



Aspekte der wirtschaftsgeologischen Bewertung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe

ALEXANDER HORKEL & KONSTANTIN HORKEL*)

5 Tabellen

*Lagerstätten
Bergbau
Produktivität
Bewertung*

Inhalt

Zusammenfassung	91
Abstract	91
1. Geologie, Bergbau und Wirtschaft	92
1.1. Bergbau als materielle Basis der Wirtschaft	92
1.2. Grundcharakteristika	92
1.3. Bergbau und Öffentlichkeit	92
1.3.1. Öffentliche Akzeptanz	92
1.3.2. Produktivität und Beschäftigung	92
2. Wirtschaftsgeologie und Rohstoffsicherung	92
2.1. Bergbau und Technologie	92
2.2. Aktuelle Bergwirtschaft	93
2.2.1. Bergbau	93
2.2.2. Struktur	93
2.3. Rohstoffbasis	93
3. Wirtschaftsgeologische Bewertung von Lagerstätten	94
3.1. Generelles	94
3.1.1. Zielsetzungen	94
3.1.2. Bewertungsansätze	94
3.1.3. Normen, Standards und Codes	95
3.2. Erfolgchancen und Risiken	95
3.3. Aspekte der Bewertung	95
Literatur	96
Normen, Standards und Codes	97

Zusammenfassung

Die wirtschaftsgeologische Bewertung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe stellt einen wichtigen Faktor für die langfristige Versorgung der Gesellschaft mit mineralischen Ressourcen dar. Sie bildet einen komplexen Prozess im globalen Spannungsfeld von Geologie, Technologie, Gesellschaft und Politik sowie der Notwendigkeit, mineralische Ressourcen geordnet und nachhaltig zu nutzen.

Aspects of the Geological Evaluation of Deposits of Solid Mineral Resources

Abstract

The economic evaluation of deposits of solid mineral resources is a crucial factor for securing the long-term supply of the society with minerals and solid fossil fuels. It constitutes a complex process in a global playing field controlled by geology, technology, society and politics, as well as the need for an orderly and sustainable use of non-renewable natural resources.

*) Mag. Dr. ALEXANDER HORKEL, Zedlitzgasse 11, A 1010 Wien.

Mag. KONSTANTIN HORKEL, Montanuniversität Leoben, Institut für Geologie und Lagerstättenlehre, A 8700 Leoben.

1. Geologie, Bergbau und Wirtschaft

1.1. Bergbau als materielle Basis der Wirtschaft

Bergbau und Agrarwirtschaft sichern seit dem Neolithikum die materielle Basis jeder Gesellschaft. Der Bergbau zur Versorgung mit primären mineralischen Rohstoffen und fossilen Energieträgern wirkte auch stets als wichtiger Faktor für technische und politische Entwicklungen.

Im Bergbau bilden Prospektion, Exploration und erste wirtschaftsgeologische Bewertungen von Lagerstättenpotenzialen den Anfang einer Kette von technischen und wirtschaftlichen Planungen, Bewertungen und Entscheidungen, die schließlich zur Erschließung und Gewinnung von Lagerstätten führt.

1.2. Grundcharakteristika

Bergbau unterscheidet sich in zwei fundamentalen, trivialen, aber wesentlichen Punkten vom Agrarsektor.

- Bergbau muss dort betrieben werden, wo eine Lagerstätte gefunden wurde. Agrarwirtschaft ist hingegen bei gegebenen klimatischen und Bodenverhältnissen ortsunabhängig. Bergbau besitzt daher von allen Wirtschaftszweigen die höchste Standortgebundenheit und das höchste Standort- und politische Risiko.
- Jedes Bergwerk erschöpft seine Ressource durch den Abbau („once a ton of ore is mined, it is never put back“ [MJ 9/2002]). Außerdem decken bei einigen mineralischen Rohstoffen wenige Lagerstätten, Produzentländer oder Gesellschaften, manchmal sogar nur eine einzige Großlagerstätte, einen Großteil des Weltbedarfs. Dies bewirkt auch bei vergleichsweise weniger strategischen Rohstoffen wirtschaftspolitische Spannungsfelder.

Diese selbstverständlichen Fakten klingen banal, illustrieren aber die politische Dimension des Bergbaus. Selbst PriceWaterhouseCoopers betont in einer Analyse „the immobility and finiteness“ der für den Bergbau zentralen Lagerstätten als den wesentlichen Unterschied zwischen Bergbau und anderen Wirtschaftssektoren (MJ 6/2003).

1.3. Bergbau und Öffentlichkeit

1.3.1. Öffentliche Akzeptanz

Der Agrarsektor genießt hohe politische und öffentliche Akzeptanz. Landwirte rangieren in einer Umfrage der von den Österreichern für wichtig gehaltenen Berufe als No. 3 mit 83 % (hinter Ärzten und Pflegepersonal) – trotz aller negativen Auswirkungen moderner Intensivwirtschaft (NN, 2006). Wissenschaftler liegen übrigens in dieser Liste (in einer technisierten Industrie- und Wissensgesellschaft) auf No. 18 (mit 59 %) – ex aequo mit Reinigungskräften.

Der Bergbau hat dagegen für die meisten in der Regel kaum direkte Auswirkungen, man sieht oft nur negative Umweltbelastungen und tendiert zu einer eher ablehnenden Haltung. Weiters werden öfters hohe und teilweise unrealistische Erwartungen in Rohstoffsicherung durch regenerative Energieträger oder Recycling gesetzt. Außerdem gilt Bergbau als unvereinbar mit nachhaltiger Nutzung von Ressourcen oder als spekulative Ausbeutung der Natur mit hohem Risiko und großem potenziellem Gewinn, welche „greedy, undesirable and unscrupulous“ Elemente anlockt (WEST, 1998). Diese kritische Einstellung hat allerdings eine lange Tradition, denn schon die Vorrede zu AGRICOLA (1556) beginnt: „Edler und fester Herr! Es haben vor alten Zeiten und noch heute viele Leute gewagt, die herrliche und bedeutende Beschäftigung mit dem Bergbau mit ungerechtem Tadel zu verkleinern und für unwichtig zu

erklären. Damit haben sie aber, weil sie keinen stichhaltigen Grund dazu gehabt haben, wenig ausgerichtet. Manche von ihnen, böse Sophisten, haben wegen des Missbrauchs gleich das Wesentliche und Hauptsächliche beim Bergwerke aus dem menschlichen Leben ausschließen und wegnehmen wollen; eine Ansicht die unglaublich ungereimt und nährisch ist.“

Auch heute leidet die öffentliche Ressourcendiskussion, soweit sie stattfindet, unter mangelndem Verständnis für die spezifischen Charakteristika des Bergbaus, für die essentielle gesellschaftliche Bedeutung einer sicheren Rohstoffversorgung und für die Notwendigkeit einer realistischen, rationalen, verantwortungsvollen und zielstrebigem Energie- und Rohstoffpolitik. Die zur nachhaltigen Sicherung potenzieller Ressourcen unerlässliche Lagerstättenbewertung hat daher diese geologischen, technischen und wirtschaftlichen Faktoren in ihrem globalen Spannungsfeld zu berücksichtigen.

1.3.2. Produktivität und Beschäftigung

Agrarwirtschaft und Bergbau erzielten beide enorme technische Erfolge. In der modernen Landwirtschaft der EU produzieren einige wenige Prozent der Bevölkerung derartige Überschüsse, dass Agrarsubventionen einen wesentlichen Teil des EU-Budgets erfordern.

Im Bergbau ist diese Situation noch krasser. Der internationale Bergbausektor beschäftigt derzeit weltweit nur etwa 15 Millionen Arbeitnehmer, wobei in der letzten Dekade etwa 3 Mio. Arbeitsplätze verloren gingen. Damit versorgen etwa 0,25 % der Weltbevölkerung die gesamte internationale Wirtschaft mit den vitalen mineralischen Rohstoffen – dies bei wachsendem Rohstoffbedarf, bis vor Kurzem real sinkenden Preisen und abnehmenden Lagerstättengehalten. Zusätzlich arbeiten geschätzte 11,5–13 Mill. Personen, von denen wiederum bis zu 100 Mill. Menschen abhängen, im artisanalen und kleinen Bergbau der Entwicklungsländer (MW 10/2004).

2. Wirtschaftsgeologie und Rohstoffsicherung

2.1. Bergbau und Technologie

Seit der Antike bis Ende des 19. Jh. nutzte der Bergbau vorwiegend kleine, reiche Lagerstätten. Diese traditionelle Form des Bergbaus bildet nach wie vor in manchen Entwicklungsländern bei hochwertigen Rohstoffen wie Edelmetallen, Gold oder Zinn einen nicht unbedeutenden bergwirtschaftlichen Faktor. Im 20. Jh. ermöglichte die Einfüh-

Tabelle 1.
Produktionsstatistik Weltbergbau.1900–2000.

Gesamtproduktion	1900	2000
	0,8 Mrd t	31 Mrd. t
Ausgewählte NE-Metalle	[t]	[t]
Bauxit	130.000	128.000.000
Ni	11.000	1.100.000
Cu	550.000	12.700.000
Zn	540.000	7.900.000
Pb	900.000	2.900.000
Sn	90.000	217.000
Au	440	2.580
Ag	5.200	17.000
Summe (gerundet)	2.227.000	152.837.000

Tabelle 2.
Fördermengen des Weltbergbaus 2004 (HINDE, 2005).

	[Mrd. t]
Metallische Erze	4
Industriemineralien	6
Brecherprodukte	7
Sand und Schotter	15
Energie (Kohle und Kohlenwasserstoffe)	10

rung von Großtagebautechnologie, moderner Verfahrenstechnik und der weltweite Ausbau der Infrastruktur, speziell von Bahnen und Häfen, die Gewinnung großer, armer und bis dahin unwirtschaftlicher Lagerstätten. Dies erweiterte die globale Ressourcenbasis wesentlich. Der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch an festen mineralischen Rohstoffen wuchs im letzten Jahrhundert global von etwa 0,5t jährlich auf zumindest 5t und die gesamte jährliche Weltproduktion erhöhte sich von rd. 1 Mrd. t auf rd. 30 Mrd. t (Tab. 1 [MARTENS & RATTMANN, 2001, MM 09/2003]). Die korrespondierende globale Agrarproduktion inkl. Forstwirtschaft und Fischerei betrug 1998 insgesamt 13,4 Mrd. t oder ca. 2,2 t pro Kopf (MARTENS & RATTMANN, 2001).

Die Massenbewegung des Bergbaus (Erz plus Abraum) expandierte in diesem Zeitraum noch stärker als die eigentliche Primärproduktion an Metallen und Industriemineralen, da die Abraumverhältnisse zunahmten und die Gehalte der Lagerstätten sanken. HINDE (2005) veranschlagt die Tonnage der gesamten Fördermengen für 2004 auf etwa 40–45 Mrd. t (Tab. 2), wozu noch zusätzlich die Abraumkubaturen zu zählen sind. MARTENS & RATTMANN (2001) schätzen die jährliche Massenbewegung des Weltbergbaus auf insgesamt 17,8 km³ oder jährlich etwas unter 3 m³ pro Kopf.

2.2. Aktuelle Bergwirtschaft

2.2.1. Bergbau

Der derzeitige Wert der gesamten globalen Bergbauproduktion (ohne Erdöl und Erdgas) beträgt jährlich etwa 350 Mrd. USD (inkl. Zementkalk und Phosphate für Düngemittel) – Tab. 3 (ERICSSON, 2005; HINDE, 2005).

MARTENS & RATTMAN (2001) schätzen den Wert der gesamten Bergbauproduktion (inkl. Öl und Gas) für 1998 auf rd. 1.000 Mrd. USD (etwa USD 170 pro Kopf). Dies

Tabelle 3.
Bergbauproduktion 2004.

	Wert (Mrd. USD)	%
Kohle und Uran	115,5	33
Baurohstoffe	70,0	20
Industriemineralien	31,5	9
Diamanten	10,5	3
Metalle	122,5	35
Gold	30,6	25
PGM	7,4	6
Eisenerz	23,3	19
Kupfer	23,2	19
Nickel	12,3	10
Bauxit	7,4	6
Andere	18,3	15
Metalle gesamt	122,5	100

erscheint gering im Vergleich zum gesamten Output der Weltwirtschaft von 45 000 Mrd. USD jährlich (ERICSSON, 2005), bildet aber die unverzichtbare Basis für die nachfolgende industrielle Wertschöpfung. Die Pro-Kopf-Verbräuche der Industrieländer liegen daher deutlich über dem globalen Durchschnitt von etwa 5 t pro Kopf und etwa 20 % der Weltbevölkerung konsumieren etwa 80 % der mineralischen Ressourcen (MJ 1/2003).

2.2.2. Struktur

Einige wenige Gesellschaften dominieren die Bergbaubranche der Welt. ALCOA, ALCAN, Anglo-American, BHP-Billiton und Rio Tinto kontrollierten bereits 2001 über 60 % der globalen Produktion des nichtstaatlichen Sektors (POTTS, 2002) und die Konsolidierung ging seither weiter. Konsolidierungskosten und zunehmende Kapitalintensität erhöhten jedoch die langfristigen Verbindlichkeiten in den Bilanzen der großen Bergbaugesellschaften bis zur jüngsten Trendwende auf den Rohstoffmärkten (etwa 2004) rapide.

Potenzielle Umwelthaftungen übertreffen allerdings die derzeitigen langfristigen Verbindlichkeiten des Bergbaus bei Weitem. Weltweit sind die Rehabilitationskosten des Bergbaus „... likely to be in the trillions of US Dollars.“ Allein in den USA schätzt CAVE (2002) die Kosten auf USD 35 Mrd. Die moderne Umweltpolitik ist hierbei ausschlaggebend (PACKEE & BANDOPADHYAY, 2001). So haften in den USA mit der „strict joint and several liability“ sämtliche „potentially responsible persons“ für die Kosten der Rehabilitation. In British Columbia sind sämtliche „responsible parties“, d.h. sämtliche derzeitige und frühere Besitzer oder Betreiber von geschlossenen oder aufgegebenen Bergwerken sogar „absolutely, retroactively, and jointly and severally“ (d.h. auch rückwirkend) für Rehabilitationskosten verantwortlich, ungeachtet, ob der Bergbau oder dessen Rehabilitierung den damals geltenden Gesetzen und Genehmigungen entsprach. Es besteht keinerlei Rechtssicherheit gegen zukünftige Klagen, selbst wenn alle geltenden gesetzlichen Normen striktest eingehalten werden. Zu Haftungen und potenziellen Sammelklagen für Umweltschäden kommen noch bereits aktivierte Sammelklagen in den USA wegen Verletzung der Menschenrechte, z.B. gegen Anglo-American und De Beers von 6,1 Mrd. USD (MJ 4/2003 und MJ 11/2003) oder gegen Goldfields von 7,4 Mrd. USD (MJ 5/2003).

Der Bergbau, ein vitaler Wirtschaftssektor, trägt somit formal eher wenig zum globalen Bruttonationalprodukt und Arbeitsmarkt bei, wird von wenigen Gesellschaften, Banken und Institutionen kontrolliert, hängt von Fremdkapital ab, produziert enorme Erdbewegungen, operiert teilweise mit marginaler Umsatzrendite und ist durch potenzielle Umwelthaftungen und Rechtsklagen sowie mangelnde politische Akzeptanz gefährdet. Trotzdem hat die langfristige Rohstoffsicherung und die dazu unerlässlichen wirtschaftsgeologischen Bewertungen eine essentielle Funktion für die Zukunft von Volkswirtschaft und Gesellschaft.

<

Seit 1945 wurden mehr mineralische Rohstoffe verbraucht als in der gesamten menschlichen Geschichte zuvor (FETTWEIS, 1997). Dieser hohe Bedarf und die zur Bildung dieser Ressourcen erforderlichen geologischen Zeiträume führen zur Frage, ob überhaupt genügend Ressourcen vorhanden sind, angesichts der schnell wachsenden Weltbevölkerung und des noch schneller wachsenden Pro-Kopf-Verbrauchs.

Die Prognosen akuter Verknappungen nicht regenerativer Ressourcen sind bisher nicht eingetroffen; es gelang den Geologen immer, neue Reserven zu finden. Allerdings

wurden z.B. im Zeitraum 1998–2004 93,6 Mio. t Kupfer produziert, aber nur 38,9 Mio. t entdeckt (MW 8/2005). Die konträre These unerschöpflicher mineralischer Ressourcen angesichts der Durchschnittsgehalte der Erdkruste an diversen Elementen und der Zunahme der Reserven mit steigenden Preisen und technischem Fortschritt ist ebenfalls fragwürdig, da die Geologie oft eine Obergrenze für das preisabhängige Wachstum gewinnbarer Reserven bildet (HIRSCH, 2005; HIRSCH et al., 2005). Die für die Gesellschaft verfügbaren mineralischen Ressourcen und Reserven sind daher die Resultate eines dynamischen, interaktiven, zeitabhängigen Systems, das mit Prospektion, Exploration und wirtschaftsgeologischen Bewertungen beginnt und sich in einem dynamischen Spannungsfeld bewegt, dessen wichtigste Rahmenparameter von Politik und Recht, Geologie, Technologie und Märkten gebildet werden.

a) Recht

Die extreme Standortgebundenheit des Bergbaus setzt langfristige politische Stabilität und Rechtssicherheit voraus (BEINHOFF, HORKEL & MIHATSCH, 1999). Wichtig für wirtschaftsgeologische Bewertungen sind vor allem die jeweiligen legalen Normen über die souveränen Verfügungen des Staates über mineralische Ressourcen, der entsprechende politische Wille und die Akzeptanz, die Praxis der Administration und der Ermessensspielraum der Behörden sowie de facto prohibitive Genehmigungsverfahren, Verordnungen oder sonstige Rechtsnormen (FAHLBUSCH, 2001). Von Relevanz beim eigentlichen Bergrecht sind vor allem formale und De-facto-Rechtssicherheit und Transferierbarkeit bergrechtlicher Titel sowie die Sicherheit für den exklusiven Rechtsanspruch auf die ordnungsgemäße Erteilung von Abbaurechten nach erfolgreicher Exploration.

b) Geologie

Die Wirtschaftsgeologie zielt primär mit klar strukturierter Priorität auf die Erweiterung der Ressourcenbasis durch Prospektion und Exploration. Wirtschaftsgeologische Bewertungen bilden hierbei die Basis für Entscheidungen, in weitere Aufschlusstätigkeit zu investieren bzw. Rohstoffpotenziale zu sichern.

Entdeckungsraten und Trefferquoten der Prospektion sinken jedoch trotz moderner Technologie, und Prospektions- und Explorationskosten pro entdeckter Ressourceneinheit steigen. Meist liegen neu entdeckte Ressourcen tiefer oder entlegener oder sind ärmer oder komplexer; insgesamt sind sie daher in der Regel aufwendiger zu gewinnen. Auch die Lagerstättenbewertung der Lagerstätten mit moderner Software erhöhte mehr die Komplexität der Modelle als die Präzision der Ressourcen- und Reservenermittlung (Mitt. M. ARMITAGE, Geschäftsführer von Steffen Robertson & Kirsten Consulting [SRK]).

c) Technologie und Kosten

Technologische Entwicklungen tragen wesentlich zur besseren Versorgung und nachhaltigen Nutzung von mineralischen Rohstoffen bei. Relevant für wirtschaftsgeologische Bewertungen sind vor allem:

- Verbesserung von bestehenden Technologien bzw. Neuentwicklungen zur effizienteren Exploration, Gewinnung und Nutzung mineralischer Ressourcen;
- Substitution und Konservierung von Rohstoffen in technischen Anwendungen;
- Umwandlung bekannter marginaler Ressourcen in Reserven durch technische Verbesserungen bzw. Gewinnung und Aufbereitung bisher unwirtschaftlicher Ressourcen durch Kostensenkungen oder bei Erhöhungen der Preisniveaus;
- Erhöhung der Recyclingraten und Optimierung der Stoffkreisläufe bei nicht dissipativ genutzten mineralischen Rohstoffen.

d) Märkte und Preise

Die Marktstrukturen der mineralischen Rohstoffe sind ein essentieller Teil der wirtschaftsgeologischen Bewertungen. Ihr vielfältiges Spektrum reicht von börsennotierten Rohstoffen, global auf Buyer-Seller-Basis bilateral gehandelten Erzen, Industriemineralen und Kohle bis zu Rohstoffen mit regionalen Märkten, strategischen Rohstoffen oder gebundenen Produzenten. Weiters dominieren bei manchen Rohstoffen oligopolistische Strukturen mit wenigen Großlagerstätten oder Produzenten.

3. Wirtschaftsgeologische Bewertung von Lagerstätten

3.1. Generelles

3.1.1. Zielsetzungen

Wirtschaftsgeologische Bewertungen haben zwei grundsätzliche Zielsetzungen (HOBBS, 2003):

a) Erstellung von Entscheidungsgrundlagen

Die Exploration, Erschließung oder Sicherung von mineralischen Ressourcen erfolgt durch zahlreiche Stop/Go-Entscheidungen in einem dynamischen, sequenziellen System. Diese können politischen Maßnahmen, Firmenstrategien, Kapitalbudgetierungen oder Akquisitionsplanungen dienen oder der Neuentwicklung spezifischer Projekte. So kann das Ziel institutioneller oder politischer Entscheidungen primär Sicherung und Schutz von Rohstoffpotenzialen mit rohstoffpolitischen oder Raumordnungsmaßnahmen sein, während im wirtschaftlichen Rahmen entschieden wird, den nächsten Schritt zur weiteren Realisierung oder Akquisition eines Explorations- oder Bergbauprojekts zu setzen bzw. dieses Projekt temporär oder insgesamt nicht weiter zu verfolgen. Geologische Bewertungen sind bereits in den ersten Phasen komplex (Projektidentifikation, generative Phase, Beurteilung regionaler Lagerstättenpotenziale, Auswahl möglicher Konzessions- oder Rohstoffsicherungsgebiete, Erwerb von Bergrechten, etc.) und können beträchtliche Investitionen erfordern. Diese steigen in integrierten Programmen im positiven Fall von Phase zu Phase bis schließlich mineralische Ressourcen verschiedener Kategorien identifiziert und definiert werden und das Potenzial für zusätzliche Mineralisationen geschätzt wird. Hierauf erfolgen im Erfolgsfall weitere Entscheidungen, die wirtschaftlichen Reserven zu definieren und die weiteren multidisziplinären Planungsschritte zur Lagerstättenerschließung zu realisieren (HORKEL, 1986).

b) Feststellung eines Preises

Wirtschaftsgeologische Bewertungen zur Feststellung von Preisen erfolgen beim Erwerb/Verkauf von Konzessionen oder von mineralischen Ressourcen, als Teil von Gesellschaftsaktiva bzw. im Rahmen von Rechtsstreitigkeiten, als Sicherheiten für Finanzierungen, Steuern oder Bilanzen sowie für Börsenberichte oder Prospekte. Diese Bewertungen entstehen oft unter großem Zeitdruck. Daraus resultierende Fehlentscheidungen lassen sich meist nicht oder nur mit großem Aufwand korrigieren.

3.1.2. Bewertungsansätze

Zur Beurteilung des Werts von Bergbaugesellschaften bestehen etablierte Prozeduren (z.B. POTTS, D., 1998) mit technischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Due Diligence (CASBEN, 2005). Die wirtschaftsgeologische Bewertung von Lagerstätten in den verschiedenen Stadien von Prospektion, Exploration und Erschließung ist hingegen komplexer (z.B. TORRIES, 1998).

Die sonst in der Wirtschaft üblichen Bewertungsansätze eignen sich meist wenig für wirtschaftsgeologische Bewertungen. Dies gilt z.B. für bilanzierte Gesteinungs- oder Beschaffungskosten aus Exploration oder Akquisition, für Marktpreise (wie z.B. bei Immobilien) oder für den Aufwand pro Entdeckung. Daher dienen meist technisch-wirtschaftliche Modellrechnungen zur Bewertung von Lagerstätten. Die daraus resultierenden Parameter dienen unter Berücksichtigung des jeweiligen Definitionsniveaus für Investitionsentscheidungen (SCOTT, 1990; BHAPPU, 1995; FORREST & SAMIS, 2006) oder für normative Entscheidungen von Institutionen (z.B. in Bereichen von Rohstoffsicherung, Umweltschutz, Sozial- und Arbeitsmarkt, etc.).

3.1.3. Normen, Standards und Codes

Zur wirtschaftsgeologischen Bewertung von Lagerstätten bestehen internationale Normen, Codes und Standards wie ÖNORM (1989), UNFC-Rahmen-Vorratsklassifikation (2004) sowie die Standards und Codes der Mitglieder des Councils of Mining and Metallurgical Institutions (CMMI) (Reporting Code [2001], CIMVAL [2003] und CIM Standards [2004], SAMREC Code [2000], SEC Guide [2005], JORC Code [2004] und VALMIN Code [2005]). Die CMMI Codes orientieren sich an den Erfordernissen von Börsen, Banken und institutionellen Anlegern in den Zentren der internationalen Bergbaufinanzierung.

Allen Normen gemeinsam ist die Klassifikation von Lagerstätten nach dem Grad von geologischer Gewissheit und Bauwürdigkeit (Tab. 4). Die ÖNORM unterscheidet zwischen bauwürdigen Vorräten, bedingt bauwürdigen Vorräten (gegliedert in marginale und submarginale Vorräte), nicht bewerteten Vorräten und unbauwürdigen Vorkommen und vermeidet die Terms „Reserven“ und „Ressourcen“. Alle anderen Normsysteme unterscheiden zwischen Ressourcen und Reserven, deren wirtschaftliche Gewinnbarkeit durch Prä-Feasibility- oder Feasibility-Studien erwiesen ist. Die UNFC-Klassifikation, das System mit der höchsten Komplexität, gliedert Vorräte in einer 3-dimensionalen Matrix mit dem Status des Projekts als dritter Achse neben den Achsen „geologische Kenntnis“ und „Wirtschaftlichkeit“.

Tabelle 4. Vorratskategorien gemäß geologischer Gewissheit.

Geologische Gewissheit	ÖNORM	UNFC Classification	CMMI Codes	
Hoch	1A (Sicher)	Sicher	Measured Resource	Proved Reserve
	1B (Wahrscheinlich)	Wahrscheinlich	Indicated Resource	Probable Reserve
	1C (Angedeutet)	Möglich	Inferred Resource	
	2 (Vermutet / Preliminary)	Prognostisch		
3 (Prognostisch / Tentative)				
Niedrig				

3.2. Erfolgchancen und Risiken

Wirtschaftsgeologie unterliegt wie jede andere wirtschaftliche Aktivität dem wirtschaftlichen Prinzip, das wirtschaftlichen Erfolg als Differenz zwischen Aufwand und Ertrag misst. Da sich allerdings nur der Aufwand, aber nicht der Ertrag von wirtschaftsgeologischen Aktivitäten in monetären Terms problemlos feststellen lässt, ist das wirtschaftliche Prinzip nur in seiner generellsten Form anwendbar, dem Erreichen eines gewünschten Ziels mit dem geringstmöglichen Aufwand.

Dieses Ziel ist bei der wirtschaftsgeologischen Bewertung eine qualitative und/oder quantitative Aussage über das Vorliegen von mineralischen Ressourcen und Reserven oder von potenziell bauwürdigen Vorräten unter Berücksichtigung der geologischen Gewissheit und dem Definitionsniveau des jeweiligen Projekts. Hierbei gibt es grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

Tabelle 5. Wirtschaftsgeologische Entscheidungsmatrix.

Entscheidung		Mineralisation	
		Bauwürdig	Nicht bauwürdig
Weiterinvestition, Sicherung	Ja	Korrekte Entscheidung	Fehler 2. Art
	Nein	Fehler 1. Art	Korrekte Entscheidung

Diese Matrix entspricht der allgemeinen Theorie der statistischen Tests, und auch hier gilt es, Fehler 2. Art, das Akzeptieren der falschen Hypothese zu vermeiden, wobei die statistische Signifikanz das inhärente Risiko, die richtige Hypothese zu verwerfen, definiert.

Die wirtschaftliche Dimension dieser Aussage ergibt sich aus der niedrigen Erfolgsrate der Exploration. Rio Tinto gibt z.B. an (MW 3/2005), dass im Schnitt nur einer von etwa 350 Prospekten, die mit Bohrprogrammen exploriert werden, zu einem Bergwerksprojekt führt. Viele Prospekte werden zudem – z.T. nach aufwendigen integrierten Explorationsprogrammen – schließlich doch negativ beurteilt, und die Investition in Bohrprogramme unterbleibt. HINDE (2005) schätzt daher die durchschnittliche Chance, einen Prospekt zu einem wirtschaftlichen Bergwerk zu entwickeln, nur mit 1 : 5 000 bis 1 : 10 000.

Prospektion und Exploration sind Investitionen mit hohen Gewinnchancen und Risiken und benötigen daher Finanzierungen mit Risikokapital. Fehler 1. Art bedeuten versäumte Gelegenheiten, wobei dieses Risiko manchmal durch „Claw-back“-Klauseln reduzierbar ist. Fehler 2. Art führen hingegen zur rapiden Erschöpfung des Risikokapitals. Versuche, dieses Risiko des „Gambler's Ruin“ und die für einen Erfolg erforderliche Anzahl der zu untersuchenden Prospekte statistisch ohne geologische Faktoren auf kalkulierbare Wahrscheinlichkeiten zu begrenzen, leiden daran, dass die Qualität des geologischen Konzepts und Modells den entscheidenden Parameter bildet (PETERS, 1978).

3.3. Aspekte der Bewertung

Die wichtigsten Parameter für wirtschaftsgeologische Bewertungen sind:

- Quantität und Qualität der mineralischen Ressource;
- Geologische, geotechnische, berg- und verfahrenstechnische, rechtliche, sozio-ökonomische und umweltrelevante Faktoren („Lagerstättenbonität“ [FETTWEIS, 1997], „Modifying Factors“ [Reporting Code, 2001]), welche bestimmen, welcher Teil der Ressource sich als bauwürdig einstufen lässt.

Alle Angaben über Quantität und Qualität von mineralischen Ressourcen sind prinzipiell ungenau (FETTWEIS, 1997). Schon geometrische Dimensionen und Qualitätsverteilungen lassen sich oft nur bedingt objektiv bestimmen und wesentliche Fragen, z.B. die Kontinuität von Mineralisationen zwischen Aufschlüssen und Bohrungen oder die Quantität und Qualität von Ressourcen als Funktion von Grenzgehalten und/oder Mindestmächtigkeiten, unterliegen subjektivem geologischem Ermessen.

Die Bestimmung bauwürdiger Reserven erfordert zusätzliche Annahmen und Schätzparameter, z.B. Abbauver-

luste und Erzverdünnung, Aufbereitungsverluste, Vermarktung und Erlöse sowie die Einschätzung rechtlicher, wirtschaftlicher, sozialer, politischer und umweltrelevanter Faktoren.

Die wirtschaftsgeologische Bewertung lässt sich daher nicht leicht standardisieren und nur beschränkt objektivieren und normen. Wesentlich ist die Qualität der geologischen Analyse sowie das Annehmen angemessener und realistischer Parameter für Technik, Wirtschaft, Soziales und Umwelt. Wichtige Aspekte dieser Parameter sind:

- Zeiträume und
- Definitionsniveau.

Bei der Beurteilung des Zeitraums der potenziellen Wirtschaftlichkeit von Lagerstätten nennt die ÖNORM die Bauwürdigkeit in „absehbarer Zukunft“ (max. 60 Jahre) als Kriterium für bergwirtschaftliche Lagerstättenbewertungen. Im Reporting Code (2001) finden sich für die Beurteilung der potenziellen Bauwürdigkeit von Ressourcen der Massenrohstoffe (Kohle, Eisenerz, Bauxit, etc.) Zeithorizonte von über 50 Jahren, bei Gold hingegen etwa 20–30 Jahre und öfters auch wesentlich kürzer. Derartig langfristige Prognosen von zukünftigen politischen, technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen sind problematisch, lassen sich aber manchmal im institutionellen und volkswirtschaftlichen Rahmen nicht vermeiden (z.B. Lagerstätteninventare, Maßnahmen zur Sicherung von Rohstoffpotenzialen, Versorgungssicherheit, nachhaltige Ressourcennutzung oder generelle Energie- und Rohstoffpolitik). Bewertungen im industriellen Rahmen operieren mit kürzeren Zeithorizonten, manchmal sogar nur mit den Amortisations- oder Pay-Back-Perioden der geplanten Investitionen.

Das Definitionsniveau bestimmt die Präzision. Bei frühen wirtschaftsgeologischen Bewertungen werden wirtschaftliche Parameter nur in erster Näherung einbezogen (ÖNORM, UNFC). Die Bewertung von Reserven in Prä-Feasibility-Studien und Feasibility-Studien erfordert Cash-Flow-Analysen (UNFC-, CMMI-Codes) mit Fehlergrenzen von $\pm 25\%$ bzw. $\pm 10\%$ (UNFC).

Bei allen Cash-Flow-Modellen haben langfristige Prognosen nicht-technischer oder geologischer Faktoren (Märkte, Erlöse, Steuern und Abschreibungen, Diskontsätze etc.) wesentliche Auswirkungen auf die zur Bewertung dienenden Parameter (primär NPV und IRR) und es treten generell die inhärenten Probleme der Bewertung mittels Modellen der Investitionsrechnung auf (HEINEN, 1974):

- Die Modelle beruhen auf unrealistischen Prämissen, da sie vollkommene Informationen voraussetzen, vor allem über zukünftige Einnahmen, meist der sensitivste Faktor, und Ausgabenströme, und sie enthalten subjektive Annahmen und Schätzungen von Wahrscheinlichkeiten. Sensitivitäts- und Risikoanalysen schränken dieses grundsätzliche Problem nicht ein, sondern ermöglichen nur Angaben über die relative Robustheit eines Projekts.
- Die Bewertungsparameter beschränken sich auf quantifizierbare Werte wie Lagerstättenwert oder Maximierung von Unternehmenswert und Aktienkurs. Nicht quantifizierbare Werte wie politische oder strategische Interessen, Unabhängigkeit/Kontrolle, Versorgungssicherheit oder Marktbeeinflussungen durch Investitionen (z.B. bei Rohstoffen mit oligopolistischen Marktstrukturen) werden nicht erfasst.
- Der Zeitraum beeinflusst den Wert bei diskontierenden Verfahren wesentlich. Die grundsätzliche Bauwürdigkeit und wirtschaftliche Bedeutung ist jedoch im institutionellen Rahmen, z.B. bei Rohstoffsicherung oder Raumordnung, vorrangiger als die Frage, ob die Nutzung einer zu schützenden Ressource kürzer- oder längerfristig absehbar ist bzw. kürzer oder länger dauern würde. In erster Linie entscheiden Anwendung und geologisch-technische Verfügbarkeit eines bestimmten Rohstoffs, gepaart mit Menge, Qualität und Produktionskosten der betref-

fenden Lagerstätte, wobei z.B. selbst kleine, aber hochqualitative Lagerstätten in Industriestaaten durchaus schützenswert sein können (HORKEK, 2006).

Eine weitere Option zur Bewertung von Lagerstätten bildet daher ihre Position auf der globalen oder regionalen Kostenkurve (Cash- und Produktionskosten) bzw. ihre Robustheit, beides unter Berücksichtigung der spezifischen Risikoprofile.

Die Bewertung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe ist somit wesentlich für die geordnete, sichere, langfristige Versorgung der Gesellschaft mit mineralischen Ressourcen. Die identifizierten mineralischen Ressourcen und Reserven bilden als nicht produzierte Sachgüter (FETTWEIS, 1997) letztlich eine besondere Form von Kapital und die wichtigsten Assets einer Bergbaugesellschaft bzw. der Ressourcenbasis eines Landes. Die Bewertung ist daher ein komplexer Prozess im globalen Spannungsfeld von Geologie, Technologie, Gesellschaft, Politik, strategischen, institutionellen und industriellen Interessen und der Notwendigkeit, mineralische Ressourcen geordnet und nachhaltig zu nutzen.

Die wirtschaftsgeologische Bewertung lässt sich deshalb nicht leicht standardisieren und nur beschränkt objektivieren und normen. Sie enthält – bei allem Verantwortungsbewusstsein und Bestreben um Objektivität und Integrität – stets ein subjektives Element, welches von Zielsetzung, Umständen und Zeitpunkt der Bewertung beeinflusst wird. Letztlich sind jedoch Qualität von geologischer Analyse und Modell die entscheidenden Faktoren.

Literatur

- AGRICOLA, G. (1556): Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. – Reprint 2003, 564 pp., Abb., Fourier Verlag, Wiesbaden.
- BEINHOFF, C., HORKEK A. & MIHATSCH, M. (1999): Improvement of Climate for Mineral Investments, Namibia. – BHM, **114**, Jg. 1999, Heft 2, 56–59, Springer Wien.
- BHAPPU, R.R. (1995): Mineral Investment Decision Making. – E & MJ, **7/1995**, 36–38.
- CASBEN, T. (2005): Why many have taken AIM. – World Mining Stocks, **2**, 30–31, London.
- CAVE, P.S.E. (2002): Why the Borate Industry must respond to the Market in order to avoid Substitution. – Proceedings of the First International Boron Symposium, 267–274, Chamber of Mining Engineers of Turkey, Kütahya, Turkey.
- ERICSON, M. (2005): Rocky future. – Materials World, **7/2005**, 33–35, London.
- FAHLBUSCH, M. (2001): Der Abbau oberflächennaher Bodenschätze wird weiter erschwert. – Erzmetall, **54** (2001) Nr. 1, p. 1.
- FETTWEIS, G.B.K. (1997): Lagerstätten und Bergbau. – In: WEBER, L. (ed.): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralerale und Energierohstoffe Österreichs, Arch. f. Lagerst.forschung, **19** (1997), 19–41, Geol. B.-A. Wien.
- FORREST, M. & SAMIS, M. (2006): Get real – Calculating project value. – Materials World, May 2006, 28–30, Institute of Materials, Minerals and Mining, London.
- HEINEN, E. (ed.) (1974): Industriebetriebslehre. – 819 pp., Th. Gabler, Wiesbaden.
- HINDE, C. (2005): You've got to mine it. – World Mining Stocks, Vol. 2, 9/2005, p. 47, London.
- HIRSCH, R. (2005): Shaping the peak of world oil production. – World Oil, **10/2005**, 61–65, Houston, Texas.
- HIRSCH, R., BEZDEK, R. & WENDLING, R. (2005): Mitigating a long-term shortfall of world oil production. – World Oil, **10/2005**, 47–53, Houston, Texas.
- HOBBS, R. (2003): Due Diligence. – Industrial Minerals, Feb. 2003, 72–73.
- HORKEK, A. (1986): On the Economic Evaluation of Individual Regional Mineral Exploration Projects. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **78** (1985), 41–50, Vienna.
- HORKEK, K. (2006): Montangeologische Untersuchung und Bewertung von Quarzgängen im Altkristallin und der Böhmisches Masse in Österreich. – Dipl.-Arb. Univ. Wien.

- MARTENS, P.N. & RATTMANN, L. (2001): Mining and Society: No Mining, No Future. – 17th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2001, 215–220, Chamber of Mining Engineers of Turkey, Ankara.
- MJ 9/2002: The right priorities. – Mining Journal, Sept. 6, **2002**, 162, London.
- MJ 1/2003: Unfair's Fair. – Mining Journal, Jan. 3, **2003**, 2, London.
- MJ 4/2003: Anglo sued over apartheid. – Mining Journal, April 11, **2003**, 247, London.
- MJ 5/2003: Goldfields next for Fagan Lawsuit. – Mining Journal, May 9, **2003**, 315, London.
- MJ 6/2003: Corporate Reporting in Mining. – Mining Journal, June 13, **2003**, 396–398, London.
- MJ 11/2003: South Africa: A Time of Challenge. – Mining Journal, Nov. 21, **2003**, 409ff, London.
- MM 09/2003: A Century of Mining. – Mining Magazine, 94–106, Sept. **2003**, London.
- MW 10/2004: Small scale mining. – Materials World October **2004**, p. 49, Institute of Materials, Minerals and Mining, London.
- MW 3/2005: Back to mine. – Materials World, March **2005**, p. 42, Institute of Materials, Minerals and Mining, London.
- MW 8/2005: New copper discoveries needed. – Materials World, August **2005**, p. 13, Institute of Materials, Minerals and Mining, London.
- N.N. (2006): Ansehen der Berufe. – Market Umfrage, „die Presse“ 14. 1. 2006, p. 40, Wien.
- PACKEE, E.C.Jr. & BADOPADHYAY, S. (2001): Linking Long-term Environmental Liability and Closure: A necessary Development Towards Walk-Away Closure. – 17th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2001, 181–190, Chamber of Mining Engineers of Turkey, Ankara.
- PETERS, W.C. (1978): Exploration and Mining Geology. – 1st ed., 696 pp., J. Wiley, New York.
- POTTS, A. (2002): Urge to Merge. – Mining Magazine, **58**, Feb. 2002, London.
- POTTS, D. (1998): The Assessment of Mining Companies in the Private Sector. – Int. Mining & Minerals, Vol 1/6, 163–168, IMM, London.
- SCOTT, F. (1990): The Role of Banks and their requirements in Mining Project Finance. – Mine & Quarry, Jul–Aug 1990.
- TORRIES, T.F. (1998): Evaluating Mineral Projects: Applications and Misconceptions. – 91 pp., SME, Littleton, USA.
- WEST, M. (1998): Ethics, Environment and Exploration. – Int. Mining and Minerals, Vol 1/8, 212–214, IMM, London.
- Reporting Code (2001): Code for Reporting of Mineral Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves (The Reporting Code), prepared by the Institute of Materials, Minerals and Mining Working Group on Resources and Reserves in conjunction with The European Federation of Geologists, the Geological Society of London and the Institute of Geologists of Ireland, effective October 2001 (35 pp.).
- CIMVAL Standards (2003): Standards and Guidelines for Valuation of Mineral properties – Special Committee of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum on Valuation of Mineral Properties (CIMVAL) February 2003 (Final Version) (35 pp.).
- CIM Standards (2004): CIM Definition Standards on Mineral Resources and Mineral Reserves, prepared by the CIM (Canadian Institute of Mining and Metallurgy) Standing Committee on Reserve Definitions, Adopted by CIM Council, November 14, 2004 (11 pp.).
- JORC Code (2004): Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves – The JORC Code – 2004 Edition, prepared by the Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (JORC) effective December 2004 (21 pp.).
- SAMREC Code (2000): South African Code for Reporting of Mineral Resources and Mineral Reserves (The SAMREC Code), prepared by The South African Mineral Resource Committee (SAMREC) under the Auspices of the South African Institute of Mining and Metallurgy, effective March 2000 (38 pp.).
- SEC Guide (2005): Recommendations Concerning Estimation and Reporting of Mineral Resources and Mineral Reserves. Prepared for Submission to The United States Securities and Exchange Commission by The SEC Reserves Working Group / SME Resources and Reserves Committee of The Society for Mining, Metallurgy, and Exploration April 2005 (44 pp.).
- VALMIN Code (2005): Code for the Technical Assessment and Valuation of Mineral and Petroleum Assets and Securities for Independent Expert Reports (The VALMIN Code) Final Version 20. April, 2005 – the VALMIN Committee, a joint committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (The AusIMM), the Australian Institute of Geoscientists (AIG) and the Mineral Industry Consultants Association (MICA), with the participation of Australian Securities and Investment Commission (ASIC), Australian Stock Exchange Limited (ASX), the Minerals Council of Australia (MCA), the Petroleum Exploration Society of Australia (PESA), the Securities Institute of Australia (SIA) and representatives from the Australian finance sector (41 pp.).
- UNFC Classification (2004): United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Resources – UN Economic Commission for Europe (document E/2004/37-E/ECE/1416), February 2004 (25 pp.).

Normen, Standards und Codes

- ÖNORM G 1050 (1989): Klassifikation von Vorkommen fester mineralischer Rohstoffe. – Fachnormenausschuß 097 Bergbau (13 pp.).