

## Literatur

- FISCHER, W., I. MAASS & E. SONTAG:  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -Untersuchungen an Braunkohleinhaltsstoffen. — Z. angew. Geol., 16, 3, 126–130, Berlin 1970.
- FISCHER, W., I. MAASS, E. SONTAG & M. SÜSS:  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -Untersuchungen an petrologisch, chemisch und technologisch charakterisierten Braunkohleproben. — Z. angew. Geol., 14, 4, 182–187, Berlin 1968.
- GEISSLER, CHR., & I. MAASS: Verfahren zur Umarbeitung geologischer Proben für die massenspektrometrische Isotopenanalyse am Kohlenstoff. — Isotopenpraxis, 4, 7, 280–282 (1968).
- JACOB, H., & S. WAGNER-BEEGER: Zur Methodik und praktischen Bedeutung der Bestimmung des Xylitgehaltes in Weichbraunkohlen. — Freiburger Forsch.-H., A 44, 80–95, Berlin 1955.
- JURASKY, K. A.: Wandlungen des Holzes auf dem Wege zur Kohle. — Geol. Rdsch., 29, 441–461, 1938 [1938a].
- Die Beteiligung verholzter Pflanzengewebe am Aufbau der Braunkohle. Mit Bemerkungen über Entstehung, Auftreten und stofflichen Zustand (Zellulosegehalt) der Xylite. — Braunkohle, 37, 51, 901–905, 1938; 52, 919–923 (1938) [1938b].
- POTONÉ, R.: Einführung in die allgemeine Kohlenpetrographie. — Verl. Gebr. Borntraeger, Berlin 1924.
- SCHLUNGBAUM, G., W. FISCHER & L. BELAU: Chemische Vorkommen von Braunkohlen aus Vorkommen in der DDR. — XV. Zur Kennzeichnung von Braunkohle-Lithotypen durch ihre Oxydierbarkeit. — Bergbautechnik, 17, 129–133 (1967).
- SCHOCHARDT, M.: Grundlagen und neuere Erkenntnisse der angewandten Braunkohlenpetrographie. — Verl. W. Knapp, Halle 1943.
- SIEBER, R.: Die chemisch-technischen Untersuchungsmethoden der Zellstoff- und Papierindustrie. — 2. Aufl., 121 S., Springer-Verl., Berlin, Göttingen, Heidelberg 1951.
- SONTAG, E.: Mikrobiologische und spektrochemische Untersuchungen am 2. Niederlausitzer Flözhorizont. — Diss. Bergakad. Freiberg, Freiberg 1963.
- SOUCI, S. W.: Die Chemie des Moores. — Ferdinand Enke Verl., Stuttgart 1938.
- SÜSS, M.: Petrologische und technologische Untersuchungen am 2. und 4. Niederlausitzer Flözhorizont. — Freiburger Forsch.-H., C 185, VEB dt. Verl. Grundstoffind., Leipzig 1964.
- Zur Petrographie des Xylits. — Freiburger Forsch.-H., A 148, 14–33, Akad.-Verl., Berlin 1959.
- SÜSS, M., & E. SONTAG: Petrologische Untersuchungen des Bitterfelder Braunkohlevorkommens im Bereich des Tagebaues Holzweißig und Goitsche. — Freiburger Forsch.-H., A 160, 5–39, Akad.-Verl., Berlin 1960.
- VIEBÖCK, F., & A. SCHWAPPACH: Eine neue Methode zur maßanalytischen Bestimmung der Methoxyl- und Äthoxylgruppe. — Ber. dt. chem. Ges., 63, 10, 2818–2823, Berlin 1930.

## Die Verwendung mathematischer Methoden zur Analyse der die Maßstäbe der Vererzung beeinflussenden Faktoren

Dargestellt am Beispiel von Lagerstätten der Kassiterit-Sulfid-Formation

R. M. KONSTANTINOW & A. N. DMITRIJEW, UdSSR

Durch Methoden der diskreten Analyse werden die Informationsgewichte der geologischen Merkmale für die Bildung großer Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten festgestellt. Da sich die Summe dieser Informationsgewichte in enger Übereinstimmung mit den Lagerstättenvorräten befindet, können die erhaltenen Ergebnisse für einige theoretische Folgerungen und bei der vorläufigen Einschätzung der Lagerstätten verwendet werden.

Die Untersuchung der geologischen Faktoren, die das Auftreten von Lagerstätten einer beliebigen Erzformation bestimmen, mit mathematischen Methoden ist eine bedeutend kompliziertere Aufgabe als z. B. die Bestimmung ihrer typischen Mineralzusammensetzung. Die Schwierigkeiten hängen hier sowohl mit der Vielfalt der Faktoren zusammen als auch damit, daß sie rein qualitative beschreibende Charakteristiken haben. Bedeutende Komplikationen werden auch durch die geringe Anzahl gutuntersuchter Objekte — Lagerstätten einer beliebigen Erzformation — hervorgerufen.

Es sei bemerkt, daß immer mannigfaltigere mathematische Methoden in die Praxis der geologischen Untersuchungen eindringen. Die bekannten Arbeiten von A. B. WISTELIUS, D. A. RODIONOW und J. A. WORONIN bilden eine gute Grundlage für die weitere Verwendung der Mathematik in der Geologie, im wesentlichen auf statistischer Basis. Die Vielfalt der geologischen Aufgaben führt jedoch in einer Reihe von Fällen den Arbeiter in ein Gebiet, in dem die statistischen Methoden keine befriedigende Lösung bieten. Die hier liegenden Aufgaben hängen in der Regel mit der Untersuchung einzigartiger Erscheinungen zusammen, ferner mit der Notwendigkeit, mit nicht eindeutig formulierbaren Merkmalen, mit unvollständigen Charakteristiken der Objekte, mit unterschiedlicher Natur der Informationen (Karten, Schemata, Beschreibungen usw.) arbeiten zu

müssen. In diesen Fällen werden neue Formen der Bearbeitung und der Bewertungsmaße verwendet, z. B. Informationsmaße, zwei- und mehrdeutige Logiken, die Graphentheorie u. a.

Einige geologische Aufgaben, darunter auch die zu behandelnde, besitzen eine solche Kompliziertheit in der Fragestellung und eine so vielfältige Natur der Informationen, daß man mehrere Verfahren anwenden muß, die zu verschiedenen Bereichen der Mathematik gehören.

Die Analyse der die Maßstäbe der Vererzung beeinflussenden Faktoren wurde nach dem folgenden allgemeinen Schema vorgenommen:

a) Es erfolgen die professionelle Aufnahme des Untersuchungsmaterials, eine allgemeine Mobilisierung der Informationen zur gestellten Frage sowie eine Bearbeitung der Skala von Merkmalen, die für die zu untersuchenden Objekte wesentlich sind. Hierbei können für die Sammlung der Daten mit Erfolg Lochkarten benutzt werden (KONSTANTINOW 1966).

b) Wo das möglich ist, wird eine statistische Bearbeitung und eine Gruppierung des Materials vorgenommen (KONSTANTINOW & BUNITSCH 1967; KONSTANTINOW u. a. 1968).

c) Unter Berücksichtigung von a) und b) erfolgen die endgültige Formulierung der Frage und die Lösung der Aufgabe mittels der logisch-diskreten Methode (DMITRIJEW u. a. 1968) mit Mitteln der logischen Kontrolle.

Wir verweilen bei der ausführlichen Darlegung der Ergebnisse der dritten Etappe der Lösung (c). Die Exaktheit der Lösung wird durch die üblichen Faktoren für alle bekannten Prozeduren der Aufgaben im Raum der qualitativ formulierbaren Merkmale bestimmt, d. h., sie hängt von der Aufgabenstellung und der Vollständigkeit der berücksichtigten Information ab.

Die Wahl der logisch-diskreten Analyse als des Hauptlösungsmittels wurde von folgenden Umständen beeinflusst:

1. Die Anwendung der logisch-diskreten Analyse lieferte bei Aufgaben dieser Art bereits positive praktische und theoretische Resultate.

Aus: „Geologija rudnych mestoroshdenij“, XII, 2 (März/April), S. 56–64, (1970).

Übers.: W. OESTREICH, Berlin.

2. Die auf diesem Wege zu erzielenden Ergebnisse lassen sich unserer Meinung nach vom professionellen Gesichtspunkt leichter und eingehender interpretieren, da die logischen Prozeduren der Rechnung die Logik der Geologen bei der Beschreibung der zu beobachtenden Objekte und Erscheinungen beibehalten.

Zur Ermittlung der geologischen Merkmale, die große Objekte charakterisieren — Lagerstätten innerhalb der durch vorangegangene statistische Untersuchungen aussonderten Mineralgruppe, die nach der stofflichen Zusammensetzung der Kassiterit-Sulfid-Formation entspricht —, wurden die interessantesten und am besten untersuchten Lagerstätten des Pazifischen Erzgürtels gewählt. Die logischen Operationen zur Bestimmung des Charakterisierungsgrads der verschiedenen Merkmale wurden an statistisch bearbeitetem und gruppiertem Material vorgenommen.

Die Methoden zur Vorbereitung und nachfolgenden Bearbeitung der verschiedenen geologischen Informationen sind in der Spezialliteratur dargelegt (DMITRIJEW u. a. 1968), daher beschränken wir uns hier nur auf das Aufzählen der aufeinanderfolgenden Operationen, die bei der Lösung der Aufgabe auszuführen sind.

a) Vor allem muß das Ziel der Untersuchung klar formuliert werden (in unserem Fall die Ermittlung der Merkmale großer Lagerstätten, die zu einer statistischen Mineralgruppe gehören, die der Kassiterit-Sulfid-Formation entspricht).

b) Es erfolgt die Auswahl von „Eich“objekten — gut untersuchten Objekten, die zur entsprechenden Gruppe gehören und gleichen Untersuchungsgrad aufweisen.

3. Die Auswahl der geologischen Merkmale für die Untersuchung wird vorgenommen.

Hierbei wird zuerst eine Liste aller Faktoren aufgestellt, von denen man annehmen kann, daß sie Einfluß auf die Lagerstättenbildung haben. Dann werden diese Merkmale kritisch analysiert und nur solche gelten gelassen, die bestimmte Tatsachen widerspiegeln, nicht aber Folgerungen oder Meinungen darstellen. Bei der Ausarbeitung der Skala von Merkmalen muß man darauf achten, unter einheitlichem Gesichtspunkt an den Untersuchungsgrad des Materials heranzugehen. Nehmen wir an, daß man gleichzeitig Lagerstätten betrachten muß, von denen einige nur nach Literaturdaten, andere nach der Literatur und nach Beobachtungen des Bearbeiters bekannt sind, dann muß man in diesem Fall natürlich die am wenigsten detaillierten Literaturbeschreibungen als Grundlage nehmen. Im entgegengesetzten Fall bleibt die Anwesenheit vieler Merkmale unklar. Das gleiche gilt auch dann, wenn als „Eich“lagerstätten solche untersucht werden, auf denen die Erkundung gerade begonnen hat, sowie solche, die bereits im Abbau stehen. Auch in diesem Fall muß man als Grundlage das minimale Niveau der Untersuchung in Ansatz bringen, d. h. das Niveau, das zu Erkundungsbeginn der Lagerstätten existiert. Schließlich werden in der Liste der Merkmale nur solche belassen, die wenigstens auf einem zu betrachtenden Objekt festzustellen sind.

Als Ergebnis einer solchen Analyse wählten wir aus mehr als zweihundert verschiedenen geologischen Merkmalen der Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten, die im Bereich des Pazifi-

schen Erzgürtels liegen, für die nachfolgende Untersuchung etwa siebzig aus. Wir unterschieden folgende Gruppen: regionale geologische Strukturen (7 Merkmale); lokale erzumgebende Strukturen (12); Morphologie der Erzkörper (8); Faktoren der magmatischen Kontrolle (12); Nebengesteine (11); Nebengesteinsveränderungen, die mit der Erzbildung verbunden sind (11); sonstige Faktoren (10).

4. Die gesamte Information wird in einer Tabelle zusammengestellt, in der die Zeilen den „Eich“lagerstätten (den großen Lagerstätten) entsprechen, während die Spalten den Merkmalen entsprechen. Diese Tabelle wird zusätzlich speziell bearbeitet (man entfernt aus ihr die Merkmale, die in allen „Eich“lagerstätten fehlen oder auftreten, usw.).

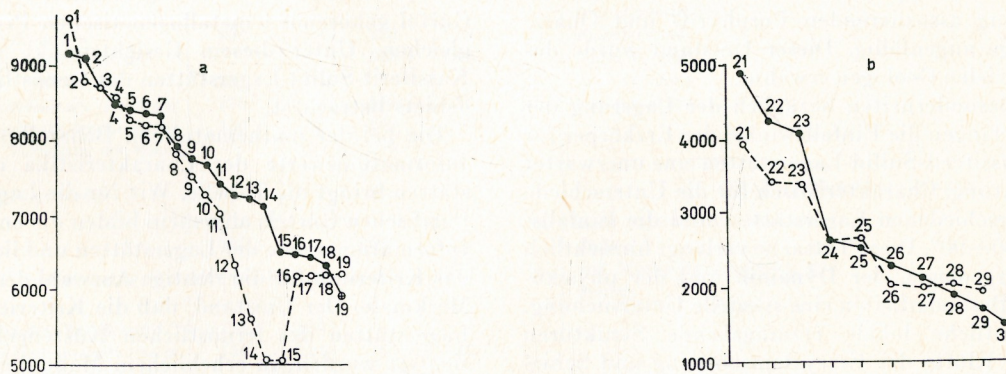
5. Die Tabelle wird darauf mit einer elektronischen Rechenanlage untersucht, um die Wichtigkeit der Informationsmerkmale zu erhalten, d. h., es erfolgt die Ermittlung der Kriterien, die für die Charakteristik bestimmter Objekte — in unserem Fall relativ größere Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten — wesentlich sind. Diese Kriterien bestimmen den Grad, inwieweit jedes Merkmal für diese Lagerstätten charakteristisch ist. Es sei darauf hingewiesen, daß eine derartige Untersuchung der Tabellen selbst für elektronische Rechenanlagen außerordentlich arbeitsaufwendig ist.

Als charakteristisch für die Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten des Pazifischen Erzgürtels erwiesen sich 37 Merkmale, die in der Tabelle aufgeführt werden. Darunter ist kein Kriterium, das ein Geologe mittlerer Qualifikation im Stadium der geologischen Voruntersuchung einer Lagerstätte nicht feststellen könnte. Der Vergleich mit gut untersuchten Objekten als „Eich“lagerstätten ist notwendig, um zu garantieren, daß keines der Merkmale ausgelassen wird, nicht aber wegen ihrer Nutzung der Merkmale, da ihr Nachweis erst bei der eingehenden Erkundung oder beim Abbau möglich ist.

6. Auf der Basis der Wichtigkeit der Informationsmerkmale berechnen wir dann die Informationswerte der Zeilen in der Tabelle, d. h., wir erhalten die Summen der Kriterienwerte, die jedem Eichobjekt eigen sind.

Durch diese Operationen gelingt es, ein System von Merkmalen zu ermitteln, die für die als Vergleich genommenen Lagerstätten besonders charakteristisch sind. Die Summe der Informationswerte dieser Merkmale befindet sich in direkter Übereinstimmung mit den relativen Größen der Lagerstätten. In hinreichend deutlicher Form wurde diese Übereinstimmung auch in unserem Fall für die Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten festgestellt (Abb. a).

Die für 10 große „Eich“lagerstätten des Pazifischen Erzgürtels erhaltenen Informationswerte ergaben in ihrer Summe die Informationswerte der Lagerstätten, die ihren relativen Größen weitgehend entsprechen. Eine ähnliche Übereinstimmung wurde auch auf den zur Überprüfung der Methode ausgewählten fünfzehn



Die Beziehungen zwischen den Informationswerten und den relativen Maßstäben für die Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten des Pazifischen Erzgürtels (a) und des fernöstlichen Küstengebiets (b)

Nach der Ordinate sind die Informationswerte der Lagerstätten (schwarze Kreise) und deren relative Maßstäbe in bedingten Einheiten (helle Kreise) abgetragen. Die Lagerstättennummern (1 bis 30) folgen nacheinander entsprechend der Abnahme ihrer Informationswerte.

relativ kleinen Objekten festgestellt (unterer Teil der Kurven auf Abb. a).

Es ist interessant, daß bei dieser Überprüfung die größten Abweichungen bei den Lagerstätten 13–16 auftraten, deren Erkundung und Abbau im Krieg und in den ersten Nachkriegsjahren durchgeführt wurde, als die Hauptaufmerksamkeit den Reicherzen galt. Man kann annehmen, daß deshalb die Abmessungen der Lagerstätten nicht exakt genug bewertet wurden.

Die Angaben über den Aussagegrad verschiedener geologischer Charakteristika für die interessantesten Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten können bereits heute sowohl für eine vorläufige Bewertung der einzelnen zu dieser Gruppe gehörenden Lagerstätten als auch für die Wahl der sachgemäßen Untersuchungsrichtung auf wenig bekannten Objekten genutzt werden. Es wird deutlich, welche Kriterien bei der Untersuchung von Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten besonders beachtet werden müssen. Dadurch kann die Arbeit der Geologen bedeutend effektiver abgewickelt werden.

Es mögen einige Bemerkungen zum Wesen der erhaltenen Angaben über die geologischen Faktoren folgen, die die Bildung großer Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten beeinflussen. Es ist interessant, anhand der Summen der einzelnen Informationswerte die Charakteristika der verschiedenen Gruppen von geologischen Faktoren für einzelne große Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten des Pazifischen Erzgürtels miteinander zu vergleichen.

Den ersten Platz nahmen hierbei die Faktoren der magmatischen Kontrolle ein (1584), den zweiten die Morphologie der Erzkörper (1249), den dritten die lokalen erzumgebenden Strukturen und die Veränderungen um die Erze (1110 bzw. 1135), den vierten die Nebengesteine (956), den fünften die regionalen geologischen Strukturen (811), den sechsten sonstige Faktoren (800), wie die Zonalität der Vererzung, das Auftreten einer Vererzung anderer Typen innerhalb des Erzfeldes und dergleichen mehr.

Bei den Faktoren der magmatischen Kontrolle haben saure subvulkanische Körper vom Typ der Necks, die die Träger der Vererzung sind oder räumlich eng mit ihr assoziieren, den größten Einfluß. Diese Folgerung steht in Übereinstimmung mit der in letzter Zeit festgestellten Tatsache, daß gewisse subvulkanische Komplexe eine erhöhte Erzführung aufweisen. Von den anderen Faktoren dieser Gruppe ist die bedeutende Rolle der mit der Vererzung assoziierenden Porphyrit- und Quarzporphyrgänge augenfällig. Dieser Umstand wurde des öfteren von vielen Geologen erwähnt.

Bei den Besonderheiten bezüglich der Lagerung der Erzkörper erlangen die Einfallswinkel der Erzkörper für mächtige Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten eine unerwartet große Bedeutung. Charakteristisch für die Unterschiede zwischen verschiedenen Lagerstätten sind die Einfallswinkel von 50–90°. Diese Tatsache verlangt hinsichtlich der Strukturgeologie, der Dynamik und der physikochemischen Besonderheiten eine spezielle Untersuchung.

Als wesentliche lokale erzumgebende Strukturen stellten sich Klüfte der Einsystemscherung und Schieferungszonen sowie Klüfte der Zweisystemscherung heraus; von den plikativen Formen: lineare Falten, Kerne und Scharniere von Antiklinalen.

Von den Nebengesteinsveränderungen in der Nachbar-

schaft der Erze hat die Sericitisierung die größte Bedeutung. Dahinter folgt, für uns völlig unerwartet, die Vergreisung und dann erst die Verquarzung, die in den meisten Fällen von Turmalinisierung und Chloritisierung begleitet wird.

Die Rolle, die hierbei die Vergreisung spielt, zeugt offensichtlich von einer bedeutenden Entwicklungsperiode der hydrothermalen Prozesse. Hierbei fand eine Mineralisierung anderen Typs als die Kassiterit-Sulfid-Mineralisierung statt. Auf eine derartige Überprägung durch eine Mineralisation unterschiedlichen Typs, die in letzter Instanz zur Bildung von Lagerstätten komplizierter Erzformationen führt, die sich des öfteren durch erhebliche Größe auszeichnen, wurde bereits früher hingewiesen (KONSTANTINOW 1965).

Bei der Analyse der Rolle, die den Nebengesteinen zufällt, gab es einige unerwartete Folgerungen. Wie vorher vermutet wurde, waren hier Sandsteine, kohligtonige Schiefer sowie Folgen, in denen diese Gesteine wechsellagern, charakteristisch. Aber die festgestellte große Bedeutung, die den Konglomerat- und Grauwackenzwischenlagen in diesen Folgen zukommt, kann gegenwärtig nur hypothetisch erklärt werden. Wahrscheinlich konnten diese Schichten durch ihre erhebliche Porosität in manchen Fällen eine Entlastung der hydrothermalen Lösungen bewirken, in anderen wiederum die Zirkulation dieser Lösungen in Richtung auf die das Erz umgebenden Spalten befördern. In diesem Zusammenhang entsteht die Frage: Können nicht die Konglomerate und Grauwacken selbst Zinnkonzentrationen enthalten, die für eine industrielle Gewinnung ausreichen? Soweit uns bekannt ist, wurde speziell diese Frage von niemandem untersucht; aber auf einer der Zinnerzlagerstätten des Erzbezirks von Umsuktschan, im Gebiet Magadan, ist eine über 20 m mächtige Schicht von Konglomeraten mit erheblichem Zinngehalt bekannt.

Die regionalen geologischen Strukturen, die ihrer Bedeutung nach den fünften Platz einnehmen, bestimmen offensichtlich die Ausmaße der Erzbezirke und -knotenpunkte und nur in geringerem Umfang die Maßstäbe der einzelnen Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten. Es erwies sich, daß hier durchsetzende verborgene Brüche des Fundaments die größte Bedeutung haben.

Es war interessant, die für die Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten des Pazifischen Gürtels erhaltenen Daten mit den Charakteristika der Lagerstätten einer zu diesem Gürtel gehörenden metallogenetischen Provinz zu vergleichen. Unter diesem Gesichtspunkt wurden neun Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten des fernöstlichen Küstengebiets betrachtet.

Die bei der mathematischen Behandlung erhaltenen Informationswerte der Charakteristika dieser Lagerstätten bringt die Tabelle. Wie für die Lagerstätten des Pazifischen Gürtels allgemein bilden die entsprechenden Informationswerte der Lagerstätten und ihrer Maßstäbe das Kriterium für die richtige Auswahl des Systems der Merkmale. Der Umstand, daß die Kriterien, die für die Lagerstätten des fernöstlichen Küstengebiets berücksichtigt wurden, in erheblichem Maße die geologischen Faktoren widerspiegeln, die die Erzbildung beeinflussen, wird durch die gute Übereinstimmung zwischen der Kurve der Informationswerte der Lagerstätten und der Kurve, die deren relative Maßstäbe zum Ausdruck

Tabelle. Die Informationswerte der Merkmale für Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten

Ifd. Nr.	Merkmale	Pazifischer Gürtel		fernöstliches Küstengebiet	
		Informationswert	%	Informationswert	%
1	2	3	4	5	6
<b>I. Regionale geologische Strukturen</b>					
1.	terrigene Geosynklinalen	163	2,13	439	3,31
2.	Mittelmassive, Hebungen innerhalb von Antiklinorien	163	2,13		
3.	Synklinorien	163	2,13	439	3,31
4.	Tiefenbrüche, darunter verborgene Brüche des Fundaments	128	1,67	154	1,16
5.	Durchsetzen von verborgenen Brüchen	194	2,53	215	1,62
		811		1248	
<b>II. Lokale erzumgebende Strukturen</b>					
6.	lineare Falten	172	2,24	439	3,31
7.	Querverbiegungen von Falten, flexurartige Biegungen			305	2,29
8.	Kerne und Scharniere von Antiklinalen	156	2,04	371	2,80
9.	Flanken von Antiklinalen			154	1,16
10.	Flanken von Synklinalen			211	1,59
11.	Abrißklüfte			182	1,37
12.	Spalten der Einsystem-Scherung und subparallele Störungen unklarer Genese	310	4,05	193	1,45
13.	Spalten der Zweisystem-Scherung und durchsetzende Klüfte unklarer Genese	207	2,70	211	1,59
14.	Schieferungs- und Klüftungs-zonen	265	3,46	188	1,42
		1110		1838	
<b>III. Morphologie der Erzkörper</b>					
15.	Stockwerke			220	1,66
16.	Einzelgänge			193	1,45
17.	Gangzonen, vorwiegend Ausfüllung offener Klüfte	147	1,92	154	1,16
18.	Zerrüttungs- und Mineralisations-zonen (vollständig oder teilweise metasomatisch)	163	2,13	211	1,59
<b>IIIa. Lagerungsbesonderheiten der Erzkörper</b>					
19.	Einfallwinkel bis 50°	172	2,24		
20.	Einfallwinkel von 50° bis 75°	352	4,60	158	1,19
21.	Einfallwinkel steiler als 75°	415	5,42	371	2,80
<b>IV. Besonderheiten der Verteilung der Vererzung</b>					
22.	Quecksilbervorkommen an den Flanken	157	2,05	177	1,33
23.	Blei-Zink-Vorkommen	196	2,56	220	1,66
24.	Auftreten von Axinitrümern			220	1,66
25.	Erzintervall > 200 m	147	1,92		
26.	Zonalität innerhalb der Erzkörper	170	2,22	154	1,16
27.	Zonalität innerhalb des Erzfeldes	130	1,70	220	1,66
28.	schlotartige Verteilung der Mineralisation			169	1,2
29.	gleichmäßige Verteilung			371	2,80
		800		1531	
<b>V. Magmatische Gesteine, die mit der Vererzung assoziiert sind</b>					
30.	Granite unter den Erzkörpern	172	2,24		
31.	Granodiorite und Quarzdiorite in einer Entfernung bis zu 3 km	154	2,01	188	1,42
32.	Granodiorite und Quarzdiorite unter den Erzkörpern			235	1,77
33.	saure subvulkanische Körper, die die Vererzung umgeben, und in einer Entfernung bis 3 km	415	5,42	340	2,56

Ifd. Nr.	Merkmale	Pazifischer Gürtel		fernöstliches Küstengebiet	
		Informationswert	%	Informationswert	%
1	2	3	4	5	6
34.	basische und intermediäre subvulkanische Körper, die die Vererzung umgeben, und in einer Entfernung bis zu 3 km			220	1,66
35.	einzelne Gänge von Porphyriten, Granodioritporphyren, Andesitbasalten, Spessartiten, Dioritporphyriten, Andesiten und Diabasporyhyriten	266	3,47	215	1,62
36.	Gangfelder von Porphyriten	211	2,75	221	1,67
37.	einzelne Gänge von Quarzporphyriten, Granitporphyren, Felsiten und Lipariten	155	2,02	215	1,62
38.	Gangfelder von Quarzporphyren	210	2,74	340	2,56
39.	Porphyrite innerhalb der Vererzung			305	2,29
40.	Quarzporphyre innerhalb der Vererzung			220	1,66
41.	Lavabreccien und Effusiva von Porphyriten und Andesiten in der Nähe der Erzkörper			340	2,56
		1584		2641	
<b>VI. Nebengesteine</b>					
42.	Sandsteine	209	2,73	439	3,31
43.	kohlige Schiefer und tonige Aleurolithe	208	2,72	439	3,31
44.	Wechsellagerung von Sandsteinen und kohlig-tonigen Schiefern	139	1,81	188	1,42
45.	Wechsellagerung von Sandsteinen und Schiefern in einer tektonischen Zone („Tektonite“)			177	1,33
46.	Zwischenlagen von Konglomeraten und Grauwacken in einer Sandstein-Schiefer-Folge	237	3,10		
47.	Biotit- und andere Hornfelse	163			1,64
48.	intermediäre und basische Effusiva, Tuffe		2,13	218	
		956		1461	
<b>VII. Nebengesteinsveränderungen um die Erze</b>					
49.	Vergreisung	223	2,91		
50.	Sericitisierung	415	5,42	211	1,59
51.	Verquarzung	193	2,52	439	3,31
52.	Turmalinisierung	170	2,22	125	0,94
53.	Karbonatisierung (Sideritisierung, Calcitisierung)			56	0,42
54.	Biotitisierung			196	1,48
55.	Sulfidisierung			439	3,31
56.	Chloritisierung	134	1,75	387	2,92
57.	Kaolinisierung			220	1,68
		1135		2073	
<b>VIII. Altersbeziehungen</b>					
58.	mehr als drei Mineralisationsstadien	n. b. <sup>1)</sup>		439	3,31
59.	drei Mineralisationsstadien und weniger			115	0,87
				554	

Anmerkung: Wo der Informationswert nicht angegeben ist, ist er kleiner als hundert und beeinflusst das Gesamtinformationsgewicht der Lagerstätte wenig.

<sup>1)</sup> nicht bestimmt.

bringt, unterstrichen (Abb. b). Man hätte wie im ersten Fall wahrscheinlich ein etwas anderes System der Merkmale wählen können; möglicherweise wären nach entsprechender Bearbeitung noch genauere Beziehungen zu den Maßstäben der Vererzung deutlich geworden. Das ist aber eine Sache zukünftiger Untersuchungen.

Beim Vergleich der für die Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten des fernöstlichen Küstengebiets und des gesamten Pazifischen Erzgürtels erhaltenen Informationswerte kann man zwischen ihnen sowohl erhebliche Ähnlichkeiten als auch einige Unterschiede feststellen. Ebenso wie auch für die Lagerstätten des Gürtels spielen hier die Faktoren der magmatischen Kontrolle (2641) die Hauptrolle, aber der zweite Platz gehört den Nebengesteinsveränderungen um die Erze (2073), nicht der Morphologie der Erzkörper. Den dritten Platz nehmen die lokalen erzumgebenden Strukturen ein (1883); dann folgen die Besonderheiten der Platznahme der Vererzung (1531) und die Nebengesteine (1461); die morphologischen Besonderheiten der Erzkörper (1307) stehen erst an sechster Stelle; ihnen folgen die regionalen geologischen Faktoren (1248) und die Stadienhaftigkeit der Mineralisation (554).

Es steht außer Zweifel, daß nicht nur die metallogenetische Spezifik des fernöstlichen Küstengebiets und der etwas höhere Untersuchungsgrad der Lagerstätten, der gestattete, die Besonderheiten der Nebengesteinsveränderungen um die Erze und die der Verteilung der Vererzung innerhalb der Erzfelder (sonstige Merkmale) vollständiger zum Ausdruck bringen, die Veränderung in der Reihenfolge der verschiedenen Merkmalsgruppen beeinflusst haben.

Hier sei bemerkt, daß die erhaltenen Daten von einem relativ geringen Einfluß der Faktoren der regionalen geologischen Kontrolle auf die Ausmaße der einzelnen Lagerstätten, nicht aber auf ihre Verbreitung zeugen. Wie es auch bereits früher vermutet wurde (KONSTANTINOW 1965), ist eine große Anzahl von Mineralisationsstadien (über drei) ebenfalls ein Charakteristikum für größere Lagerstätten. Hinsichtlich der Veränderungen in der Bewertung der einzelnen Merkmale erwähnen wir die erhöhte Bedeutung der mit der Vererzung assoziierenden basischen und intermediären subvulkanischen Körper, der gestiegenen Rolle der Quarzporphyrgangfelder und des Auftretens von Gesteinsgängen innerhalb der Vererzung. Wir kennen die Assoziation mit Lavabreccien und anderen effusiven Andesiten, die sowohl bei den die Vererzung begleitenden magmatischen Körpern eine Rolle spielen, als auch als Gesteine, die die Erzkörper enthalten.

Im Bereich einzelner Erzfelder ist auch die Bedeutung der Hg- und Pb-Zn-Mineralisation, der mit Axinit ausgefüllten Trümer und der Zonalität bei der Verteilung der Vererzung innerhalb der Reviere merklich erhöht. Bei den morphologischen Typen der Erzkörper sind, neben anderen Faktoren, die Stöckwerke und die einzelnen Ausfüllungsgänge kennzeichnend.

Die meisten der genannten Besonderheiten an Kassiterit-Sulfid-Lagerstätten des fernöstlichen Küstengebiets wurden von J. A. RADKEWITSCH (1958) und später auch von anderen Geologen festgestellt. Aber erst mit Hilfe der mathematischen Bearbeitung der geologischen Daten gelingt es, diese Merkmale im vollen Um-

fang an den Tag zu bringen und eine quantitative Bewertung ihrer Charakteristika vorzunehmen.

Man muß darauf hinweisen, daß die der Wirklichkeit am nächsten kommenden Ergebnisse, die man bei der Überprüfung der Methode erhielt, für Lagerstätten mit sehr ähnlicher Mineralzusammensetzung ermittelt wurden. Die Ähnlichkeit der Mineralzusammensetzung wurde mit Hilfe früher vorgeschlagener Verfahren überprüft (KONSTANTINOW & BUNITSCH 1967; KONSTANTINOW u. a. 1968). Dabei konnte festgestellt werden, daß der Versuch, die Bearbeitung der geologischen Daten auf hydrothermale Zinnlagerstätten anzuwenden, die nach der Mineralzusammensetzung nur geringe Korrelationen aufweisen und zu verschiedenen Erzformationen gehören, keine Ergebnisse liefert. Daher muß man sich vor der Anwendung dieser Methode davon überzeugen, daß sich die Erze der für die Untersuchung ausgewählten Objekte ihrer Mineralzusammensetzung nach hinreichend nahestehen.

### Folgerungen

1. Die Anwendung der diskreten Analyse gab die Möglichkeit, über wenige Vergleichsobjekte vorliegender geologischer Daten eine quantitative Charakteristik darüber zu erhalten, in welchem Maße bestimmte geologische Merkmale für die Bildung von Zinnerzlagertstätten der Kassiterit-Sulfid-Formation günstig sind. Diese Ergebnisse können bei der vorläufigen Bewertung von Lagerstätten, die sich im Anfangsstadium der geologischen Untersuchung befinden, benutzt werden.

2. Es wurde festgestellt, daß sich die Kurve der Informationswerte der Lagerstätten in auffällender Übereinstimmung mit der Kurve befindet, die die relativen Maßstäbe dieser Lagerstätten widerspiegelt. Außerdem wurde die Rolle, die verschiedenen geologischen Merkmalen der Lagerstätten zukommt, ermittelt und ihre quantitative Bewertung gegeben. Der stärkste Zusammenhang der Kassiterit-Sulfid-Mineralisation ist mit assoziierten magmatischen Vorkommen festzustellen. Für die Lagerstätten des gesamten Pazifischen Gürtels hat das Auftreten saurer subvulkanischer Körper innerhalb der Erzfelder große Bedeutung, während für das fernöstliche Küstengebiet außerdem die Anwesenheit basischer und intermediärer subvulkanischer Körper sowie von Quarzporphyrgangfeldern besonders wichtig ist.

Die Merkmale, die die Morphologie der Erzkörper kennzeichnen, sowie die lokalen erzumgebenden Strukturen und die Nebengesteinsveränderungen um die Erze treten hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Ausmaße der Vererzung etwas zurück.

Als bedeutendste lokale erzumgebende Strukturen wurden die Klüfte der Einsystem- und Zweisystem-scherung, Schieferungszonen, lineare Falten, Kerne und Scharniere der Antiklinalen hervorgehoben. Von den Nebengesteinsveränderungen um die Erze sind Serizitisation und Vergreisung am wichtigsten.

3. Eine Besonderheit der angewandten Methode besteht nicht nur in der Möglichkeit, eine quantitative Bestimmung der Wichtigkeit qualitativer geologischer Merkmale bei der Erzbildung zu geben, sondern auch darin, daß sie Fragen für die weitere Untersuchung dieser Merkmale aufwirft. In den behandelten Kassiterit-

Sulfid-Lagerstätten verdient der Einfluß der Konglomeratzwischenlagen in Sandstein-Schiefer-Folgen auf die Erzbildung, die Einfallwinkel der Erzkörper usw. eine derartige Untersuchung.

## Literatur

- DMITRIJEV, A. N., J. I. SHURAWLJOW & F. P. KRENDELEW: Über ein Prinzip der Klassifikation und Prognose geologischer Objekte und Erscheinungen. — Geologija i geofisika, No. 5 (1968).  
 KONSTANTINOW, R. M.: Die Untersuchung der endogenen Erzlagerstätten

- verschiedener Erzformationen bei großmaßstäblichen metallogenetischen Untersuchungen. In dem Buch „Die Untersuchung der Verteilungsgesetzmäßigkeiten der Mineralisation bei metallogenetischen Untersuchungen der Erzbezirke“. — Nedra (1965).  
 — Über die Verwendung von Lochkarten bei der Untersuchung endogener Erzlagerstätten. — Geol. rudn. mestoroshd., No. 2, Moskau 1966.  
 KONSTANTINOW, R. M., & A. L. BUNITSCH: Einfache Methoden zur Berechnung der Korrelationen der Mineralzusammensetzung von Erzlagerstätten. — Isw. AN SSSR, ser. geol., No. 7 (1967).  
 KONSTANTINOW, R. M., R. M. DSHABAR-SADE & S. W. SIROTINSKAJA: Über die Verwendung von elektronischen Rechenmaschinen für die Klassifikation der Erzlagerstätten nach ihrer Mineralzusammensetzung. — Isw. AN SSSR, ser. geol., No. 9 (1968).  
 RADKEWITSCH, J. A.: Die Metallogenie des südlichen fernöstlichen Küstengebiets. — Tr. IGEM AN SSSR, v. 19 (1958).

# Möglichkeiten der Speicherung von verflüssigtem Erdgas

WILHELM MEINCKE, Böhlitz-Ehrenberg

## 1. Einleitung

Der Anteil des Erdgases an der Energiebilanz der Länder ist im ständigen Steigen begriffen. Das Erdgas dient sowohl zur Erzeugung von Elektroenergie als auch als Grundstoff in der chemischen Industrie, um nur zwei Anwendungsbereiche des Erdgases herauszugreifen. Daneben wird Erdgas im kommunalen Sektor (Heizgas) in immer stärkerem Maße eingesetzt.

Vergleicht man jedoch die Fördergebiete und Verbraucherzentren des Erdgases miteinander, so läßt sich feststellen, daß diese räumlich oft weit auseinanderliegen. Als ökonomisch günstigste Variante hat sich der Transport des Erdgases durch Pipelines erwiesen. Dabei sollte die Förderkapazität das ganze Jahr über maximal ausgelastet werden. Der in den Wintermonaten auftretende Mehrverbrauch, insbesondere im kommunalen Sektor, muß durch zusätzliche Auspeisung aus Untergrundgasspeichern abgefangen werden. Zweckmäßigerweise sind die Untergrundgasspeicher in der Nähe der Verbraucherzentren anzulegen.

Es ist jedoch nicht in jedem Falle möglich, die Verbrauchergebiete über Pipelines zu versorgen, wenn diese durch größere und tiefe Meeresbereiche verlegt werden müßten, denn dann treten auch heute noch nicht oder nur zum Teil gelöste technische Probleme auf.

Zur Versorgung von Großbritannien, Frankreich und Spanien mit Erdgas aus Algerien und Libyen wurde die Möglichkeit des Seetransports von verflüssigtem Erdgas realisiert. Ein weiteres inzwischen ausgereiftes Projekt ist die Lieferung von verflüssigtem Erdgas (LNG) aus Alaska nach Japan. Dabei macht man sich den Umstand zunutze, daß verflüssigtes Erdgas nur ca. 1/600 des Volumens im gasförmigen Zustand einnimmt und bei Temperaturen von ca.  $-160^{\circ}\text{C}$  unter atmosphärischem Druck transportiert und gespeichert werden kann. Zur Sicherung einer kontinuierlichen Fahrweise der Verflüssigungsanlagen im Verladehafen und der Verdampfungsanlagen im Entladehafen sowie der diskontinuierlichen Be- und Entladung der Methan-Tanker werden Speichermöglichkeiten für LNG geschaffen.

Die Tendenz geht dahin, in der Nähe der Verbraucherzentren Satellitenanlagen zu errichten, die die Abdeckung eines extrem hohen Gasbedarfs bei plötzlichen Temperaturstürzen übernehmen. Das verflüssigte Erdgas wird per Schiene oder Straße zu diesen Satellitenanlagen transportiert. In Zukunft dürfte es auch möglich sein, LNG über größere Entfernungen mittels Rohrleitungen fortzuleiten.

Ein anderer Weg wird beschritten, indem überschüssiges Erdgas in der Nähe der Verbrauchergebiete durch eine Anlage geringer Kapazität im Sommer verflüssigt, gespeichert und im Winter bei Bedarf über eine Verdampferanlage hoher Kapazität gasförmiges Erdgas in das Verteilernetz eingespeist wird. Die Speicherkapazität ist im allgemeinen so bemessen, daß der erhöhte Gasbedarf für 1 bis 2 Wochen abgedeckt werden kann.

In Verbindung mit anderen Speicherverfahren (Aquifer, erschöpfte KW-Lagerstätten, Kavernen) ergibt sich somit eine sinnvolle Kombination.

## 2. Speichertypen

Gegenwärtig besitzen drei Methoden der Speicherung von LNG praktische Bedeutung:

1. Obertage-Metallbehälter,
2. gefrorene Erdgruben,
3. Behälter aus Spannbeton.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung von bergmännisch hergestellten oder bei günstigen Bedingungen auch natürlich entstandenen Hohlräumen. Soweit bekannt, sind jedoch diese Arbeiten über das Versuchsstadium nicht hinausgekommen (HAFNER 1970) und haben keine industrielle Bedeutung erlangt.

### Der Obertage-Metallbehälter

Dieser Speichertyp besteht im Prinzip aus einem inneren und einem äußeren Behälter mit dazwischenliegender Isolierung (Abb. 1). Das zur Anwendung kommende Material für den inneren Behälter muß kaltebeständig sein, d. h., die Festigkeit des Materials muß auch bei Temperaturen von  $-160^{\circ}\text{C}$  noch gewährleistet sein. Im allgemeinen wird eine Aluminium-Magnesium-Legierung bzw. Nickelstahlblech mit sehr geringem Kohlenstoffanteil verwendet. Der Nickelanteil liegt bei 9%. Entsprechende Analysen der Werkstoffe gibt LAURIEN (1966, S. 506 und 507). Die Außenwand besteht aus normalem Kohlenstoffstahl. Zwischen den beiden Stahlwänden wird ein Isoliermaterial eingebracht. Im allgemeinen wird Perlit (expandiertes  $\text{SiO}_2$ ), Polyurethan oder mit einem Plastmaterial ummantelte Glasfaser gewählt. Bei der Auswahl der Isoliermaterialien wird dem Perlit wegen der relativ geringen Wärmeleitfähigkeit und der Nichtbrennbarkeit häufig der Vorzug gegeben.

Das Isoliermaterial hat die Aufgabe, die boil-off-Rate des verflüssigten Erdgases so gering wie möglich zu halten. Bei der Auswahl spielen aber auch Sicherheitserwägungen, z. B.

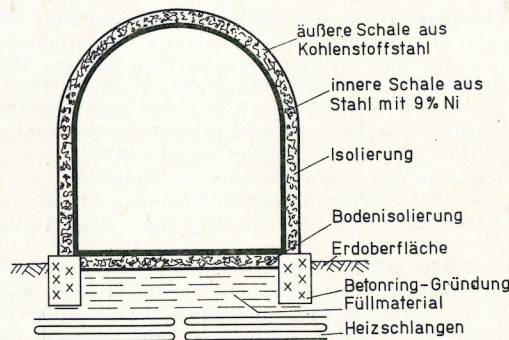


Abb. 1. Querschnitt durch einen Doppelwand-Metallbehälter zur Speicherung von verflüssigtem Erdgas mit geschlossenem Speicherraum

Gründung: Betonring-Wand