©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ein Beitrag zur Formenkunde des Magnetites: Die Magnetitwürfel der Gulsen: Pseudomorphosen nach Eisenkies

Von

F. Angel und Otmar Friedrich (Graz)

Aus dem Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Graz

(Mit 3 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 21. Februar 1935)

Die Anregung, uns mit den Gulsener Magnetitwürfeln zu beschäftigen, entsprang einem Briefwechsel mit G. Kalb.

Geschichtliches.

Die ältesten uns zugänglichen Nachrichten über das Gulsener Material fanden wir bei Hoffmann-Breithaupt (1816) und bei F. Mohs (1824). In erstgenannter Quelle heißt es: . . »die seltensten Krystalle, die würfeligen, brechen in einem Serpentinlager zu ‚Graubad in der Gulsen'« . Ein anderer Fundort würfeligen Magnetites wird nicht angeführt. Mohs nennt ebenfalls ausdrücklich die Würfel aus der Gulsen und gibt auch Oktaeder von dort an. Wir stellen fest, daß aus dieser Quelle kein Hinweis zu entnehmen ist, daß auch ein Pyramidenoktaeder als einheitliche Tracht am Magnetit beobachtet worden wäre, weder in der Gulsen noch anderswo. Von einem solchen Fund fehlen alle Nachrichten. Liest man bei Mohs[1] nach, so findet man bei Magnetit (= oktaedrisches Eisenerz) folgende Darstellung: Grundgestalt: Hexaeder. Einfache Gestalten: Nun stehen in einer Reihe die sieben einfachen Formen von O_h vom Würfel bis zum Hexaoktaeder, bei den wandelbaren Formen je nur ein Vertreter. Diese Formen sind auch abgebildet. Dann folgt eine Liste der Kombinationen, die Mohs[1] bekannt waren. Im weiteren Text sind dann Vorkommen aufgezählt; als solche mit einfachen Formen als Tracht nennt Mohs:[1] Salzburg und Tirol für das Oktaeder, Würfel nur von der Gulsen, Zwölfrautner aus Wermeland. Alle übrigen einfachen Formen werden aber nur als Teilnehmer an Kombinationen aufgezählt. Pyramidenoktaeder z. B. in den Kombinationen 6 (Zillertal). Die Abbildung der einfachen Formen erfolgte allgemein nur zu Lehrzwecken. Wir mußten dies in solcher Breite darstellen, weil in dieser Angelegenheit Mißverständnisse entstanden sind.

Die Gulsener Würfel fanden 1825 Aufnahme in eine englische Bearbeitung des mineralogischen Stoffes von Haidinger-Mohs.[2] Dabei geschah es, daß versehentlich das Pyramidenoktaeder B_1 als Tracht vom Zillertal und von Salzburg angeführt wurde. Wie gesagt, kommt es dort nur in Kombination vor.

Anker[3] (1855) berichtet wieder von den Gulsener Würfeln, die Oktaeder erscheinen ihm aber nicht erwähnenswert.

Zepharovich[4] (1859) nennt neben den reinen Würfeln auch Kombinationen mit dem Oktaeder.

Rumpf[5] (1871) bezeichnete Gulsen als die einzige Weltfundstätte von Magnetitwürfeln, gab die Größe der Krystalle und ihre Paragenese an und betonte besonders, daß in den gleichen Gängen, welche Würfel enthalten, auch viel kleinere, aber mit glänzenden Flächen begabte Oktaederchen vorkommen. An den Würfeln fiel ihm die Rauhigkeit auf. Das Material hat er in Graz kennengelernt. Die Fundstätte konnte er nicht mehr entdecken, er hält sie für verschüttet. Seit diesen Zeiten hütet unsere Landessammlung Joanneum diesen Schatz von etwa 20 Krystallen, besser gesagt Stücken; zwei kleine Würfel sind auch im Besitz der Mineralien-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

sammlung unserer Technik. Von neuerlichen Funden solcher Magnetitwürfel hat man nichts mehr gehört.

Zepharovich[4] (1873) gab Lexikon den Stand der Dinge nach Rumpf wieder.

Hatle[6] (1885) hob aus dem Material das größte Stück, einen Würfel von 17 *mm* Kante hervor. Ein besonders schöner Würfel dieser Herkunft soll übrigens von Erzherzog Johann dem damaligen russischen Zaren zugeeignet worden sein, was wohl ein Zeichen dafür ist, wie sehr man die Gulsener Merkwürdigkeit schätzte.

Sigmund[7] (1911) hielt das schönste dieser Objekte bildlich in einer Jubiläumsschrift fest.

Das in den Sammlungen des Grazer Joanneums aufbewahrte Originalmaterial von Magnetit aus der Gulsen konnten wir dank der freundlichen Erlaubnis des derzeitigen Sammlungsverwalters, Herrn Dr. Teppner, eingehender besichtigen. Zusammengefaßt wußten wir nun von den Gulsener Magnetitwürfeln aus Quellen und Augenschein folgendes:

Die große Serpentin- und Dunitmasse von Kraubath (Steiermark) ist örtlich von Gängen durchnetzt und durchadert, welche mit verschiedenen weißen Mineralien erfüllt sind. Diesem Gebiet gehört auch die Gulsen an. Auch hier finden sich Gänge, von »steinmarkähnlichen« Massen erfüllt, und darin wurden Magnetitwürfel und Oktaeder aufgefunden. Die Stelle ist heute noch verschollen, das Material liegt im Joanneum. Von der »steinmarkähnlichen« Substanz ist vorläufig nicht genug zugänglich, um sagen zu können, was das ist. Es kommen aber wohl Mg-Silikate (Meerschaum), gemengt mit anderen Mg-Verbindungen und Opalkieselsäure in Betracht. Aus einer der Adern stammen auch Pyrite, und auch diese Stelle ist heute nicht genau angebbar. — Die Magnetitwürfel haben Kanten zwischen 2 und 5 *mm*, seltener größer, der größte mißt 17 *mm* Kante; die Flächen sind rauh und gesetzmäßig skulpturiert (Fig. 1). Sie werden von Magnetitoktaedern begleitet, die zehnmal kleiner sein können, stets glänzende Flächen ohne Skulpturen aufweisen und vereinzelt liegen; solche Kryställchen messen meist unter 1 *mm* Kante. Dazu gehört nun als wichtige Ergänzung eine Inventarnummer »Eisenkies von der Gulsen«, die durch Zepharovich 1863 in unsere Institutssammlung gelangt ist und durch alle Wandlungen hindurch in ihr verblieb. Es scheint, daß sie auf der Suche nach Magnetitwürfeln gesammelt worden sind. Ihre Größe stimmt mit jener der Magnetitwürfel zum großen Teil sehr genau überein, nur befindet sich unter diesen 20 Stücken kein Würfel, der 17 *mm* Kante erreicht; der größte kommt nur auf 10 *mm*.

Bis zum Beginn unserer Untersuchung ist von keiner Seite bezweifelt worden, daß die Gulsener Magnetitwürfel gewachsene Krystalle seien.

Der Würfel im Formenschatz des Magnetites.

Nach Niggli[8] gehört der Magnetit zum oktaedrischen oder [110]-Typ kubischer Krystallarten. Seine wichtigsten Hauptformen ordnen sich wie folgt: (111), (110), (311), (100), (211) Dem

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Würfel ist also vorläufig die vierte Stelle angewiesen. In der übrigen Spinellgruppe ist seine Stellung aber noch schwächer. Aus Niggli's[8] schematischer Dreiecksprojektion, welche das Magnetitformensystem wiedergibt, ist mit aller Deutlichkeit zu ersehen, wie stark das behöfte Oktaeder den Formenkreis beherrscht, wie ihm Zwölfrautner und ein Deltoid-Vierundzwanziger (311) in ziemlichen Abstand folgen und gerade noch merkliche Höfe besitzen, wie dagegen der Würfel zurücktritt, unbehöft dasteht und als Zonenschnitt eine große Bedeutung erlangt.

V. Goldschmidt[9] hat 1897 das Magnetitformensystem schon in ganz ähnlicher Weise umrissen: (111) liefert die unbedingt herrschenden Primärknoten; der Würfel ist erste Primärdominante, über ihn laufen mehrere, ungemein flächenreiche Zonen; der Zwölfrautner ist zweite Primärdominante, hier schneiden einander flächenarme Zonen; die ganze Anlage ist oktaedrisch.

Angesichts dieser klaren Hinweise ist der reine Würfel als Magnetittracht verwunderlich, was ja auch stets schon empfunden worden ist. Es empfiehlt sich eine Überschau über Magnetittrachten mit dem Würfel, wobei man sich vom Goldschmidt-Atlas[10] leiten lassen kann, aber auch andere Arbeiten zu berücksichtigen sind.

Uns sind folgende reine Würfeltrachten bekannt geworden, über die sichere Nachrichten vorzuliegen scheinen: 1. Gulsen; 2. O'Niel-Gruben, Orange Cty., N. Y.; 3. Mossgrube (Nordmarken); 4. Neuseeland (nach Gladstone).[11]

Die Hinksforder[12] Magnetitwürfelchen sind nach Scrivenor pseudomorph, wahrscheinlich nach Pyrit, weil die pyritische Würfelstreifung gelegentlich noch zu beobachten ist. Bei einem Quebecer Vorkommen ist eine solche Pseudomorphose mit Sicherheit erkannt worden (Hoffmann-Kensick).[13]

Es gibt noch einige Trachten, in welchen der Würfel ganz auffallend beherrschend auftritt: Bourail (Neukaledonien)[14] und Split Rock (Essex Cty. N. Y.).[15] Auch ein Fall von Eisenach[16] ist höchst merkwürdig.

Daneben erscheint eine zahlreich belegte Formenreihe, die entweder überhaupt keinen oder einen nur sehr unbedeutend ankombinierten Würfel aufweist. Als Spitzenglied erscheint mir ungefähr der Typus Malenco.[17] Diese Formenreihe erscheint mir als die normale, mit der Magnetitcharakteristik am besten vereinbare.

Hier mag nun wieder darauf hingewiesen sein, daß im Goldschmidt-Atlas[18] ein Irrtum passiert ist. Goldschmidts Abb. 4 ist das Pyramidenoktaeder B_1 (nach Mohs). Er schreibt dazu Gulsen. In keiner einzigen Auflage oder Bearbeitung des Mohs'schen Werkes ist zu lesen, daß in der Gulsen diese Form auch nur in Kombination vorkäme; aber es stimmt ja auch das Zitat nicht, denn die zitierten Figuren sind Oktaeder und Würfel in Kombination. Dagegen ist bei Abb. 6 eine Kombination dieser Art abgebildet, zitiert ist aber das Pyramidenoktaeder nach Abb. Taf. VI, Fig. 33. Vertauscht man also die Goldschmidt'schen Nummern von Fig. 4

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und 6, dann stimmen die Zitate, und das Pyramidenoktaeder ist jenes, welches Haidinger in seiner Mohs-Bearbeitung irrtümlich als einfache Form an Zillertaler und Salzburger Magnetiten anmerkte, derweilen sie von Mohs überall nur als Teilnehmer an Kombinationen genannt wird und ihre Abbildung lediglich bezweckt, dem Leser eine Vorstellung von der Gestalt dieser Form B_1 zu geben. Diese Form ist also aus dem Trachtenregister des Magnetites zu streichen.

Fällt von den vier gut belegten reinen Würfeln beim Magnetit einer, dann macht dies gleich 25% seiner Geltung aus; damit würde die Bedeutung des Würfels im Magnetitformensystem gedrückt, und das würde ja dem Gesamtbild besser entsprechen. Für Gulsen werden wir den Beweis antreten, daß keine Originalwürfeltracht vorliegt; wir möchten aber auch auf die eigentümliche Skulpturierung der Magnetitwürfel von den Moßgruben hinweisen, die Sjögren[19] beschrieben, auch im Bild festgehalten, aber nicht erklärt hat; auch die paragenetischen Verhältnisse sind so merkwürdig an diesem Vorkommen, daß eine neuerliche Untersuchung vielleicht einen unerwarteten Verlauf nehmen könnte, wie es uns beim Gulsener Vorkommen passiert ist.

Befunde am Gulsener Material.

Schon mit freiem Auge, aber besser noch mittels Lupe oder Mikroskop erkennt man folgenden Bau: Die Würfelflächen (Fig. 1) sind matt und rauh, die Kanten gesägt, die Ecken häufig durch winzige blanke (111) abgestumpft. Die Flächenrauhigkeit ist darauf zurückzuführen, daß kleine Oktaederstümpfe aufgesetzt erscheinen, welche oben durch einen kleinen Würfelschnitt mit durchschnittlich 0·175 *mm* Kante abgegrenzt sind, während die blanken Oktaederseiten in den Richtungen der Flächendiagonalen des Magnetitwürfels abfallen. Der Achsenschnitt dieser Oktaederchen mißt rund 0·55 *mm* Kante. Alle diese Stümpfe, die fast gleich groß sind, halten Parallelstellung ein und ordnen sich in Reihen nach den Würfelkanten des Großindividuums. In den zwischen den Stümpfen liegenden, polyedrisch begrenzten Gruben haftet noch die weiße, »steinmarkähnliche Gangmuttermasse«, viel zu wenig, als daß man sie zu einer Untersuchung benutzen könnte, aber es ist wahrscheinlich, daß nicht Steinmark, sondern ein Gemenge von Mg-Mineralien vorliegt, vielleicht noch mit Opalkieselsäure durchtränkt. Auffallend rauh sind die Würfelabstumpfungen der Oktaederstümpfe, die alle beinah genau in einer Ebene, eben der Würfelfläche des Großindividuums liegen.

An Hand einer Schnittserie durch zwei solche Magnetitwürfel ließ sich dieser Aufbau in das Würfelinnere verfolgen (Schnitte parallel (100)). Daraus erhält man folgendes, mit den gesägten Kanten übereinstimmendes Bild: Der Magnetitwürfel ist ein Überindividuum; er besteht aus Reihen von nahezu gleich großen Magnetitoktaederchen, die in den Würfelkantenrichtungen Spitze an Spitze liegen. Somit

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

liegt ein ganzes Gerüst vor, welches Löcher enthält, die oberflächlich mit Gangmasse verstopft sind; im Würfelinnern sind sie leer gefunden worden, obgleich wir sorgfältigst schliffen und immer

Fig. 1. Die natürliche Oberfläche (100) eines Gulsener Magnetitwürfels in 28facher Vergrößerung. Weiße Flecken: Meerschaum, welcher die Gruben zwischen Teiloktaederchen stopft.

Fig. 2. Anschliff nach (100), geätzt mit rauchender HCl. Vergrößerung 60fach. Man sieht den Zonenbau der Teiloktaederchen, ihre regelmäßige Anordnung sowie die leeren Räume des Würfelbaues.

wieder nachsahen, ob dabei nichts weggerissen wurde. Solche Löcher sind in den Fig. 2 und 3 sichtbar; sie kamen in jeder Würfeltiefe zum Vorschein.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Eine überschlägige Berechnung ergab: Falls der Magnetit auf Kosten des Eisenkieses und in seinem Raum entsteht, wobei S entfernt wird, dann bleibt ein Drittel des Pyritraumes unbenutzt, der Magnetit kann ihn nicht voll erfüllen. Das entspricht aber der beobachteten Löcherigkeit der »Magnetitwürfel« und spricht für ihre Auffassung als Pseudomorphosen nach Pyrit. Damit erklären sich auch die abnormen Dichten. Herr Meixner bestimmte an verschiedenen Individuen $\sigma_{Pykn,\,4^0} = 3 \cdot 84 — 4 \cdot 36$. Es sollte bis $5 \cdot 4$ betragen.

Bei stärkerer Vergrößerung erkannten wir, daß sie von den Flächen der kleinen Magnetitoktaeder und deren Kanten begrenzt sind. Die Magnetitoktaederchen selber sind vollständig frisch, es

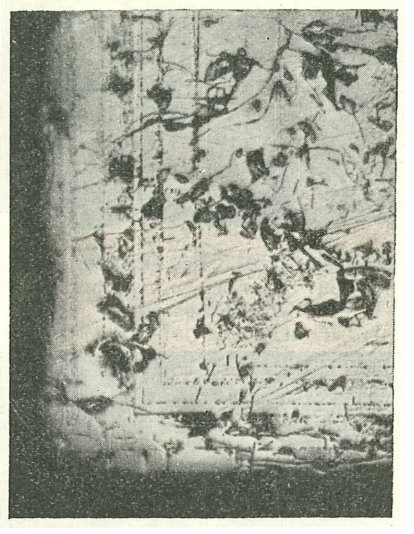

Fig. 3. Anschliff nach (100), geätzt mit rauchender HCl. Anwachszonenbau an einer Würfelecke; auch die Löcher des Pseudomorphosengerüstes sind wieder zu sehen. Der Zonenbau setzt hier durch die Teiloktaederfluchten ungestört hindurch. Vergrößerung etwa 40fach.

liegt weder Martit vor, noch Titaneisenentmischung, ihre Substanz ist stark ferromagnetisch, auch ihre Optik entspricht dem Magnetit. Mit Befriedigung stellten wir an mehreren Stellen in diesen kleinen Oktaedern Reste von Eisenkies fest, der lappig umrissen ist. Feineren Bau enthüllte erst eine Ätzung mit rauchender HCl; die Korngrenzen der Oktaederchen wurden nun gut kenntlich, es zeigte sich an ihnen zonarer Bau, ferner aber (Fig. 3) ein überraschender, zonarer Bau aus Anwachsschichten nach (100) des Überindividuums, der tief ins Innere ging und auch Andeutungen einer Abschrägung durch Oktaederflächen erkennen ließ, so daß einmal in einer älteren Wachstumsperiode auch ein Oktaeder ankombiniert gewesen sein muß. Aber im ganzen wird diese Feinstruktur je tiefer gelegen,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

desto undeutlicher. Randlich zieht dieser Zonen- oder Schichtenbau in tadelloser Schärfe durch das Oktaedergerüst hindurch, gehört aber doch offenbar nicht dazu, denn die Oktaeder haben ja ihren eigenen Zonenbau. Die Zonenstreifung muß daher auf ein Vorstadium bezogen werden, nachdem sie in den Magnetiten pseudomorph aufbewahrt worden ist. Darauf einzugehen findet sich noch Gelegenheit.

Vorläufig darf man festhalten, daß die Magnetitwürfel der Gulsen keine gewachsenen Magnetiteinzelkrystalle sind, sondern Überindividuen mit einem Gerüstbau aus kleinen Oktaedern und Merkmalen von pseudomorphem Charakter; die Eisenkiesreste stimmen wie die übrigen Umstände dafür, daß Eisenkies pseudomorphosiert worden ist.

Im Hinblick darauf kommt nun den Eisenkieswürfeln der Gulsen erhöhte Wichtigkeit zu, und wir suchen Beziehungen zwischen diesen beiden Krystallarten auf.

Die Eisenkieswürfel der Gulsen.

Es wurden drei Stücke mit Kantenlängen um 5 *mm*, also Magnetitwürfeln der Gulsen vergleichbar, angeschliffen. Daß der größte in unserem Besitz befindliche Würfel den größten Magnetitwürfel nicht erreicht, ist wohl nebensächlich. Wichtig sind aber folgende Erscheinungen: Manche Eisenkieswürfel unseres Materials sahen verdrückt aus; diese Bezeichnung ist zwar gern gebraucht und begreiflich, aber ungut, denn die scheinbare Schräglage der Würfelflächen ist nicht auf eine mechanische Deformation zurückführbar, sondern sie entspringt einer ziemlich groben Kombinationsstreifung im Sinne Kalbs[20] aus Würfel und einem Fünfeck-Zwölfflächner, gelegentlich auch noch Überarbeitung mit Kombinationsriefung, welche im Goethit tadellos abgebildet worden ist, der oberflächlich den Eisenkies vertritt. Eben diese Verhältnisse konnten wir auch an einigen Magnetitwürfeln feststellen! Das betrachten wir abermals als einen wichtigen Hinweis darauf, daß die Magnetitwürfel pseudomorph nach Pyrit sind. Wir haben bei dieser Gelegenheit auch nach Flächenskulpturen am Eisenkies Ausschau gehalten, die jenen unserer Magnetitwürfel oder der von den Moss-Gruben beschriebenen entsprechen könnten, haben aber nichts Vergleichbares gefunden. Die Bilder von Eisenkies, welche der Goldschmidt-Atlas, Bd. VI, Taf. 110, 130—136, Bösingsfelde, Lippe nach Hessel[21] wiedergibt, sind nicht auf Realkrystalle zu beziehen, sondern stellen nur die dort beobachteten Zwillingsgesetze in idealen Formen dar.

Unsere Eisenkieswürfel sind, wie oben angedeutet, teilweise in Goethit umgewandelt. Es wurden Schnitte von drei Krystallen in verschiedenen Tiefen, aber stets nach (100) beobachtet. Der Goethit dringt in verschiedener Weise in das Eisenkiesinnere vor. Einerseits folgt er Richtungen nach den Würfelkanten, anderseits unregelmäßigen Sprüngen. Das Vordringen nach den Würfelkanten ist nach zwei Bauumständen des Eisenkieses vorgezeichnet. 1. Nach

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

einer Anwachsschichtung parallel (100), im Inneren auch angedeutet nach dem Oktaeder (was wieder mit den Beobachtungen an den Magnetitwürfeln übereinstimmt). Diese Pseudomorphosierung läßt einzelne Anwachsschichten als feine Kieslineale stehen, oder es werden durch die Goethitmassen solche Schichten zart nachgezeichnet, an manchen Stellen aber auch verdorben. 2. Nach Trennungsflächen, die dem Würfel parallel liegen. Wir konnten zu keiner Klarheit darüber kommen, ob Spaltung vorliegt oder ob nicht etwa grobe Mosaikstruktur, etwa Zusammenfügung eines Großwürfels aus kleinen Würfelblöcken, die ganz leichte Fehlorientierungen haben, das Vordringen des Goethites nach diesen Richtungen ermöglicht. Frische Bruchflächen von einigen dieser Krystalle erwecken den Eindruck mosaikartigen Aufbaues aus ungefähr gleich großen (einige Zehntel Millimeter Kante!) würfeligen Blöcken. Dieser Aufbau würde wieder dem Verständnis näher rücken, daß die Magnetitwürfel aus einem Gerüst von Teiloktaedern bestehen. Wir konnten α- und γ-Goethit[22] feststellen, letzterer (der Rubinglimmer) ist die jüngere Bildung. Wir wollten die Anwachsschichtung noch deutlicher haben und ätzten mit schwefelsaurem $KMnO_4$, mit $HCl + (KClO_4)$, mit $HCl + (CrO_3)$, aber ohne den gewünschten Erfolg. Damit ist im Auge zu behalten, daß wir den Anwachsschichtbau bei unseren Pyriten nicht mit denselben Feinheiten angeben können wie beim Magnetit.

Nach einer Überschlagsrechnung bleiben bei Umsatz von Eisenkies in Goethit unter Abgang des Schwefels zunächst noch 7·5% des Pyritraumes unbenutzt. D. h. daß bei der Pseudomorphosierung noch eine Portion Wasser mitverarbeitet werden kann, um den Pyritraum vollständig zu füllen. Es braucht dabei nicht zu einer Quellung oder Zersprengung der Eisenkiese zu kommen. Das stimmt mit der Beobachtung überein; wir haben nirgends eine Verformung der Eisenkiese beobachten können, die sich aus der Pseudomorphosierung ergäbe.

Vergleich des Zonarbaues von Eisenkies und Magnetitwürfeln der Gulsen.

Wir haben uns gesagt, daß auch ein Vergleich der beobachteten Anwachsrhythmik Anhaltspunkte für nähere Beziehungen der beiden Mineralien ergeben könnten und bringen nun das Ergebnis der Ausmessung:

Zonarbau bei

Magnetitüberindividuen				Eisenkies			
Mikren gemessen:			Maß 0·46				Maß 0·46
Schicht Nr.	1	11·1	24	Schicht Nr.	1	37·0	80
	2	3·7	8		2	44·4	96
	3	5·5	12		3	3·7	8
	4	23·9	52		4	7·4	16
	5	7·4	16		5	3·7	8
	6	5·5	12		6	11·1	24
	7	14·8	32		7	3·7	8

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Schicht Nr.	8	7·4	16
	9	18·5	40
	10	2·7	6
	11	11·1	24
	12	11·1	24

Schicht Nr.	8	40·4	88
	9	3·7	8

In beiden Fällen wurde vom äußeren Objektrand so weit nach innen gemessen, als noch Schichten zu sehen waren. Die Schichtsysteme waren bei den Magnetitwürfeln viel feiner auflösbar als beim Eisenkies, wo wir uns nur von der Gunst der Pseudomorphosierung leiten lassen konnten. Man darf demnach von dem Zahlenvergleich nicht zu viel Einzelheiten verlangen, es können in den besonders dick gefundenen Eisenkiesschichten sich mehrere dünnere Streifen verbergen. Aber dennoch fällt auf, daß einige Male dieselben Schichtdicken in beiden Meßreihen wiederkehren oder daß sich Beziehungen in Form einfacher Vielfacher desselben gemeinsamen Maßes 0·46 μ. herausheben. Dieses Maß selber liegt innerhalb jener Grenzen, welche von Johnsen[23] für Anwachsschichtenmaße von Mineralien angegeben hat, nämlich 0·46 bis 0·70 Mikren, wobei wir als wahrscheinlich ansehen, daß sich wenig verwandte Krystallarten wohl darin unterscheiden werden. Wir können für unseren Fall nur eine bedeutsame Übereinstimmung in den Zahlenverhältnissen der Anwachsrhythmik feststellen und haben damit abermals einen Hinweis auf die Entstehung der Magnetitwürfel aus Pyrit. Dies wird auch durch den Umstand betont, daß die Rhythmik der kleinen Oktaeder doch wohl andere Verhältnisse bietet. Ihre Schichten zeigten unter 15 Messungen zwölfmal die Dicke 3·7 Mikren, einmal 5·5 und zweimal 7·4 Mikren. Damit entsprächen diese Schichten einer gröberen Rhythmik als jener die an Pyrit und an derjenigen der Überindividuen nach (100) ausgemessen wurde, man käme mit einem Maß 1·85 μ. aus. Die Erfahrungen sind zu gering, um daran weitere Angaben zu knüpfen. Wem es merkwürdig erscheint, daß doch dieselben Dickeziffern auch oben erscheinen, wenngleich dann immer noch Unterschiede betont werden müssen, der mag zweierlei bedenken: 1. Hat unsere Meßgenauigkeit eine üble Grenze; es können uns feinere Unterschiede durch diese Grenze verborgen sein. 2. Aus der eigentümlichen Bauweise der Pseudomorphose darf darauf geschlossen werden, daß gewisse Bauanalogien zwischen Magnetit und Pyrit bestehen, wenn sie auch nicht sehr weit gehen können. Und dies mag sich darin auswirken, daß die Anwachsrhythmik jene Parallelität aufweist, die unsere groben Mittel verraten.

Feinbauanalogien zwischen Magnetit und Pyrit?

Einfache Verdrängungspseudomorphosen von Magnetit nach Pyrit brauchen ja gar keine Bauanalogien zur Voraussetzung. Für unseren Fall hat sichs aber gezeigt, daß wir es mit einer geordneten Ersetzung von Eisenkies durch Magnetit zu tun haben. Es soll versucht werden, die möglichen Bedingungen baulicher Art dafür aufzusuchen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Eisenkies[24]	Magnetit[25]
T_h^6 $a_w = 5 \cdot 405$ AE.	O_h^7 $a_w = 8 \cdot 375$ AE.
Hexaedrischer Typus.	Oktaedrischer Typus.[26]

Gemeinsame Untergruppen: Die 4 C_3^4 und C_1.[27]

Bravais-Gitter für beide: Γ'_c.[28]

Zwillingsgesetze mit Analogie:

Spinellgesetz, selten.	Spinellgesetz, häufig.
Würfelspaltung undeutlich, Absonderungen nach (111) manchmal merklich.	Spaltung fehlt; Absonderung nach (111) verbreitet (Schalenbau).[29]

Überblickt man diese Angaben, so ist sofort klar, daß einfache und starke Analogien nicht bestehen können. Legt man sich aber Gitterskizzen in proportionalen Abmessungen übereinander, wobei man bloß die Lage der Fe-Korpuskeln festzuhalten braucht, dann fällt doch eine geometrische Beziehung in die Augen. Man kann nämlich über einer Pyritnetzebene (001) Magnetitnetzebenen (001) derart überlegen, daß die beiderseitigen Fe-Netze gemeinsamen Ursprung und gemeinsame [100] haben, dann deckt mit geringer Abweichung jedes vierte Fe auf Eisenkiesgittergeraden [100] und [010] je ein drittes Fe auf der entsprechenden Gittergerade einer Fe-Magnetitebene von der angegebenen Lage. Die gleiche Regelmäßigkeit gibt es auf [110]. Die erwähnte Abweichung beträgt bloß etwa 3% der größeren Vergleichsstrecke, die vom Magnetit bezogen wurde. In Ziffern

dreimal a_w Eisenkies.	$.3.5 \cdot 405 = 16 \cdot 215$ AE
zweimal a_w Magnetit.	$.2.8 \cdot 375 = 16 \cdot 750$ AE
Differenz	$0 \cdot 535$ AE $\sim 3\%$ von $16 \cdot 750$ AE.

Man hat sich nun noch folgendes vor Augen zu halten: Durch etwaige Überführung eines zentrierten Fe-Gitters aus der Pyritstruktur in die Magnetitstruktur muß dieses Gitter aufgeweitet werden, wie der Vergleich der Strukturen gezeigt hat.

Am Aufweitungsvorgang nimmt wohl der Einbau von O nach dem Abzug von S einen wichtigen Anteil; parallel dazu läuft jedoch eine komplizierte Umgruppierung von Eisenkorpuskeln, deren Ziel die Ineinanderstellung der Fe-Gitter in der Magnetitstruktur ist.

Es bleibt vom Pyritgitter nur eine sehr lockere, weitmaschig kubisch-flächenzentrierte Gitterruine übrig, die zugleich mit Magnetit und Eisenkiesgitter koinzidiert, soweit es sich um Eisenpositionen handelt. Von dieser Ruine aus aber muß die Magnetitregeneration auf Kosten des Eisenkieses ihren Ausgang nehmen, denn eine andere Gitterbeziehung besteht nicht, und dennoch ist die Magnetitpseudomorphose zum Muttermineral Eisenkies in so bezeichnender Lageangleichung befunden worden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wir denken bloß noch daran, zu erklären, weshalb sich ein lockeres Oktaedergerüst im Pyritleib gebildet hat und nicht ein kompaktes Gebilde. Einen Grund der Gerüsthaftigkeit mußten wir in den Volumsverhältnissen zwischen Muttermineral und Pseudomorphose erkennen; damit ist aber die Art des Gerüstes nicht bestimmt. Daß es zum Aufbau des Oktaedergerüstes kam, dafür scheinen uns mehrere Umstände maßgeblich. Einer davon liegt im Pyritaufbau, von dem wir feststellten, er sei blockig. Die Blöcke entsprechen auch ungefähr den Größen der Teiloktaederräume. Eine zweite Ursache entspringt dem Spinellbautypus. Machatschki[29] hat gute Gründe dafür beigebracht, daß die Verteilung der in der Stoffgruppe *Y* zusammenfaßbaren Korpuskelsorten (hier Fe beider Wertigkeiten) auf die 8 und 16 zählige Lage in einem immerhin bemerkenswerten Ausmaß regellos ist. Es hat daher für die Pseudomorphose keine besondere Bedeutung, ob nun aus einer Pyritgitterruine eine Überführung in eine der Punktlagen 8 *f* oder in eine von 16 *c* statthat; wohl aber ist es von Bedeutung, daß die Keimbildung, die wir uns an verschiedenen Eisenkiesblöcken angreifend denken, an einem Block mit Lagen 8 *f*, an einem anderen mit 16 *c* anknüpft. Das ergäbe notwendig einen mosaikartigen Aufbau. Daß das Mosaik aus Oktaedern konstruiert wird, ist aus dem so ausgeprägt oktaedrischen Krystalltyp einerseits, aus den Volumsverhältnissen anderseits verständlich.

Wir haben in der uns zugänglichen Literatur keinen Hinweis darauf gefunden, daß eine derartige Pseudomorphose von Magnetit nach Eisenkies schon einmal beschrieben worden wäre. Wenngleich einige Pseudomorphosen von Magnetit nach Eisenkies genannt worden sind, so ist doch nirgends über den inneren Bau und Baubeziehungen berichtet worden.

Paragenetische Schlußbemerkung.

Wir haben erwähnt, daß die Gulsener Eisenkiese, die nicht in Magnetit umgewandelt sind, eine von außen nach innen vorschreitende Umwandlung in Goethit zeigen. Das ist nun keineswegs eine Zwischenstufe zur Magnetitbildung, denn beide Prozesse laufen unabhängig voneinander, sind genetisch andersartig vorbedingt und lokal nicht in engerem Zusammenhang. Der Gang, in welchem neben Meerschaum (wie eine Prüfung durch Meixner chemisch und optisch bestätigte) die kleinen Oktaeder und die großen Pseudowürfel von Magnetit eingebettet vorkommen, hat keine Eisenkiese geliefert; und jener, welche die Eisenkiese lieferte, steht in keinem Zusammenhang mit der Magnetitbildung. Wir stellen uns die Genesis so vor: Das Material der Gangfüllung stammt aus großen, hydrothermalen Umsetzungen im Dunitserpentingebiet der Gulsen. Dabei kamen auch die Eisenkiese mit. Ein Teil der Gänge ließ nach dem Eisenkies Magnetit wachsen und bildete gleichzeitig die Eisenkiese in die berühmten Magnetitwürfel um. Weiteren Veränderungen waren

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

diese Gänge entzogen. Ein zweiter Teil der Gänge ließ auch Eisenkies auskrystallisieren, aber die Phase der nachfolgenden Magnetitbildung und Umbildung des Kieses blieb aus. Hingegen folgte eine niedertemperierte Umbildungsphase mit Goethit, die wahrscheinlich der allerjüngsten Zeit angehört.

Lesestoff.

1 C. Hoffmann und A. Breithaupt: Handbuch der Mineralogie. Bd. III, Abt. 1, p. 222, Freiberg 1816.

F. Mohs: Leichtfaßliche Anfangsgründe der Naturgeschichte des Mineralreiches. Zwei Teile, Wien 1824, siehe II. Teil.

F. Mohs und F. Zippe: Daselbst. Zweite verm. und verb. Auflage. Wien 1836 (I. Teil). — 1839 (II. Teil). Daselbst, p. 438—439, Abb. im Teil I.

2 F. Mohs und W. Haidinger: Treatise of Mineralogy. Edinburgh 1825. 3 Bde. Siehe Bd. II, p. 400, und Bd. III, Taf. VI.

3 M. Anker: Kurze Darstellung der min.-geogn. Gebirgsverhältnisse der Steiermark. Grätz 1835, p. 22, 23.

4 V. v. Zepharovich: Mineralogisches Lexikon f. d. Kaiserthum Österreich. Bd. I, Wien 1859, p. 254; Bd. II, Wien 1873, p. 191.

5 J. Rumpf: Mineralogische Mitteilungen aus dem steiermärkischen Landesmuseum. Mitt. Nat. Ver. f. Steiermark, Bd. II, 3. Heft, p. 400—406, Graz 1871.

6 E. Hatle: Die Minerale des Herzogthums Steiermark. Graz 1885, p. 60.

A. Sigmund: Die Mineralogische Abteilung. Joanneum-Festschrift Graz 1911, Taf. p. 190.

8 Niggli: Lehrbuch der Mineralogie. Bd. II, Berlin 1926 (2. Aufl.), p. 139.

9 V. Goldschmidt: Über Entwicklung der Krystallformen. II. Teil, Zeitschr. Kryst., *28* (1897), p. 450.

10 V. Goldschmidt: Atlas der Krystallformen. Bd. V, Taf. und Text, Heidelberg 1918. Magneteisenerz.

11 Gulsen, siehe 1—7. — Orange Cty., siehe Goldschmidt-Atlas, l. c., p. 179, zu Taf. 109, Abb. 5. — Ferner Hintze, Handbuch d. Mineralogie, Bd. I, *4*, p. 63. — Moßgrube, siehe Goldschmidt-Atlas, l. c., p. 182, zu Taf. 114, Abb. 76—78, ferner H. Sjögren: Beiträge zur Mineralogie Schwedens, Bull. Geol. Inst. Upsala 1894, *2*, 39, und Zeitschr. Kryst., *26* (1896), p. 98. — Neuseeland, zit. bei Brugnatelli: Über flächenreiche Magnetitkrystalle aus den Alpen. Zeitschr. Kryst., *14* (1888), p. 246, 247, sowie Hintze, Handbuch, l. c., p. 35.

12 J. Scrivenor: Ein besonderes Vorkommen von Magnetit usw. Ref. Zeitschr. Kryst., *41* (1906), p. 424.

13 G. Hoffmann: Magnetit crystals pseudomorph after Pyrit. Ref. N. Jahrb. f. Min. Geol. usw., *1* (1891), p. 234.

14 A. Lacroix: Minéralogie de la France usw. Paris 1910, Bd. IV, p. 322.

15 H. Whitlock: Contributions to Mineralogy. N. Y. State Museum, Bull. 1910, p. 197—203. — Ferner Goldschmidt-Atlas, l. c., p. 182, Abb. Taf. 114, Nr. 86, 87. Ref. N. Jahrb. f. Min., Geol. usw. 1910, Bd. II, p. 371ff.

16 Vgl. Goldschmidt-Atlas, l. c., p. 179, Taf. 109, Abb. 13 u. 14, zit. nach Presl 1837. Dagegen Zitat Hintze Handbuch l. c., p. 50, und Credner, N. Jahrb. f. Min. 1860, wo im Original kein 100 vorkommt.

17 P. Niggli: Lehrbuch. Bd. II, l. c., p. 140. — Goldschmidt-Atlas, l. c., p. 182, zu Taf. 115, Abb. 91, 92.

18 Goldschmidt-Atlas, p. 179, zu der Taf. 109, Abb. 3—6.

19 Sjögren, l. c., 11.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

20 G. Kalb: Über Kombinationsstreifung und Kombinationsriefung. Zeitschr. Kryst., *78* (1931), p. 42.

21 F. Hessel in Poggendorfs Annalen der Chemie und Physik 1869, p. 137, zit. im Goldschmidt-Atlas, Bd. VI, p. 191, Heidelberg 1920.

22 J. Böhm: Röntgenographische Untersuchung d. mikrokrystallinen Eisenhydroxydminerale. Zeitschr. Kryst., *68* (1928), p. 567.

23 M. Straumanis: Über das Gleiten und Verfestigen von Zinkeinkrystallen. Zeitschr. Kryst., *83* (1932), p. 31.

24 Parker-Whitehouse: An X-ray analysis of Iron pyrites usw. Ref. N. Jahrb. f. Min. usw., 1933, A. I, p. 219.

25 T. Gebhardt: Präzisionsmessungen der Gitterkonstante von Magnetit usw. Zentralbl. Min. usw., 1933, A., p. 40, 41.

26 P. Niggli: l. c. 17. — p. 138ff. u. 59, 61ff.

— Geometrische Krystallographie des Diskontinuums. Leipzig 1919, p. 367 u. 395.

28 Zeitschr. Kryst. 1931. — Strukturbericht 1913—1928, p. 150 u. 350.

29 F. Machatschki: Zur Spinellstruktur. Zeitschr. Kryst., A., *80* (1931), p. 427. — Der Mg-Ga-Spinell. Zeitschr. Kryst., A, *82* (1932), p. 354.

30 K. Chudoba-B. Schilly: Die Morphologie des Magnetits in Abhängigkeit vom strukturellen Aufbau. N. Jahrb. f. Min., Geol. usw., Beil. A, 68 B, 1934, p. 241ff.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1935

Band/Volume: 144

Autor(en)/Author(s): Angel Franz, Friedrich Othmar Michael

Artikel/Article: Ein Beitrag zur Formenkunde des Magnetites: Die Magnetitwürfel der Gulsen: Pseudomorphosen nach Eisenkies. 131-143