

MILAN HÁBER*

BEITRAG ZUM STUDIUM DER MIKROHÄRTE VON PYRIT

Abstract. Bei den Messungen am Mikrohärtmesser PMT-3 stellte der Verfasser eine bedeutende Dispersion des Mikrohärtewertes bei Pyrit fest, woraus er auf die Möglichkeit schließt diese Erscheinung in der diagnostischen Praxis für die Unterscheidung der genetischen Typen des Pyrits anzuwenden.

Einleitung

In der letzten Zeit erscheinen im Schrifttum immer mehr Arbeiten über die Methoden für die Feststellung und Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Minerale in bezug auf ihre Anwendung bei der Lösung der Frage der Entstehungsbedingungen der Minerale in der Natur. Eine der physikalischen Methoden, die auch bei uns langsam zur Geltung kommt, ist die Feststellung der Mikrohärtigkeit der Minerale.

Die Mikrohärtigkeit ist, ähnlich wie die übrigen physikalischen Eigenschaften der Minerale, durch den Charakter der Kristallstruktur (Charakter der Atombindung, Entfernungen im Gitter, Wertigkeit, Koordinationsnummer u. a.) bedingt. Die Unterschiedlichkeit der physikalischen Eigenschaften, also auch der Mikrohärtigkeit, bei einem und demselben Mineral, wird vor allem durch das Wachstum der Kristalle unter verschiedenen, physikalisch-chemischen Bedingungen hervorgerufen, wobei je nach den Kristallisationsbedingungen im Kristallgitter Defekte verschiedener Art entstehen.

Vorliegende Arbeit behandelt die Möglichkeit einer Feststellung der genetischen Entstehungsbedingungen des Pyrits auf Grund der Messung der Werte seiner Mikrohärtigkeit.

Mit Mikrohärtmessungen bei Pyrit beschäftigten sich zahlreiche Autoren. Die — meist nur zu diagnostischen Zwecken durchgeführten — Messungen zeigen für Pyrit folgende Dispersion der Werte an:

S. D. Dmitrijev (1949)	1160—1720 kg/mm ²
E. M. Onitsch-Modl (1953)	840—1130 kg/mm ²
F. M. Nakhla (1956)	1543—2194 kg/mm ²
A. I. Pudovkina (1957)	604—1458 kg/mm ²
S. H. U. Bowie — K. Taylor (1958)	1027—1240 kg/mm ²
S. I. Lebedeva (1961)	1144—1374 kg/mm ²
J. Králík — J. Polický (1961)	1002—1668 kg/mm ²

Aus obiger Übersicht ist ersichtlich, daß sich die Mikrohärtewerte der einzelnen Autoren bedeutend voneinander unterscheiden. Das kann man einerseits durch die Eigenheiten der Konstruktion der angewandten Mikrohärtmessung (Form der Diamantpyramide), andererseits durch verschiedene Bedingungen bei der Messung (Eindrucksgeschwindigkeit, Dauer des statischen Druckes, Größe des Druckes, Anzahl der Messungen u. a.) erklären.

J. Králík et J. Polický (1961) kamen in ihrer Arbeit zur Erkenntnis, daß die Unterschiede in den Mikrohärtewerten bei Pyrit auch durch die verschiedenen ge-

* Prom. Geol. M. Háber, Lehrstuhl für Mineralrohstoffe und Geochemie, Naturwissenschaftliche Fakultät, Komenský Universität, Bratislava, Jiráskova 12.

schen Bedingungen seiner Entstehung hervorgerufen wurden. Für die verschiedenen Lagerstättentypen führen sie folgende Dispersion der Mikrowerte an:

Lagerstättentypus	Mikrohärte in kg/mm ²
sedimentär	1110—1160
Pyrit in Talkschiefern	1002—1149
metamorph	1207—1410
hydrothermal	1350—1668

Die Mikrohärte wurde am Reichert'schen Mikrohärtemesser gemessen.

In den Schlußfolgerungen zu ihrer Arbeit führen die genannten Autoren an, daß der Wert der Mikrohärte bei Pyrit von dessen ansteigender Bildungstemperatur linear abhängig ist.

Messungsverfahren und Berechnung der Mikrohärtewerte

Bei der Messung der Mikrohärte verwendete ich den sowjetischen Mikrohärtemesser PMT-3, konstruiert von M. M. Chruščov und E. S. Berkovič im Jahre 1949.

Das Prinzip dieses Apparates beruht auf der Abmessung der Länge der Diagonale des Abdruckes, der durch das Eindringen der Vickers'schen Diamantpyramide (die Pyramide hat eine quadratische Basis und der von den Kanten gebildete Scheitelwinkel = 136°) in das Mineral durch einen bestimmten Druck (mit Hilfe eines Gewichtes von 0,5—200 g) entsteht.

Zur Berechnung der Mikrohärte benützte ich den mittleren Wert der Länge der Diagonale, den ich aus dem arithmetischen Durchschnitt von 15 — 20 Messungen unter Außerachtlassung der extrem niedrigen, oder extrem hohen Werte („Einbrechen“ des Korns, „dünnes“ Korn auf hartem Mineral, Messung an der Grenze zwischen den Körnern im Aggregat u. a.) berechnete.

Werte von der Mikrohärte habe ich nach der Formel ausgerechnet:

$$H = \frac{1854 P}{d_{str}^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)},$$

wo H den mittleren Wert der Mikrohärte, P das Gewicht in Gramm, d_{str} die mittlere Länge der Diagonale in Mikronen bedeutet; dabei benützte ich auch die Umrechnungstabelle von M. M. Chruščov und E. S. Berkovič (1950).

In der Arbeit führe ich auch die Härteklasse (H_0) der 15-gradigen Skala nach Chruščov (1949) für die einzelnen Härtemessungen des Pyrits an.

Die Umrechnung von H auf H_0 erfolgte nach der Formel

$$H_0 = 0,65 \sqrt[3]{H}.$$

Besprechung der Messergebnisse

Zu den Mikrohärtemessungen wurden 64 Anschliffe von Pyrit und 9 Anschliffe von Magnetkies aus 19 Lokalitäten herangezogen (Tab. 1).

¹ Die genaue Methodik der Arbeit am Mikrohärtemesser PMT-3, sowohl wie auch die theoretischen Erwägungen und Berechnungen sind in den neueren Publikationen von G. A. Iljinský (1963), S. I. Lebedeva (1963) und A. S. Povarennych (1963) angeführt.

Tabelle 1. Gemessene Mikrohärtewerte von Pyrit

Nr. der Prob.	Bezeichnung der Probe	Druck in g	Länge der Diagonale		H in kg/mm ²	H_0
			in d	in μ		
1	Pyrit Banská Štiavnica 7a	150	44,9	14,07	1407	7,27
2	Pyrit Banská Štiavnica 7b	150	43,9	13,77	1474	7,38
3	Pyrit Banská Štiavnica Bieber-Gang 1	150	44,0	13,80	1465	7,37
4	Pyrit Banská Štiavnica Spitaler Gang 3	150	44,6	14,0	1426	7,30
5	Pyrit Banská Štiavnica 5a	150	44,6	14,0	1426	7,30
6	Pyrit Banská Štiavnica 6	150	44,7	14,0	1420	7,29
7	Pyrit Banská Štiavnica Bieber-Gang 2	150	45,5	14,25	1373	7,21
8	Pyrit Pezinok Augustin-Stollen 28b	150	43,7	13,70	1491	7,40
9	Pyrit Pezinok Pyrit-Stollen 40	150	44,0	13,8	1465	7,37
10	Pyrit Pezinok 73/Sb8	150	44,8	14,0	1414	7,28
11	Pyrit Pezinok Pyrit-Stollen 83	150	45,3	14,2	1384	7,23
12	Pyrit Pezinok Pyrit-Stollen 423/Sb1	150	45,6	14,3	1368	7,20
13	Pyrit Pezinok Augustin-Stollen 87b	150	44,9	14,08	1407	7,27
14	Pyrit Pezinok Augustin-Stollen 87a	150	46,1	14,4	1338	7,15
15	Pyrit Pezinok Augustin-Stollen	150	46,5	14,6	1309	7,10
16	Pyrit Pezinok Augustin-Stollen A 13	150	46,9	14,75	1280	7,05
17	Magnetkies Pezinok Augustin-Stollen A 13	50	56,7	17,8	293	4,33

Nr. der Prob.	Bezeichnung der Probe	Druck in g	Länge der Diagonalen		H in kg/mm ²	H_0
			in d	in μ		
18	Pyrit Pezinok Augustin-Stollen 30	150	47,2	14,85	1262	7,02
19	Pyrit Pezinok Rýhová-Stollen	150	47,6	15,0	1242	6,98
20	Pyrit Pezinok Augustin-Stollen 28a	150	47,8	15,0	1236	6,97
21	Pyrit Pezinok Kolásky 442/Sb9	150	48,2	15,15	1212	6,93
22	Pyrit Pezinok Pyrit-Stollen 39	150	48,2	15,15	1212	6,93
23	Pyrit Pezinok Rýhová-Stollen 26	150	48,4	15,20	1203	6,91
24	Pyrit Pezinok 437/Sb16	150	49	15,4	1176	6,86
25	Pyrit Pezinok Augustin-Stollen 89	150	49,1	15,43	1172	6,85
26	Pyrit Pezinok Pyrit-Stollen 449	150	49,1	15,43	1172	6,85
27	Pyrit Pezinok Pyrit-Stollen 43	150	49,3	15,5	1162	6,83
28	Pyrit Pezinok 425/Sb4	150	49,9	15,67	1136	6,77
29	Magnetkies Pezinok Augustin-Stollen 873	100	78,3	24,6	307	4,39
30	Pyrit Pernek 259	150	43,4	13,6	1516	7,44
31	Pyrit Pernek Karol-Stollen 37b	150	44,5	13,95	1433	7,31
32	Pyrit Pernek Karol-Stollen 33	150	48,1	15,13	1216	6,94
33	Pyrit Pernek Karol-Stollen 31	150	48,4	15,2	1203	6,91
34	Pyrit Pernek Karol-Stollen 37a	150	48,8	15,3	1185	6,88

Nr. der Prob.	Bezeichnung der Probe	Druck in g	Länge der Diagonalen		H in kg/mm ²	H_0
			in d	in μ		
35	Pyrit Rybníček 450	150	46,3	14,52	1324	7,12
36	Pyrit Rybníček RK 6	150	46,9	14,75	1280	7,05
37	Magnetkies Rybníček RK 6	50	56,7	17,8	293	4,33
38	Pyrit Častá 4/224	150	44,4	13,9	1439	7,32
39	Pyrit Častá 16/236	150	45,1	14,15	1395	7,25
40	Pyrit Heřpa 63b	150	43,9	13,75	1474	7,38
41	Magnetkies Heřpa 63b	100	76,8	24,1	319,5	4,44
42	Pyrit Westliche Lagerstätte 58 Heřpa	150	47,2	14,85	1262	7,02
43	Pyrit Westliche Lagerstätte 62b Heřpa	150	47,2	14,85	1262	7,02
44	Magnetkies Westliche Lagerstätte 59 Heřpa	100	78	24,5	310	4,40
45	Magnetkies Westliche Lagerstätte 61 Heřpa	100	77,2	24,2	317	4,44
46	Pyrit Westliche Lagerstätte 62a Heřpa	150	55,6	17,5	913	6,31
47	Magnetkies Westliche Lagerstätte 62 Heřpa	100	77,7	24,4	312	4,42
48	Pyrit Westliche Lagerstätte 63a Heřpa	150	52	16,3	1044	6,60
49	Pyrit Ostrý vrch Hnúšťa 52	150	44,9	14,05	1407	7,27
50	Pyrit Ostrý vrch Hnúšťa 50	150	51,5	16,15	1065	6,64
51	Pyrit Ostrý vrch Hnúšťa 51	150	51,0	16,0	1086	6,67

Nr. der Prob.	Bezeichnung der Probe		Druck in g	Länge der Diagonalen		H in kg/mm ²	H_0
				in d	in μ		
52	Pyrit Querstollen	Smolník 11	150	46,9	14,76	1280	7,05
53	Pyrit Querstollen	Smolník 12	150	47,3	14,9	1257	7,01
54	Pyrit Querstollen	Smolník 10	150	47,5	14,95	1247	6,99
55	Pyrit Karitas	Smolník 14	150	48,4	15,2	1203	6,91
56	Pyrit Bernardi-Gang	Rožňava	150	43,3	13,6	1524	7,45
57	Pyrit Sadlovská	Rožňava 8/R	150	46,0	14,4	1346	7,16
58	Pyrit Sadlovská	Rožňava 8/R	150	52,0	16,3	1044	6,60
59	Pyrit	Slavošovce 47	150	53,8	16,9	973	6,44
60	Magnetkies	Slavošovce 47	100	77,0	24,2	317	4,44
61	Pyrit	Rudník 4/Ru	150	43,6	13,7	1499	7,41
62	Pyrit Rudná baňa	Rudník Z/Ru	150	43,7	13,71	1491	7,40
63	Magnetkies Rudná baňa	Rudník Z/Ru	100	78,0	24,5	310	4,40
64	Pyrit	Rudník 101	150	44,0	13,8	1465	7,37
65	Pyrit Čížkobaňa 2	Ochtiná 42	150	44,1	13,85	1459	7,36
66	Pyrit Pod Meďaným	Klenovec 43	150	45,7	14,3	1362	7,19
67	Pyrit	Chvaletice 65	150	48,9	15,35	1180	6,87
68	Pyrit	Horní Benešov 359	150	49,9	15,67	1136	6,77

Nr. der Prob.	Bezeichnung der Probe	Druck in g	Länge der Diagonale		H in kg/mm ²	H_0
			in d	in μ		
69	Pyrit Banka pri Piešťanoch	150	50,1	15,7	1127	6,75
70	Pyrit Banka pri Piešťanoch	150	50,4	15,8	1113	6,72
71	Pyrit Komořany u Mostu 248d	150	50,2	15,75	1122	6,74
72	Pyrit Moravská Třebová Hřebeč	150	50,2	15,75	1122	6,74
73	Pyrit Waren England 69	150	50,1	15,75	1127	6,75

Aus den Messergebnissen ist ersichtlich, daß die Mikrohärtigkeit bei Pyrit verschiedener genetischer Typen eine bedeutende Dispersion — 913—1524 kg/mm² — aufweist. Diese Werte nähern sich relativ am meisten an die von S. S. Dmitrijev (1949) und J. Králík et J. Polický (1961) festgestellten Werte heran.

Bei der Umrechnung von H auf die Härteklasse H_0 nach Chruščov ist die gemessene Härte des Pyrits um etwas höher (6,4—7,5), als sie A. S. Povarennych (1963) ausrechnete — 6,5—6,7. Das wurde durch die hohe Sprödigkeit des Pyrits² verursacht, welche bei der Messung ein Hindernis bedeutet, das die Erzielung vollkommen regelmäßiger Abdrücke der Diamantpyramide beeinträchtigt.

Weiter stellte ich bei den Mikrohärtigemessungen fest, daß in mehreren Fällen bei Mineralen aus einer Lokalität verschiedene Werte gemessen wurden. Z. B. in der Lagerstätte Hel'pa kann man drei Arten von Pyrit unterscheiden: Syn-genetischer metamorphosierter Pyrit I ($H = 1242$ — 1262 kg/mm²), praemigrierter Pyrit II die Klüftchen im Pyrit I ausfüllend ($H = 1474$ kg/mm²) und Pyrit, die durch Umwandlung des Magnetkieses entstanden ist ($H = 913$ — 1044 kg/mm²). Diese Pyrite kann man auch bei der minerographischen Untersuchung feststellen.

Aus dem angeführten Beispiel ist ersichtlich, daß die Mikrohärtigkeit des Pyrits bedeutendermaßen von dessen Bildungsbedingungen abhängig ist.

Im nachfolgenden sind Tabellen der verschiedenen genetischen Typen des Pyrits mit den Werten seiner Mikrohärtigkeit samt der Beschreibung der Proben angeführt.

1. Sedimentärer Pyrit

In Tabelle 2 sind Proben von Pyrit zusammengestellt, der in den Absatzgesteinen (Tone, Kohle) in Form von Konkretionen anwesend ist.

² S. D. Dmitrijev (1949) führt in seiner 5-gradigen Skala den Pyrit als typischen Mineral für die 1. Sprödigkeitsklasse der Minerale (die Risse beim Eindringen der Pyramide in das Mineral entstehen bei Verwendung eines beliebigen Gewichtes).

Tabelle 2

Lokalität	Nr. der Prob.	H kg/mm ²	Beschreibung der Probe
Banka pri Piešťanoch	70	1113	Pyritkonkretionen in pannonischen Tonen
Komořany u Mostu	71	1122	Pyritkonkretionen und Markasit in Braunkohle
Moravská Třebová Hřebeč	72	1122	Pyritkonkretionen in cenomanischer Schwarzkohle
Banka pri Piešťanoch	69	1127	Pyritkonkretionen in pannonischen Tonen
Waren (England)	73	1127	Pyritkonkretionen aus den Unterkreide- gebilden

Tabelle 3

Lokalität	Nr. der Prob.	H in kg/mm ²	Beschreibung der Probe
Hnúšťa	50	1065	Grobkristallinischer idiomorpher Pyrit mit Quarz in Talkschiefern
Hnúšťa	51	1086	Grobkristallinischer idiomorpher Pyrit in Talkschiefern

2. Pyrit in Talkschiefern

Bei der Messung der Mikrohärtigkeit von Pyrit aus der Lokalität Hnúšťa (Probe Nr. 50 und 51) stellte ich einen sehr niedrigen Wert fest (1065, bzw. 1086 kg/mm²) — Tabelle 3.

Nach J. Králík und J. Polický (1961) werden die niedrigen Werte H durch den Einfluß des umgebenden Mediums (Talkschiefer) hervorgerufen, da auch der Charakter der heterogenen Einschlüsse im Kristallgitter einen wichtigen, die physikalischen Eigenschaften des Pyrits bestimmenden Faktor bedeutet.

3. Pyrit in metamorphen Kieslagerstätten

In Tabelle 4 sind vor allem Pyrite aus den submarin-exhalativen, sedimentären, später regional, resp. durch Tiefenkontakt metamorphosierten Typen der Kieslagerstätten der Kleinen Karpaten, Heřpa und Smolník, die zu verschiedenen Graden metamorphosiert sind, zusammengestellt. Vergleichshalber führe ich auch eine Probe aus Chvaletice und Horní Benešov an.

Aus der Tabelle 4 geht hervor, daß die Mikrohärtigkeit von Pyrit mit zunehmendem Grad der Metamorphose steigt. Nach den angegebenen Werten kann der Pyrit aus Chvaletice, Horní Benešov und Smolník als epizonal metamorphosiert bezeich-

Tabelle 4

Lokalität	Nr. der Prob.	H in kg/mm ²	Beschreibung der Probe
Horní Benešov	68	1136	idiomorpher Pyrit (100) in Graphitschiefern
Pezinok	28	1136	Pyrit mit Quarz und Karbonaten in schwach chloritisierten Schiefen
Pezinok	27	1162	Pyritkonkretionen in Graphitschiefern
Pezinok	25	1172	geringmetamorphes Graphit-Quarz-Pyrit-Erz
Pezinok	26	1172	Pyrit in Graphitschiefern
Pezinok	24	1176	Pyrit in Graphitphyllit
Chvaletice	67	1180	Pyrit in algongischen epimetamorphosierten Schiefen (Bänderer)
Pernek	34	1185	Pyritkonkretionen in Graphitschiefern
Smolník	55	1203	dichte Imprägnation idiomorpher Pyritkörner in Chloritschiefern
Pernek	33	1203	Graphit-Pyrit-Bändererz
Pezinok	23	1203	feinkörniger Pyrit in Graphit-Quarz-Pyrit-Erz
Pezinok	21	1212	Pyritkonkretionen in graphitischem Kiesel-schiefer
Pezinok	22	1212	Geringmetamorphes Hornblende-Pyrit-Erz
Pernek	32	1216	geringmetamorphes Graphit-Pyrit-Erz
Pezinok	20	1236	Pyritkonkretionen in graphitischem Kiesel-schiefer
Pezinok	19	1242	Quarz-hornblende-sulfidisches Erz mit vorherrschendem Pyrit
Smolník	54	1247	Pyritimprägnation in Chlorit — schiefern „Glimm“

Lokalität	Nr. der Prob.	H in kg/mm ²	Beschreibung der Probe
Smolník	53	1257	Pyritimprägation in Chlorit - schiefern „Glimm“
Heľpa	42	1262	höher metamorphes Pyrit-Magnet kies-Erz mit vorwiegendem Magnetkies
Heľpa	43	1262	höher metamorphes Pyrit-Magnet kies-Erz
Pezinok	18	1262	hornblende-sulfidisches, schieferiges Erz mit vorwiegendem Pyrit
Smolník	52	1280	dichter Pyrit in Chloritschiefern
Rybniček	36	1280	höher metamorphes Magnetkies-Pyrit-Erz
Pezinok	16	1280	höher metamorphes Magnetkies-Pyrit-Erz
Pezinok	15	1309	höher metamorphes Magnetkies-Pyrit-Erz
Rybniček	35	1324	Hornblende-Quarz-Magnetkies-Pyrit-Erz mit vorherrschendem Magnetkies
Pezinok	14	1338	hochmetamorphes quarzsulfidisches Erz mit vorherrschendem Magnetkies
Pezinok	13	1407	hochmetamorphes Quarz-Magnetkies-Pyrit- -Erz

net werden, was mit den Rückchlüssen J. J a r k o v s k ý 's (1964) übereinstimmt, der auf Grund der absoluten Co- und Ni-Gehalte eine Übereinstimmung mit den bei der Epimetamorphose der Lagerstätte von Smolník herrschenden Pyrit-Verhältnissen bewies.

Der metamorphosierte Pyrit aus Heľpa hat keine merklich höhere Mikrohärtigkeit als der Pyrit von Smolník, aber diese Lagerstätte weist ein bedeutendes Übergewicht an Magnetkies auf, was auf einen höheren Grad von Metamorphose hinweist (J. J a r k o v s k ý 1964).

Einen besonderen Fall stellen die Kieslagerstätten der Kleinen Karpaten dar. Hier kann man eine ganze Skala ansteigender Metamorphose von unbedeutend metamorphosiertem bis zu hochmetamorphosiertem Quarz-Magnetkies-Pyrit beobachten. Der allmähliche Übergang von geringmetamorphem bis zu hochmetamorphem Typen wird durch unterschiedliche Entfernung des sedimentär-effusiven

Tabelle 5

Lokalität	Nr. der Prob.	H in /kg mm ²	Beschreibung der Probe
Rožňava	57	1346	Pyrit mit Siderit, Markasit, Millerit und Violarit
Klenovec	66	1362	Aggregate derben Pyrits in Gangquarz
Pezinok	12	1368	Pyrit mit Antimonit und Quarz
Banská Štiavnica	7	1373	idiomorpher Pyrit mit Chalkopyrit, Zinkblende und Galenit
Pezinok	11	1384	Pyrit in Quarz
Častá	39	1395	Pyrit mit Chalkopyrit, Galenit und Karbonaten
Hnúšťa	49	1407	metasomatisch vererzte Kalklinse mit Pyrit und Limonit
Banská Štiavnica	1	1407	Pyritaggregate in der Quarz-Gangart mit Chalkopyrit, Galenit und Sphalerit
Pezinok	10	1414	Pyrit mit Chalkopyrit und Quarz
Banská Štiavnica	6	1420	Pyrit bildet das Bindemittel einer Quarzbreccie
Banská Štiavnica	5	1426	grobkörniges Pyritaggregat in Quarz
Banská Štiavnica	4	1426	gleichmäßig im Erzgang verstreuter Pyrit
Pernek	31	1433	Pyrit füllt die Risse der Pyrit-Konkretionen im Graphitschiefer aus
Častá	38	1439	Pyrit mit Chalkopyrit, Galenit und Karbonaten
Ochtiná	65	1459	idiomorpher Pyrit füllt die Spalten im Siderit aus und dringt längs der Grenzen der Sideritkörner ein
Pezinok	9	1465	hydrothermaler Pyrit in Quarz
Rudník	64	1465	Pyrit mit Siderit, Chalkopyrit und Tetraedrit

Lokalität	Nr. der Prob.	H in kg/mm ²	Beschreibung der Probe
Banská Štiavnica	3	1465	Pyrit bildet Verbrämungen um die Quarzkörner
Banská Štiavnica	2	1474	Pyrit mit Galenit, Zinkblende, Chalkopyrit und Quarz
Heľpa	40	1474	Pyrit bildet die Spaltenausfüllung in metamorphosiertem Pyrit
Pezinok	8	1491	Pyrit bildet die Spaltenausfüllung in metamorphosiertem Pyrit
Rudník	62	1491	Pyrit mit Magnetkies, Siderit, Markasit, Chalkopyrit, Ni-Mineralen und Quarz
Rudník	61	1499	Pyrit mit Chalkopyrit, Tetraedrit, Co-Ni-Mineralen, Siderit
Pernek	30	1516	hydrothermaler Pyrit in Quarz
Rožňava	56	1524	Pyrit mit Chalkopyrit, Lineit, Ullmanit, Siderit

Komplexes von der granitoiden Intrusion erklärt (B. C a m b e l 1959). Durch letztere wurden die schon vorher regional epimetamorphosierten Gesteinkomplexe dann progressiv metamorphosiert. Die Unterschiede im Grad der Metamorphose spiegeln sich auch in den Werten der Mikrohärtigkeit des Pyrits wieder:

Pyrit aus geringmetamorphen Erzen (in den Graphitschiefern \pm Chlorit, Hornblende)	1136—1262 kg/mm ² ,
Quarz-Pyrit-Magnetkieserz (\pm Graphit, \pm Hornblende)	1280—1324 kg/mm ² ,
Quarz-sulfidisches, hochmetamorphosiertes Erz mit vorherrschendem Magnetkies	1338—1407 kg/mm ² .

Die Möglichkeit einer Anwendung der Mikrohärtigkeitsmessungen des Pyrits für die Feststellung seiner genetischen Bedingungen konfrontierte ich mit den Ergebnissen J. J a r k o v s k ý 's (1964), welcher nach der relativen Erhöhung des Co-Gehaltes im Verhältnis Co:Ni auf den Grad der Metamorphose schließt. Die Ergebnisse des Vergleichs sind positiv: Während das Verhältnis Co:Ni bei dem geringmetamorphen Graphit — Pyriterz (z. B. Probe Nr. 22, 25, 33, 34) zugunsten von Ni verschoben ist (1:42 — 1:1,8), ist dieses Verhältnis bei dem hochmetamorphosierten quarz-sulfidischen Erz mit vorherrschendem Magnetkies (Probe Nr. 13, 14) zugunsten von Co verschoben (1,7:1).

4. Pyrit aus den hydrothermalen Lagerstätten

Aus der Tabelle 5 geht hervor, daß der Pyrit aus den hydrothermalen Lagerstätten verhältnismäßig die höchste Mikrohärt aufweist und daß ihre Dispersion bedeutend ist. Das kann man durch die Mannigfaltigkeit der physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der hydrothermalen Lagerstätten von verschiedener Thermalität erklären. Aus den in der Tabelle angeführten Werten kann man sich kein vollkommenes Bild machen über die Erhöhung der Mikrohärt des Pyrits in Abhängigkeit von der ansteigenden Temperatur seiner Kristallisation aus den Lösungen, weil dem Autor keine Proben von Pyrit aus hochthermalen Lagerstätten zur Verfügung standen.

5. Durch Umwandlung aus Magnetkies entstandener Pyrit

Bei der Messung der Mikrohärt der hydrothermalen, sowohl wie auch der metamorphen Pyrite stellte ich in einigen Proben Pyrite mit extrem niedrigem Wert fest. Es handelt sich um Pyrite, die durch allmähliche Umwandlung des Magnetkieses unter den Bedingungen einer erhöhten Schwefelkonzentration bei hydrothermalen Tätigkeit entstanden sind. Die bei dieser Umwandlung entstehenden Verdrängungsstrukturen und Texturen sind sehr interessant und stellenweise finden sich in den hydrothermalen Lagerstätten des Zips-Gömörer Erzgebirges „grobtafelförmige“ Paramorphosen von Pyrit nach Magnetkies (C. V a r č e k 1960). Ähnliche Erscheinungen entstehen auch in den Kieslagerstätten von metamorphem Charakter, bei denen man die Entstehung eines Markasit-Pyritaggregats nach Magnetkies (Hel'pa) beobachten kann (Tabelle 6).

Schl u ß f o l g e r u n g e n

Für die einzelnen Lagerstättentypen wurde folgende Dispersion der Mikrohärtewerte bei Pyrit festgestellt (Tabelle 7):

Die Mikrohärtmessungen bestätigten die Abhängigkeit der physikalischen Eigenschaften (Härte) des Pyrits von seinen Bildungsbedingungen (siehe Tabelle 7). Es ergab sich, daß die Feststellung ihres Wertes in Verbindung mit anderen geochemischen (Feststellung des Gehaltes an Spurenelementen, des Verhältnisses Co : Ni), physikalischen (Feststellung der Reflexmächtigkeit, Dichte, Löslichkeit

T a b e l l e 6

Lokalität	Nr. der Prob.	H in kg/mm ²	Beschreibung der Probe
Hel'pa	46	913	Pyrit mit Markasit und Magnetkies
Slavošovce	59	973	im Gangquarz kommt Pyrit mit Markasit, Magnetkies, Arsenopyrit und Chalkopyrit vor
Hel'pa	48	1044	Pyrit mit Markasit und Magnetkies
Rožňava	58	1044	Paramorphosen des Pyrits nach grobtafeligen Magnetkieskristallen

Tabelle 7

Genetischer Typus der Lagerstätte	H in kg/mm ²	Anzahl der gemessenen Proben
Sedimentär	1113—1127	5
Pyrit in Talkschiefern	1065—1086	2
Metamorphe Kieslagerstätten	1136—1407	28
Hydrothermal	1346—1524	25
(Pyrit, der durch Umwandlung aus Magnetkies entstanden ist)	913—1044	4

bei der Elektrolyse) und kristallographischen (Feststellung der Kristallmorphologie des Pyrits) Methoden zur Ermittlung der genetischen Bedingungen des Pyrits beitragen kann.

Die durch die Messung erreichten Resultate führen zu folgenden Erkenntnissen:

Die geringste Dispersion in den Mikrohärtewerten weisen die Pyrite aus den sedimentären Lagerstätten auf.

Bei der regional- oder kontaktmetamorphen Pyriten kann man nach dem Werte der Mikrohärtigkeit auf den Grad der Metamorphose schließen. Mit der Erhöhung des Grades der Metamorphose steigt auch die Mikrohärtigkeit des Pyrits.

Auf die Mikrohärtigkeit des Pyrits wirkt auch das umgebende Medium ein (Talkschiefer), in welchem es zur Bildung der Pyritkristalle kam. Niedrige Werte werden durch heterogene Einschlüsse in den Kristallen hervorgerufen.

Die höchsten Werte der Mikrohärtigkeit weisen die Pyrite aus den hydrothermalen Lagerstätten auf.

In einer nachfolgenden Arbeit wird sich der Autor hauptsächlich mit der Differenzierung der Mikrohärtigkeit des Pyrits in den hydrothermalen Lagerstätten beschäftigen und ferner die Werte der Mikrohärtigkeit des Pyrits anderer genetischer Typen ergänzen und präzisieren.

Übersetzt von V. Dlabáčová.

SCHRIFTTUM

- Bowie S. H., Taylor K., 1958: Opredeliteľ rudnych mineralov. „Geologija atomnogo syrja“. Trudy 2. meždunarodnoj konferencii po mirnomu ispol'zovaniju atomnoj energii, Ženeva 1958, Moskva 1959, 8. — Cambel B., 1959: Hydrotermale Lagerstätten in den Kleinen Karpathen, die Mineralogie und Geochemie ihrer Erze. Acta geol. et geogr. Komenský Univers., Geologica 3, Bratislava (slowakisch). — Dmitrijev S. D., 1949: Primenenie pribora mikrotverdosti PMT—2 konstrukcii M. M. Chruščova i E. S. Berkoviča dľa diagnostiki mineralov. Zapiski Vsesojuz. miner. obšč. Seria 2, 28, 4. — Chruščov M. M., 1949: O vvedenii novoj škaly tverdosti. Zav. labor. 15, 2, Moskva. — Chruščov M. M., Berkovič E. S., 1950: Pribory PMT—2

i PMT—3 dľa ispytania na mikrotverdost'. Izd. AN SSSR, Moskva. — Il'jinskij G. A., 1963: Opredelenie mikrotverdosti mineralov metodom vдавlivania. Izdat. Lening. univ., Leningrad. — Jarkovský J., 1964: Die Verteilung der Spurenelemente in den Pyriten und ihre geochemische Bedeutung beim Studium der Bildungsweise der Lagerstätten des Westkarpaten. Geol. sbor. Slov. akad. vied 15, 1, Bratislava (slowakisch). — Králik J., Polický J., 1961: Mikrohärtte des Pyrits als Kennzeichen seiner Genese. 1. Teil. Acta Musei Silesiae, Ser. A, 10, Opava (tschechisch). — Lebedeva S. I., 1961: O mikrotverdosti mineralov. Trudy IMGRE AN SSSR, 6, Moskva. — Lebedeva S. I., 1963: Opredelenie mikrotverdosti mineralov. Izdat. AN SSSR, Moskva. — Nakhla F. M., 1956: The hardness of metallic minerals in polished sections. Econ. Geol. 51, 8. — Onitsch—Modl E. M., 1953: Die Mikrohärtteprüfung in Theorie und Praxis. Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaften und Technik 19, 11. — Povarennych A. S., 1963: Tverdost' mineralov. Izdat. AN SSSR, Kijev. — Pudovkina I. A., 1957: Točnyje metody opredelenia otažatel'noj sposobnosti i tverdosti rudnych mineralov. Sovremennye metody mineralogičeskogo issledovania gornych porod, rud i mineralov. Gosgeoltechizdat, Moskva. — Varček C., 1960: Die paragenetischen Verhältnisse des Ganges Bernardi bei Rožňava. Acta geol. et geogr. Univ. Komenský, Geologica 4, Bratislava (slowakisch).

Zur Veröffentlichung empfohlen von B. Cambel.