

# SEPARAT-ABDRUCK

AUS DEM

## NEUEN JAHRBUCH

FÜR MINERALOGIE, GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE.

Jahrg. 1916. Bd. II.

(S. 1—16 und Taf. I, II.)

---

### Zur Kenntnis der sog. Dinassteine.

Von

**O. Mügge** in Göttingen.

Mit 2 Tafeln und 2 Textfiguren.



STUTTGART 1916.

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
Nägele & Dr. Sproesser.

## Zur Kenntnis der sog. Dinassteine.

Von

O. Mügge in Göttingen.

Mit Taf. I, II und 2 Textfiguren.

Der Firma KRUPP verdankt das Göttinger Institut einige Dinassteine und Proben der Quarzite, aus welchen sie hergestellt wurden. Sie liefern für das Studium und die Veranschaulichung der Umwandlung von Quarz in Tridymit, Cristobalit und Quarzglas ein ausgezeichnetes Material; deswegen und wegen der großen Bedeutung, welche die verschiedenen Modifikationen von  $\text{SiO}_2$  beanspruchen können, mögen, obwohl diese Steine schon wiederholt<sup>1</sup> beschrieben sind, einige ergänzende Mitteilungen darüber gestattet sein.

Als **Ausgangsmaterial** kommen für diese Steine wesentlich nur tertiäre Quarzite in Frage<sup>2</sup>, nicht paläozoische. Die vorliegenden stammten von Rostingerhaide (Siegkreis), Nonnenberg bei Berghausen, Troisdorf am Rhein und von Büdigheim bei Amöneburg. Sie enthalten nach den von der Firma KRUPP freundlichst mitgeteilten Analysen außer  $\text{SiO}_2$  nur etwa

---

<sup>1</sup> Bereits MALLARD (Bull. soc. franç. de min. **13**. 172. 1890) erwähnt die Umwandlung von Quarzriegeln mit 2% CaO in Tridymit; eingehendere Beobachtungen namentlich bei HOLMQUIST, Geol. Fören. i Stockholm Förhandl. April. 1911. **33**. 245; ferner bei ENDELL und RIEKE in Min. Mitt. **31**. 501. 1912, Zeitschr. f. anorg. Chemie. **79**. 239. 1912; Stahl und Eisen. 1912. No. 10 und 1913. No. 43—45; Silikat-Zeitschr. **1**. 1913.

<sup>2</sup> Über Material, chemische Zusammensetzung und Herstellung der Steine orientierende Angaben bei O. LANGE, Stahl und Eisen. **32**. 1729. 1912.

1,2—1,5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (in ungefähr gleicher Menge), Spuren von  $\text{MgO}$  und Glühverlust, kein  $\text{CaO}$  und keine Alkalien.

Dem entspricht das mikroskopische Bild; Feldspat fehlt völlig; die kleinen Mengen von Tonerde werden also wohl z. T. als Ton vorhanden sein, der ja mikroskopisch in feiner Verteilung kaum nachweisbar ist, z. T. vielleicht in Form von Glimmer, wenn man spärliche braun durchtränkte Häutchen zwischen den Quarzen dafür in Anspruch nehmen kann. Außerdem machen sich, in analytisch vermutlich kaum noch nachweisbaren Mengen, einzelne Kriställchen von Zirkon und anscheinend etwas mehr von Rutil bemerklich; letztere veranlassen auch wohl die Trübung der feinen Häute von Ton und zersetztem Glimmer; sie sind den Tonschiefernädelchen sehr ähnlich, wenn auch etwas gedrungener. Dazu kommt selten ein Körnchen Staurolith, Turmalin und zierliche Pyramiden von Anatas. Zwischen den größeren Quarzkörnern liegt, wenigstens bei dreien der vier Proben sehr ausgeprägt, ein Cement von kleineren Quarzkörnern; die Quarzite gehören also zu den nach O. LANGE (l. c.) für die Herstellung besonders geeigneten „Cementquarziten“; (bei den paläozoischen sind die Quarzkörner meist ohne Cement innig ineinander verzahnt, was die Umwandlung vermutlich wegen der geringeren Oberflächenentwicklung erheblich verlangsamt<sup>1</sup>). Nach der Behandlung der Quarzitpulver mit  $\text{HF}$  und  $\text{HCl}$  blieb nur ein Rückstand von weniger als 0,2 %, wesentlich Zirkon und Rutil.

Aus dem Material waren zweierlei Dinassteine hergestellt; die ersten, durch 75ständiges Brennen bei Seeger-Kegel 14 =  $1410^\circ$ , die zweiten in sog. Schnellfeuer von 20 Stunden bei derselben Temperatur. Diese letzteren genügten nicht für hochbeanspruchte Schmelzöfen. Sie sind nach der mikroskopischen Untersuchung erheblich glasreicher, stimmen aber sonst in der Zusammensetzung mit ersteren überein.

In der chemischen Zusammensetzung unterscheiden sich die fertigen Steine von den Quarziten durch einen merklichen Gehalt an  $\text{CaO}$  (0,8—1,1 %) und einen höheren an

<sup>1</sup> ENDELL und RIEKE, Zeitschr. f. anorg. Chemie. 79. 246. 1912.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,8—1,4 %) und  $\text{FeO}$  (0,8—1,1 %), während gleichzeitig der Gehalt an  $\text{SiO}_2$  von etwa 98 % auf etwas unter 97 % gesunken ist.

### Mikroskopische Zusammensetzung der normalen Dinassteine.

In allen Steinen sieht man u. d. M. noch reichlich Reste von Quarz und Quarzit in zersprungenen Körnern von einer auf den ersten Blick rein glasig erscheinenden farblosen bis gelblichen Masse durchadert und umgeben. Bei genauerer Betrachtung erscheint die Glasmasse voll von feinen Fasern mit dem optischen Verhalten, Form und Zwillingsbildung des Tridymit; Cristobalit fehlt. Um das Mengenverhältnis zwischen unverändertem Quarz einerseits, Tridymit + Glas andererseits annähernd festzustellen, wurden Stückchen sowohl vom ersten Brand wie vom zweiten gepulvert und (nach Abschwemmung des feinsten Staubes) nach der Dichte getrennt. Es ergab sich folgendes:

| Dichte    | I. Brand | II. Brand |
|-----------|----------|-----------|
| > 2,65    | 1,17 %   | 0,14 %    |
| 2,65—2,59 | 16,40    | 0,19      |
| 2,59—2,48 | 34,70    | 4,17      |
| 2,48—2,34 | 43,30    | 95,13     |
| < 2,34    | 4,40     | 0,37      |

Die Teilchen > 2,65 bestehen aus Zirkon, Rutil, Eisen-erz und unbestimmbaren Körnchen, z. T. in Verwachsung mit Quarz; 2,65—2,59 enthält wesentlich Quarz; die andern Teile Quarz mit zunehmenden Mengen von Tridymit + Glas verwachsen, die letzten Anteile sind quarzfrei und feinkörniger.

Wie die Zahlen unter I und II erkennen lassen, ist der Stein vom zweiten Brand nicht nur erheblich reicher an Tridymit + Glas, sondern es ist, da die Korngröße bei beiden Trennungen die gleiche war, der Quarz in II auch erheblich feiner verteilt, beides im Einklang mit dem mikroskopischen Befund.

In der Zwischenmasse der Quarzreste machen sich außer Tridymit noch zwei Gemengteile bemerklich, obwohl ihre Menge nur klein ist. An trüben Stellen schimmern zwischen gekreuzten Nicols zahllose Fünkchen haufenweise auf, welche

bei starker Vergrößerung als kurz säulenförmige, etwas gerundete bräunliche und gelbe Kriställchen zu erkennen sind, die nach ihrer starken Brechung und Doppelbrechung und optischen Orientierung nur Rutil sein können (Taf. I Fig. 1). Sie sind offenbar identisch mit den in dem Zwischenmittel der Quarzitkörner bemerkten Trübungen und also angehäufte Schmelzreste, vergleichbar den Zirkonen in den Basaltgesteinen von Espaily. Es erscheint bemerkenswert, daß, während die Zirkone völlig eingeschmolzen sind, die Rutilite trotz ihrer viel geringeren Größe erhalten geblieben sind<sup>1</sup>; zuweilen allerdings erscheinen größere Rutilkörnchen von einer Zone feiner gelblicher, stark brechender und doppelbrechender Körnchen umgeben, welche Titanit nicht unähnlich sind<sup>2</sup>.

An anderen Stellen, wo die Rutilwölkchen fehlen, findet sich zwischen den Quarzresten und dem Tridymit eine hellgelb bis rotbraun pleochroitische Substanz von ebenfalls starker Brechung und Doppelbrechung und leuchtenden Interferenzfarben ( $\alpha'$  parallel den schwächer gefärbten Schwingungen), niemals in deutlichen Kristallen, sondern in vielfach und sperrig verzweigten, dabei aber einheitlich auslöschenden Spießchen und Häutchen, die die Lücken zwischen Quarz und Tridymit ausfüllen, ähnlich z. B. der blauen Hornblende im Trachyt von Berkum (Taf. I Fig. 2). Sie erscheint öfter trüb gekörnelt und löscht dann nur unvollständig aus, ist also anscheinend nicht dauernd beständig und fehlt in der Tat in den stärker erhitzten Teilen der Steine (vergl. unten). Dunkelrotbraun durchscheinende Massen von ähnlichen Umrissen, aber schwächerer Doppelbrechung, erinnern an Rhönit; beides sind vermutlich eisen- und titanreiche Hornblendensorten.

Der Tridymit dieser normalen Dinassteine ist nicht merklich von dem der unten beschriebenen verschieden. Er erscheint hier, wie überall, nicht direkt aus Quarz, sondern aus Glas hervorgegangen, denn nirgends ist Pseudomorphosierung der ursprünglichen Breccienstruktur zu erkennen.

---

<sup>1</sup> Nach RIEKE und ENDELL (Silikat-Zeitschr. 1. 5. 1913) begünstigt ein Gehalt von nur 0,1 %  $TiO_2$  die Entglasung des  $SiO_2$ -Glases beträchtlich, weniger auch ein Gehalt an  $ZrO_2$ .

<sup>2</sup> Titanit wurde von SMOLENSKY (Zeitschr. f. anorg. Chemie. 73. 302. 1912) aus Schmelzfluß erhalten.

Ein einem Martinofen, der nach 350 Chargen zur Verbesserung abgekühlt war, entnommener Dinasstein weicht von den oben beschriebenen nur dadurch ab, daß die Quarze etwas stärker zersprungen und von Glas durchadert sind, die Menge des Tridymit und seine Kristalle größer, die Rutilanhäufungen seltener geworden sind.

Ein wesentlich anderes Bild zeigen dagegen die einem solchen Martinofen entnommenen

### Gewölbesteine

in ihren (anscheinend bis zum Abtropfen) abgeschmolzenen Teilen. Sie sehen außen wie glasiert aus und bestehen hier in der Tat aus strukturlosem, im Schliiff bräunlichen Glas, z. T. erfüllt von anscheinend oktaedrischen Kristallskeletten, die, soweit sie undurchsichtig oder tiefbraun durchsichtig sind, wohl Magnetit oder eisenreichem Spinell angehören, während farblose im optischen Verhalten mit Cristobalit übereinstimmen<sup>1</sup> (Taf. I Fig. 3). Vom Quarz und der Breccienstruktur der gewöhnlichen Steine ist auch im Innern der stalaktitischen Zapfen nichts mehr zu sehen, im übrigen ändert sich ihre Zusammensetzung mit der Entfernung von der Spitze (dem unteren Ende) der Stalaktiten.

Die Spitze zeigt eine Art zelliger Struktur, indem rundlich-polygonale, von farbloser Substanz erfüllte Räume von Häuten und Schnüren bräunlicher Substanz mehr oder weniger vollständig umschlossen werden. Dazwischen liegen nicht sehr zahlreiche Blasenräume, an die die einzelnen Zellen direkt oder nur durch sehr feine braune Häutchen davon getrennt angrenzen und deren genau kreisrunde Umrisse da, wo zwei Zellen aneinandergrenzen, keinerlei Richtungsänderung oder sonstige Unstetigkeit erkennen lassen.

Die Zellwände sind braunes Glas, das aber, wie stärkere Vergrößerung zeigt, im allgemeinen nicht mehr zusammenhängende Häute bildet, sondern in zahllose, noch flächenartig angeordnete Tröpfchen von 1—2  $\mu$  Durchmesser aufgelöst ist (Taf. I Fig. 4). Nach der kreisrunden Form der Blasen-

<sup>1</sup> Also ähnlich den von FENNER (Zeitschr. f. anorg. Chemie. 85. 182. 1914) abgebildeten.

räume ist offenbar auch der Inhalt der Zellen ursprünglich Glas gewesen, besteht jetzt aber aus Cristobalit, der also nach dem Fehlen merklicher Deformationen der Blasenräume erst zu einer Zeit entstanden ist, als das Glas schon wieder sehr zähe oder ganz fest geworden war.

Von den oben erwähnten Nebengemengteilen der normalen Dinassteine ist hier keine Spur.

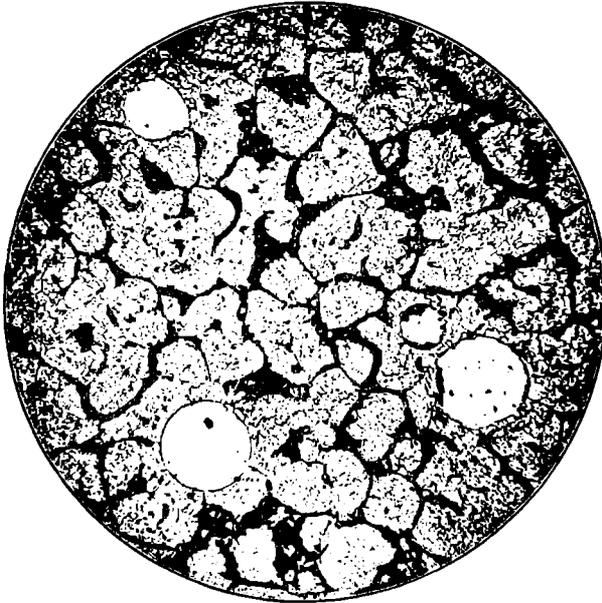


Fig. 1. Zellenstruktur in getropftem Dinasstein (durch dunkle Glashäute getrennte Individuen von Cristobalit).

Bau des Cristobalit. Der Inhalt jeder „Zelle“ bildete, wie aus dem optischen Verhalten hervorgeht, ursprünglich einen, bis auf etwa nach den Oktaederflächen eingeschaltete Zwillingslamellen, einheitlichen Kristall, jede ist also aus einem Kristallkeim hervorgegangen und nur deshalb selten deutlich kristallographisch [dann wohl durch (111)] begrenzt, weil das Wachstum in nahezu festem Glas und bis nahe zur Berührung mit dem aus dem Nachbarkeime hervorgegangenen Kristall erfolgte. Die emulsionsartige Verteilung des Schmelzrestes zwischen den Cristobalitindividuen steht damit nicht

im Widerspruch, denn er war infolge starker Anreicherung an den Nebenbestandteilen der Quarzite, trotz inzwischen gesunkener Temperatur, dünnflüssiger; seine Zerteilung in Tröpfchen erfolgte offenbar, weil seine sehr geringe Menge nicht ausreichte, die infolge der Kristallisation und der damit verbundenen Volumenverminderung entstehenden Spalten zwischen den „Zellen“ zu füllen.

Bei der Umwandlung des regulären Cristobalit in den mimetischen ist jedes Zell-Individuum in zahlreiche (im Querschnitt etwa 100, im Raume also etwa 1000) Felder zerfallen, die sich wegen ihrer im Verhältnis zur Schliffdicke geringen Größe an den Grenzen meist beträchtlich überlagern und daher die Bestimmung der optischen Orientierung und der Stärke der Doppelbrechung erschweren<sup>1</sup>. Die Auslöschungsrichtungen der Felder einer Zelle fallen natürlich nicht zusammen, aber sie zeigen nur eine beschränkte Anzahl von optischen Orientierungen (anscheinend 3) und diese sind von jenen der Nachbarzelle verschieden. Meist löschen die stärker doppelbrechenden Felder einer Zelle nahezu gleichzeitig aus, wobei aber nur für die einen (annähernde) Parallelität, für die andern dazu senkrechte Lage von  $\alpha'$  und  $c'$  vorhanden ist. Die schwächer doppelbrechenden aber hellen sich zwischen gekreuzten Nicols in allen Stellungen so wenig auf, daß sie sich von den ersteren in deren Dunkelstellung nur wenig abheben, daher es zunächst so scheint, als wenn alle Felder einer Zelle nahezu gleichzeitig auslöschen. Nach der MALLARDschen Darlegung des Baues des mimetischen Cristobalit ist genau gleichzeitige Auslöschung nur in Schnitten nach  $\{h\ 0\}$  der ursprünglich regulären Kristalle zu erwarten; in stärker von  $\{h\ 0\}$  abweichenden Schnitten ist, wenn auch die Orientierung verschieden, die Doppelbrechung doch wenig verschieden, weil in allen schwach.

Ebenso wie die Individuenaggregate verschiedener Zellen sich optisch voneinander unterscheiden, tun dies gegenüber dem Hauptteil einer Zelle auch ihre Zwillingslamellen, die stets scharf geradlinig verlaufen (im Gegensatz zur Abgrenzung der mimetischen Individuen, aus denen auch sie sich auf-

<sup>1</sup> FENNER (l. c. p. 160) ermittelte 0,003, was mir nach Vergleich mit den Interferenzfarben von Tridymit im selben Schliff zu hoch scheint.

bauen) (Taf. II Fig. 5). Meist ist nur ein System von Lamellen vorhanden, selten zwei, nie wurden mehr beobachtet. Da diese Lamellen aber in den seltenen Fällen, wo die Umrisse der Zellen deutlich polygonal sind, einer oder zwei Seiten derselben parallel sind, und da als Begrenzung der regulären Kristalle wohl nur (111) in Frage kommt, wird man die Lamellen als solche nach (111) auffassen dürfen, zumal ja makroskopische Zwillinge nach (111) bekannt sind. Sie sind optisch natürlich erst nach der Umwandlung in mimetischen Cristobalit bemerkbar.

Ballenstruktur des Cristobalit (Taf. I Fig. 4 u. Taf. II Fig. 6). Der Inhalt jeder Zelle zeigt schon im gewöhnlichen Licht sog. „Schuppen- oder Dachziegelstruktur“, die früher mit Unrecht als charakteristisch für Tridymit angesehen wurde, meiner Erfahrung nach aber nur dem Cristobalit zukommt<sup>1</sup>. Sie ist bedingt durch zahlreiche, im Durchschnitt bogig verlaufende Sprünge, die daher rühren können, daß das Wachstum des Cristobalit im Kieselglas, das ja von einer Kontraktion begleitet war, in kurzen Zwischenräumen zu Sprüngen infolge von Spannungen zwischen der Spitze des wachsenden Kristalls und dem der Kontraktion nicht folgenden festen oder sehr zähen Glas führte, daher denn die Sprunglinien sich nicht durchkreuzen und ihre konkave Seite alle nach der Richtung kehren, in welcher der Keimpunkt des Kristalls lag. Mit der Umwandlung des regulären Cristobalit in mimetischen hängen sie insofern zusammen, als die Grenzen der mimetischen Individuen naturgemäß vielfach diesen Sprüngen folgten. Es ist daher zu erwarten, daß die durch die Volumendifferenz Glas resp. Cristobalit bedingten Sprünge bei der Umwandlung in mimetischen Cristobalit noch erweitert werden (ENDELL's „Cristobalit-Probe“), bei der Rückumwandlung aber keineswegs ganz verschwinden. Das trifft auch zu. Beim Erhitzen eine Schlifflinien im Einbettungsmaterial bemerkt man allerdings,

---

<sup>1</sup> Da in Schnitten aller Orientierungen durch eine Zelle (reguläres Individuum) keine Richtung bevorzugt erscheint, handelt es sich offenbar nicht um flächenartige Strukturelemente, sondern um dreidimensionale, etwa wie bei einer Art ziklopischen Mauerwerks in mikroskopischem Maßstabe, und zwar so, als hätten die später angefügten Elemente, als wären sie plastisch, an den älteren sich abgeformt.

daß die Sprünge und mit ihnen die Ballenstruktur vorübergehend völlig verschwinden, gleichzeitig aber auch die Grenzen zum Einbettungsmaterial<sup>1</sup>. Es beruht dies also bloß auf dem Gleichwerden der Brechungsexponenten beider; dieses Gleichwerden findet natürlich nicht gerade bei der Umwandlungstemperatur statt, und in der Tat kann man beim weiteren Erhitzen gut beobachten, daß, bei der Umwandlungstemperatur selbst, die Sprünge und Ballenstruktur wieder deutlich geworden sind, daß aber jetzt, umgekehrt wie vor dem Gleichwerden, der Brechungsexponent des Einbettungsmittels den niederen, der Cristobalit den höheren Wert hat.

Mit dieser Deutung der Schuppen- oder Ziegelstruktur, die also besser „Ballenstruktur“ genannt wird, stimmt, daß sie bei aufgewachsenen, also nicht in festem Glas entstandenen Kristallen von San Cristobal weniger ausgeprägt ist und die oben vermerkte Orientierung der konvexen Seiten der Sprunglinien fehlt. Die Umgrenzung der (hier auch größeren) optischen Felder ist öfter geradlinig, nämlich senkrecht zu den Oktaederkanten. Bei wiederholter Umwandlung und Rückumwandlung werden allerdings die Felder kleiner und ihre Grenzlinien unregelmäßiger.

Umwandlung des Cristobalit. Bei Benutzung des eutektischen Gemenges  $\text{KNO}_3 - \text{NaNO}_3$  als Einbettungsflüssigkeit der Schriffe konnte festgestellt werden, daß die Umwandlung des mimetischen in den regulären Cristobalit dicht oberhalb  $218^\circ$  beginnt, aber nicht für alle optischen Felder einer Zelle gleichzeitig; auch werden durchaus nicht alle Felder sofort isotrop, manche ändern vielmehr erst (ruckweise) ihre optische Orientierung. Bei vorsichtiger Wärmezufuhr lassen sich doppelbrechende und isotrope Teilchen beliebig lange nebeneinander beobachten und zwar in allen Zellen des Gesichtsfeldes, namentlich auch so, daß ein einzelnes doppelbrechendes Feld weit und breit von schon isotropen umgeben ist und so, daß erst weitere Temperaturerhöhung

---

<sup>1</sup> Anscheinend ein Gemisch von Canadabalsam und Kolophonium vom Brechungsexponenten 1,540 (Na) bei gewöhnlicher Temperatur; bis zur Umwandlungstemperatur ist natürlich, wie bei den meisten organischen Flüssigkeiten, eine beträchtliche Verkleinerung des Exponenten zu erwarten.

auch dieses zur Isotropie zwingt. Bei wiederholter Umwandlung werden Teilchen, die in dem einen Falle zuerst isotrop geworden waren, im anderen zu Nachzüglern, auch sind Teilchen, die bei steigender Temperatur zuletzt isotrop wurden bei fallender Temperatur keineswegs die zuerst wieder doppelbrechenden. Wohl aber bleiben auch bei vielfach wiederholter Umwandlung die Grenzen der „Zellen“ unverändert, ebenso der Verlauf der oktaedrischen Lamellen. Stellt man eine Zelle vor der Umwandlung auf größte Dunkelheit ein und erhitzt jetzt, so bleiben ihre Teilchen bis zur Umwandlung in dieser Lage und sind es auch noch nach der Rückumwandlung. Daraus wird es wahrscheinlich, daß die optischen Änderungen vor der Umwandlung wesentlich in einer Vertauschung der optischen Orientierung der einzelnen Felder bestehen.

Da man für ein oder mehrere im Gesichtsfelde sichtbare mikroskopische Teilchen nicht gut eine niedrigere Temperatur annehmen kann als für alle ringsumgebenden, ist zu schließen, daß nicht alle Teilchen bei derselben Temperatur sich umwandeln. FENNER (l. c. p. 172) hat zur Erklärung der von ihm beobachteten Schwankungen der Umwandlungstemperatur am Cristobalit die Hypothese von SMITS<sup>1</sup> herangezogen, wonach im Cristobalit im allgemeinen mehrere „Molekel-Arten“ vorhanden sind, deren Mengenverhältnis von der thermischen Vorbehandlung abhängen soll. In unserem Falle treten nun Unterschiede der Umwandlungstemperatur auf in Teilchen sogar derselben Zelle, für welche Unterschiede der Vorbehandlung von einer Umwandlung bis zur nächsten nicht in Frage kommen. Mir scheint daher die Annahme von FENNER-SMITS<sup>2</sup> nicht zweckmäßig; eher scheint das Verhalten des Cristobalit (wie auch vieler anderer Substanzen) darauf hinzuweisen, daß eine Verzögerung der Umwandlung auch in (molekular-) homogenen Phasen möglich ist, indem wohl stets, nachdem die Umwandlungstemperatur (und -druck) erreicht ist, erst noch ein äußerer, bald geringerer, bald

<sup>1</sup> Vergl. die bei FENNER l. c. angeführte Literatur.

<sup>2</sup> Auch abgesehen davon, daß nach den Entdeckungen der BRAGG's der Begriff „Molekül“ für den kristallinen Zustand sehr unsicher geworden ist.

kräftigerer Anstoß (vermutlich sogar von nicht ganz beliebiger Richtung) erfolgen muß, damit der Übergang in die neue Gleichgewichtslage eintritt. Dieser Anstoß wird im allgemeinen in der Form von Spannungen auftreten, die durch die Form der Stückchen u. a. bedingt sind. Während in kristallographisch-homogenen Phasen ein einziger Anstoß genügen kann (zumal wenn die Umwandlung nur geringe Änderungen<sup>1</sup> der kristallographischen Orientierung im Gefolge hat), werden in solchen, die aus zahllosen Individuen bestehen, eventuell auch zahllose Anstöße erforderlich sein, namentlich wenn ihre Berührung, wie hier, eine wenig innige ist, so daß sich ein Anstoß nicht unmittelbar auf den Nachbar überträgt.

Einige Zentimeter unter der Oberfläche der stalaktitischen Teile gesellen sich zum Cristobalit erst vereinzelt, dann bald zahlreiche Tridymite. Hie und da scheint in einem einzelnen Durchschnitt eine Pseudomorphosierung des letzteren durch Cristobalit stattgefunden zu haben, welche nach Beobachtungen von FENNER (l. c.) bei 1470° eintritt und auch von ENDELL<sup>2</sup> beobachtet wurde. Im allgemeinen ist dies aber nicht der Fall, oder doch nicht erkennbar<sup>3</sup>, namentlich wurden an der Grenze des Cristobalit- und Tridymit-Gebietes keine Durchschnitte von der Form des Tridymit angetroffen, die z. T. aus diesem, z. T. aus Cristobalit bestehen; ebenso konnte eine Verdrängung des Cristobalit durch Tridymit nicht festgestellt werden.

Näher der Wurzel des Stalaktiten liegen zwischen den größeren Tridymiten große, nahezu isotrope rundliche Klumpen,

<sup>1</sup> Selbst bei  $\alpha - \beta$ -Quarz, wo die Umwandlung sehr präzise erfolgt, geht sie nach den starken Verbiegungen, die dünne Blättchen dabei erfahren, keineswegs ohne starke momentane Spannungen vor sich, die auf momentanen Verzögerungen beruhen werden.

<sup>2</sup> ENDELL, Stahl und Eisen. 1913. No. 43 und 45.

<sup>3</sup> Sie mag aber gleichwohl stattgefunden haben. Die Erfahrung, daß von manchen Kristallen gerade die größten nur pseudomorphosiert bekannt sind (Tridymit, Euganeen; Olivin von Snarum, Enstatit von Bamle, Magnetkies von Freiberg u. a. Fundorten, Analcim der Seisser Alp, Aragonit von der Blauen Kuppe und von Girgenti, Arkansit, Cuprit von Chessy, Andalusit von Lisenz, Cordierit, Nephelin u. a.), zeigt, wie häufig Umwandlungen vor sich gegangen sein müssen von denen keine Spur erhalten ist, weil die der Umwandlung unterlegenen Kristalle zu klein waren im Verhältnis zu den neu gebildeten, um deutliche Pseudomorphosen zu liefern.

wesentlich Glas, das aus etwas später verflüssigten, vermutlich besonders großen Quarzkörnern hervorgegangen zu sein scheint. Noch weiter von der Stalaktitenspitze entfernt stimmt die Zusammensetzung mit der der normalen Dinassteine überein, namentlich finden sich hier auch wieder die Anhäufungen kleiner Rutilite, die in den stärker erhitzten Teilen durchaus fehlten. (Da also das Gemenge  $\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$  erst bei höherer Temperatur schmilzt als das reine  $\text{SiO}_2$ , wird man auf kristalline Mischbarkeit beider bei dieser hohen Temperatur schließen dürfen, die nach der Zusammensetzung der natürlichen Vorkommen bei gewöhnlicher Temperatur nicht vorhanden ist).

Struktur und Eigenschaften des Tridymit. Der Tridymit zeigt die gewöhnlichen Zwillingskeile (Taf. II Fig. 7), deutliche Drillinge (mit tautozonalen Ebenen 0001), die bei hexagonaler Holoedrie zu erwarten (und makroskopisch ja sehr gewöhnlich) sind, wurden nicht beobachtet, wohl aber einfache Kristalle. Auffallend selten sind regelmäßig sechseckige Durchschnitte, vermutlich deshalb, weil die Tafeln meist stark nach der Kante Zwillingssebene: Basis stark verlängert sind. Er zeigt nirgends die „Ballenstruktur“ des Cristobalit. Besonders große, und zwar durchweg einfache Kristalle zeigt ein wohl infolge starker Aufnahme von Eisenerzteilchen stark zusammengeschmolzener Stein; die Tridymite haben hier zum z. T. Rahmen- und sog. Doppel-Stiefelknecht-Form und bilden im Durchschnitt ein sperriges Lattenwerk, dessen Zwischenräume z. T. von Glas, z. T. von tiefbraunen Körnern, möglicherweise eisenreicher Pyroxen, ausgefüllt sind, so daß das Ganze typischem Dolerit nicht unähnlich sieht (Taf. II Fig. 8). Diese Form des Tridymit läßt schließen, daß die Schmelze hier erheblich dünnflüssiger geworden ist als sonst; nicht infolge Erhöhung der Temperatur, denn diese reichte zur Bildung von Cristobalit nicht aus, sondern durch Aufnahme von Eisenverbindungen in die Schmelze, die dadurch zugleich wohl befähigt wurde, alle Spuren von  $\text{TiO}_2$  aufzulösen.

An einem dickeren Schliff, dessen Dicke an 6 Stellen mittels ABBE'schem Mikrometer genau bestimmt war, wurden die maximalen Doppelbrechungen an jenen 6 Stellen mit

BABINET'schem Kompensator zu 0,0036 (Mittel) bestimmt, in leidlicher Übereinstimmung mit dem von FENNER l. c. p. 158 angegebenen Wert 0,004; dagegen wurde für den mittleren Brechungsexponenten an einem Zwillingskristall von San Cristobal (mit den Basisflächen als brechende Flächen) 1,478 (Na) gefunden, während FENNER 1,487, MALLARD 1,477 angibt.

Die mimetische Struktur des Tridymit macht sich im Querschnitt der Tafeln durch nur geringe Schwankungen in der Stärke der Doppelbrechung und der Auslöschungsrichtungen verschiedener Felder bemerklich; im großen und ganzen erscheint vielmehr die optische Orientierung eines Querschnittes einheitlich (die Auslöschungsschiefen, im Gegensatz zu den Feldern des Cristobalit auch nicht gekreuzt!), was sich aus der Kleinheit des Winkels der optischen Achsen sowie daraus erklärt, daß flach zur Basis geneigte Schnitte (für welche die Unterschiede der Auslöschungsrichtungen größer werden) sich wegen der Schwäche der Doppelbrechung nur wenig aufhellen und also wenig auffallen<sup>1</sup>. Die optischen Felder sind (wie auch bei den natürlichen Kristallen) erheblich größer als beim Cristobalit, auch machen sich ihre Grenzen im natürlichen Licht viel weniger bemerklich. Ihre optische Orientierung wurde an aufgewachsenen Kristallen von San Cristobal in Übereinstimmung mit MALLARD's Angaben gefunden. Bemerkenswert ist, daß die Grenzflächen der optischen Felder nicht senkrecht zu (0001) einfallen, daher wenig scharf sind, und daß bei der Umwandlung die Grenzen von Feldern, deren Auslöschungsrichtung einer Umrißlinie des Blättchens parallel laufen, sich senkrecht zu dieser Umrißlinie vor- und zurückschieben, indem anscheinend flach zur Basis verlaufende Lamellen entstehen; es weist das auf monokline Symmetrie des mimetischen Tridymit hin<sup>2</sup>. Auffallend ist auch, daß diese Grenzlinien gerade während der Umwandlung sehr stark (im gewöhnlichen Licht) hervortreten, es mag dies darauf beruhen, daß vorübergehend längs den Grenzen hohle Kanäle entstehen. Während sich diese Streifen wenig

<sup>1</sup> Man vergl. das Verhalten der pseudohexagonalen Glimmerzwillinge (auch der deutlich zweiachsigen) nach JOHNSON, dies. Jahrb. 1907. II. 139.

<sup>2</sup> Ähnlich wie bei Calciumchloroaluminat. Dies. Jahrb. Beil.-Bd. XIV. 265. 1901.

unterhalb der Umwandlungstemperatur von den ihnen parallelen Umrißlinien weg bis zu den gegenüberliegenden vorschoben, verschwanden sie mit Eintritt der Isotropie in umgekehrter Richtung, indem die isotropen Teile sich nach der ersten Umrißlinie hin ausdehnen. Nach der Umwandlung ist keine Spur mehr von ihnen. Die Rückumwandlung erfolgt in umgekehrter Reihenfolge, indessen bleiben dabei einzelne Streifen zuweilen noch länger sichtbar. Daß feine Lamellen sich anscheinend gitterartig durchkreuzen, kommt auch vor, aber selten. Nach der ersten Umwandlung und Rückumwandlung ist die Verteilung der optischen Felder meist stark geändert, wahrscheinlich infolge der (beim Abbrechen) geänderten Form der Blättchen und der davon abhängigen Spannungen, denn nachher pflegen die Grenzen der Felder sich nicht mehr zu ändern.

Mit dem Übergang in hexagonale Symmetrie ist eine merkliche Schwächung der Doppelbrechung verbunden. Bei stärkerer Erhitzung bis über  $600^{\circ}$  hinaus, also in das Gebiet des  $\beta_2$ -Tridymit FENNER's hinein, wurden keinerlei weitere unstetige Änderungen in Form und optischem Verhalten bemerkt.

#### **Beziehungen zwischen Tridymit und Cristobalit.**

Die Unterschiede zwischen Tridymit und Cristobalit in den physikalischen Konstanten — Dichte, Brechung und Doppelbrechung — sind auffallend gering, die Annäherung in den Winkeln und Habitus zwischen den Drillingen des Tridymit und den Oktaedern des Cristobalit auffallend groß. Dazu kommt bei beiden der Zerfall der höher symmetrischen Form in eine weniger symmetrische mit offenbar wenig abweichenden Winkeln bei nicht sehr stark verschiedenen Temperaturen oder vielleicht richtiger Temperaturintervallen (Tridymit,  $\alpha$  in  $\beta_1$  bei  $117^{\circ}$ ;  $\beta_1$  in  $\beta_2$  bei  $163^{\circ}$ ; Cristobalit,  $\alpha$  in  $\beta$  bei  $220$ — $275^{\circ}$ , nach FENNER l. c.). Trotzdem ist die Vermutung, daß beide verschiedene Ausbildungsformen derselben kristallinen Phase sein könnten, nicht gerechtfertigt. Man sollte dann u. a. erwarten, daß die Cristobalitoktaeder sich auch optisch ähnlich verhalten sollten wie Drillinge von Tridymit noch (10I6), so daß Schnitte senkrecht zu einer Oktaederkante einen Aufbau

aus drei pseudohexagonalen Individuen wie Fig. 2 a aufweisen würden. Das ist aber keineswegs der Fall, die Felderteilung entspricht vielmehr auch in solchen Schnitten (bei Kristallen von San Cristobal) der MALLARD'schen Auffassung, wonach hier nur zwei optisch verschiedene Felder, nämlich mit gekreuzten Schwingungsrichtungen wie Fig. 2 b zu erwarten sind.

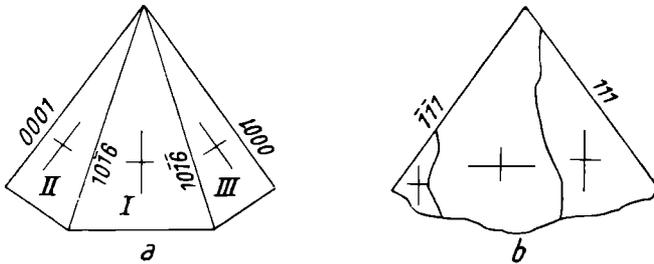


Fig. 2 a und b.

Ein sicheres Zeichen für die Verschiedenheit von Tridymit und Cristobalit muß auch wohl darin gesehen werden, daß Pseudomorphosen vom einen nach dem anderen entstehen können (vergl. oben). Auch bei San Cristobal findet man neben glasklaren Tridymitblättchen und trüben porzellanähnlichen Cristobalitiktaedern hexagonale Drillingsblättchen ganz vom geometrischen Habitus des Tridymit, aber trübporzellanartig wie Cristobalit. Der Umstand, daß hier alle drei Gebilde nebeneinander vorkommen, ja, daß man aus trüben Cristobalitiktaedern klare Tridymitzwillinge in der schon von G. VOM RATH beschriebenen gesetzmäßigen Stellung herauswachsen sieht, ähnlich etwa wie Albit aus den Mikroklinorthoklasen von Hirschberg — was auf eine Pseudomorphosierung auch von Cristobalit durch Tridymit hindeutet —, verstärkt den Eindruck, daß in Tridymit und Cristobalit in der Tat zwei nach ihren Existenzbedingungen verschiedene Zustände oder eigentlich Zustandsgruppen vorliegen.

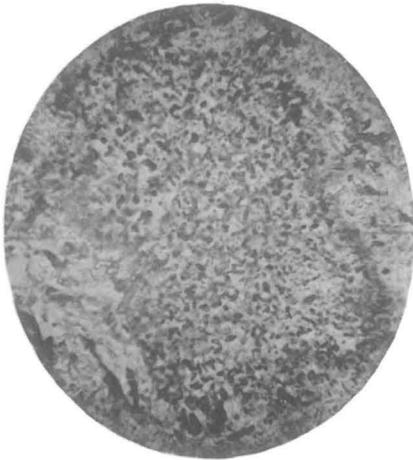
## Tafel-Erklärungen.

### Tafel I.

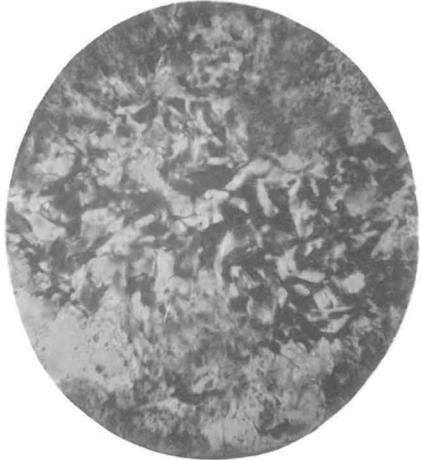
- Fig. 1. (p. 4.) Rutilwölkchen in Glas mit Tridymitfasern zwischen Quarzresten.  
Gew. Licht. Vergr. ca. 200 ×.
- „ 2. (p. 4.) Eisen- und titanreiches Silikat (dunkel) (? Hornblende) zwischen Tridymit und Quarzresten.  
Gew. Licht. Vergr. ca. 200 ×.
- „ 3. (p. 5.) Oktaedrische Skelette von Cristobalit in der äußersten Zone eines bis zum Abtropfen geschmolzenen Dinassteins (Gewölbesteiu), zusammen mit viel dunklem Spinell und Magnetit.  
Gew. Licht. Vergr. ca. 200 ×.
- „ 4. (p. 5.) In feine Tröpfchen zerteiltes Glas, dünne Häutchen zwischen Cristobalit bildend; letzterer mit „Ballenstruktur“.  
Gew. Licht. Vergr. 250 ×.

### Tafel II.

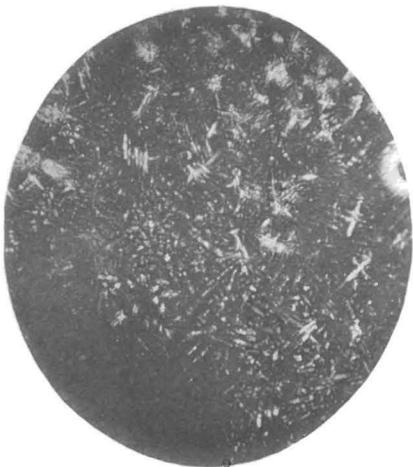
- Fig. 5. (p. 8.) Cristobalit mit Zwillingslamellen nach (111).  
Nicols gekreuzt. Vergr. ca. 200 ×.
- „ 6. (p. 8.) „Ballenstruktur“ einer Zelle von Cristobalit. Die (schwarz-erscheinenden) Glashäute umgrenzen eine „Zelle“.  
Gew. Licht. Vergr. ca. 200 ×.
- „ 7. (p. 12.) Tridymitzwillinge.  
Nicols gekreuzt. Vergr. ca. 50 ×.
- „ 8. (p. 12.) Tridymit. Einfache, vielfach gegabelte Kristalle in tiefbrauner (? pyroxenischer) kristalliner Zwischenmasse.  
Gew. Licht. Vergr. ca. 40 ×.
-



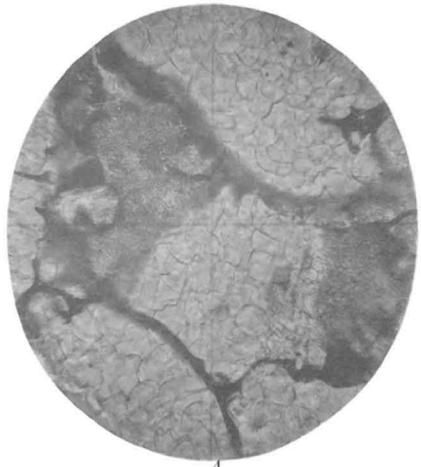
1



2



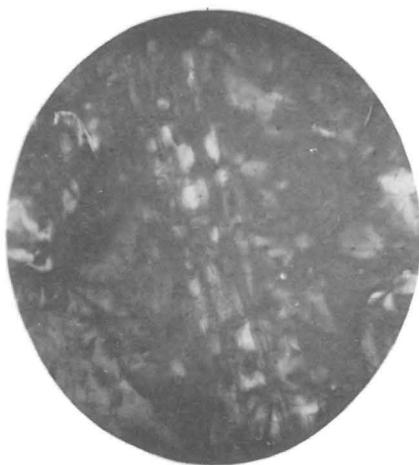
3



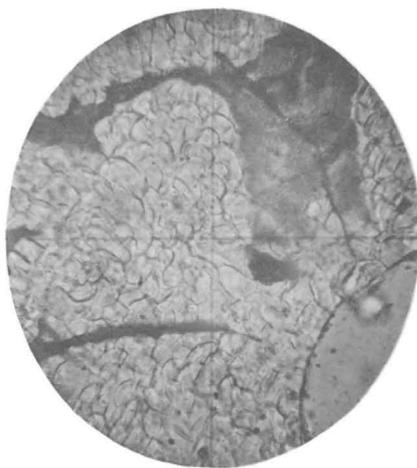
4

Carl Ebner, Kunstst., Stuttgt.

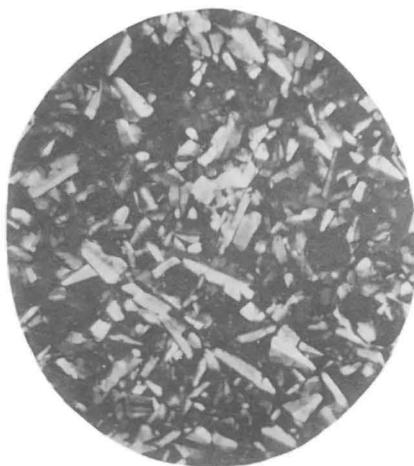
O. Mügge: Zur Kenntnis der sog. Dinassteine.



5



6



7



8

Carl Ebner, Kunstanst., Stuttgt.

O. Mügge: Zur Kenntnis der sog. Dinassteine.