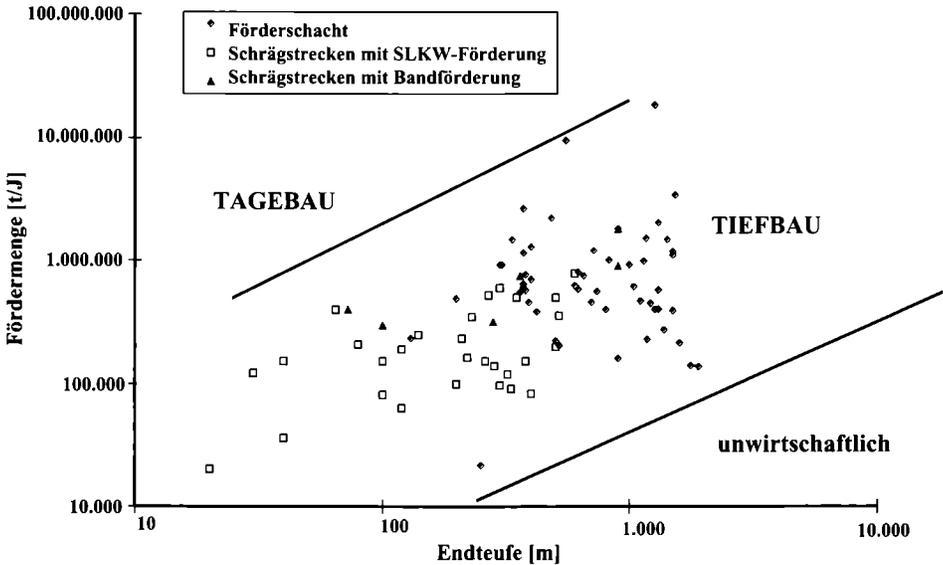


Abb. 6: Einfluß von Teufe und Fördermenge auf das Betriebssystem

Die Abbildung zeigt auch, daß im Falle sehr großer Fördermengen, d. h. großer Lagerstättenkörper Tagebau bis zu mehreren hundert Metern Teufe möglich ist. Ein Beispiel dafür ist der Großtagebau Palaborwa im südlichen Afrika, in welchem eine Kupferlagerstätte im Tagebau bis zu einer Teufe von 650 m bei einer Tagesförderung von 85000 t Kupfererz abgebaut wird.

Aus der Abbildung geht weiterhin hervor, daß im Falle von Klein- und Kleinstvorkommen, die wirtschaftliche Abbaugrenze bereits bei Förderteufen von wenigen hundertern von Metern erreicht wird. Dieser Umstand ist bei der Beurteilung der Abbauwürdigkeit alpiner Kleinlagerstätten zu berücksichtigen.

#### Gewinnungsarbeiten

Als nächstes soll der Einfluß der Form der Lagerstätte auf die Leistungsfähigkeit von Abbauverfahren behandelt werden. Aus zeitlichen Gründen wird die Diskussion dabei auf plattenförmige Lagerstätten beschränkt. Unter diesem

Sammelbegriff werden alle Lagerstätten zusammengefaßt, deren Mächtigkeit klein ist im Vergleich zu deren Erstreckung in Streich- und Einfallensrichtung. Bekannte Lagerstättentypen sind Kohlenflöze, die goldhaltigen Reefe des Witwatersrand-Komplexes und Gangerzlagerstätten. Die charakteristischen Parameter der plattenförmigen Lagerstätten sind die Mächtigkeit und das Einfallen. Die Mächtigkeit der Lagerstätte bestimmt die Größe des Arbeitsraumes und damit verbunden auch die Größe der Gewinnungsgeräte, die eingesetzt werden können. Das Einfallen beeinflusst die Bewegung von Maschinen im Abbaubereich, die Fördermethode und aus sicherheitlichen Gründen die Zahl der Abbau- punkte in einem Lagerstättenteil.

Entsprechend der Mächtigkeit,  $M$ , unterscheidet man zwischen Lagerstätten mit:

- geringer Mächtigkeit      ( $M < 1 \text{ m}$ )
- mittlerer Mächtigkeit      ( $1 \text{ m} < M < 3 \text{ m}$ )
- großer Mächtigkeit      ( $M > 3 \text{ m}$ )

Im Hinblick auf das Einfallen werden die Lagerstätten wie folgt unterteilt:

- flache Lagerung      ( $< 20 \text{ gon}$ )
- geneigte Lagerung      ( $20 \text{ gon} - 60 \text{ gon}$ )
- steile Lagerung      ( $60 \text{ gon} - 90 \text{ gon}$ )

Der Einfluß von Mächtigkeit und Einfallen auf die Leistungsfähigkeit von vollmechanisierten Gewinnungsbetrieben im Steinkohlebergbau geht aus einer kürzlich durchgeführten Analyse von Betriebsdaten aus dem Steinkohlenbergbau in der Bundesrepublik Deutschland hervor (17). Insgesamt wurden 93 Strebruchbaubetriebe in Kohlenflözen mit Mächtigkeiten von 0,7 m bis mehr als 2,5 m erfaßt.

Auffallend bei der Analyse war der geringe Anteil von 6 Abbaubetrieben in der geneigten Lagerung. Dieser Anteil entspricht in keiner Weise den Lagerungsverhältnissen im deutschen Steinkohlenbergbau. Die Erklärung dafür ist aus Tabelle IV zu entnehmen, welche zeigt, daß die durchschnittliche Betriebspunktförderung und die durchschnittliche Strebleistung (kg/Mannschicht) in der geneigten Lagerung nur die Hälfte der vergleichbaren Werte in der flachen Lagerung beträgt. Der Grund dafür ist in den Schwierigkeiten der Kontrolle der bis zu 20 Tonnen schweren Schildausbaue in der geneigten Lagerung zu suchen. Beim Vorwärtsbewegen der Schildausbaue bewegen sich diese infolge der Schwerkraftwirkung gegen den Fußbereich des Strebtes. Die Korrekturmaßnahmen sind überaus arbeitsintensiv und zeitaufwendig.

Tabelle IV: Einfluß des Flözeinfallens auf die Strebleistung

Flözeinfallen (gon)	Strebleistung (kg/MS)
0-20	30948
20-40	14647

Die Mechanisierung im Steinkohlenbergbau hat viele neue Anforderungen an die Lagerstätte hinsichtlich Einfallen, Mächtigkeit und Freiheit von geologischen Störungen, gestellt. Dies geht aus Abbildung 7 hervor, welche den Anteil der Kohlenförderung aus vollmechanisierten Strebbetrieben sowie Anteile der Kohlenförderung aus Betrieben in geneigter und steiler Lagerung und aus Betrieben mit einer Flözmächtigkeit von mehr als 2,2 m zeigt.

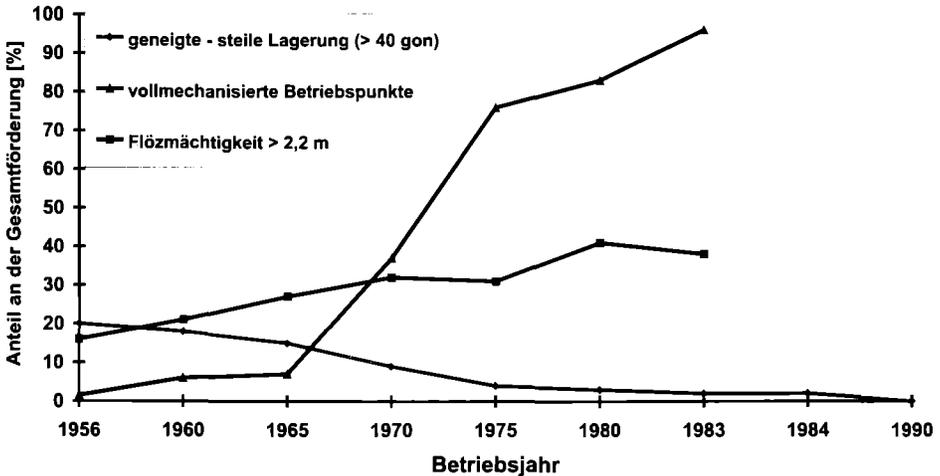


Abb. 7: Auswirkungen der Mechanisierung im deutschen Steinkohlenbergbau auf geringmächtige Flöze und Flöze in geneigter Lagerung

Aus der Abbildung folgt, daß mit zunehmender Mechanisierung der Anteil der Kohlenförderung aus der geneigten und steilen Lagerung von vormals 20 % auf weniger als 1 % zurückgegangen ist, während sich im Zeitraum 1956 bis 1984 der Anteil der Förderung aus Flözen mit einer Mächtigkeit von 2,2 m mehr als verdoppelt hat (2).

Die Gründe für den Trend zu größeren Flözmächtigkeiten sind aus Abbildung 8, welche den Einfluß der Mächtigkeit auf die Strebleistung in der flachen Lagerung illustriert, ersichtlich.

Die Beispiele aus dem deutschen Steinkohlenbergbau demonstrieren die gesteigerten Anforderungen an die Lagerstätte als Folge der Mechanisierung der Kohlegewinnung und die daraus resultierende negative Rationalisierung.

Abschließend sei noch auf die bei extrem günstigen Lagerungsverhältnissen erzielbaren Strebfördermengen hingewiesen. Meldungen aus dem amerikanischen, australischen und südafrikanischen Steinkohlenbergbau berichten von Strebfördermengen pro Jahr von 2 bis 3 Mill. Tonnen von einem einzigen Betriebspunkt. Diese Fördermengen sind vergleichbar mit der Gesamtfördermenge von mittleren bis größeren europäischen Steinkohlenbergwerken. Diese

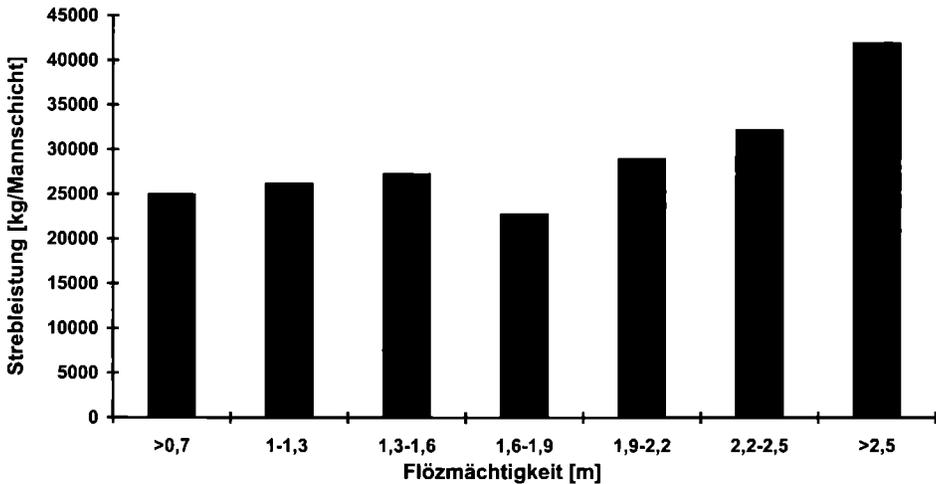


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Flözmächtigkeit und Strebleistung

Leistungen werden in weitgehend ungestörten flachgelagerten Kohlenflözen mit Mächtigkeiten von mehr als 2 m erzielt (4).

Die Mächtigkeit und das Einfallen bestimmen auch die Gewinnungskosten und damit auch die Abbauwürdigkeit kleiner alpiner plattenförmiger Lagerstätten (9). Drei Gründe sind dafür maßgebend, nämlich:

1. der Einfluß der Mächtigkeit auf die Verdünnung des Wertstoffgehaltes der Lagerstätte.
2. der Einfluß der Mächtigkeit auf die Größe der bei der Gewinnung eingesetzten Bergbaumaschinen.
3. der Einfluß des Einfallens der Lagerstätte auf die Gebirgsbeherrschung, die Förderung und die Zahl der Angriffspunkte für die Gewinnung der Lagerstätte.

Im Falle von geringmächtigen Lagerstätten,  $M < 2$  m, ist es aus arbeits- und maschinentechnischen Gründen erforderlich, neben dem Lagerstättenkörper auch noch einen Teil des Nebengebirges abzubauen. Dadurch kommt es zu einer Verdünnung des Wertstoffgehaltes der Lagerstätte. Abbildung 9 zeigt den Einfluß der Mächtigkeit auf die Kosten beim Abbau eines saigeren (100 gon) Lagerstättenkörpers im mechanisierten Firstenstoßbau. In der Abbildung sind sowohl die Kosten je Tonne abgebautes Material als auch die Kosten je Tonne unverdünnten Lagerstätteninhalts gezeigt. Der Einfluß der Verdünnung auf die Kosten je Tonne Lagerstätteninhalts unterhalb einer Mächtigkeit von zwei Metern ist deutlich erkennbar. Der eher geringe Einfluß der Mächtigkeit auf die Kosten je Tonne abgebautes Material (öS/t Hauwerk) ist unter anderem dadurch zu erklären, daß unterhalb einer Lagerstättenmächtigkeit von etwa 2 m die tatsächlichen Abbaueiten durch die eingesetzten Maschinen und nicht mehr durch die Lagerstättenmächtigkeit bestimmt werden.

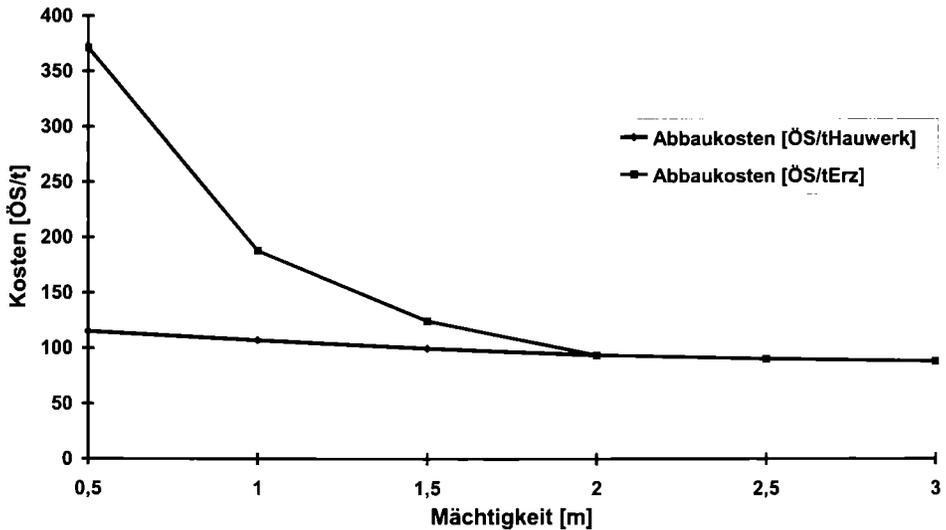


Abb. 9: Einfluß der Mächtigkeit einer steilstehenden Gangerzlagerstätte auf die Kosten

Der Einfluß von Mächtigkeit und Einfallen auf die Abbaukosten je Tonne unverdünnten Lagerstätteninhalts ist aus Abbildung 10 ersichtlich. Beim Vergleich der Kosten ist zu berücksichtigen, daß drei verschiedene den Lagerstättenanforderungen gerechte Abbauverfahren verglichen wurden, nämlich ein Örterbau für die flachgelagerte Lagerstätte (0 gon), ein Stoßbau für die geneigte Lagerstätte (50 gon) und ein Firstenstoßbau für die saigere Lagerstätte (100 gon). Der bereits erwähnte und hauptsächlich durch die Verdünnung verursachte Anstieg der Kosten je Tonne Lagerstätteninhalt unterhalb einer Mächtigkeit von etwa zwei Metern ist deutlich erkennbar. Als besonders ungünstig erweist sich dabei die geneigte Lagerung.

Die Beispiele aus dem Kohlen- und Erzbergbau haben gezeigt, daß Einfallen und Mächtigkeit einen entscheidenden Einfluß auf die Betriebspunktfördermenge, die Arbeitsproduktivität sowie die Abbaukosten von plattenförmigen Lagerstätten ausüben.

Unterhalb einer Lagerstättenmächtigkeit von etwa 2 Meter werden die Abbaubedingungen zunehmend ungünstiger und die Kosten bezogen auf die Tonne Wertstoffinhalt steigen rasch an. Besonders ungünstig wirkt sich in Hochlohnländern der Einfluß der Mächtigkeit auf die Arbeitsproduktivität aus. Aus diesem Grunde ist der Abbau geringmächtiger plattenförmiger Lagerstätten in diesen Ländern nur noch in Ausnahmefällen möglich.

### 3.2.2.2 Gebirgsmechanische Gegebenheiten

Neben der Lage und Gestalt des Vorkommens üben die gebirgsmechanischen Gegebenheiten unter den Bonitätsmerkmalen den größten Einfluß auf die Abbauwürdigkeit von Lagerstätten aus. Unter den gebirgsmechanischen Gege-

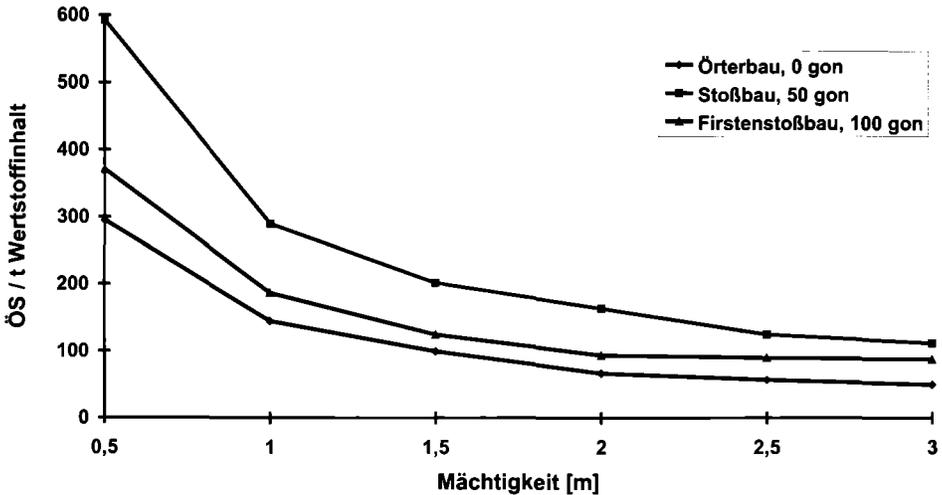


Abb. 10: Einfluß von Einfallen und Mächtigkeit von kleinen plattenförmigen Lagerstätten auf die Gewinnungskosten

benheiten versteht man dabei die Summe aller Parameter, welche Gewinnbarkeit des Gebirges und der Lagerstätte, die Standfestigkeit von Grubenbauen und die Stabilität des Grubengebäudes sowie die Steinfall- und Gebirgsschlaggefahr beeinflussen. Daneben wird die Wahl des Abbauverfahrens und die zu erwartenden Abbauverluste maßgebend von den gebirgsmechanischen Gegebenheiten bestimmt.

Die wichtigsten gebirgsmechanischen Gegebenheiten sind:

- die Gesteinseigenschaften (Festigkeit und Abrasivität)
- die Zahl, Orientierung und Eigenschaften der im Gebirge vorhandenen Kluft- und Störungssysteme
- der Spannungszustand im Gebirge
- die Geometrie der Lagerstätte

Die Gesteinseigenschaften sind vor allem für die Beurteilung der mechanischen Gewinnbarkeit des Gebirges sowie für die Beurteilung der Standfestigkeit von Grubenbauen ausschlaggebend.

#### *Abrasivität*

Abbildung 11 gibt einen Überblick über die gegenwärtigen Grenzen der Bohr- und Sprengarbeit und des Einsatzes von mechanischen Gewinnungsmaschinen (7). Aus der Abbildung geht hervor, daß sich der gegenwärtige Einsatzbereich der mit Schneiddisken ausgestatteten Tunnel- und Schachtbohrmaschinen bis in den Bereich hochfester abrasiver Gesteine erstreckt, während der Einsatzbereich von Gewinnungs- und Streckenvortriebsmaschinen, welche Schneidmeißel verwenden, wie zum Beispiel Teilschnittmaschinen oder

Continuous Miner, auf gering bis mittelmäßige abrasive Gesteine mit einer Druckfestigkeit von weniger als 100 MPa beschränkt ist. Anstrengungen werden daher unternommen, den Einsatzbereich dieser Gewinnungsmaschinen in Richtung höherer Gesteinsfestigkeiten und höherer Gesteinsabrasivität zu erweitern (12).

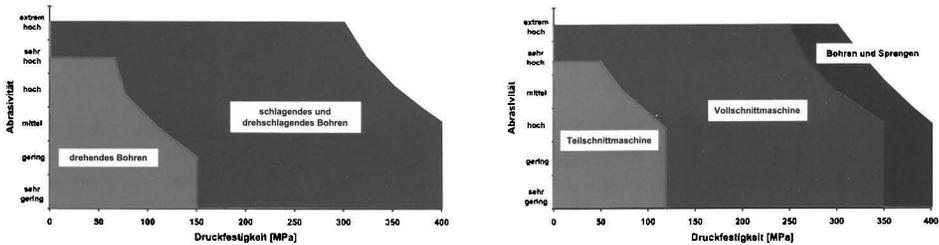


Abb. 11: Einsatzbereiche für Bohr- und Sprengarbeit und mechanische Gewinnung in Abhängigkeit von der Gesteinsfestigkeit und der Abrasivität

Die Gebirgsfestigkeit hängt neben der Gesteinsfestigkeit vor allem von den im Gebirge vorhandenen Diskontinuitäten ab. Je nach Zahl, Orientierung und Beschaffenheit der Diskontinuitäten kann die Gebirgsfestigkeit bis auf weniger als ein Zehntel der Gesteinsfestigkeit absinken (11). Der Aufwand für den Grubenausbau und die Lagerstättenverluste bei kammerartigen Abbaufahrern werden maßgeblich von der Gebirgsfestigkeit bestimmt. Die Vorhersage der Gebirgsfestigkeit auf der Grundlage von Informationen, welche zum Zeitpunkt der Planung von Bergwerken zur Verfügung stehen, ist eine der großen Herausforderungen an die Bergbauforschung. Gegenwärtig versucht man Aussagen über die Standfestigkeit von Grubenbauen auf der Grundlage von Gebirgsklassifikationsverfahren zu machen. Die bekanntesten dieser Verfahren sind das „Mine Rock Mass Rating“-Verfahren nach Laubscher (14) und das „Q“-Verfahren von Barton (3). Mit Hilfe dieser Verfahren ist es möglich, die Standfestigkeit sowie die Ausbauerfordernisse von Hohlräumen abzuschätzen.

Als Beispiel sei auf das Standfestigkeitsdiagramm von Laubscher verwiesen, Abbildung 12. Dieses Diagramm wird in zweierlei Weise angewendet. Zum einen kann damit die zulässige Größe der Hangendfläche für Grubenbaue, welche über lange Zeiträume offen bleiben sollen, wie z. B. Abbaukammern, ermittelt werden. Im Hinblick auf die gestellte Zielsetzung, nämlich der Frage der Abbauwürdigkeit von Rohstoffvorkommen ist dies von Bedeutung, da die Arbeitsproduktivität mit zunehmender Abbaugröße steigt, Abbildung 13. Neben der Kammerbreite ist vor allem auch die Stehzeit des Abbauhohlraumes ohne Sicherung, d. h. ohne Ausbau, für die erzielbaren Arbeitsproduktivitäten kritisch (15).

Zum anderen können mit Hilfe des Diagramms von Laubscher auch die Minstdimensionen, welche erforderlich sind, um einen Abbauhohlraum zu Bruch zu werfen, bestimmt werden. Letzteres ist für die erfolgreiche Anwendung der kostengünstigen Bruchbauverfahren erforderlich.

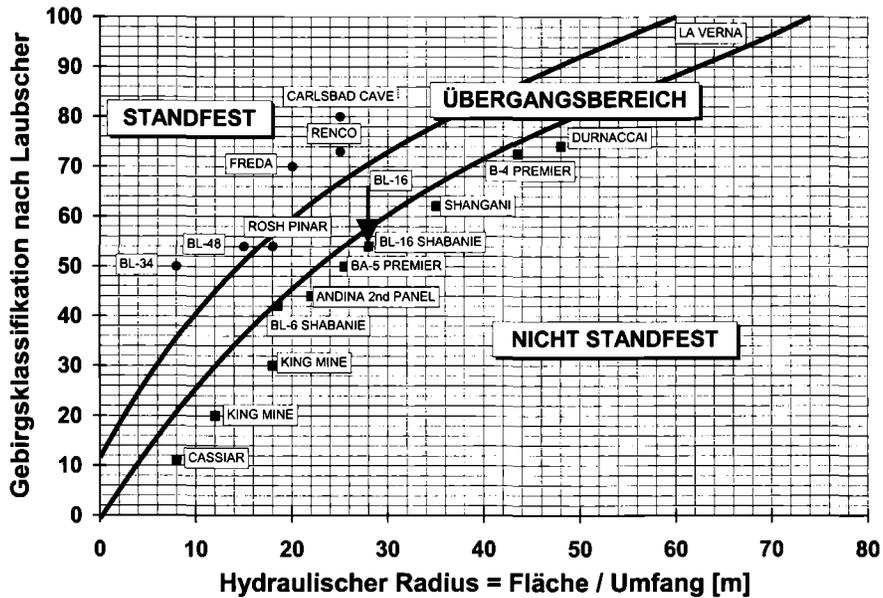


Abb. 12: Standfestigkeitsdiagramm nach LAUBSCHER

Kammerartige Abbauverfahren zählen zu den wirtschaftlichsten Abbauverfahren. Ein kritischer Aspekt dieser Verfahren ist dabei die Bemessung der Bergfesten, welche zur Unterstützung der überlagernden Schichten zurückgelassen werden. Die in den Bergfesten enthaltene Lagerstättensubstanz ist den Abbauverlusten zuzurechnen. Ziel der ingenieurmäßigen Bemessung der Bergfesten ist es, einerseits die Bergfesten so klein wie möglich zu gestalten, andererseits jedoch sicherzustellen, daß ein Versagen der Bergfesten weitestgehend ausgeschaltet wird. Da die Belastung der Bergfesten mit der Teufe zunimmt, folgt, daß die Größe der Bergfesten mit der Teufe ebenfalls zunehmen muß. Das wiederum bedeutet eine Zunahme der Lagerstättenverluste bei kammerartigen Abbauverfahren mit der Teufe. Abbildung 14 zeigt die Situation für den südafrikanischen Kohlenbergbau. In diesem Fall überschreiten die Abbauverluste im Örtterbau die 50 Prozentmarke in einer Teufe von etwa 150 m (22). Infolge dieser Abbauverluste ist der Anwendungsbereich der kostengünstigen, kammerartigen Abbauverfahren nach der Teufe hin begrenzt. Dieser Umstand könnte auf die Entwicklung des untertägigen Abbaus von heimischen Kalk-, Dolomit- und Marmorlagerstätten, welcher heute ernsthaft diskutiert wird, negative Auswirkungen haben.

Wie bereits angedeutet, nehmen die Spannungen im Gebirge mit der Teufe zu. Aus diesem Grunde ist daher auch in größerer Teufe mit größeren Gebirgsdruckwirkungen zu rechnen. Diese erfordern einen höheren Ausbauraufwand, d. h. höhere Ausbaurkosten. Als Beispiel sei auf die Kosten für die Auffahrung und den Ausbau

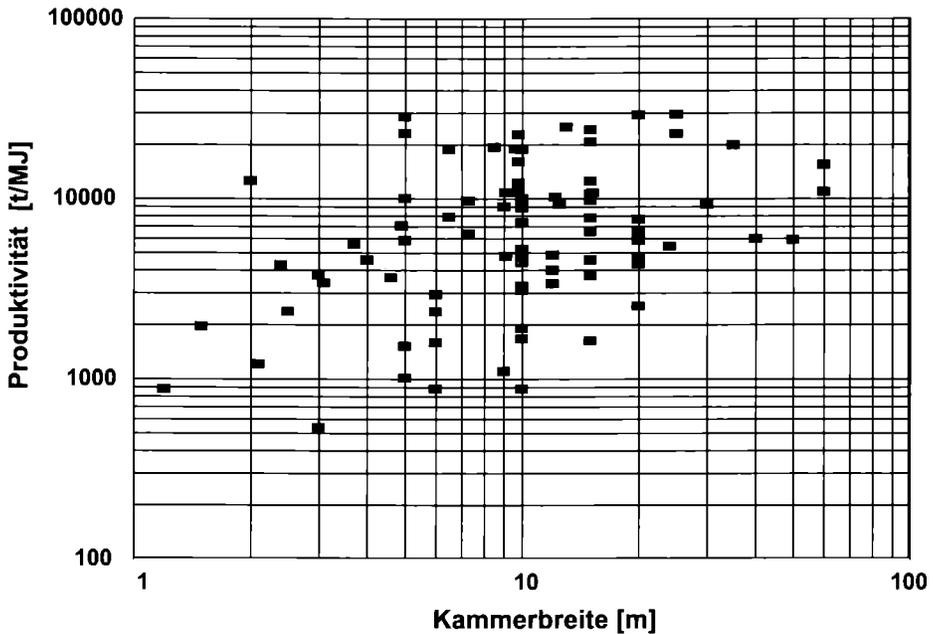


Abb. 13: Zusammenhang zwischen Kammerbreite und Produktivität

von Abbaustrecken im Steinkohlenbergbau an der Ruhr hingewiesen. Diese liegen im Bereich von öS 30.000,- bis zu öS 40.000,- je Meter Abbaustrecke, wobei der Großteil der Kosten auf den Streckenausbau entfällt. Auf die Tonne Kohle bezogen betragen die Streckenkosten somit etwa öS 100,- das entspricht einem Viertel des Importpreises von Kraftwerkskohle aus Australien und Südafrika. Aus diesem Beispiel alleine geht der Einfluß der ungünstigen Lagerstättenbedingungen auf die Bauwürdigkeit von Kohlenflözen im deutschen Steinkohlenbergbau hervor.

### 3.3 Bewertung der einzelnen Bonitätsmerkmale

Nahezu keine Informationen existieren über die relative Bedeutung der einzelnen Bonitätsmerkmale von Lagerstätten. Eine der wenigen Studien auf diesem Gebiet wurde im Zusammenhang mit einer plötzlichen Verknappung der Arbeitskräfte im südafrikanischen Goldbergbau, als Folge eines Flugzeugabsturzes Anfang der siebziger Jahre, durchgeführt. Bei dem genannten Absturz sind 80 Bergarbeiter aus Malawi tödlich verunglückt. Daraufhin hat Präsident Banda von Malawi 80000 seiner Landsleute, welche in südafrikanischen Golderzbergwerken beschäftigt waren, nach Malawi zurückgerufen. Dies führte zu einer Krisensituation in der Goldbergbauindustrie. Um eine gerechte Verteilung der neu angeworbenen Bergarbeiter an die einzelnen Bergbaubetriebe zu gewährleisten, hatte die Bergbaukommission von Südafrika beschlossen, die Zuteilung der Arbeitskräfte auf der Grundlage eines Produktivitätsschlüssels der einzelnen Berg-

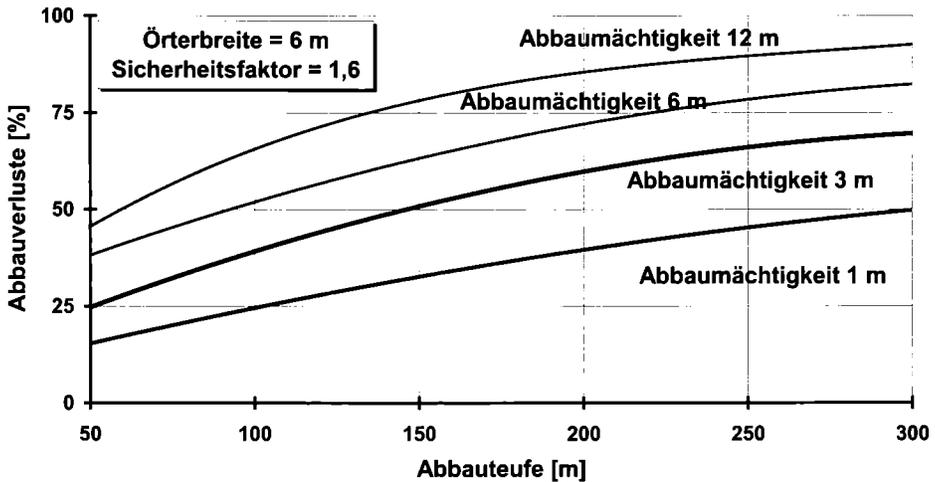


Abb. 14: Einfluß der Teufe auf die Abbauverluste beim Örterbau

werke durchzuführen. Dieser Schlüssel basierte auf der Beurteilung von Faktoren, welche die Produktivität beeinflussen, über die jedoch die Betriebsleitungen keine Kontrolle hatten. Aus heutiger Sicht handelte es sich dabei um die von Fettweis vorgeschlagenen Bonitätsmerkmale wie

- Lagerstättenmächtigkeit
- Teufe
- Unregelmäßigkeiten der Lagerstätte
- Gebirgsmechanische Gegebenheiten.

In einer umfangreichen Studie, welche 25 der größeren Goldbergwerke erfaßte, wurde auf statistischer Basis eine Produktivitätsformel entwickelt, welche die den oben genannten Bonitätsmerkmale berücksichtigte (1):

$$P_C = 67,48 - 0,2802(L - 51,02) - 0,0537(M - 49,84) - 0,0032(T - 1640) - 1,5242(G - 18,43)$$

$P_C$  = die vorhergesagte Produktivität in  $m^2$  abgebaute Fläche je Arbeiter /Monat  
 $L$  = die Meter Aus- und Vorrichtung je 1000  $m^2$  abgebaute Fläche. (Maß der Unregelmäßigkeit der Lagerstätte)

$M$  = Mächtigkeit der goldhaltigen Schichten (m)

$T$  = Teufe (m)

$G$  = Gebirgsmechanische Gegebenheiten.

(Die gebirgsmechanischen Gegebenheiten wurden von einer Gruppe von Experten für alle Golderzbergwerke aufgrund einer systematischen Evaluierung aller relevanten Faktoren ermittelt).

Eine kritische Betrachtung der Produktivitätsgleichung zeigt, daß unter den Lagerstättenbedingungen des südafrikanischen Goldbergbaus den gebirgs-

mechanischen Gegebenheiten und der Unregelmäßigkeit der Lagerstätte die größte Bedeutung im Hinblick auf die Bergbauproduktivität zukommt.

Abschließend ist festzustellen, daß die Bonitätsmerkmale einer Lagerstätte einen überaus großen Einfluß auf die Abbauwürdigkeit von Mineralvorkommen ausüben. Neben der Größe und Gestalt der Lagerstätte kommt dabei den gebirgsmechanischen Gegebenheiten und der Regelmäßigkeit der Lagerstätte die größte Bedeutung zu. Ungünstige gebirgsmechanische Verhältnisse führen zu einem hohen Ausbaaufwand und zu hohen Lagerstättenverlusten. Während sich der Ausbaaufwand ungünstig auf die Abbaukosten auswirkt, führen die Lagerstättenverluste zu einer Verringerung der Erlöse. Beide Einflüsse zusammen verringern die Abbauwürdigkeit einer Lagerstätte.

#### 4. Die Situation in Österreich

Österreich ist ein Land mit einer großen und langen Bergbautradition. Österreich ist auch ein Land, welches reich an armen, d. h. kleinen und komplexen Rohstoffvorkommen ist. In der Vergangenheit hat dieser Umstand infolge des eher geringen Lohnniveaus und damit verbunden auch dem geringen Mechanisierungsgrad der Bergbauarbeiten keine entscheidende Rolle gespielt. Dieser Umstand hat sich geändert. Der Abbau kleiner, geologisch häufig komplexer und oft auch tektonisch stark beanspruchter Rohstoffvorkommen, welche sich nur in einem beschränkten Umfang mechanisieren lassen, wird aus wirtschaftlicher Sicht immer schwieriger. Dies trotz des Einsatzes von zum Teil sehr innovativer Bergtechnik (20). Aufgrund der Natur vieler alpiner Erz- und Kohlenlagerstätten ist davon auszugehen, daß derartige Lagerstätten in Zukunft nur noch unter ganz besonderen Umständen abgebaut werden können. Voraussetzungen für den Abbau derartiger Lagerstätten sind ein hoher Wertstoffgehalt der Lagerstätte, günstige Nebengesteinsbedingungen und ein möglichst regelmäßig ausgebildeter Lagerstättenkörper. Unter diesen Voraussetzungen ist mit einem wirtschaftlichen Bergbau zu rechnen. Als Beispiel dafür sei auf den Scheelitbergbau Mittersill verwiesen.

Die zunehmende Beschäftigung mit Umweltfragen wirkt sich negativ auf den Abbau heimischer mineralischer Rohstoffe aus. Dies gilt insbesondere für den übertägigen Abbau der sogenannten Baurohstoffe. Es werden daher heute vielfach schon Überlegungen angestellt, den Abbau von Kalk, Dolomit und Marmor nach Untertage zu verlegen. Die großräumigen Kalk-, Dolomit- und vielfach auch Marmorvorkommen sowie die Festigkeit dieser Gesteine bieten gute Voraussetzungen für einen hochmechanisierten und somit auch kostengünstigen untertägigen Abbau. Im Dolomitbergbau Schwaz werden schon seit vielen Jahren etwa 120.000 t Dolomitgestein unter Tage gewonnen. Vor kurzem wurde auch ein untertägiger Marmorabbau in der Weststeiermark in Betrieb genommen. Auch in diesem Fall ist es durch die Wahl eines geeigneten Abbauverfahrens, sowie durch die weitgehende Mechanisierung der Abbautätigkeit, gelun-

gen, Marmor unter Tage wirtschaftlich abzubauen (13). Langfristig gesehen ist daher mit einem zunehmenden Trend zur untertägigen Gewinnung von Baurohstoffen zu rechnen. Voraussetzungen dafür sind ein standfestes Gebirge, welches große Abbauhohlräume zuläßt, sowie eine weitgehende Mechanisierung der Abbautätigkeiten. Unter diesen Gegebenheiten ist der untertägige Abbau von Baurohstoffen durchaus wettbewerbsfähig mit der übertägigen Gewinnung (24).

Im Falle der Vielzahl an bekannten Klein- und Kleinstvorkommen in Österreich ist auf der Grundlage der gegenwärtigen Standes der Bergtechnik mit einer wirtschaftlichen Nutzung nur in Sonderfällen zu rechnen. Der Grund für diese Feststellung liegt bei den bekannten Schwierigkeiten der Mechanisierung des Abbaus von Klein- und Kleinstvorkommen sowie dem bestehenden hohen Lohnniveau.

## 5. Schlußbemerkungen

Bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Nutzung von Vorkommen mineralischer Rohstoffe stehen im allgemeinen die Fragen des Wertstoffinhaltes (Haltigkeit) und der Vorratsmenge im Vordergrund. Im Rahmen dieses Vortrages wurde gezeigt, daß dies notwendige, jedoch keine hinreichenden Kriterien sind. Insbesondere in hochentwickelten Ländern spielen Fragen der Nutzung des Naturraumes, der Umwelt, sowie soziologische und politische Fragen eine dominierende Rolle. Infolge des leichten Zugangs zu importierten Rohstoffen fehlt häufig auch der politische Wille zur Nutzung heimischer Rohstoffvorkommen. Dies kann langfristig zu einer Situation führen, daß die heimische Industrie nicht mehr in der Lage ist, den Bedarf an mineralischen Rohstoffe zu decken. Im Falle von preisintensiven Rohstoffen, welche in geringen Mengen verbraucht werden, und bei denen die Transportkosten relativ unbedeutend sind, kann die Einfuhr von Rohstoffen durchaus gerechtfertigt sein. Im Falle von mineralischen Rohstoffen, welche in großen Mengen verwendet werden, wie z. B. Baurohstoffe, ist die Transportfrage zu berücksichtigen. Die gegenwärtig bestehende Versorgungsstruktur auf dem Sektor der Baurohstoffe, welche mehr als 90 % der in Österreich abgebauten mineralischen Rohstoffe darstellen, basiert auf dem Prinzip der verbrauchernahen Versorgung. Sollte dieses Prinzip aus politischen Gründen nicht mehr akzeptabel sein, Anzeichen dafür sind vorhanden, so würde dies die Einfuhr von 50–100 Mill. t von Baurohstoffen bedeuten.

Im Vergleich zur Lagerstättenqualität und -quantität wird der Lagerstättenbonität zu wenig Bedeutung zugemessen. Der Lage und Gestalt der Lagerstätte sowie den gebirgsmechanischen und hydrologischen Gegebenheiten kommt eine gleichrangige Bedeutung zu. Leider wird dieser Aspekt bei den Prospektions- und Explorationsarbeiten nicht ausreichend berücksichtigt. Dies macht eine realistische Beurteilung der Abbauwürdigkeit von Rohstoffvorkommen schwierig und erhöht das unvermeidliche geologische und bergmännische Risiko.

Die zukünftige Nutzung von mineralischen Rohstoffen aus österreichischen Vorkommen wird weniger von technischen und wirtschaftlichen Faktoren bestimmt werden als von Fragen der Raumordnung und der Umwelt, d. h. die

Frage der zukünftigen Nutzung heimischer Rohstoffvorkommen wird zunehmend auf politischer Ebene entschieden werden (5). Die Herausforderung an die Rohstoffindustrie ist es, zu zeigen, daß mineralische Rohstoffe umweltfreundlich und ohne langfristig negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Lebensqualität der Gesellschaft zur Verfügung gestellt werden können.

### Literaturverzeichnis

1. ADAM, G. R., COOK, N. G. W., JAGER, A. J. and WAGNER, H.: An assessment of hangingwall conditions in twenty five of the principal gold mines of the Witwatersrand system. Chamber of Mines Research Report 19/76, 1976.
2. BACHSTROEM, H.: German Longwall Mining. – Facts and Figures. Glückauf Mining Handbooks, Vol. 32, Verlag Glückauf, Essen, 1985.
3. BARTON, N., LIEN, R. and LUNDE, J.: Engineering classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics 6, 189–236, 1974.
4. CARTER, R. A.: Australia's into Longwall for the Long Haul. Coal Age, 29–33, May 1997.
5. COOPE, B.: European industrial minerals – World class but under threat. Industrial Minerals. 55–59, August 1997.
6. FETTWEIS, G. B. L.: Der Produktionsfaktor Lagerstätte. In: Bergwirtschaft Bd. I. Die elementaren Produktionsfaktoren des Bergbaubetriebs. S. v. WAHL, 19. Verlag Glückauf, Essen, 1990.
7. GEHRING, K. H.: Classification of Drillability, Cuttability, Borability and Abrasivity in Tunnelling. Felsbau Jg. 15, 183–190, 1997.
8. HARTMANN, H. L., LACY, W. C.: Mineral Prospecting and Exploration. SME Mining Engineering Handbook, 2nd. Ed. Vol. 1, pp. 209, Soc. for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1992.
9. HEINTZE, P.: Untersuchungen über den Einfluß von Einfallen und Mächtigkeit auf den Abbau bei der Gewinnung kleiner plattenförmiger Lagerstätten alpinen Typs. Dissertation, Leoben, 1995.
10. HENNRICH, C.: Wirtschaftlicher Hintergrund des Rohstoffabbaus in der Stein- und keramischen Industrie Österreichs. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte Jg. 142, Heft 8, 349–351, 1997.
11. HOEK, E. and BROWN, E. T.: Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy. London, 176, 1980.
12. ICACUTROC-EU Forschungsprojekt unter der Leitung der Voest Alpine Bergtechnik Zeltweg, 1997.
13. JANDL, G.: Albogel GmbH – ein modernes Bergbauunternehmen. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Jg. 142, 174–177, 1997.
14. LAUBSCHER, D. H.: A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. Journal S. Afr. Inst. Min. Metall., Vol. 90, 257–272, Oktober 1990.

15. MOSER, P., OBERNDORFER, T.: Prerequisites for highly productive low cost underground hardrock mining. Proceedings der Konferenz „Miniere e materie prime alle soglie del 3. millenio“. Turin, Italien, S. 343–351, 1–2 Dezember 1994.
16. MOSER, P.: Der Aufschluß von untertägigen Bergwerken. Habilitationsschrift, Montanuniversität Leoben. 1997.
17. N. N.: Statistik der Kohlenwirtschaft e.V.: Kennzahlen und Ergebnisse der Abbaubetriebe des Steinkohlenbergbaus im Bundesgebiet. Band I, II, Essen, 1996.
18. N. N.: Expenditure Driven. Mining Journal, Vol. 329, No. 8440, 3, 1. August 1997.
19. PETRASCHECK, W. E., POHL, W.: Lagerstättenlehre. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
20. PRUGGER, F.: Möglichkeiten der Mechanisierung im alpinen Kleinbergbau. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. Jg. 141, 154, 1996.
21. TAYLOR, H. K.: Rates of working mines – a simple rule of thumb. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A, S. A 203-A 204, 1986.
22. WAGNER, H.: Pillar design in coal mines. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 37–45, 1980.
23. WAGNER, H., NÖTSTALLER, R.: Zur Frage der Bedeutung der Versorgung Österreichs mit mineralischen Rohstoffen aus heimischen Vorkommen. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Jg. 142, 339–349, 1997.
24. WAGNER, H., MOSER, P.: Ist der untertägige Abbau von Massenrohstoffen eine Alternative zur obertägigen Gewinnung? Bergbautechnik und Sicherheit, Heft 8. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten – Oberste Bergbehörde. 53–73, 1995.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dipl.-Ing. Dr. Horst WAGNER

Institut für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft

Montanuniversität

A-8700 Leoben