



Montangeologische Bewertung der Sicherungswürdigkeit ausgewählter österreichischer Gangquarzvorkommen für Zwecke der Raumordnung

KONSTANTIN HORKEL*)

4 Tabellen

*Lagerstätten
Gangquarz
Bewertung
Rohstoffsicherung*

Inhalt

Zusammenfassung	203
Abstract	203
1. Einleitung	204
1.1. Zielsetzung	204
1.2. Begriffsdefinition	204
2. Technische Nutzbarkeit	204
2.1. Siliziumdioxid (Quarz)	204
2.2. Silizium	205
3. Produktion und Verbrauch	205
3.1. Quarzrohstoffe	205
3.2. Silizium	205
4. Preise	206
5. Bewertungsmethoden	206
5.1. Abbauwürdigkeit	206
5.2. Qualitative Bewertungsverfahren	206
5.3. Quantitative und semi-quantitative Bewertung	207
6. Bewertung ausgesuchter Vorkommen	208
Literatur	209

Zusammenfassung

Die Bewertung der Sicherungswürdigkeit von fünfzehn ausgewählten Gangquarzvorkommen im Südböhmischen Pluton, dem Wechselkristallin und dem Koralpen Komplex erfolgte für Zwecke der Raumordnung mit dem Feststellen ihrer technischen Nutzbarkeit sowie einer quantitativen Erfassung der Größenordnung ihres wirtschaftlichen Potentials mittels einer hierzu erstellten Bewertungsmatrix und einer technisch-wirtschaftlichen Modellrechnung.

Bei der technischen Nutzung ist neben Glasherstellung und Gießereiindustrie vor allem die Produktion von Silizium für die Stahl-, Aluminium- und Chemieindustrie, aber auch für zahlreiche hochtechnologische Anwendungen in Elektronik, Luft- und Raumfahrt wichtig. Quarzkristalle finden in der Kommunikationstechnik Verwendung.

Die Bewertungsmatrix behandelt thematisch die qualitative und quantitative Bewertung der Lagerstätten. Der qualitativen Bewertung liegt ein in Konsultation mit der Montanbehörde entworfener Bewertungsbogen für Rohstoffvorkommen zu Grunde. Die quantitative Bewertung erfolgte mittels Cashflow Modellen, die eine erste Abschätzung des wirtschaftlichen Potentials der Vorkommen ermöglichen. Von den fünfzehn untersuchten Vorkommen wurden lediglich zwei vorbehaltlos als sicherungswürdig bewertet.

Geological Evaluation of the Protection Worthiness of Selected Austrian Vein Quartz Deposits for the Purpose of Regional Land Use Planning and Regulation

Abstract

The protection worthiness of fifteen selected Austrian vein quartz deposits in the Bohemian pluton and the East Alpine Crystalline Complex was evaluated for the scope of regional land use planning and regulation, by assessing their potential for technical utilisation, and by preparing an evaluation matrix for a first quantitative evaluation of the order-of-magnitude of the economic potential of the deposits.

Apart from glass manufacturing and the use in foundries, quartz is utilized technically for manufacturing silicium for the steel, aluminium and chemical industries, and for numerous applications in the electronics and aerospace industries. Quartz crystals are important for the communication technology.

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

1. Einleitung

1.1. Zielsetzung

Quarz (SiO_2) enthält mit Silizium und Sauerstoff die zwei häufigsten Elemente der Erdkruste und ist nach Feldspat deren häufigstes gesteinsbildendes Mineral. Trotzdem sind wirtschaftliche nutzbare Quarzlagerstätten in Österreich nur beschränkt verfügbar und von konkurrierenden Flächennutzungen bedroht.

In der Böhmisches Masse sowie in dem ostalpinen Kristallin von Wechselstein und Koralpenkristallin sind seit langem Quarzgänge bekannt, welche in der Vergangenheit teilweise abgebaut wurden. Die Sicherungswürdigkeit von fünfzehn dieser Vorkommen wurde im Zuge der Rohstoffsicherung untersucht. Hierbei bestanden zwei wesentliche Ziele, wobei die Genese der Vorkommen nicht Gegenstand der Arbeiten bildete:

- Die Untersuchung von Qualität, Bonität und Quantität der Vorkommen;
- Die Erstellung einer auf jedes Vorkommen anwendbaren Bewertungsmatrix.

1.2. Begriffsdefinition

Der Begriff der Sicherungswürdigkeit steht im Zusammenhang mit Raumplanung und Rohstoffpolitik. Im Wesentlichen zielt die Rohstoffsicherung auf die nachhaltige Versorgung mit mineralischen Rohstoffen. Dies erfordert unter anderem die Freihaltung der kurz-, mittel- und langfristig zur Gewinnung erforderlichen Flächen von konkurrierenden Flächennutzungen. LETOUZÉ-ZEZULA et al. (1994) bestimmt die Sicherungswürdigkeit von Vorkommen im Rahmen der Raumplanung durch deren potentielle Leistungsfähigkeit minus Einschränkungen durch Konfliktträchtigkeit im Falle eines Abbaus. Dabei stellt vor allem die Raumnutzung ein Konfliktpotential dar, da der Abbau von Rohstoffen ortsgebunden ist. TIESS (2002) zieht daher eine Mehrfachnutzung in Erwägung, da Rohstoffgewinnung und andersartige Raumnutzungen an derselben Stelle stattfinden können, wenn auch zeitlich versetzt.

Als „sicherungswürdig“ gilt ein Vorkommen gemäß der Abteilung für Roh- und Grundstoffpolitik der Montanbehörde (Mitt. L. WEBER), wenn dieses:

- auf Grund der Qualität, Bonität und Quantität derzeit wirtschaftlich genutzt wird,
- oder in der Vergangenheit genutzt oder erkundet wurde und durch die seinerzeitige Bergbau- oder Explorationstätigkeit noch derartige (geologische) Vorräte nachgewiesen wurden, die auf Grund der Qualität, Quantität und Bonität mit hoher Wahrscheinlichkeit für eine künftige Gewinnung in Frage kommen können.

„Bedingt sicherungswürdig“ ist ein Vorkommen, welches in der Vergangenheit exploriert oder abgebaut wurde, unter folgenden Bedingungen:

- Aus geologischen Überlegungen ist eine Fortsetzung des Vorkommens in horizontaler oder vertikaler Erstreckung wahrscheinlich. Diese müsste durch weitere geologische/geophysikalische/geochemische Prospektionsarbeiten (Sucharbeiten) und/oder Explorationsarbeiten (Untersuchungsarbeiten) hinsichtlich ihrer tatsächlichen Existenz noch näher erkundet werden. Bei entsprechendem Erfolg ist das Vorkommen als „sicherungswürdig“ einstufbar.
- Angaben über Qualität/Quantität oder Bonität liegen nicht vor.
- Das Vorkommen ist derzeit wirtschaftlich oder (aufbereitungs-)technisch nicht nutzbar, wobei sich allerdings annehmen lässt, dass Entwicklungen von Rohstoffpreis und/oder neuen Methoden das Vorkommen nutzbar machen.
- Bei vor kurzem geschlossenen Betrieben: Ein Restpotential an Lagerstättenvorräten liegt noch vor.

2. Technische Nutzbarkeit

2.1. Siliziumdioxid (Quarz)

Quarz ist sehr vielseitig verwendbar. Er diente bereits im Paläolithikum in der Form von Hornstein für Faustkeile und ist somit das älteste Bergbauprodukt der menschlichen Geschichte (SHEKARCHI, 1975).

Heute bilden Quarzsande nicht nur einen Massenrohstoff für die Bauindustrie, sondern auch qualitativ hochwertige Rohstoffe für die Elektronik- und Metallindustrie. Hauptverbraucher sind Glasindustrie und Gießereiwesen. Quarz wird aber auch in der chemischen Industrie, der Produktion von Feuerfestmaterialien und für Siliziummetall oder Si-Legierungen verwendet (BLANKENBURG et al., 1994).

Wichtig für die Qualität von Glassanden ist vor allem das Fehlen von Chromit, Korund und Andalusit, sowie niedrige Fe_2O_3 -Gehalte, welche die Werte in Tab. 1 nicht überschreiten dürfen.

Ein großer Teil der weltweiten Quarzsandproduktion findet in der Feuerfestindustrie als Formsande für Gießerei-

Tabelle 1. Anforderungen der Glasindustrie an den Fe_2O_3 -Gehalt von Quarzsanden (BEYERSDORFER, 1964).

Max. Fe_2O_3 [%]	Verwendungszweck
0,003	Optisches Glas höchster Güte
0,01	Ultraviolett durchlässiges bzw. optisches Glas
0,015	Feinstes Kristallglas
0,02	Normales Kristallglas, Schleifglas
0,03	Weißhohlglas, Kristallglas, Spiegelglas
0,05	Glühlampenkolbenglas
0,1	Gutes Fensterglas, Spiegelglas
0,2	Gewöhnliches Fensterglas
0,3	Halbweißes, gewöhnliches dickeres Glas
0,5	Halbweißes, gewöhnliches dünneres Glas
>0,5	Flaschenglas, Grünglas, Schwarzglas

techniken Verwendung. Für Quarzsande der Gießereindustrie ist die Körnung das wichtigste Merkmal. Diese sollten eine möglichst enge Kornverteilung im Bereich 0,1–0,5 mm mit runden Körnern besitzen, da kantengerundete Körner der gleichen Größe keine reibungslose Entlastung ermöglichen (MOORE, 2005a). Die Körner der Gießereisande sollen zudem monokristallin sein, sich durch hohe Temperaturbeständigkeit (1500°C) auszeichnen und daher keinerlei karbonatische Beimengungen besitzen, die diese herabsetzen. Chemische Verunreinigungen dürfen maximal 4% betragen, der SiO_2 -Gehalt soll also bei mindestens 96% liegen. In Industrieländern sind allerdings Gehalte von 99% gefordert (HELLERSCHMIDT-ALBER, 1995).

Quarz für den Einsatz in der Elektronik ist einkristallines Siliziumdioxid, das auf Grund seiner Piezoelektrizität für die Frequenzkontrolle oder auch als Oszillator in Stromkreisläufen verwendet wird. Es findet breite Anwendung in der Hardware für Luft- und Raumfahrt, in Navigationseinrichtungen, in Kommunikationstechnologien, sowie in Computern und Konsumgütern (Uhren, etc.). Quarzkristalle werden primär in der elektronischen und optischen Industrie eingesetzt und untergeordnet in der Optik benötigt, z.B. als Linsen für Laser (DOLLEY, 2004). Die überwiegende Menge dient für die Frequenzkontrolle in Radiosende- und Empfangssystemen und als Oszillatoren in Uhren. Für diese Anwendungen müssen die Quarzkristalle unverzwilligt und frei von Einschlüssen sein. Da solche Kristal-

le in der Natur sehr selten sind, werden hauptsächlich synthetische Quarze verwendet (LORENZ et al., 1999, DOLLEY, 2004), welche aus reinen natürlichen Quarzkristallen, sogenannten „Lascas“, in Autoklaven gezüchtet werden (DOLLEY, 2004).

2.2. Silizium

Chemisch hochreiner Quarz dient zur Gewinnung von Roh-Silizium, welches zu Halbleitern, Glasfasern und photovoltaischem Werkstoff, bzw. zu Produkten der chemischen Industrie, wie Silane und Silikone verarbeitet wird. Quarz metallurgischer Qualität dient zur Herstellung von Quarzglas, Si-Legierungen (mit Cu, Al), Si-Karbiden und wird in großen Mengen in der Eisen- und Stahlproduktion verwendet (SHEKARCHI, 1975; SINHA, 1986; JUNG et al., 1988; COOPE, 1989; BLANKENBURG et al., 1994; CORATHERS, 2004; DOLLEY, 2004). Aus Quarz wird auch Ferrosilizium mit verschiedenen Si-Gehalten hergestellt. Die Produktion erfordert möglichst reine Rohstoffe, da sich kaum Schlacken bilden und Verunreinigungen fast vollständig in die Metallphase geführt werden (BLANKENBURG et al., 1994; CORATHERS, 2004).

Roh-Silizium wird aus Gangquarz oder Quarzkiesel mit einer Reinheit von über 99% SiO₂ in elektrothermischer Reduktion in Elektroniederschachtöfen gewonnen. Ferrosilizium wird nach demselben Prinzip produziert. Roh-Silizium mit einer Reinheit von ca. 98% wird vor allem in der Aluminiumindustrie als Legierungsbestandteil eingesetzt. In der chemischen Industrie dient es zur Herstellung von Silikonen (CORATHERS, 2004; BLANKENBURG et al., 1994, schrift. Ang. RW silicium GmbH). Die Qualitätsanforderung für Quarzit/Quarz als Ausgangsmaterial für die Herstellung von metallurgischem Silizium findet sich in Tab. 2.

Ausgangsstoff für die Synthese von Si-Einkristallen, welche überwiegend für die Halbleitertechnik dienen, ist reines

Tab. 2. Qualitätsanforderung an Quarzrohstoffe für metallurgisches Silizium (Fa. RW silicium GmbH; LORENZ et al., 1999).

Chemische Zusammensetzung	Schriftliche Angaben RW silicium GmbH [M.-%]	LORENZ & al. (1999) nach Firmendaten [M.-%]
SiO ₂	>99	>(98–)99
Fe ₂ O ₃	<0,1	<0,1
Al ₂ O ₃	>0,6	<0,2
CaO	<0,05	<0,2
TiO ₂	<0,03	<0,02
MgO	<0,03	<0,1

polykristallines Silizium, das aus Trichlorsilan (SiHCl₃) gewonnen wird. Dieses entsteht bei der Behandlung von Siliziummetall mit HCl bei Temperaturen von 300 bis 400°C (BLANKENBURG et al. 1994).

Siliziumkarbid (SiC) dient für Schleifmittel und die Feuerfestindustrie. Es wird aus Quarzsand oder gebrochenem Quarz im Elektroofen erzeugt. Da Verunreinigungen ähnlich wie beim Metall fast vollständig in das Karbid übergehen, muss die Reinheit der Rohstoffe strengen Ansprüchen genügen. So sollten sie <0,1% Al₂O₃, <0,05% Fe₂O₃, sowie CaO, MgO u. P nur in Spuren enthalten. Die optimale Körnung liegt bei 0,2 bis 0,4 mm (BLANKENBURG et al. 1994).

3. Produktion und Verbrauch

3.1. Quarzrohstoffe

Quarz bildet eine Fülle von Lagerstättentypen wie Pegmatite, hydrothermale Quarzgänge und hochreine Quarzite oder Quarzsande (PETRASCHECK et al., 1992). Sehr reine

Quarzrohstoffe sind jedoch selten. Die meisten natürlichen Vorkommen zur Produktion von Siliziumdioxid sind Quarzsandvorkommen. Sie werden für die Glasindustrie, für die Gießereindustrie, sowie für die Erdölindustrie und die Herstellung von Siliziummetall benutzt (DOLLEY, 2004; MOORE, 2005a). Die weltweite Produktion von Quarzsanden und -kiesen betrug 2004 ca. 111 Mio. t (DOLLEY, 2005). In der Produktion von Quarzsanden dominieren unabhängige Erzeuger, obwohl manche Betriebe vertikal in die Glasindustrie integriert sind. (MOORE, 2005a).

Die größten Quarzsandproduzenten am europäischen Markt sind Sibelco (Belgien) und Quarzwerke GmbH (Deutschland), gefolgt von SAMIN (Saint-Gobain, Frankreich), Euroquarz und Dorfner (Deutschland) (MOORE, 2005a). Sibelco kontrolliert auch Unimin (USA), die den Markt in Nord-, Südamerika und Australien dominiert, sowie Beteiligungen in Russland und China hält. Die Quarzwerke GmbH ist Marktführer in Deutschland, Österreich und Polen und der bei weitem bedeutendste Produzent von Quarzsanden in Österreich. Quarz und Quarzit wird in Österreich sonst nur in einigen Kleinbetrieben mit durchschnittlich etwa 15.000 Tonnen Jahresproduktion gewonnen (ÖSTERREICHISCHES MONTAN-HANDBUCH, 2006).

Nordamerika ist mit 27 Mio. Tonnen/Jahr (2004) und damit über einem Viertel der Weltproduktion weltweit der größte Quarzsandproduzent (DOLLEY, 2005). Die wichtigsten Firmen sind Unimin Corp., U.S. Silica Co., Oglebay Norton Industrial Sands Co. und Fairmount Minerals Ltd. (DOLLEY, 2004; MOORE, 2005a). Der asiatische Markt expandiert rasant. In China ist Sibelco Anhui als westlicher Produzent unter zahlreichen chinesischen vertreten. In Australien sind die zwei größten Produzenten Unimin Australia und Cape Flattery, eine Tochter von Mitsubishi (MOORE, 2005a).

Bei hochwertigen Quarzen bietet Unimin reinsten Quarz mit Gehalten von 99,9992% SiO₂ an. Die Weltproduktion höchstreinen Quarzes wird auf etwa 30.000 t/Jahr geschätzt, der Marktanteil von Unimin liegt bei etwa 90–95%. Die Halbleiterindustrie ist somit mehr oder weniger von Unimin abhängig. Ein potentieller Einsteiger in den Weltmarkt ist JSC Polar Quartz (Russland) (MOORE, 2005b).

Natürlicher Kristallquarz wird neben Schmuck und Dekor für Lascas benutzt, aus denen künstliche, einwandfreie Kristalle gezüchtet werden. Deren Vorteil besteht darin, dass sie sich nach bevorzugten Richtungen züchten lassen, und damit besser auf den Bedarf der Abnehmer eingegangen werden kann (DOLLEY, 2004). In den 70er-Jahren war Brasilien der Hauptproduzent von höchstreinen Kristallquarzen, mit Exporten von 10.000 t pro Jahr. Später schränkte Brasilien die Exporte ein, um die Weiterverarbeitung im Land zu forcieren. Eine andere Hauptquelle für Lascas ist Madagaskar, mit einer jährlichen Produktion von etwa 2.000 t (MOORE, 2005b).

3.2. Silizium

Siliziummetall für Computerchips ist für moderne Technologien unerlässlich, stellt jedoch nur 5% des gesamten Siliziummetallverbrauchs dar. Die Hauptverwendung von Silizium ist als Legierungsmetall, sowie als Halbleiter. Die weltweite Produktion von Silizium betrug 2004 4,67 Mio. t, wobei China mit 47% der Gesamtproduktion dominiert (CORATHERS, 2005).

Die Weltproduktion von Ferrosilizium wird 2004 auf 5,63 Mio. t geschätzt. Hauptproduzenten sind in abnehmender Reihe China, Russland, Norwegen, Ukraine, USA, Südafrika, Brasilien, Island und Kasachstan; ihr Anteil der Weltproduktion beträgt 88% (CORATHERS, 2005).

Die Nachfrage nach Si-Einkristallen stieg 2004 um 16% auf 27.000 t, die Produktion von Silizium-Halbleitern betrug

19.350 t (+19%), bei Siliziumscheiben stieg die Nachfrage 2004 um +22% auf ca. 4 Mio. m² (CORATHERS, 2004).

Der weltweite Bedarf an Siliziumcarbid und -nitrid wird auf 300.000 jato geschätzt (DOLLEY, 2004).

4. Preise

Die Preise für Quarzsande betragen 2004 im Schnitt rd. US\$ 23.– pro Tonne und reichten von US\$ 7,10/t für Schlackensande bis US\$ 77,60/t für hochwertige Sande. In Deutschland erzielen hochreine Quarze (>99,9% SiO₂) bis zu Euro 0.20/kg, Sande mit Gehalten von >99% SiO₂ liegen preislich unter Euro 0.10/kg. Höchstreine Quarze erzielen Spitzenpreise von bis zu US\$ 1,000/t (DOLLEY, 2004; MOORE, 2005b; schrift. Ang. RW silicium GmbH). Der durchschnittliche Preis für gezüchteten und geschnittenen Kristallquarz wird vom USGS für 2004 auf US\$ 186/kg geschätzt.

Die Preise von Ferrosilizium und Siliziummetall sind eng an die Konjunktur von Aluminium- und Stahlindustrie gebunden. Laut USGS Minerals Yearbook 2004 betrug der Durchschnittspreis US Cent 55,4/lb (+22%) für 75%-Ferrosilizium und US Cent 81,9/lb (+34%) für Siliziummetall. Der Durchschnittswert von Siliziumscheiben betrug ca. US\$ 2.000/m² (CORATHERS, 2004).

5. Bewertungsmethoden

5.1. Abbauwürdigkeit

Mit der Frage, nach welchen Gesichtspunkten man eine natürliche Ansammlung von Mineralien betrachten soll, damit daraus geschlossen werden kann, ob es sich um ein abbauwürdiges Vorkommen handelt, hat sich vor allem FETTWEIS (1990, 1997) beschäftigt. Eine Lagerstätte ist abbauwürdig, wenn ihre qualitativen und quantitativen Parameter schon zur Zeit ihrer Bewertung einen Abbau wirtschaftlich sinnvoll machen. Lagerstätten, die zur Zeit ihrer Bewertung keinen wirtschaftlichen Erfolg garantieren, aber bei Änderungen einzelner Parameter in Zukunft abbauwürdig werden können, lassen sich als bedingt abbauwürdig einstufen. Seit jeher wird der Abbau von mineralischen Rohstoffen neben betriebswirtschaftlichen durch strategische und volkswirtschaftliche Faktoren entscheidend beeinflusst.

5.2. Qualitative Bewertungsfaktoren der Abbauwürdigkeit

Qualitative Parameter definieren die juristischen, geographischen und geologischen Einflussgrößen. Die geologischen Faktoren behandeln alle Aspekte der Lagerstättenqualität, -bonität und -quantität. Daneben bilden auch die infrastrukturelle und geographische Situation wichtige Einflussfaktoren, sowie die juristischen Faktoren, die einen möglichen Abbau von vornherein aus rechtlicher Sicht unmöglich werden lassen (z.B. Genehmigungsverfahren, Umweltauflagen).

a) Juristische Faktoren

Die juristischen Faktoren beinhalten sämtliche Sachverhalte, die erforderlich sind, um ein Abbauverfahren von der zuständigen Behörde genehmigt zu bekommen. Neben der Summe der eigentlichen bergrechtlichen Faktoren beinhaltet dies Grundbesitzverhältnisse und Bestimmungen für Umweltschutz oder Tourismus. Interessensüberschneidungen können wegen Einschränkungen der Planungsfreiheit und zusätzlichen Belastungen bis zur Unbauwürdigkeit führen (KRÜGER, 1987).

b) Infrastrukturelle Situation

Die infrastrukturelle Situation definiert im Wesentlichen den Aufschlussgrad einer Lagerstätte durch die vorhandene Infrastruktur, Wasser- und Energieversorgung, sowie die Entfernung und Verbindung zum nächsten weiterverarbeitenden Ballungszentrum. Die Betriebsgröße beeinflusst die Kosten des Verkehrsanschlusses nur wenig, sondern die Höhe der Investition hängt ab von Entfernung und Topographie sowie der notwendigen Verladeeinrichtung zum Weitertransport, wobei diese allerdings kapazitätsabhängig ist (KRÜGER, 1987).

c) Lagerstättenqualität

Der Faktor Lagerstättenqualität beinhaltet die Gesamtheit der geologischen Merkmale des Rohstoffkörpers und seines Nebengesteins hinsichtlich des Bergbauendproduktes nach der Gewinnung. Er ist daher ein bedeutsames Merkmal (Faktorqualität) der Lagerstätte mit den folgenden wesentlichen Teilfaktoren:

- Art und Beschaffenheit der Lagerstättensubstanz im Hinblick auf das Bergbauendprodukt, d.h. die Gewinnbarkeit der Lagerstättensubstanz hinsichtlich ihres Wertstoffes inkl. wertsteigernder oder -mindernder Begleitminerale (FETTWEIS, 1990, 1997).
- Haltigkeit (Gehalt), d.h. der durchschnittliche Wertstoffgehalt des Rohstoffkörpers, und dessen Verteilung (Abhängigkeit von Lagerstättenquantität und Durchschnittsgehalt bei variierenden Grenzgehalten und Mindestmächtigkeiten).
- Aufbereitbarkeit des Erzes und Ausbringen, welche sowohl produkt-, als auch produktionsbestimmend sind, inkl. Korngrößen und Verwachsung der Erzminerale, Zerkleinerungswiderstand, mögliche Kontaminationen des Wertstoffes während des Abbaus, etc. Quarz ist beispielsweise durch seine Härte extrem anfällig für Kontaminationen durch Eisen. Hier reicht schon die Baggerschaufel um den Eisengehalt um einige weitere ppm anzureichern. Was in der Glasindustrie noch akzeptabel ist, könnte einen qualitativ hochwertigen Quarz zur Herstellung von reinem Silizium bereits unbrauchbar machen.

d) Lagerstättenbonität

Die Lagerstättenbonität enthält eine Vielzahl für das Gewinnen bedeutsame geologische Faktoren (Bonitätsfaktoren) für den Lagerstättenkörper selbst und auch für das Nebengebirge. Diese beeinflussen die Kosten für die Förderung der Wertstoffe aus der Lagerstätte direkt und wirken sich produktionsbestimmend aus (FETTWEIS, 1990, 1997). Die Bonitätsfaktoren werden unterteilt in:

- Mit der Wertstoffverteilung verknüpfte Merkmale:
 - Lagerstättenzugänglichkeit, grundsätzlich entscheidend über obertägige oder untertägige Gewinnung, untertägige Streckenauffahrungen pro Gewinnungseinheit, maximal akzeptable Abraumverhältnisse im Tagebau, etc.
 - Lagerstättenform, d.h. die geologischen und ökonomischen Grenzen des für abbauwürdig befunden Körpers (FETTWEIS, 1990, 1997). FETTWEIS unterscheidet prinzipiell zwischen Kompaktlagerstätten und Diffuslagerstätten. Nach WEBER (1997) lässt sich die Lagerstättenform danach klassifizieren, ob sie bevorzugt eindimensional, zweidimensional oder dreidimensional ausgebildet ist, d.h. schlauchförmig, plattenförmig oder massig. Neben der Gestalt der Lagerstätte sind Mächtigkeit und Einfallen des Lagerstättenkörpers sowie dessen Erstreckung im Streichen und im Einfallen, als auch die dazugehörige Tektonik die wichtigsten Formmerkmale der Lagerstätte.

- Merkmale ohne Bezug zur Wertstoffverteilung:
 - Gebirgsmechanik: Sie wirkt sich vor allem bergtechnisch auf die Gewinnbarkeitsverhältnisse und das Standfestigkeits- und Verformungsverhalten des Gebirges aus. Für den Abbau untertage bestimmt dies die Gestaltung des Grubengebäudes sowie zuletzt auch die Gebirgsschlagverhältnisse. Im Tagebau gibt die Gebirgsmechanik die Böschungswinkel und damit die Abraumbubaturen pro Fördereinheit vor und beeinflusst das Bruchverhalten in der Gewinnung. Bei gebirgsmechanischen Gegebenheiten wird zwischen Gesteinseigenschaften, Gebirgseigenschaften und Gebirgsdruck unterschieden. Die Klassifikation sollte laut FETTWEIS (1990, 1997) immer mit einer Empfehlung zur Gebirgsbeherrschung verknüpft sein.
 - Hydrogeologische Gegebenheiten sind seit alters her ein maßgebender Faktor für den betriebenen Abbau, nicht nur in wirtschaftlicher Hinsicht, sondern auch in Hinblick auf die Betriebssicherheit. Das Wasser im Grubenbau, sei es ober- oder untertage muss abgepumpt werden, wobei gleichzeitig Rücksicht auf mögliche Bergschäden erforderlich ist bzw. auf das Absenken oder Verunreinigen des Grundwassers (FETTWEIS 1990, 1997). Wesentlich ist auch die Versorgung von Aufbereitungsanlagen mit ausreichendem Prozesswasser.
 - Abbaubedingte gesundheitliche Risiken, wobei schon seit Anfang des 20. Jh. bekannt ist, dass langfristiges Inhalieren von feinem Quarzstaub Silikose verursachen kann. Alveolengängiger Staub ist jener Staubanteil, der in die Lungenbläschen (Alveolen) vordringen kann. Nach DIN EN 481 liegt dessen Durchmesser bei Quarz $9,8 \mu\text{m}$. Silikose kann in weiterer Folge zu Lungenkrebs führen und ist daher ein Thema für die International Agency for Research on Cancer (IARC) (MOORE, 1998; LORENZ et al., 1999).
 - Regelmäßigkeit bzw. Unregelmäßigkeit der geologischen Gegebenheiten wirken sich oft positiv oder negativ auf leistungsfähige Gewinnungsverfahren aus; im ungünstigsten Fall kann aufwendiger selektiver Abbau nötig werden (FETTWEIS, 1990, 1997).

e) Lagerstättenquantität

Die Lagerstättenquantität ist ein wesentlicher Faktor für die Abbauwürdigkeit, da von ihr die Betriebsgröße, sowie die Größe der Fördermenge abhängen. Größere Vorräte ermöglichen auch den Einsatz von effizienteren Maschinen oder aufwendigeren Aufbereitungsanlagen, die sich bei einer kleinen Lagerstätte nicht amortisieren. Letztendlich erlaubt eine große Lagerstätte auch langfristige Lieferverträge mit günstigeren Konditionen (KRÜGER, 1987; FETTWEIS, 1990, 1997).

f) Der Bewertungsbogen

Den oben besprochenen Lagerstättenfaktoren wurde von L. WEBER eine Wertung zugeschrieben, nach denen sich Vorkommen beurteilen lassen. Der in Konsultation mit WEBER entworfene Bewertungsbogen (Tab. 3) ist der Versuch, diese Angaben möglichst kompakt und überschaubar zu präsentieren. Das Benotungssystem, aus dem schließlich die Sicherungswürdigkeit als Gesamtnote hervorgeht, ergibt sich aus:

- Bewertung der Teufenlage der Lagerstätte.
- Einfluss von Mächtigkeit und Einfallen des Lagerstättenkörpers.
- Bewertung des Nebengesteins hinsichtlich Gebirgsmechanik, gegliedert in wasserführende Lockergesteine, geringfeste Tone und Tonschiefer, Sandstein, Gneise, Granitoide, Kalkstein/Dolomit (wasserarm bzw. wasserreich), etc..
- Bewertung des Wasserzuflusses: <1000 l/t, 1000–3000 l/t, >3000 l/t.
- Definition der Aufschlussverhältnisse: sehr gut, gut, mittel, schlecht, sehr schlecht.

5.3. Quantitative und semiquantitative Bewertung

Die im Kapitel 5.2. angegebenen Lagerstättenfaktoren nach FETTWEIS, modifiziert von L. WEBER, behandeln Qualität, Quantität und Bonität von Lagerstätten als qualitative Parameter, ermöglichen aber keine direkte quantitative

Tabelle 3.
Bewertungsbogen nach Benotungsschema von L. WEBER.

Parameter	Benotung				
	1	2	3	4–5	Note/NA
Lagerstättenzugänglichkeit	Oberflächennahe (0–500 m)		Nicht oberflächennahe (>500 m)		Note/NA Begründen, warum nicht bewertbar
Lagerstättenform	Beschreibung				
Mächtigkeit	>1,5 m (vermutet/beobachtet)/Note			<1,5 m	Gesamtnote
Einfallen	0°–10°; 40°–90°			10–40°	Gesamtnote
Horizontale Erstreckung	Beobachteter Wert		Vermuteter Wert		Note/NA
Vertikale Erstreckung	Beobachteter Wert		Vermuteter Wert		Note/NA
Vorräte/Qualität	Beobachteter Wert		Vermuteter Wert		Note/NA
Frühere Abbautätigkeit	Obertage		Untertage		Keine/NA
Beschreibung des Rohstoffkörpers	Aussehen, Verwachsungen, Verunreinigungen, Qualität, tektonische Beanspruchung				Note/NA
Beschreibung des Nebengesteins	Art des Nebengesteins, Beschaffenheit, fest – locker, tektonische Beanspruchung				Note/NA
Wasserzufluss	<1000 l/t	1000–3000 l/t		>3000 l/t	Note/NA
Aufschlussverhältnisse	Sehr gut	Gut	Mittelmäßig	Schlecht	Sehr schlecht
Sicherungswürdigkeit	Sicherungswürdig	Bedingt sicherungswürdig	Nicht sicherungswürdig		Unzureichende Information → Nicht bewertbar

Aussage über das wirtschaftliche Potential eines Vorkommens für allfällige spätere Entscheidungen über weitere Explorations- oder Sicherungsmaßnahmen. Derartige Maßnahmen sollten eingestellt werden, sobald sich ergibt, dass das Vorkommen voraussichtlich nicht wirtschaftlich ist. Daher sollten auch Abbruchkriterien festgelegt werden, bei deren Eintritt eine weitere Untersuchung des Vorkommens gestoppt wird. Die Schwierigkeit einer solchen Entscheidung besteht in der Risikobewertung, da der Lagerstättenkörper in dieser Phase nur sehr grob bekannt ist. KREYSZIG (1973) versucht bei Bewertungen das Risiko von Fehlern zu quantifizieren, wobei grundsätzlich zwei Arten von Fehlern unterschieden werden:

- Fehler 1. Art: Verwerfen einer richtigen Hypothese
- Fehler 2. Art: Akzeptieren einer falschen Hypothese

Dabei liegt der Großteil des Risikos bei dem Fehler 2. Art, der zu Weiterinvestitionen in unbauwürdige Vorkommen führt, da seine ökonomischen Auswirkungen viel drastischer sind als bei Fehlern 1. Art (HORKEL & HORKEL, im Druck).

Neben natürlichen und künstlichen Aufschlüssen, Analysen und Aufbereitungstests, die ein immer genaueres Bild des Lagerstättenkörpers geben, dienen wirtschaftliche Modellrechnungen mittels Cashflow Analyse als Entscheidungshilfe um den Wert einer Lagerstätte/Vorkommen in erster Näherung zu quantifizieren. Hier kann ein festgelegter Minimalwert als Abbruchkriterium dienen.

Nach der Definition von TORRIES (1998) ist

“Cash Flow an accounting term that represents the balance of all cash receipts minus cash operating and actual capital expenditures at the end of a year for an operating unit. It represents the amount of after tax money that is left over or lost during a year on a cash basis. [...] The Cash Flow can be calculated either on a current or constant currency basis, but regardless which term is used, all prices, costs and rates must be expressed in the same terms.”

HUSTRULID (1995) definiert:

“The Term ‘Cash Flow’ refers to the net inflow or outflow of money that occurs during a specific time period”.

Indem für die Bewertung eines Vorkommens ein Lagerstättenmodell erstellt wird und Erlöse sowie Betriebs- und Investitionskosten größenordnungsmäßig approximativ veranschlagt werden, lassen sich mit einer Cashflow Analyse Parameter wie Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) oder Payback Period für die potentielle Wirtschaftlichkeit des Vorkommens ermitteln und somit in erster Näherung semi-quantitative Parameter zur Beurteilung von Abbauwürdigkeit und Sicherungswürdigkeit eines Vorkommens feststellen.

Die Cashflow Analyse soll in der Phase der Bewertung eines Vorkommens dazu dienen, eine erste Vorstellung des wirtschaftlichen Potentials zu gewinnen. Dabei soll nicht ein genauer Wert herauskommen, sondern viel mehr eine Dimension festgestellt werden, in der sich das Vorkommen als möglicher zukünftiger Rohstofflieferant bewegt. So kann im Cashflow Rücksicht auf mögliche Preis- oder Kostenänderungen genommen sowie auf schwankende Vorratsangaben eingegangen werden. Es ließe sich zum Beispiel eruieren, wie groß die Vorräte mindestens sein müssten, oder welche Qualitäten mindestens vorliegen müssten, um einen wirtschaftlich sinnvollen Abbau tätigen zu können.

6. Bewertung ausgesuchter Vorkommen

Die oben genannten Methoden, sowohl jene von FETTWEIS/WEBER als auch die Cashflow Analyse nach HUSTRULID/TORRIES wurden an fünfzehn ausgewählten Vorkommen angewandt, um deren Sicherungswürdigkeit zu über-

prüfen. Dabei wurde bewusst nicht auf die Genese der Vorkommen eingegangen, sondern lediglich ihre Lagerstättenfaktoren beschrieben.

Die Vorkommen sind im Folgenden nach genetischer Provinz (Südböhmischer Pluton, Ostalpines Kristallin) mit Angabe des Kartenblatts sortiert. Detaillierte Beschreibungen der Lagerstättenfaktoren aller Vorkommen finden sich mit chemischen Analysen und abschließenden Bewertungsbögen in HORKEL (2006).

Vorkommen in der Böhmisches Masse (Südböhmischer Pluton)

- Gebharts (ÖK 6)
- Karlstift, Brennerhof und Harmanschlag
- Harmanschlag (ÖK 17)
- Brennerhof (ÖK 17)
- Karlstift (ÖK 17)
- Siebenlinden (ÖK 18)
- Achleiten und Waldhausen
- Waldhausen im Strudengau (ÖK 35)
- Achleiten (ÖK 35)

Vorkommen im Altkristallin der Ostalpen

- Vorkommen im Wechsel Kristallin
- Gsollberg – Kreuth (ÖK 106)
- Wiesmath – Sperkerriegel (ÖK 106)
- Kobersdorf-Dachsriegel (ÖK 107)
- Rötzgraben (Trofaiach) (ÖK 132)
- Hattmannsdorf/Hochneukirchen (ÖK 137)

Vorkommen im Korpalen Komplex

- Moserweber (ÖK 189)
- Soboth (ÖK 205)
- St. Anna ob Schwanberg (ÖK 206)

Diese Vorkommen wurden zuerst qualitativ als „sicherungswürdig“, „bedingt sicherungswürdig“, „nicht sicherungswürdig“ oder „nicht bewertbar“ eingestuft, und die grundsätzlich als „sicherungswürdig“ eingestuften mittels Cashflow Analysen weiter untersucht. Eine Diskontierung oder Fremdfinanzierung wird in den Cashflows nicht berücksichtigt, da in diesem Frühstadium der Erstbewertung die Erwägung eines kalkulatorischen Zinssatzes oder Prognosen der Inflationsentwicklung, etc. wenig sinnvoll sind. Daher wird nur der unverzinsten konstanten Nettobarwert auf 100 % Eigenkapitalbasis angeführt. Der Cashflow gibt in erster Linie Auskunft über die Dimension, die der Wert des Vorkommens erreichen kann und somit über das Potential eines Vorkommens. Die Cashflow Analyse zeigte auch, dass gute Qualität für die Sicherungswürdigkeit von Gangquarzvorkommen ausschlaggebend ist.

Die Vorteile von Cashflow Analysen sind klar ersichtlich. Die Bewertung lässt sich quantitativ belegen, wodurch in der Erstbewertung erste Überlegungen zur Nutzbarkeit eines Vorkommens erleichtert werden. In diesem Sinne dient die Cashflow Analyse als Entscheidungshilfe, die einen ersten Eindruck der Dimension des Vorkommens vermittelt. Da die Zahlen auf Schätzwerten beruhen, sollte man stets berücksichtigen, dass der errechnete Wert nicht ausreichend genau ist um als präzise Bewertung zu dienen. Die abschließende Bewertung und Reihung der Sicherungswürdigkeit der untersuchten Vorkommen ist in Tab. 4 summarisch dargestellt.

In der vorliegenden Tabelle sind die ersten vier Vorkommen nach dem Mindestergebnis der Cashflow Analysen gereiht, wobei nur die ersten beiden ohne jeden bestimmten Vorbehalt sicherungswürdig sind. Komplizierter wird die Reihung der kleineren Vorkommen, da zum Beispiel St. Anna und Brennerhof als „nicht bewertbar“ eingestuft wurden, dennoch aber weiterhin interessant bleiben. Daher wurden diese vor den „nicht sicherungswürdigen“ Vorkommen eingereiht.

Tabelle 4.
Zusammenfassende Bewertung und Reihung der einzelnen Vorkommen.

Rang	Vorkommen	Bewertung
1	Moserweber	Sicherungswürdig
2	Soboth	Sicherungswürdig
3	Kobersdorf	Sicherungswürdig
4	Achleiten	Sicherungswürdig
5	St. Anna ob Schwanberg	Nicht bewertbar
6	Brennerhof	Nicht bewertbar
7	Waldhausen	Nicht sicherungswürdig
8	Karlstift	Nicht sicherungswürdig
9	Hattmannsdorf	Nicht sicherungswürdig
10	Sperkerkogel	Nicht sicherungswürdig
11	Siebenlinden	Nicht bewertbar
12	Harmanschlag	Nicht bewertbar
13	Gebharts	Nicht bewertbar
14	Gsollberg	Nicht bewertbar
15	Rötzgraben	Nicht bewertbar

Literatur

- BEYERSDORFER, P. (1964): Glashüttenkunde. – Leipzig (Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- BLANKENBURG, H.J., GÖTZE, J. & SCHULZ, H. (1994): Quarzrohstoffe, 2. Auflage. – 296 S., Leipzig (Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- COOPE, B.M. (1989): Synthetic silicas and silicon chemicals. – *Industrial Minerals*, **258**, 43–55.
- CORATHERS, L.A. (2004): Silicon. – *Minerals Yearbook*, 67.1 –67.7, U.S. Geological Survey.
- CORATHERS, L.A. (2005): Silicon. – *Mineral Commodity Summary*, 148–149, U.S. Geological Survey.
- DOLLEY, T.P. (2004): Silica. – *Minerals Yearbook*, 66.1 – 66.7., U.S. Geological Survey.
- DOLLEY, T.P. (2005): Silica. – *Mineral Commodity Summary*, 142–143, U.S. Geological Survey.
- FETTWEIS, G.B. (1990): Der Produktionsfaktor Lagerstätte. – In: FETTWEIS, G.B., GENTZ, H. & GATHEN, R., v.d.: Die elementaren Produktionsfaktoren des Bergbaubetriebes, *Bergwirtschaft*, Bd. I. – 1–148 (Verlag Glückauf GmbH).
- FETTWEIS, G.B. (1997): Lagerstätten und Bergbau. – In: WEBER, L. (ed.): *Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs*. – 19 – 34, Wien (Geologische Bundesanstalt).
- HELLERSCHMIDT-ALBER, J. (1995): Bundesweite Übersicht über Vorkommen von Industriemineralien (Österreich). – Unveröff. Endbericht zu Projekt ÜLG 27, 225 S., Wien (Geol. B. A).

- HORKEL, K. (2006): Montangeologische Untersuchung und Bewertung von Quarzgängen im Altkristallin und der Böhmisches Masse in Österreich. – Diplomarbeit, 126 pp., Universität Wien
- HORKEL, A. & HORKEL, K. (im Druck): Aspekte der wirtschaftsgeologischen Bewertung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe
- HUSTRULID, W. & KUČHTA, M. (1995): *Open Pit Mine Planning & Design*, Volume 1. A.A. – 636 S., Rotterdam (Balkema).
- JUNG, W., SCHULZ, H. & BEYER, W. (1988): Quarz-Rohstoffe. – *Z. f. Angew. Geol.*, **34**, 283–285.
- KREYSZIG, E. (1973) 417 S., : *Statistische Methoden und ihre Anwendungen*, 4. Auflage. – Vandenhoeck & Ruprecht.
- KRÜGER, A. C. (1987): Bergbauliche Gesichtspunkte für ein integriertes Bewertungsmodell zur Ablaufplanung bei der Suche nach Rohstoffen in Österreich. – Diss. Montanuniv. Leoben, Leoben, 234 S..
- LETOUZÉ-ZEZULA, G. JESCHKE, H.P., KREUTZER, L.H., LIPIARSKI, P., RAKASEDER, St. & REITNER, H. (1994): GIS-Einsatz in der Raumplanung: Bewertung der Sicherungswürdigkeit von Mineral-Rohstoffen. – AGIT94, <http://www.sbg.ac.at/geo/agit/papers94/letouze.htm>
- LORENZ, W. & GWOSDZ, W. (1999): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden – Teil 3: Quarzrohstoffe. – *Geol. Jb.*, **H 6**, 3–119, Hannover (B.-A. f. Geowiss. u. Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland).
- MOORE, M.A., MORRALL, F.J. & BROWN, R.C. (1998): Crystalline Silica, Issues & impacts for industrie. – *Industrial Minerals*, April 1998, 109–117.
- MOORE, P. (2005a): Shifting silica. – *Industrial Minerals*, April 2005, 28–35.
- MOORE, P. (2005b): High purity quartz. – *Industrial Minerals*, August 2005, 53–57.
- ÖSTERREICHISCHES MONTANHANDBUCH (2006): *Bergbau – Rohstoffe – Grundstoffe – Energie*, 80. Jahrgang. 306 S., – Wien (Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft).
- PETRASCHECK, W. & W.E. (1992): *Lagerstättenlehre*, 4. Auflage. – 504 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- SHEKARCHI, E. (1975): Silicon. – In: Bureau of Mines (ed.): *Mineral Facts and Problems*, 989–1000.
- SINHA, R. K. (1986): *Industrial Minerals*, 2. edition. – 308 – 314, Indian Burea of Mines.
- TISS, G. (2002): Nationaler Rohstoffplan – Informationen zur Thematik "Rohstoffpolitik". – Seminarveranstaltung am 26. 11. 02, 25 S., Inst. f. Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft, Montanuniversität Leoben
- TORRIES, T.F. (1998): *Evaluating Mineral Projects: Applications and Misconceptions*. – 91 S., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- WEBER, L. ed. (1997): *Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs*. – 607 S., Wien (Geol. B.-A.).