

Beitrag zur Kenntniss der Umformung von Kalkspathkrystallen und von Marmor unter allseitigem Druck.

Von

F. Rinne in Hannover.

Mit Taf. VI. VII und 7 Abbildungen im Text.

Entsprechend meinem Wunsche, künstliche Umformungen von Krystallen und Gesteinen unter allseitigem Druck durch eigene Anschauung kennen zu lernen, habe ich zunächst an Kalkspathkrystallen und Marmorsäulchen eine Reihe von Versuchen angestellt, über deren Ergebnisse ich mir gestatte, im Folgenden kurz zu berichten.

Ich bediente mich der vortrefflichen KICK'schen Methode¹, liess aus nahtlosem Kupferrohr von etwa 1,5 mm Stärke und 29 mm lichter Weite 32 mm lange Cylinder schneiden und jedes dieser Rohrstücke auf ein 0,5 mm starkes Weissblechtäfelchen löthen. In die so angefertigten kleinen Gefässe (Abb. I links p. 161) wurden die zu drückenden Krystalle bezw. Marmorsäulchen gestellt und dann mit geschmolzenem Alaun umgossen. Entweder ruhten die Probekörper dabei auf dem Weissblechboden der Druckhülse als Unterlage oder aber auf einer in die Hülse vorher eingegossenen und bereits erstarrten Schicht von Alaun. Auf letztere Art konnte das zu pressende Material in dem cylindrischen Raume der Gefässe in beliebiger Höhe, z. B. in seiner Mitte, gelagert werden. Es war so bei

¹ F. KICK, Die Principien der mechanischen Technologie und die Festigkeitslehre. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure. 36. 919. 1892.

„schwebender Lage“ dafür gesorgt, dass die Versuchsobjecte allseitig von Alaun eingeschlossen waren. Beim Erstarren zog sich die Oberfläche der Alaunschmelze etwas napfförmig ein. Durch Nachfüllen wurde aber die Schrumpfung ausgeglichen und noch eine flache, über den oberen Gefässrand hinausragende Alaunkuppe geschaffen, die dann mit einem scharfen Messer ein wenig eingeebnet und geglättet wurde.

Zur Druckausübung benutzte ich eine SCHENK'sche Maschine, die mir von meinem Collegen Prof. FRESE, dem Vorstande des maschinentechnischen Laboratoriums unserer Hochschule, freundlichst zur Verfügung gestellt wurde. Der Apparat

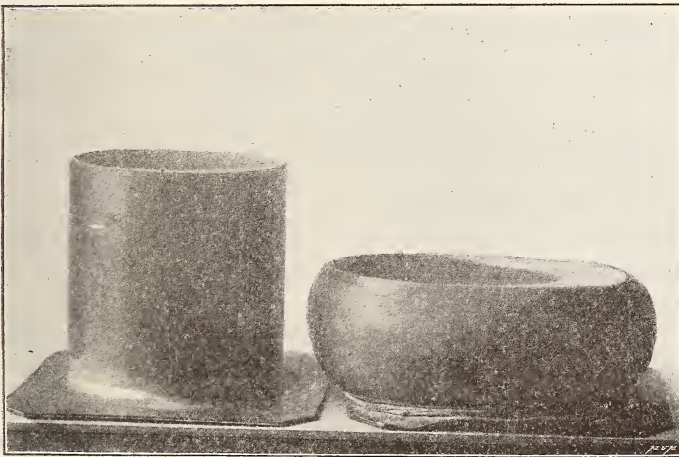


Abbildung I.

gestattete eine Druckwirkung von 50000 kg. Es war im vorliegenden Falle aber nicht erforderlich, ihn in vollem Maasse auszunutzen, da die Kupfergefäße noch nicht die Hälfte des verfügbaren Druckes aushielten. Die mit einem Kalkspathkrystall bzw. Marmorsäulchen und Alaun beschickte Metallhülse ruhte mit ihrem Weissblechboden auf einer etwa 20 mm hohen runden Stahlscheibe, und entsprechend wurde eine gleiche auf die abgeflachte Alaunkuppe gelegt. Auf das Gefäß übertrug sich der Maschinendruck durch eine sehr kräftige Eisenplatte, die mit Hilfe zweier Ansätze heruntergezogen wurde und so von oben her die auf unbeweglicher Unterlage ruhende Kupferhülse nebst Inhalt zusammenpresste.

Das angewandte Kupfer gestattete eine immerhin ziemlich weitgehende Formänderung, ohne zu zerreißen. Unter dem allmählich verstärkten Drucke wurden die Gefässe als bald niedriger, und sie wuchsen dabei bedeutend an Umfang, so dass sie erst schlank tonnenförmige und dann mehr und mehr flache Gestalt annahmen. In der Abbildung I ist rechts eine umgestaltete, von ihrer Beschickung befreite Hülse dargestellt. Die Höhe ist bei ihr von 32 mm auf 18 mm heruntergegangen, so dass das Maass der Stauchung etwa 44 % beträgt, der Umfang ist von 103 mm auf 155 mm gestiegen. Die stärkste Dehnung des Mantels stellt sich somit auf rund 50 %. Die untere, dem Weissblech aufgelöthete Öffnung des einstigen Kupfercylinders hat sich wenig vergrössert, ihr Umfang wurde durch das Lothmetall zusammengehalten, und ähnlich hat die grosse Reibung des oberen Hülsenrandes an der auf ihn gedrückten Stahlplatte eine starke Weitung verhindert. Gegenüber dem früheren kreisförmigen Querschnitt von 29 mm Durchmesser beträgt letzterer jetzt unten 34 zu 32 mm und oben 34 zu 33 mm. Im Übrigen ist die abgebildete, durch Druck umgestaltete Hülse nicht nach allen Seiten gleichmässig ausgewichen, wie man in der Abbildung an der nicht mittleren Lage der oberen Öffnung erkennt. Letztere liegt vielmehr ziemlich stark seitlich. Es hat gewiss ein nicht ganz centraler Druck dieses einseitige Ausweichen verursacht. Wesentlich für die besondere Art der Umgestaltung des Kupfercylinders und seines Inhalts ist natürlich auch die Lage des eingeschlossenen Probekörpers. Steht z. B. eine Säule aufrecht und central in der Druckhülse, so wird eher eine in radialer Richtung gleichmässige Umformung zu Stande kommen als bei schräger Säulenlage. Bei einer Pressung von meist 15 000—19 000, gelegentlich auch schon von 10 000 kg trat in den gestauchten Kupferhülsen Rissbildung ein, erst als ein zartes, meist in einem radialen Verticalschnitt verlaufendes Spältchen, das sich aber dann, auch ohne dass im Drücken weiter vorangegangen wurde, durch Ausweichen der Spaltenwände wie eine Schnittwunde in gespannter Haut erheblich erweiterte. Aus dem Riss trat die Alaunfüllung als zerkrümelnde, zuweilen geschieferte Masse heraus. Mit der Rissbildung im Gefäss wurde die Druckausübung stets abgebrochen. Da die Hülsen einen Querschnitt von etwa

8 qcm hatten, würde eine Pressung von 15000 kg einem Druck von 1875 kg/qcm entsprechen. Da die gestauchten Hülsen indes mit grösserer Fläche der drückenden oberen Eisenplatte anlagen, verringert sich diese Zahl entsprechend, z. B. bei dem in Abb. I rechts abgebildeten Gefäss auf etwa 1200 kg/qcm.

Ein solcher Druck, der einer Gesteinslast von etwa 5000 m Höhe entspricht, reichte unter den geschilderten Umständen aus, um z. Th. ausserordentlich starke Umgestaltungen an den in Alaun eingeschmolzenen Kalkspathen und Marmorsäulen hervorzurufen. Die erzielten Wirkungen liessen sich bei dem angewandten Kick'schen Verfahren leicht durch Herauslösen der gedrückten Krystalle bezw. Säulchen beobachten. Es geschieht dies sehr einfach dadurch, dass man die vollen Druckhülsen in heisses Wasser legt, das den Alaun fortnimmt und die Präparate somit freilegt. Der grosse Vortheil, letztere nach dem Herausnehmen aus den Druckhülsen rundum betrachten zu können, liegt auf der Hand. Die unmittelbare Betrachtung von allen Seiten giebt natürlich eine weit vollständigere Vorstellung von den Formänderungen, als das alleinige Studium von Schnitten.

1. Druckversuche mit Kalkspathkrystallen.

Verwandt wurden zunächst klare, zumeist längliche Spaltrhomboëder von Isländer Kalkspath. An ihnen wurden die weitgehendsten Formveränderungen erzielt, wenn die Ebene einer $\frac{1}{2}R$ (01 $\bar{1}$ 2)-, somit einer Gleitfläche, wagerecht in die Mitte der Druckhülse, also in die Ebene der grössten Ausbauchung der Kupfergefässe gelagert wurde. Fig. 2 auf Taf. VI stellt etwas vergrössert ein unversehrtes längliches, klares Kalkspathspaltstück dar. Es hat das Kantenmaass von etwa 18 zu 6 zu 5 mm. Ganz ähnliche längliche Kalkspathrhomböeder lagen den beiden in Fig. 1 und Fig. 3 Taf. VI abgebildeten Druckpräparaten zu Grunde. Dieselbe Gruppe ist in den Fig. 4, 5, 6 Taf. VI von der Seite bildlich dargestellt.

Besonders im Hinblick auf die Wirkungen des Gebirgsdruckes in Gesteinen war es mir von grossem Interesse, diese unter allseitigem Druck so weitgehend umgeformten Kalkspathkrystalle rundum betrachten zu können und ihre erstaun-

lichen und zierlichen, ohne Lösung des äusseren Zusammenhalts vor sich gegangenen Gestaltsveränderungen zu studiren. An Stelle der etwa 18 mm langen, 6 zu 5 mm breiten, scharfkantigen Rhomboëder, die derart im Alaun gelagert waren, dass die der Längsrichtung entsprechende $-\frac{1}{2}R$ (01 $\bar{1}$ 2)-Fläche wagerecht verlief, liegen nun fast blattartige, randlich eigenartig zerschlitzte Körper vor. Wie zu erwarten, ist die Auswalzung in der Ausweitungsebene der Druckhülsen erfolgt, und zwar ist bei gleichzeitiger Verdünnung das 18,5 mm lange und etwa 9 mm (zwischen zwei parallelen Rhomboëderkanten gemessen) breite Spaltrhomboëder, aus dem das Präparat der Fig. 1 Taf. VI hergestellt wurde, auf eine Länge von 36 mm und eine Breite von 19 mm ausgewalzt, so dass das Maass der Verlängerung und ebenso das der Verbreiterung etwa 100 % beträgt. Die entsprechenden Zahlen des Präparats der Fig. 3 Taf. VI sind 94 % Verlängerung und sogar 180 % Verbreiterung. Im Allgemeinen sind die randlichen Theile der Kalkspathblätter am dünnsten. Stellenweise liegen Dicken von nur einem geringen Bruchtheil eines Millimeters vor. Der dünne Randsaum umgibt eine Mittelrippe, die aber, wie die Seitenansichten Fig. 4 und Fig. 6 erkennen lassen, in ihrem Verlauf an Stärke wechselt. Es folgen hier dünnere und dickere Theile aufeinander. Besonders eigenartig ist die fast menschenähnliche Fig. 4, bei der auf einen kopfförmig dicken Endtheil eine dünne, lang halsartige Partie u. s. w. folgen. Bei noch weiter fortgeführter Auswalzung wäre es bei dem Präparat der Fig. 4 wahrscheinlich bald zu einer förmlichen Zerschnürung in Theilstücke gekommen, ähnlich wie man es in der Natur z. B. bei Diabaslagern sieht, die, zwischen Thonschiefern eingeschaltet, gelegentlich in kuchenförmige Theile zerquetscht sind. In der That konnte auch die entsprechende Erscheinung bei starker Auswalzung von Kalkspathrhomboëdern erreicht werden. Aus einem länglichen Rhomboëder erhielt ich z. B. drei einzeln liegende, unregelmässig blattförmige Quetschlinen.

Andererseits ist es aber auch möglich, ursprünglich getrennte Krystalle durch Pressung fest ineinander zu drücken. So stellte ich z. B. einen Versuch an, bei dem ein säulenförmiger Kalkspathkrystall derart in ein Rhomboëder ein-

gedrückt wurde, dass die Krystalle ohne Bruch des Ganzen von einander nicht getrennt werden können.

Im Hinblick auf die Abbildungen Fig. 1 und 3, sowie 4 und 6 Taf. VI erübrigt sich wohl eine eingehendere Formbeschreibung der den Figuren zu Grunde liegenden Körper. Es sei an dieser Stelle aber darauf aufmerksam gemacht, dass die Mitteltheile der Präparate noch die einstige längliche Rhomboëderform, jedoch zuweilen mit veränderten Winkeln, andeuten. So stossen stellenweise Flächen unter etwa 115° miteinander zusammen, während ihr Neigungswinkel ursprünglich $105^{\circ}5'$ betrug. Bemerkenswerth ist hier ferner eine treppenförmige Verschiebung der Theilchen nach einer R (1011)-Fläche, die den Mittelpartien des Präparats Fig. 1 Taf. VI ein zierlich symmetrisch geripptes Aussehen giebt.

Beim Herauslösen der Druckpräparate aus ihrer Alaunhülle ist ausser der eigenartigen Formänderung weiterhin der Verlust der Durchsichtigkeit auffällig. Die gepressten, früher ganz klaren Krystalle sind schneeweiss, also undurchsichtig geworden. Bereits 1886 giebt O. LEHMANN¹ Entsprechendes vom Isländer Doppelspath an, den der Genannte in Blei einschmolz und dann in dieser Umhüllung mit dem Hammer bearbeitete. Er berichtet, dass auf diese Weise klare Kalkspathe weiss werden.

Die Festigkeit der gepressten Kalkspathe ist, wenigstens in den stark verquetschten Theilen, sehr gering. Sie sind hier locker, zerreiblich, selbst abfärbend. Man muss die Präparate vorsichtig behandeln, um nicht die zarten Spitzensäume abzubröckeln. Widerstandsfähiger sind die dicken Mitteltheile. Das specifische Gewicht eines gequetschten Präparats wurde in Kaliumquecksilberjodidlösung zu 2,65 gefunden. Alles dies deutet auf feinste Poren in den Präparaten hin.

Weitere Beispiele mehr oder minder weit getriebener Umformung von Kalkspathrhomboëdern zeigen die Abbildungen auf Taf. VII.

Fig. 7 stellt die Umgestaltung eines ziemlich gleichmässig, ohne Bevorzugung einer Rhomboëderkantenrichtung gespaltenen Kalkspaths dar. Er hat nur geringe Umformung erlitten.

¹ O. LEHMANN, Contractionsrisse an Krystallen. Zeitschr. f. Kryst. 11. 608. 1886.

Recht bemerkenswerth ist aber der Umstand, dass eine dicke Mittellamelle, wie die Figur zeigt, eine Verschiebung parallel R (10 $\bar{1}$ 1) erfahren hat.

Das Präparat der Fig. 8 leitet sich von einem länglichen Rhomboëder ab, das mit einer der beiden kleineren Spaltflächen unten auf den Boden der Druckhülse gestellt wurde, also ein wenig schräg sich in letzterer empor erstreckte. Dieser Lage entsprechend erscheint der Fuss des Präparats wenig in seiner Gestalt verändert. Wohl aber ist der Kopf kräftig gestaucht und das obere Material unter dem aus der Höhe wirkenden Druck förmlich an einer Seite der schrägen Kalkspathsäule heruntergeflossen. Auf eigenartige, sich etwa rechtwinkelig kreuzende Zonen in dem übergestülpten Theile soll weiter unten eingegangen werden.

Auch Präparat Fig. 9 stand bei seiner Herstellung in der Druckhülse auf dem Gefässboden, befand sich also dort in der Zone, die wenig in Anspruch genommen wurde im Gegensatz zu den Theilen, die sich in den mittleren und oberen Partien des Kupfergefässes befanden. Das in Rede stehende Präparat ist ebenso wie auch das der Fig. 10, ohne den äusseren Zusammenhalt zu verlieren, merkwürdig zerquetscht, faltig hin und her gebogen und förmlich wie ein Tuch zerknittert.

Schliesslich interessirt das in Fig. 11 von der Seite und in Fig. 12 von der Fläche abgebildete Präparat ausser durch seinen dünnen, den dickeren Kern umgebenden Quetschsaum dadurch, dass die mittleren Theile treppenförmige Verwerfungen nach einer Ebene von ∞ P2 (11 $\bar{2}$ 0) zeigen. Die scharfen Absätze stehen in merkwürdigem Gegensatz zu den rundlich knorpeligen übrigen Oberflächentheilen. In den grundlegenden Untersuchungen von O. MÜGGE¹ über die Structurflächen des Kalkspaths ist bekanntermaassen des Näheren auf die Rolle eingegangen, welche die Flächen des Deuteroprismas bezüglich der Cohäsionsverhältnisse des Minerals spielen. Auch hat BAUMHAUER², wie bereits O. MÜGGE angiebt, früher auf ∞ P2 (11 $\bar{2}$ 0) als Structurfläche des Kalkspaths hingewiesen.

¹ O. MÜGGE, Beiträge zur Kenntniss der Structurflächen des Kalkspaths. Dies. Jahrb. 1883. I. p. 32.

² A. BAUMHAUER, Über künstliche Kalkspatzwillinge nach $\frac{1}{2}$ R. Zeitschr. f. Kryst. 3. 589. 1879.

Fig. 13 Taf. VII stellt ein Präparat dar, das aus einem Kalkspathrhomboëder erhalten wurde, dem eine zur Längsrichtung des länglichen Spaltstückes senkrechte Fläche angegriffen wurde. Mit letzterer wurde der Probekörper central auf den Boden einer Druckhülse gestellt. Er ragte also von der Bodenmitte des Gefässes senkrecht auf. Ausser der Stauchung des Kopftheiles ist besonders bemerkenswerth die Bildung klaffender Risse, die sich vor Allem in den Übergangsstellen zwischen dem minder beanspruchten Fuss und dem übergekrepelten höheren Theil eingestellt haben.

Aus einigen der oben erwähnten und abgebildeten gepressten Kalkspathe wurden Dünnschliffe angefertigt. Die Balsamdurchtränkung hellt das, wie erwähnt, im Druckapparat schneeweiss gewordene Material im Allgemeinen wieder auf bis auf einzelne Flecke, Bänder und faserig verästelte Schnüre, die nur weisslich durchscheinen oder auch bei der zu Wege gebrachten Schliffdicke noch ganz undurchsichtig, grauweisslich trübe, bleiben. Es handelt sich bei ihnen um die besonders zerreiblichen Partien, und es ist erklärlich, dass es ausserordentlich schwer ist, auch nur Theile z. B. der randlichen, dünnen, mürben Quetschsäume im Schliffe zu erhalten.

Wie vorausszusehen, zeigt die mikroskopische Betrachtung, dass die einst in den Rhomboëdern vorhandene einheitliche krystallographische Orientirung verloren gegangen ist. In den helleren Stellen der Schliffe äussert sich dies stellenweise nur durch wellige Auslöschung, dann aber auch dadurch, dass optisch verschieden orientirte Theile mit scharfer Grenze oder durch eine mehr oder minder breite Trümmerzone geschieden aneinander grenzen. Es handelt sich also bei der Umformung z. Th. um stetige Verschiebungen, z. Th. um Lösung des Zusammenhangs einst benachbarter Theile entweder unter Bildung einer scharfplinigen Grenze oder unter Zermalmung der Grenztheile zu sehr feinem Grus. Die in Rede stehenden Erscheinungen haben stellenweise grosse Ähnlichkeit mit den wohlbekannten Verhältnissen der Quarze gequetschter Granite.

Die mit blossem Auge sichtbaren trüben Flecke und trüben Bänder der Schliffe bestehen natürlich ebenfalls aus feinem Grus, der im polarisirten Lichte ein sehr feines Mosaik

kleinster Körnchen darstellt, so dass sich das oben erwähnte mehrlartige Abfärben solcher Theile erklärt.

Dazu kommt nun in den klaren Partien eine oft sehr grosse Zahl von Zwillinglamellen, die durch den Druck entstanden sind. Sie haben sich nach allen drei Flächen von $-\frac{1}{2}R$ (1012) entwickelt. Ihre Vertheilung ist ungleich, stellen-

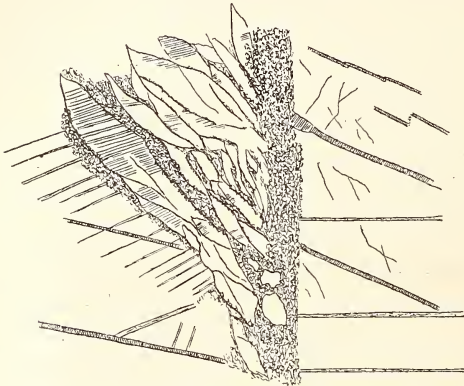


Abbildung II.

weise fehlen sie in kleineren Bezirken, stellenweise herrscht ein Zug gegen die beiden anderen vor und beschränken sich letztere auf kurze, bald auseinanderlaufende Ansätze, stellenweise sind zwei Züge stark entwickelt, oder auch erscheinen die Lamellen ziemlich gleichmässig nach den drei

möglichen Richtungen. Verschieden im selben Präparat ist ihre Breite. Eine deutliche Beziehung zu der mehr oder minder grossen Inanspruchnahme tritt in der Hinsicht bei Schliften heraus, die aus dem auf Taf. VII Fig. 13 abgebildeten Präparat stammen. In den wenig beanspruchten und deshalb kaum umgeformten untersten Theilen des länglichen Rhomboëders treten die Lamellen in drei Zügen sehr breit auf. Sie werden schmäler und schmäler und immer enger aneinander geschärt, je mehr man sich den gestauchten und über den Fuss herübergequetschten oberen Theilen nähert. Nicht selten setzen die Zwillingbänder im Schliff scharf ab, um ein wenig seitlich verschoben wieder aufzutauchen. Durch Wiederholung dieses Verhaltens kommt stellenweise ein Bild zu Stande, das ganz der Kartirung von Systemen paralleler, vielfach querschlägig oder spiesseckig verworfener Gänge gleicht. Hervorzuheben ist ferner, dass die Lamellenzüge nicht selten in sanften Bögen verlaufen.

Bei starker Vergrösserung erkennt man oft, dass die Zwillinglamellen nicht einheitlich, sondern feinfaserig, meist

etwas schief zu ihren scharfen seitlichen Rändern quergestreift sind. Sie sind also in sich noch einmal vielfältig zwillingslamellirt. Natürlich ändert sich das Bild je nach der Lage des Schliffs zu den Lamellen dieser Zwillingsstreifung zweiter Ordnung, und es kann z. B. kommen, dass zwei Züge von Zwillingsbändern die Querstreifung sehr deutlich zeigen, der dritte Zug hingegen mehr einheitlich aussieht, da in ihm die Secundärlamellen mehr nach ihrer Fläche getroffen sind.

2. Druckversuche mit Marmorsäulen.

Auch die Umformungen, welche Säulen aus carrarischem Marmor, eingeschlossen durch Alaun in den oben erwähnten Druckhülsen, erlitten, sind sehr drastischer Art.

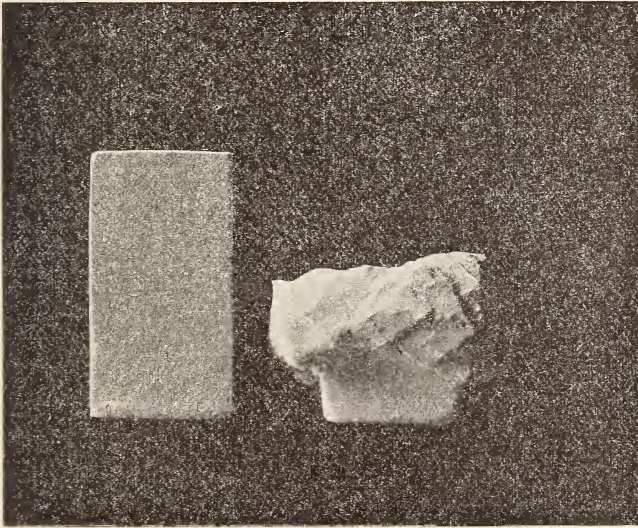


Abbildung III.

KICK (a. a. O.) hat seiner Zeit Marmorkugeln in der angegebenen Weise gepresst und rotationsellipsoidische Umgestaltungen erreicht. In neuerer Zeit haben ADAMS und NICOLSON¹ die Ergebnisse einer ausgezeichneten Untersuchung veröffentlicht,

¹ F. D. ADAMS and J. TH. NICOLSON, An experimental investigation into the flow of marble. Phil. Transact. of the R. Society of London. Ser. A. 195. 1901.

bei der sie sauber abgeschliffene Marmorcylinder, eingeschlossen in eng anliegende Eisenmäntel, in ihrer Längsaxe drückten. Sie erhielten schlank tonnenförmige Druckpräparate, während bei meinen Versuchen insbesondere kräftige Stauchungserscheinungen stark hervortreten.

Ich benutzte durch Schleifen hergestellte Säulen mit etwa quadratischem Querschnitt von 12 mm Kantenlänge und einer den Druckgefässen angepassten Höhe von etwa 24 mm, ähnlich der in der Textabb. III links dargestellten. Aus einer solchen Säule ist z. B. das Präparat rechts in derselben Abbildung entstanden. Die Säule stand auf dem Boden der

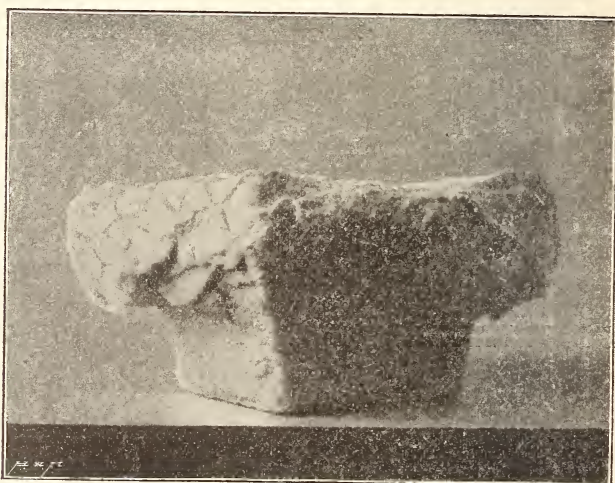


Abbildung IV.

Druckhülse auf. Ihr Fuss ist also weniger beansprucht als der Kopf. Das Maass der Stauchung ist sehr bedeutend, wie der Vergleich von links und rechts der Abb. III zeigt. Es liesse sich wohl leicht durch erneute Behandlung noch vermehren. Im vorliegenden Falle ist eine Verringerung der Höhe von 24 mm auf 16 mm erreicht, und während die waagrechten Kanten 12 mm maassen, liegt jetzt oben eine Kopfbreite von etwa 20 zu 20 mm vor. Vergl. auch Fig. 14 auf Taf. VII. Dort ist dasselbe Präparat um 45° gedreht abgebildet.

Einen ähnlichen Fall soll die vergrösserte Abbildung IV im Text erläutern. Sie gestattet, die Aufmerksamkeit be-

sonders auf die maschenförmigen Zeichnungen zu lenken, die auf der Oberfläche des gestauchten und über den Säulenfuss hinübergequetschten Kopftheiles sichtbar sind. Entsprechendes ist bereits beim Präparat der Fig. 8 auf Taf. VII erwähnt und auch bei der Fig. 14 derselben Tafel und in der Textabb. III rechts deutlich zu erkennen. Die maschenförmigen Grenzen gliedern lappig schuppige Gebilde von einander ab, deren Umriss etwa rechtwinkelig ist. Die Winkelhalbirenden der Vierecke liegen jeweils in einer horizontalen und verticalen Ebene. Ehe auf die Deutung dieser eigenartigen Structur eingegangen wird, sei über das Aussehen der Dünnschliffe kurz berichtet, die aus gedrückten Marmorsäulen angefertigt wurden.

Zum Vergleich der gepressten Säulen mit nicht künstlich beanspruchtem Material diene ein Dünnschliff aus ungedrücktem carrarischen Marmor des Gesteins, aus dem die Druckpräparate angefertigt wurden. Dieser Dünnschliff zeigt das bekannte, gewöhnliche Bild. Schliffe aus den gepressten Säulen ergaben ganz andere Verhältnisse. Geht man bei ihrer Betrachtung von den Stellen aus, die den Fuss der Säulen bildeten, so fällt zunächst die ausserordentlich grosse Fülle neu gebildeter Zwillingslamellen auf. Ziemlich jedes Korn zeigt die charakteristische Bänderung. In dem nicht gepressten Marmor ist die Zahl der Zwillingslamellen ganz bedeutend geringer. Bemerkenswerth ist, dass, wie die Abb. V zeigt, in den Körnern des Marmors zumeist nur parallel einer von den drei möglichen Richtungen nach $-\frac{1}{2}R$ (01 $\bar{1}$ 2) sich Zwillingslamellen entwickelt haben. Es wird dies damit zusammenhängen, dass zwar allseitiger, aber nach verschiedenen Richtungen verschieden starker Druck ausgeübt wurde, was

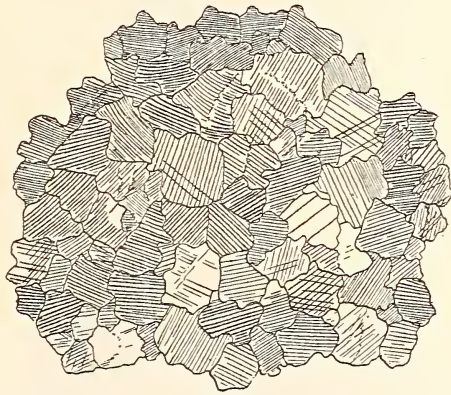


Abbildung V.

Abbildung V zeigt, in den Körnern des Marmors zumeist nur parallel einer von den drei möglichen Richtungen nach $-\frac{1}{2}R$ (01 $\bar{1}$ 2) sich Zwillingslamellen entwickelt haben. Es wird dies damit zusammenhängen, dass zwar allseitiger, aber nach verschiedenen Richtungen verschieden starker Druck ausgeübt wurde, was

in Bezug auf die Gleiterscheinungen einem einseitig gerichteten Druck gleichkommt. Eine Bevorzugung der Zwillingslamellen nach Gleitflächen, die sich der Ausweichungsebene der Druckpräparate nähern, ist nicht zu verkennen und auch verständlich.

Was weiter eine Änderung der äusseren Form der den Marmor zusammensetzenden Kalkspathkörner anlangt, so ist zu vermerken, dass Derartiges an den wenig beanspruchten

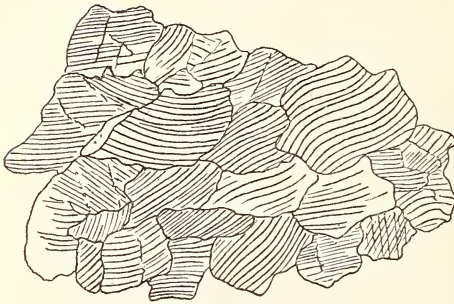


Abbildung VI.

erkennt man aber immer deutlicher Umformungen, insbesondere gebogenen Verlauf der Zwillingslamellen, Biegungen und auch Streckungen der Kalkspathkörner in der Ausweichungsrichtung,



Abbildung VII.

nun weiter eine Art Mörtelstructur, insofern von der Vergrusung verschont gebliebene grössere Kalkspathkörner in dem sie umgebenden feinen Schutt förmlich schwimmen.

Fussstellen der Säulen nicht hervortritt, abgesehen davon, dass der Rand mancher Durchschnitte infolge der secundären Zwillingslamellirung treppenförmig gezackelt erscheint.

Bei der Annäherung an den gestauchten Kopf der Marmorsäulen

verbunden mit welliger Auslöschung. Weiter erscheint zwischen den Körnern mehr und mehr grusig zermalmt Material, demzufolge die Durchsichtigkeit im Schliff stark leidet. Es sind das Erscheinungen, wie sie auch ADAMS und NICOLSON von ihren Präparaten berichten. Zuweilen erblickt man

Interessanterweise tritt an solchen Stellen eine Flusstructure mehr oder minder deutlich heraus. Es liegen dann die hellen grösseren Körner in grober Weise reihenförmig, während Bänder aus feinem Grus sie umziehen. Es ist von Interesse, zu sehen, dass die für sich in einem weiteren Grusfelde liegenden Körner auffallend wenig oder keine Zwillingslamellirung zeigen. Sie haben im rollenden Gruse gewissermaassen Schutz gefunden.

An dieser Stelle sei nun noch einmal auf den von mir bereits erwähnten Verlauf der maschenförmigen Zeichnungen auf der Oberfläche der gestauchten Marmortheile hingewiesen (vergl. Fig. 14 auf Taf. VII und die Textabbildungen III und IV). Die Maschen sind in Beziehung zu setzen mit den Gruszonen, welche die gestauchte Marmorasse durchziehen: die Maschen aussen und die Gruszonen innen sind der Ausdruck einer ungleichmässigen Beanspruchung des Materials. Man erkennt, dass in den unter Druck stehenden Körpern ziemlich regelmässig gescharte Zonen sich herausbildeten, in denen die Pressung zu einer Zermalmung führte, während zwischen diesen schichtenförmigen Zonen minder starke Einwirkung zu verzeichnen ist.

Solche Zergrusungszonen finden sich auch bei den gepressten Kalkspathkrystallen (vergl. Textabb. II), und zwar ist bei den aus ihnen hergestellten Präparaten ziemlich deutlich ersichtlich, dass die Trümmerzüge gern krystallographischen Ebenen folgen. Sie schliessen sich nämlich in den Schlifren mehr oder minder deutlich den Spuren der Zwillingslamellen und andererseits auch der Richtung von ∞P_2 (1120) an. Bei dem durch Mittelwerthe nach jeder Richtung isotropen Marmor hingegen stellt sich eine Orientirung der Zermalmungszonen lediglich nach der Richtung des in der Längserstreckung der Säulen maximal wirkenden Druckes ein. Die Maschengrenzen bzw. Gruszonen bilden zwei Schaaren von Ebenen, die sich etwa rechtwinkelig kreuzen, und deren eine Halbiringsebene vertical steht, so dass sie die Axenrichtung, in welcher der Maximaldruck bei den Säulen erfolgte, in sich enthält.

Mein College Prof. Dr. PRANDTL machte mich auf die Ähnlichkeit der in Rede stehenden Maschenstructure mit den

von LÜDERS¹ zuerst beobachteten „Fliessfiguren“ aufmerksam, die man auf blank polirten Eisenstäben, die einem Zuge oder Drucke ausgesetzt gewesen sind, zuweilen beobachtet, besonders, wenn man diese Ungleichmässigkeiten durch Ätzen oder Glühen der Stäbe deutlicher macht. Man bemerkt dann auf der Oberfläche solcher blanken Eisenstücke ein regelmässiges Liniennetz, eben die erwähnten „Fliessfiguren“. Näheren Aufschluss in theoretischer Hinsicht über die in Betracht kommenden Verhältnisse giebt eine Abhandlung von Prof. Dr. ing. O. MOHR², auf die ich gleichfalls durch Prof. PRANDTL aufmerksam gemacht worden bin. In dieser Arbeit wird nach grundlegenden theoretischen Erörterungen besonders auf Beobachtungen von L. HARTMANN³ Bezug genommen, die mit den Berechnungen MOHR's in sehr bemerkenswerther Weise übereinkommen. „Die an einem gleichartigen Körper nach Überschreiten der Elasticitätsgrenze zu beobachtenden Formänderungen erstrecken sich nicht auf die kleinsten Theile des Körpers. Sie bestehen vielmehr darin, dass Körpertheile von endlicher Ausdehnung in zwei Gruppen von Gleitschichten sich gegeneinander verschieben. Die Spuren dieser Gleitschichten an der Oberfläche des Körpers bilden die Fliessfiguren. Bei gleichbleibender Art und wachsender Grösse der Inanspruchnahme bleibt die Stellung der Gleitschichten unverändert bis zum Bruche. Oft fallen die Bruchflächen zusammen mit einzelnen Gleitschichten. Die benachbarten Gleitschichten einer Gruppe sind parallel zu einander gestellt. Beide Gruppen kreuzen sich unter einem Winkel, dessen constante Grösse nur von der Materialbeschaffenheit, also nicht von dem Spannungszustande der betreffenden Körperpunkte und nicht von der Grösse der Spannungen abhängig ist. Bei gleicher Gattung, aber wechselnder Beschaffenheit

¹ W. LÜDERS, Über die Äusserung der Elasticität an stahlartigen Eisenstäben und Stahlstäben, und über eine beim Biegen solcher Stäbe beobachtete Molecularbewegung. DINGLER's Journal. 155. 18. 1860.

² O. MOHR, Welche Umstände bedingen die Elasticitätsgrenze und den Bruch eines Materials? Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure. 44. 1524 u. 1572. 1900.

³ L. HARTMANN, Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts. 1896.

des Materials weicht der Schnittwinkel desto mehr von 90° ab, je härter und spröder das Material ist. Die Abweichung ist z. B. grösser für harten Stahl als für weichen. In Prismen, die in ihrer Axenrichtung gezogen oder gedrückt werden, wird der Gleitschichtenwinkel von der Axenrichtung halbirt. Dieser von der Axenrichtung halbirte Winkel ist in einem gezogenen Prisma stets grösser, in einem gedrückten Prisma stets kleiner als 90° . Für ein und dasselbe Material ergänzen sich die beiden Winkel zu 180° . Sie ändern sich nicht, wenn ein rechtwinkeliges Prisma in einer Axenrichtung gezogen und gleichzeitig normal zu dieser Richtung gedrückt wird. In jedem Falle wird also der kleinere der beiden von den Gleitflächen eingeschlossenen Winkel durch die Richtung der Hauptspannung σ_x , der grössere von σ_z halbirt (algebraisch $\sigma_x < \sigma_y < \sigma_z$). Die Gleitschichten bilden dementsprechend gekrümmte Flächen, wenn sich die Richtungen der Hauptspannungen von Punkt zu Punkt ändern. Die Gleitschichten entstehen nicht gleichzeitig und sind nicht gleichmässig vertheilt; die bezeichneten Unregelmässigkeiten sind desto geringer, je gleichartiger das Material ist.“

Die herangezogenen Erörterungen sind ersichtlich auf die Erscheinungen an den untersuchten Marmordruckpräparaten anwendbar. Die besonders kräftige Inanspruchnahme der umgeformten Marmortheile in Ebenen, die in Beziehung stehen zu den MOHR'schen Gleitschichten, tritt deutlich heraus. Die mikroskopische Untersuchung kennzeichnet diese Gleitregionen als Zergrusungszonen, so dass man zusammenfassend sagen kann: die oben beschriebenen, regelmässig geschaarten Zermalmungszonen der gepressten Marmorsäulen entsprechen den MOHR'schen Gleitschichten.

Es liegt nahe, aus der Betrachtung der Marmorpräparate eine Nutzenanwendung zu ziehen auf entsprechende geologische Verhältnisse, insbesondere die Entstehung von grusigen Quetschzonen unter dem Einfluss des Gebirgsdruckes zu verfolgen, sowie unter weiterer Zugrundelegung der DAUBRÉE'schen Erfahrungen die Bildung von Spalten bzw. von Gangsystemen in nicht gefalteten, bzw., wie die Marmorsäulen, nicht faltbaren Gesteinen in Betracht zu ziehen. Es seien aber diese Bemerkungen einer besonderen Mittheilung vorbehalten.

Hier werde noch die Frage berührt, ob die oben geschilderten Umformungen von Kalkspathrhomboëdern und Marmorsäulchen als plastische bezeichnet werden können. Abgesehen von den Zerschnürungen von besonders stark ausgewalzten Kalkspathrhomboëdern haben die gedrückten Körper ihren äusseren Zusammenhalt bewahrt. Trotzdem wird man nicht zugeben können, dass die betreffenden Umformungen rein plastische waren. Plastische Umformung schliesst (auch mikroskopische) Verschiebungen der Theile eines früher einheitlichen Körpers unter Herausbildung scharfer Grenzen, vollends also Zermalmungen solcher Körper zu Grus aus. Da solche Erscheinungen in Fülle bei den untersuchten Präparaten zu sehen sind, kann man die betreffenden Umformungen, trotz der Erhaltung des äusseren Zusammenhalts, nicht plastisch nennen. Darauf, dass Lösungen des Zusammenhaltes sich vollzogen haben, deutet bereits der Verlust der Durchsichtigkeit bei den gedrückten Doppelspathen hin, ferner die oft bedeutende Einbusse an Festigkeit. Wie erwähnt, sind die Druckpräparate z. Th. sehr mürbe, selbst mehlig abfärbend. Ein lediglich plastisch umgeformter Körper würde wohl keine Einbusse an Festigkeit aufweisen. Man könnte nach Prof. PRANDTL aus dem Festigkeitsunterschied zwischen ursprünglichem und umgeformtem Material geradezu ein Maass für die Plasticität herleiten.

Plastische Umformungen sind im übrigen bei Kalkspath gut bekannt; denn die künstliche Zwillingsbildung nach einer Fläche von $-\frac{1}{2}R(01\bar{1}2)$ stellt eine solche plastische Umgestaltung nach einer krystallographischen Ebene dar. Weiter sind ja bruchlose Biegungen einzelner, dann wellig auslöschender Theile, und gekrümmter Verlauf von Lamellen, auch in den in Rede stehenden Präparaten, sehr häufige Erscheinungen.

Die oben geschilderten Druckversuche sprechen selbstverständlich nicht gegen die Möglichkeit plastischer Umformungen von Kalkspath oder von Marmor, sie besagen vielmehr nur, dass bei diesen Versuchen die Bedingungen rein plastischer Umgestaltung trotz der allseitigen Umschliessung nicht erreicht waren. Dass plastische Umformungen bei Kalkspath oder anderen beliebigen Mineralien bezw. Gesteinen unter allseitigem hohen Druck möglich sind, kann nach den

stets denkwürdigen Beobachtungen und Erörterungen von A. HEIM¹ wohl nicht zweifelhaft erscheinen und wird auch in der herangezogenen, werthvollen Abhandlung von O. MOHR angenommen. Bei den oben geschilderten Versuchen war für allseitigen Druck auf die Probekörper gesorgt, so dass nach jeder Richtung ein gewisser Widerstand gegen eine Bruchtrennung der Theilchen des gedrückten Materials gewährleistet wurde. Die Anordnung der Versuche brachte es mit sich, dass der Druck in der Verticalrichtung die Pressung, die seitlich auf die Probekörper ausgeübt wurde, überwog. Es fand dementsprechend seitliches Ausweichen statt. Nach A. HEIM würde die Bedingung für plastische Umformung nun die sein, dass auch der seitliche (Minimal-)Druck noch genügend gross wäre, um eine Lösung des Zusammenhangs durch Bruch zu vereiteln. In der That harmonirt in diesem Sinne der Vergleich zwischen angewandtem Druck und der Bruchfestigkeit des Marmors von Carrara mit der HEIM'schen Überlegung. Als Bruchfestigkeit des genannten Marmors bestimmte ich rund 1200 kg/qcm. Bei den beschriebenen Versuchen an Marmorsäulen wurde eine Pressung von 10 000—19 000 kg auf die Oberfläche des Kupfergefässes ausgeübt. Dieser Druck vertheilte sich infolge der Stauchung der Druckhülsen auf eine ziemlich grosse Fläche, z. B. bei der in der Textabb. I rechts abgebildeten auf etwa 12,5 qcm. Somit war, einen Gesamtdruck von 15 000 kg angenommen, auf jedem Quadratcentimeter Hülsenoberfläche etwa 1200 kg Druck vorhanden. Der Seitendruck auf den Probekörper war, wie eben das seitliche Ausweichen der Materialien zeigt, geringer, fiel also unter die nach HEIM für plastische Umformung nöthige Minimaldruckgrösse von 1200 kg/qcm. Um Bruch hintenzuhalten, würde nöthig sein, für einen höheren allseitigen Druck zu sorgen. Eine weitere Versuchsreihe soll sich mit dieser Bedingung beschäftigen.

Dass man es aber im übrigen bei plastischen Umformungen doch wohl nicht mit einer so einfachen, sondern vielmehr mit einer aus verschiedenen Cohäsionsverhältnissen sich zusammensetzenden Erscheinung zu thun hat, geht aus der in theo-

¹ A. HEIM, Mechanismus der Gebirgsbildung. 1878.

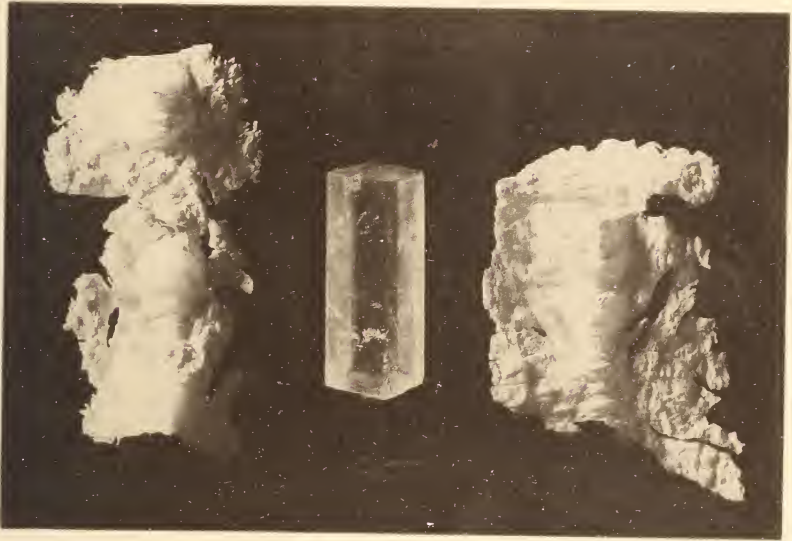
retischer Hinsicht grundlegenden oben herangezogenen Abhandlung von O. MOHR hervor.

Selbstverständlich ist es nicht allgemeine Bedingung für plastische Umformung, dass ein allseitiger, mit der Richtung in Stärke wechselnder Aussendruck herrscht, dessen Minimalgrösse noch bedeutender ist als die Bruchfestigkeit eines Materials, denn viele Körper lassen sich bei gewöhnlichem Luftdruck, der ja kleiner ist als die Bruchfestigkeit der Substanzen, durch Druck plastisch verschieben.

Eine wesentliche Unterstützung erfahren die in Rede stehenden plastischen Umformungen jedenfalls durch eine Verriegerung der „inneren Reibung“. Es geschieht dies durch Erhöhung der Temperatur. Bei den schönen Versuchen von ADAMS und NICOLSON entstanden nicht immer trübe Zonen in Marmor, falls für eine Temperatur von 300—400° gesorgt wurde. Es ist das ein Umstand, der natürlich für die Betrachtungen über plastische Formänderungen in den tieferen Theilen der Erdrinde in Betracht kommt und die HEM'sche Annahme, dass dort die Region bruchloser Gesteinsumformung ist, wesentlich unterstützt.

Weiterhin ist für die Beurtheilung der natürlichen und künstlichen Präparate umgestalteter Gesteine die Überlegung wichtig, dass die Bedingungen für plastische Umformung in der Natur (bei allmählich wachsender Überlagerung und damit steigendem Druck), wie im Allgemeinen auch beim Versuch erst allmählich erreicht werden und somit die Möglichkeit vorliegt, dass zunächst Umformung unter Brucherscheinungen sich ereignen an einem Material, das später unter die Bedingungen plastischer Umgestaltung kommt. Allseitig gleicher wachsender Druck würde diese Brüche hintanhaltend, denn unter diesen Verhältnissen ist ein Bruch wohl überhaupt unmöglich. Andererseits ist nicht zu verkennen, dass an einem in der That plastisch umgeformten Körper sich nachträglich deshalb Brüche ereignen können, weil die plastischen Verschiebungen Spannungszustände in ihm hervorgerufen haben, die sich dann beim Nachlassen des Drucks eben durch Brüche geltend machen.

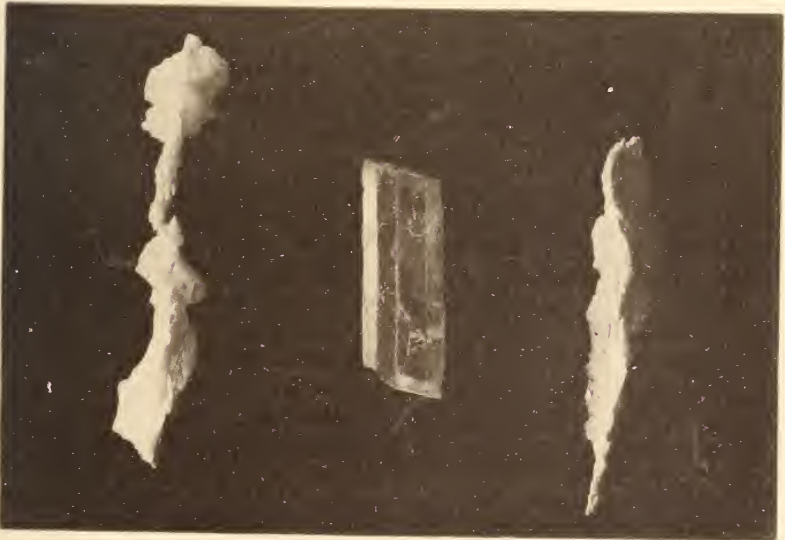
Hannover, Min.-geol. Inst. d. Techn. Hochschule.



1.

2.

3.



4.

5.

6.



7-11.



12-14.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: [1903](#)

Autor(en)/Author(s): Rinne Friedrich

Artikel/Article: [Beitrag zur Kenntniss der Umformung von Kalkspathkrystallen und von Marmor unter allseitigem Druck. 160-178](#)