

Aus der Gewerkschaft Elwerath, Erdölwerke Hannover, Geologisches Laboratorium  
und dem Mineralogisch-Kristallographischen Institut der Universität Göttingen

**Heidornit  $\text{Na}_2\text{Ca}_3[\text{Cl} \cdot (\text{SO}_4)_2 \cdot \text{B}_5\text{O}_8(\text{OH})_2]$   
ein neues Bormineral aus dem Zechsteinanhydrit**

Von

**WOLF V. ENGELHARDT und HANS FÜCHTBAUER**

**Mit einer röntgenographischen Untersuchung**

Von

**JOSEF ZEMANN**

Mit 4 Textabbildungen

*(Eingegangen am 17. Januar 1956)*

**Vorkommen**

In der Tiefbohrung Frenswegen 3, die an der deutsch-holländischen Grenze nordwestlich der Stadt Nordhorn ein Methanvorkommen im klüftigen Platten- und Hauptdolomit erschließt, wurde der Zechstein unter Gewinnung zahlreicher Bohrkerne durchteuft. In einem Bohrkern aus 1968 m Teufe aus dem oberen Anhydrit des Zechstein 1, 41 m über der Werrasalzregion, fand der bearbeitende Geologe, Herr Dr. BLISSENBACH (Gewerkschaft Elwerath), eine etwa 15 cm breite, mit einem farblosen, grobkristallinen Material erfüllte Kluft (Abb. 1). Die Kluft steht etwa senkrecht auf der mit etwa 40° einfallenden Bänderung des Anhydrits, die durch Einlagerung von Dolomit hervorgerufen wird. Eine ausführliche Beschreibung der Petrographie und Mineralführung des Zechstein 1-Anhydrits geben H. FÜCHTBAUER und H. GOLDSCHMIDT in einer anschließenden Arbeit [6], so daß hier nur als besonders bemerkenswerte Tatsache erwähnt sei, daß der dem Anhydrit eingelagerte Dolomit in der näheren und weiteren Nachbarschaft der Kluft in eine bisher unbekannte Serpentinvarietät umgewandelt ist.

Die nähere Untersuchung der Kluftfüllung ergab, daß diese zu etwa gleichen Teilen aus Glauberit,  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ , und einem bisher noch nicht beschriebenen Boratmineral besteht. Das neue Mineral bildet spießige, bis zu 7 cm lange glasklar durchsichtige, idiomorphe Kristalle, die von quergestreiften Prismen- und steilen Pyramidenflächen begrenzt sind. Häufig sind sie senkrecht zur Längserstreckung nach einer vollkommenen Spaltfläche zerbrochen und zeigen dann einen rhombischen Querschnitt. Beidseitig terminierte, also schwebend gebildete Kristalle kommen vor. Die innige Vermengung mit Glauberit weist auf eine etwa gleichzeitige Bildung beider Minerale hin. Die Kluftfüllung zeigt keinerlei Bänderung oder Zonenstruktur, so daß sie in einem einmaligen Prozeß entstanden sein dürfte.

Der Glauberit wurde nach seinen optischen Eigenschaften ( $n_x = 1,515$ ;  $n_y = 1,533$ ;  $2V(-)$ : 23° C: 4,5°; 33° C: 7°; 42° C: 11°; 57° C: 13°; 72° C: 14,5°; 82° C: 16,5°;  $\rho \gg v$ ), an seiner Dichte (2,8), seiner Härte (3), seinem Verhalten gegen Wasser (bitter schmeckend, überzieht sich an der Luft allmählich, im Wasser schnell mit einem weißen Belag) und durch den qualitativen Nachweis von Ca, Na und  $\text{SO}_4$  identifiziert.

Das Bormineral ist vom Glauberit leicht zu trennen und zu unterscheiden, da es von Wasser gar nicht angegriffen wird. Außerdem unterscheidet es sich deutlich durch Habitus und Spaltbarkeit, da der Glauberit muschelartig bricht und nur selten erkennbare Kristallflächen zeigt. Es war deshalb leicht möglich, für die chemische Analyse und die anderen Untersuchungen, über die im folgenden berichtet wird, eine ausreichende Menge des Minerals in höchster Reinheit auszulesen.



Abb. 1. Bohrkern aus den Anhydrit des Zechstein 1 der Bohrung Frenswegen 3 (Teufe 968 m). Die Kluft ist gefüllt mit grobkristallinem Glauberit und Heidornit zu etwa gleichen Teilen. Durchmesser des Kernes = 7,6 cm

Für das neue Mineral schlagen wir den Namen Heidornit vor nach Herrn Dr. F. HEIDORN in Bentheim, der sich durch seine wissenschaftlichen Arbeiten und im Laufe seiner langjährigen praktischen Tätigkeit um die Erforschung des deutschen Zechsteins große Verdienste erworben hat.

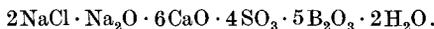
### Chemische Zusammensetzung

Eine chemische Analyse des Heidornit wurde im Laboratorium der Kaliforschungsstelle Hannover von Herrn Dr. R. KÜHN ausgeführt, wofür dem Leiter der Kaliforschungsstelle, Herrn Dr. H. AUTENRIETH, und Herrn Dr. R. KÜHN auch an dieser Stelle vielmals gedankt sei. Das Ergebnis der Analyse lautet:

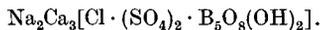
Tabelle 1

	Gewicht %
NaCl . . . . .	9,40
Na <sub>2</sub> O . . . . .	5,07
CaO . . . . .	27,61
SO <sub>3</sub> . . . . .	26,55
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	27,99
H <sub>2</sub> O < 105° . . . . .	0,14
H <sub>2</sub> O > 105° . . . . .	3,15
Säureunlöslich . . . . .	0,07
	99,98

Im unlöslichen Rückstand wurde Eisen nachgewiesen. Die Analyse ergibt die folgende molare Zusammensetzung:



Der Wassergehalt des Minerals (3,15%) entweicht, wie wir durch eine stufenweise Erhitzung feststellten, erst zwischen 500° und 600° C. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß es sich um Hydroxylwasser handelt. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich die folgende Schreibweise der Formel:



### Kristallographische und physikalische Eigenschaften

Die Vermessung einiger gut ausgebildeter Kristalle auf dem Reflexionsgoniometer führte auf monoklin-prismatische Symmetrie ( $C_{2h}$ ) und die in der stereographischen Projektion, Abb. 2, dargestellten Flächenlagen. In Abb. 3 ist

ein Habitusbild perspektivisch dargestellt. Als Mittel aus zahlreichen Messungen ergaben sich die folgenden Werte für die morphologischen Konstanten und die wichtigsten Winkel der Zonen und Flächen:

Kristallklasse:  $C_{2h}$  Monoklin-prismatisch.

$$a : b : c = 1,29 : 1 : 2,37$$

$$\beta = 93^\circ 15'$$

$$(001) \wedge (110) = 88^\circ 00'$$

$$(001) \wedge (112) = 57^\circ 40'$$

$$(001) \wedge (111) = 73^\circ 15'$$

$$(110) \wedge (110) = 104^\circ 14'$$

$$[110] \wedge [110] = 104^\circ 20'.$$

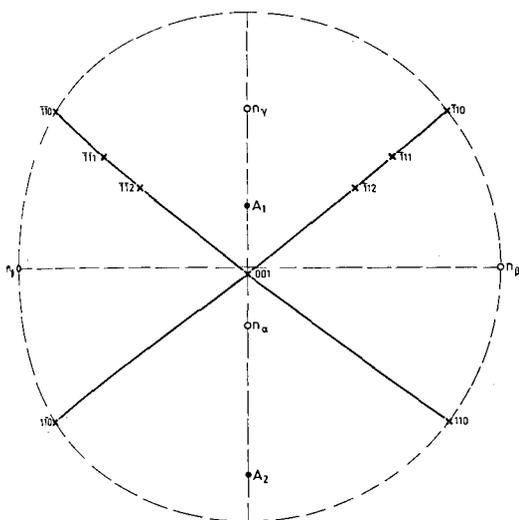


Abb. 2

Abb. 2. Heidornit. Stereographische Projektion der Flächenlagen und der optischen Hauptrichtungen. Die kristallographische  $b$ -Achse verläuft in der Zeichenebene von links nach rechts, die  $c$ -Achse steht senkrecht im Mittelpunkt der Projektion

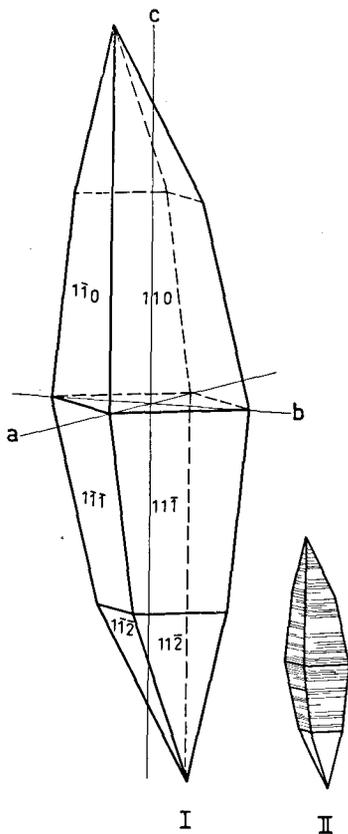


Abb. 3

Abb. 3. Heidornit, Habitusbild. I: Idealform des Kristalls. II: Trachtbild mit Streifung der Flächen  $\{110\}$  und  $\{111\}$

Als Wachstumsflächen wurden in etwa gleich großer Ausbildung die Formen  $\{110\}$ ,  $\{111\}$  und etwas kleiner  $\{112\}$  beobachtet.  $\{001\}$  tritt nicht als Wachstumsform, sondern nur als vorzügliche Spaltfläche auf. Die Flächen  $\{112\}$  sind ebenso wie  $\{001\}$  sehr glatt und spiegelnd, es gibt hier keine Vizinalen. Dagegen sind  $\{111\}$  und  $\{110\}$  durch zahlreiche Vizinalflächen gestreift, stufenförmig gebaut und gebogen. Jede dieser Flächen erzeugt im Reflexionsgoniometer mehrere Signale; die obengenannten Werte sind Mittel aller gemessenen Werte. So liegen z.B. dem Prismenwinkel insgesamt 25 Einzelmessungen, dem Winkel  $(001) \wedge (111)$  18 Einzelmessungen zugrunde, deren mittlere Abweichung vom Mittelwert  $2^\circ$  bzw.  $1^\circ$  beträgt.

In der Abb. 4 sind einige Kristalle und Kristallbruchstücke photographisch wiedergegeben. Die rhombisch begrenzten Flächen sind jeweils nach  $(001)$

verlaufende von Prisma und Pyramidenflächen begrenzte Spaltflächen. Etwa in der Mitte des Bildes liegt ein doppelt terminierter Kristall. An verschiedenen Stücken ist die Streifung der Pyramiden- und Prismenflächen zu erkennen.

Die Lage der optischen Indikatrix wurde an Spaltstücken nach (001) auf dem Drehtisch ermittelt. Das Ergebnis ist (s. auch Abb. 2):

$$\begin{aligned} n_\beta &\parallel b; \text{ optische Achsenebene} = (010), \\ n_x \wedge c &= 26^\circ \text{ (im stumpfen Winkel } \beta), \\ n_y \wedge a &= 23^\circ \text{ (im spitzen Winkel } \beta), \\ n_y &= \text{ spitze Bisektrix (optisch positiv)}. \end{aligned}$$

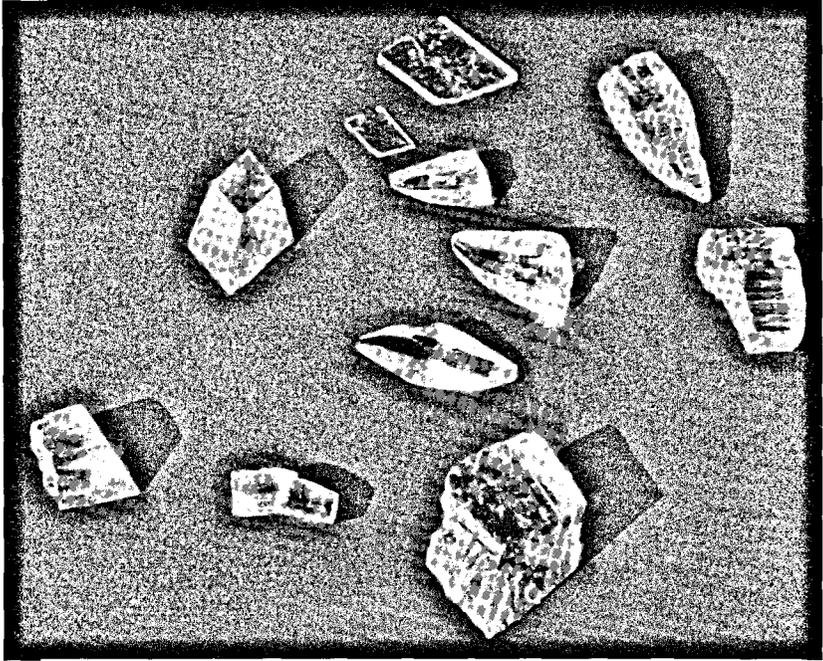


Abb. 4. Icelandit. Einzelkristalle und Spaltstücke nach der Basis. Der doppelt terminierte Kristall in der Bildmitte ist 9 mm lang

Durch Einbettung wurden für  $\lambda = 587 \mu\mu$  die folgenden Brechungsindizes gemessen:

$$\begin{aligned} n_x &= 1,579_5 \\ n_\beta &= 1,588_5 & n_y - n_x &= 0,025 \\ n_\gamma &= 1,604_5. \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich rechnerisch ein Achsenwinkel von

$$2V_\gamma = 74^\circ.$$

Der gemessene Achsenwinkel schwankt, zum Teil innerhalb eines Quadratmillimeters, sehr stark. Es wurden Werte zwischen  $63^\circ$  und  $77^\circ$  gemessen; das Mittel von 30 Messungen betrug  $70^\circ$ . Als Dispersion der Achsen zeigt sich  $v > \rho$  (Unterschied etwa  $4^\circ$ ); eine geneigte Dispersion, wie sie nach Lage der Indikatrix zu erwarten wäre, ist nicht festzustellen. Optische Aktivität ist bis zu Schichtdicken von 3 mm nicht nachzuweisen.

Die Kristalle sind optisch nicht ganz einheitlich, wie der schwankende Achsenwinkel zeigt. Auch die Auslöschungsrichtungen auf Spaltblättchen nach (001) schwanken in einem Kristall von Ort zu Ort um einige Grad.

An ausgesucht reinen Kristallstücken wurde die Dichte bei  $20^\circ$  nach der Schwebemethode in einem Bromoform-Methanolgemisch gemessen. Als Mittel von 5 Kristallstücken ergab sich:

$$d = 2,753 \pm 0,002.$$

Eine Formeleinheit Heidornit hat das Molgewicht 609,94 oder ein Gewicht von  $1,012 \cdot 10^{-21}$  g. Mit der obigen Dichte erhält man die folgenden Zahlen für das Volumen  $V$  der Elementarzelle in Abhängigkeit von der Zahl  $n$  der in ihr enthaltenen Formeleinheiten:

$n$	$V$
1	$3,68 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3$
2	$7,37 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3$
3	$11,03 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3$
4	$14,71 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3$
5	$18,39 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3$

Aus der röntgenographischen Untersuchung (s. unten) ergibt sich das Volumen der Elementarparallelepeds zu  $V = 15,01 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^3$ , was nach Obigem einem Inhalt von 4 Formeleinheiten in der Elementarzelle entspricht.

Die Ritzhärte des Minerals liegt nach der Mohsschen Skala zwischen 4 und 5.

Im folgenden sind die stärkeren Linien des Debyediagrammes von Heidornit zusammengestellt, die für eine Identifizierung des Minerals von Wichtigkeit sind. Eine große Anzahl schwacher und sehr schwacher Intensitäten sind nicht verzeichnet:

Tabelle 2

$2\theta$ für $\text{CuK}\alpha$ - Strah- lung	$d$ in Å	Inten- sität	$2\theta$ f. r. $\text{CuK}\alpha$ - Strah- lung	$d$ in Å	Inten- sität	$2\theta$ für $\text{CuK}\alpha$ - Strah- lung	$d$ in Å	Inten- sität
$14,29^\circ$	6,19	ms	$28,68^\circ$	3,11	stst	$35,28^\circ$	2,54	m
$15,25^\circ$	5,80	ms	$30,13^\circ$	2,96	mst	$36,84^\circ$	2,43	ms
$19,94^\circ$	4,45	ms	$30,78^\circ$	2,90	m	$45,67^\circ$	1,98	m
$23,55^\circ$	3,77	st	$31,84^\circ$	2,81	m	$48,11^\circ$	1,89	m
$24,22^\circ$	3,67	ms	$32,61^\circ$	2,74	st			

stst=sehr stark; st = stark; mst = mittelstark; m = mittel; ms = mittelschwach.

### Bildungsbedingungen

Unter den bisher bekannten Boratmineralen nimmt der Heidornit infolge seiner komplexen Zusammensetzung eine einzigartige Stellung ein. An Boraten mit Na und Ca sind nur 2 Minerale bekannt:

Probertit:  $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Ulexit:  $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ .

An chloridhaltigen Boraten kennt man die folgenden Minerale, die jeweils nur ein Kation enthalten:

Hilgardit:  $\text{Ca}_8[\text{Cl}_4 \cdot (\text{B}_6\text{O}_{11})_3] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  Teepleit:  $\text{Na}_2[\text{Cl} \cdot \text{BO}_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Parahilgardit:  $\text{Ca}_8[\text{Cl}_4 \cdot (\text{B}_6\text{O}_{11})_3] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  Bandyolith:  $\text{Cu}[\text{Cl} \cdot \text{BO}_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Boracit:  $\text{Mg}_3[\text{Cl} \cdot \text{B}_7\text{O}_{13}]$

Nur ein einziges sulfathaltiges Borat ist bisher bekannt:



Der Heidornit vereint in sich diese 3 Typen: er enthält Na und Ca wie Probertit und Ulexit Chlorid wie die Hilgardit-Mineralien, Boracit und Teepleit sowie Sulfat wie der Sulfoborit, ist aber frei von Magnesium.

Die Bildungsbedingungen des Heidornit müssen von denen der bekannten Bormineralvorkommen in charakteristischer Weise abweichen, weil man den Heidornit bisher noch nicht beobachtet hat, und weil seine komplexe Zusammensetzung vom Chemismus aller bekannten Bormineralerale unterschieden ist. Es ist deshalb besonders interessant, zu untersuchen, was man unter Berücksichtigung der Geochemie des Bors über die Entstehung des Heidornitvorkommens sagen kann.

Seit den grundlegenden Untersuchungen von V. M. GOLDSCHMIDT und CL. PETERS [8], die vor allem durch die anschließenden Arbeiten von ST. LANDERGREEN [11] weitergeführt und bestätigt wurden, ist es bekannt, daß Bor ein thalassophiles Element ist, das seit der Frühzeit der Erdentwicklung im Meer angereichert war. Aus dem Meer gelangt es in die marinen Sedimente, die aus diesem Grunde borreicher sind als die magmatischen Gesteine. Bor findet sich vor allem in marinen Tonsedimenten in Mengen von durchschnittlich 0,05%  $\text{B}_2\text{O}_3$  und dann in marinen Evaporaten, wo es in einer Reihe selbständiger Bormineralerale vor allem unter den Endprodukten der Eindunstung des Meerwassers, den Kali-Magnesiumsalzen, auftritt. Im deutschen Zechstein sind solche Bormineralvorkommen hauptsächlich aus der Kalisalzregion der Staßfurtserie (Zechstein 2) bekannt. Doch wurden auch in anderen Gesteinen des salinaren Zechsteins hohe Bor Gehalte gefunden: So bestimmten W. BILTZ und E. MARCUS [2] im grauen Salzton von Staßfurt (Zechstein 3) bis zu 0,4%  $\text{B}_2\text{O}_3$ , also ein Vielfaches vom normalen Bor Gehalt mariner Tone; V. M. GOLDSCHMIDT und CL. PETERS fanden in einem Zechsteindolomit 0,1%  $\text{B}_2\text{O}_3$ , während Karbonatgesteine sonst sehr borarm zu sein pflegen.

So scheint auf den ersten Blick das Vorkommen des Heidornit im salinaren Zechstein durchaus verständlich und im Einklang zu sein mit den bekannten Boranreicherungen in dieser Schichtfolge. Beim näheren Zusehen zeigen sich aber verschiedene Widersprüche: Zunächst unterscheiden sich die aus marinen Salzlagertstätten bekannten Bormineralerale in ihrem Chemismus wesentlich vom Heidornit. Das wichtigste Bormineral dieser Paragenese ist der Boracit  $\text{Mg}_3[\text{Cl} \cdot \text{B}_7\text{O}_{13}]$ , und auch alle anderen dort gefundenen Bormineralerale sind bis auf den seltenen Hilgardit ( $\text{Ca}_8[\text{Cl}_4 \cdot (\text{B}_6\text{O}_{11})_3] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) Magnesiumborate. Daß hier ein wesentlicher Unterschied zu den Evaporaten kontinentaler Boratseen vorliegt, die Na-, Ca- und CaNa-Borate enthalten, hat zuerst F. W. CLARKE [3] festgestellt. Eine neuere Zusammenstellung der Bormineralparagenesen, aus der diese Gesetzmäßigkeit ebenfalls klar hervorgeht, gab kürzlich H. MEIXNER [12]. Die Vorherrschaft der Magnesiumborate in den marinen Evaporaten ist begründet durch den Mg-Reichtum des Meerwassers. Wenn beim Eindunsten des Meerwassers die Löslichkeitsgrenze der Ca-Salze erreicht wird, sind die Borate noch löslich. Erst beim Ausscheiden der Kalium-Magnesiumsalze tritt Sättigung für die Borate auf, und es bilden sich dann Magnesiumborate. Nach den synthe-

tischen Untersuchungen von VAN'T HOFF [9] und den Beobachtungen in den Salzlagerstätten sind Boracit und vielleicht auch Sulfoborit ( $\text{Mg}_3[\text{SO}_4 \cdot \text{B}_2\text{O}_5] \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$ ) die primären Ausscheidungen, während andere heute mit ihnen zusammen gefundene Minerale wie Pinnoit ( $\text{MgB}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), Kaliborit ( $\text{KMg}_2\text{B}_{11}\text{O}_{19} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ), Ascharit ( $\text{MgHBO}_3$ ) u. a. wohl durch sekundäre Umwandlungen entstanden sind. Durch sekundäre Prozesse kommt es jedoch zweifellos auch zu Wachstum und Neukristallisation von Boracit, wobei der feinverteilte Borgehalt der Salze abnimmt. So fanden W. BILTZ und E. MARCUS [2] wesentlich höhere Borgehalte in primär gebildetem Carnallit und Hartsalz als in sekundär ausgeschiedenen Carnalliten und Sylviniten, und die Carnallitumgebung einer Boracitknolle von Vienenburg zeigte einen besonders niedrigen Borgehalt. Kürzlich beschrieb R. KÜHN [10] Boracitkristalle aus dem Anhydrit des Zechstein 3 von Wathlingen, die sicherlich durch sekundäre Stoffwanderungen entstanden sind. Aus allen diesen Beobachtungen ergibt sich, daß die Borsäure der marinen Evaporate von der ersten Bildung her an Magnesium gebunden ist und daß diese Bindung auch durch die Vorgänge der normalen Salzmetamorphose nicht gelöst wird. Es ist deshalb schwierig sich vorzustellen, wie aus primären Magnesiumboraten das CaNa-Borat Heidornit entstanden sein könnte.

Ferner ist die stratigraphische Stellung des Heidornitvorkommens ungewöhnlich, wenn man das Vorkommen von Bormineralen im deutschen Zechstein betrachtet. Bormineralen in primärem Verband, vor allem Boracit, sind vornehmlich aus dem oberen Teil (Carnallitregion) der Staßfurtserie (Zechstein 2) bekannt. Über den Gehalt an feinverteiltem Bor in verschiedenen Zechsteinsalzen liegen die Untersuchungen von W. BILTZ und E. MARCUS [2] vor. Nach diesen Analysen sind im Salzprofil von Staßfurt die tieferen Teile des Zechstein 2 (Älteres Steinsalz und Polyhalitregion der Staßfurtserie) frei von Bor, während die Region der Kali-Magnesiumsalze dieses Zyklus viel Bor enthält. Auch der darüberliegende Graue Salzion ist, wie erwähnt, recht reich an Bor, während Hauptanhydrit und Jüngeres Steinsalz des Zechstein 3 von Staßfurt im wesentlichen borfrei sind. Analytische Daten für den Zechstein 1, in dem der Heidornit vorkommt, liegen nicht vor; doch sind unseres Wissens Bormineralen aus dieser ältesten Zechsteinserie bisher noch nicht beschrieben worden.

Die Füllung der Heidornitkluft hat sich zweifellos aus einer wäßrigen Lösung gebildet, die an Steinsalz, Anhydrit und Glauberit gesättigt war, da diese Minerale mit dem Heidornit zusammen bzw. in seiner engsten Nachbarschaft vorkommen. Der geringe Wassergehalt des Heidornit wie auch das Vorkommen von Glauberit weisen darauf hin, daß die Heidornitbildung wohl bei erhöhter Temperatur stattgefunden hat. Heute herrschen am Fundpunkt eine Temperatur von  $+85^\circ\text{C}$  und ein Druck von etwa 210 Atm. Wenn man annimmt, daß die Kluft geologisch nicht sehr alt ist, was wahrscheinlich sein dürfte, so sind diese Zahlen als Mindestwerte für Temperatur und Druck bei der Bildung des Heidornit anzusehen.

Woher stammte nun der Boratgehalt der Lösung, die die Kluftfüllung hervorbrachte? Es ist natürlich denkbar und durch die vorliegenden Beobachtungen nicht auszuschließen, daß das Borat ebenso wie Na, Ca,  $\text{SO}_4$  und Cl ursprünglich aus dem salinaren Zechstein stammt. Dem widerspricht jedoch die oben behandelte, allgemein beobachtete feste Bindung des Bors an Magnesium

in marinen Salzlagerstätten, die auch durch normale Salzmetamorphose nicht gelöst wird. Es müßte dann in Frenswegen eine besonders intensive Mobilisierung des Bors etwa durch Lösungen und Gase höherer Temperatur und höheren Drucks, ingenommen werden. Wenn aber überhaupt schon die Wirkung aszendenter Medien erwogen wird, so liegt es nahe, auch den Borgehalt ganz oder teilweise tieferen Quellen zuzuschreiben, zudem unter der Heidornitkluft ja nur wenig sainarer Zechstein (250 m Anhydrit mit einer 10 m mächtigen Steinsalzeinschaltung) vorhanden ist.

Es gibt nun in der Tat Hinweise für das Vorhandensein intrusiver magmatischer Massen in der Umgebung der Gaslagerstätte Frenswegen, die für die Lieferung heißer Gase und Dämpfe verantwortlich sein könnten. Es befindet sich unmittelbar östlich von Frenswegen ein Gebiet positiver Anomalie der magnetischen Vertikalintensität, das sich allerdings anders als das sog. „Bramscher Massiv“ bei Osnabrück nicht auch gleichzeitig durch eine Schwereanomalie abzeichnet. Vielleicht handelt es sich im Raume dieser „Lingener Anomalie“ nicht um einen massiven Magmenkörper, sondern um eine Durchsetzung des näheren Untergrundes mit zahlreichen Gängen, die sich wohl magnetisch, nicht aber dichtemäßig bemerkbar machen. Ein solcher Gang wurde, worauf H. FABIAN [5] aufmerksam machte, in der holländischen Bohrung Oldenzaal 2, etwa 15 km südlich von Frenswegen 3, angetroffen. Dort fand sich im Wealden ein Hornblendediabasgang von vermutlich tertiärem Alter. Nach einer Zusammenstellung von H. FABIAN [5] läßt sich im Bereich der Lingener Anomalie eine etwas verminderte geothermische Tiefenstufe feststellen, die z. B. in Frenswegen 2 m/° C beträgt, so daß man vermuten kann, daß in diesem Raum auch heute noch die stärkere Wärmestrahlung magmatischer Gesteinskörper merkbar ist. Das Vorkommen von CO<sub>2</sub> in verschiedenen Bohrungen dieses Gebietes mag ebenfalls mit den vermuteten magmatischen Einflüssen in Verbindung stehen: Die Gaslagerstätte Frenswegen selbst enthält zwar kaum CO<sub>2</sub>; doch wurde in der Bohrung Suttrup 1, 35 km östlich von Frenswegen, ein Gas mit über 50% CO<sub>2</sub> erbohrt, und in der Gaslagerstätte Adorf, 15 km nördlich von Frenswegen, findet sich im Zechsteindolomit Methan mit 15% CO<sub>2</sub>. Die geothermische Tiefenstufe ist hier nur 22 m/° C.

Der deutlichste Hinweis für eine Metamorphose mit Stoffzufuhr findet sich in unmittelbarer Nachbarschaft der Heidornitkluft, im umgebenden Anhydrit. Dort sind, wie bereits erwähnt, ursprünglich aus Dolomit bestehende Schichten zum Teil in ein Serpentinmineral umgewandelt. Das Magnesium des „Serpentins“ stammt aus dem Dolomit, das SiO<sub>2</sub> muß jedoch zugeführt worden sein.

Auch wenn man annimmt, daß das Bor für die Heidornitbildung nach dem Vorbild der borreichen vulkanischen Fumarolen durch magmatische Exhalationen aus größerer Tiefe gefördert wurde, braucht das Bor gleichwohl nicht unbedingt aus dem Magma zu stammen. In der Sedimenthülle intrudierter magmatischer Gesteine beobachtet man bekanntlich oft die Bildung von Turmalin und anderen Bormineralen. V. M. GOLDSCHMIDT [7, 8] hat als erster darauf hingewiesen, daß eine solche Bildung von Bormineralen in den meisten Fällen eher auf einer Mobilisierung des Borgehaltes der Sedimente und der anschließenden Fixierung desselben beruht als auf einer Zufuhr von juvenilem Bor aus dem Magma. Die Beweglichkeit des Bors dürfte auf der Flüchtigkeit der Borsäure

mit Wasserdämpfen beruhen. An dem Beispiel kambrischer Alaunschiefer in Schonen (Schweden) hat ST. LANDERGREN [11] bestätigt, daß das Bor mariner Tone durch die Kontaktwirkung von magmatischen Gesteinen in Bewegung gebracht werden kann; diese Schiefer enthalten normalerweise 0,045%  $\text{B}_2\text{O}_3$ , wo sie aber von zahlreichen Diabasgängen durchzogen werden, im Mittel nur 0,029%  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

So wäre es denkbar, daß im Heidornit der Borgehalt tieferer Sedimente fixiert ist, der im Untergrund durch die Einwirkung eines intrusiven Magmas mobilisiert wurde. Die Ausscheidung des Heidornit erfolgte gerade im salinaren Zechstein, weil die aufsteigenden Borsäuredämpfe dort mit großen Mengen löslicher Kalzium- und Natriumsalze zusammentrafen. Unter dem Zechstein liegt, in Frenswegen Karbon, das vermutlich hier auch Steinkohlen enthält, und es darf daran erinnert werden, daß V. M. GOLDSCHMIDT und CL. PETERS [8] in den Aschen von Steinkohlen besonders hohe Borgehalte festgestellt haben, eine Folge der Anreicherung des Bors in Pflanzen.

### Gitterkonstanten und Raumgruppe

von JOSEF ZEMANN

Splitter eines klaren Kristalls wurden röntgenographisch untersucht. Mit gefilterter Cu-Strahlung ( $\lambda K\alpha_1 = 1,5405 \text{ \AA}$ ) wurden um [010] Drehdiagramme sowie Weissenberg-Diagramme des Äquators und der 1. und 2. Schichtlinie aufgenommen, um [100] ebenfalls Drehdiagramme und Weissenberg-Diagramme — um diese Zone aber bis zur 5. Schichtlinie.

Die Lauesymmetrie des Minerals ist  $2/m - C_{2h}$ . Folgende Gitterkonstanten wurden gefunden:

$$\begin{aligned} a &= 10,21 \text{ \AA} \pm 0,5\% \\ b &= 7,84 \text{ \AA} \pm 0,5\% \quad \beta = 93^\circ 30' \pm 15' \\ c &= 18,79 \text{ \AA} \pm 0,5\%. \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich das röntgenographische Achsenverhältnis  $a:b:c = 1,30:1:2,40$ , was innerhalb der Fehlergrenzen mit dem goniometrisch ermittelten Achsenverhältnis übereinstimmt.

Mit 4 Formeleinheiten  $\text{Na}_2\text{Ca}_3[\text{Cl} \cdot (\text{SO}_4)_2 \cdot \text{B}_5\text{O}_8(\text{OH})_2]$  in der Elementarzelle berechnet man die röntgenographische Dichte zu  $d_{\text{röntg.}} = 2,70 \text{ g/cm}^3$ , in befriedigender Übereinstimmung mit dem experimentellen Wert.

Folgende Auslöschungsregeln wurden beobachtet:

$$\begin{aligned} hkl &\dots \text{ nur mit } h + k = 2n \\ hk0 &\dots \text{ nur mit } h + k = 2n \\ h0l &\dots \text{ nur mit } h = 2n \text{ und } l = 2n \\ 0kl &\dots \text{ nur mit } k = 2n \\ h00 &\dots \text{ nur mit } h = 2n \\ 0k0 &\dots \text{ nur mit } k = 2n \\ 00l &\dots \text{ nur mit } l = 2n. \end{aligned}$$

Als charakteristische Raumgruppe ergeben sich somit  $C2/c - C_{2h}^6$  oder  $Cc - C_s^4$ . Mit einem empfindlichen Apparat zur Prüfung auf Piezoelektrizität (nach BERGMANN [1]) konnte kein positiver Effekt gefunden werden. Damit ist die Kristallklasse sehr wahrscheinlich  $2/m - C_{2h}$  und die Raumgruppe  $C2/c - C_{2h}^6$ .

Die theoretische Folge der Wichtigkeit der Formen im Sinne von DONNAY und HARKER [4] ist: {001}, {110}, {111}, {111}, {112}, {100}, {112}, {101}, .... Davon ist (001) ausgezeichnete Spaltfläche; {110}, {111} und {112} sind an den vorliegenden Kristallen trachtbestimmend.

Wegen der sehr großen Zahl der freien Parameter wurde von einem Versuch der Strukturbestimmung zunächst abgesehen.

Den außer der Gewerkschaft Elwerath an der Bohrung Frenswegen 3 beteiligten Firmen, der C. Deilmann Bergbau AG., der Preußischen Bergwerks- und Hütten-AG. und der Wintershall AG., danken wir für die freundliche Erlaubnis, Kernmaterial und geologische Ergebnisse der Bohrung für diese Untersuchung zu benutzen.

### Literatur

- [1] BERGMANN, L.: Eine neue Methode zum Nachweis der Piezoelektrizität von Kristallen. Zbl. Mineral. Geol. Paläont. A 1935, 213. — [2] BILTZ, W., u. E. MARCUS: Über die Verbreitung von borsäuren Salzen in den Kalisalzlagernstätten. Z. anorg. Chem. 72, 302 (1911). — [3] CLARKE, F. W.: The data of geochemistry. Washington 1924. — [4] DONNAY, J. D. H., and D. HARKER: A new law of crystal morphology extending the law of Bravais. Amer. Mineral. 22, 446 (1937). — [5] FABIAN, H.: Carbon-Ratio-Theorie, geothermische Tiefenstufe und Erdgaslagerstätten in Nordwestdeutschland. Erdoel u. Kohle 8, 141 (1955). [6] FÜCHTBAUER, H., u. H. GOLDSCHMIDT: Ein Zechsteinanhydrit-Profil mit Einlagerungen von Montmorillonit und einer abweichenden Serpentin-Varietät. Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr. 5, 187 (1956). — [7] GOLDSCHMIDT, V. M.: Geochemistry. Oxford 1954. — [8] GOLDSCHMIDT, V. M., u. CL. PETERS: Zur Geochemie des Bor I und II. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, math.-physik. Kl. 1931, 402, 528. — [9] HOFF, J. H. VAN'T: Zur Bildung ozeanischer Salzablagerungen. II. Braunschweig 1909. — [10] KÜHN, R.: Vorkommen und Analyse der Boracit- und Ericaïtkristalle aus dem Salzhorst von Wathlingen-Hänigsen. Kali u. Steinsalz 1955, 33. — [11] LANDERGRÉN, ST.: Contribution to the geochemistry of boron: II. The distribution of boron in some swedish sediments, rocks, and iron ores. The boron cycle in the upper lithosphere. Ark. Kemi, Mineral. Geol., Ser. A 19, Nr 26, 1 (1945). — [12] MEIXNER, H.: Neue türkische Boratlagerstätten. Berg- u. hüttenm. Mh. 98, 86 (1953).

Prof. Dr. WOLF v. ENGELHARDT, Hannover, Hindenburgstr. 28,  
Gewerkschaft Elwerath