

Ueber Zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der Temperatur.

Erste Mitteilung: Beobachtungen an Steinsalz.

Von

L. Milch in Greifswald.

Mit Taf. XI.

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen über die Zunahme der Plastizität kristallisierter Substanzen durch erhöhten Druck und erhöhte Temperatur faßt G. TAMMANN im Jahre 1903 in seinem Werke „Kristallisieren und Schmelzen“ in den Satz zusammen, „daß die Plastizität, die reziproke innere Reibung, eine den Kristallen eigentümliche Eigenschaft ist. Dieselbe wächst schnell mit der deformierenden Kraft und mit steigender Temperatur und erreicht bei Temperaturen in der Nähe der Schmelzkurve immer sehr erhebliche Beträge. Auch Stoffe, welche bei Temperaturen weit von ihrem Schmelzpunkt als nicht plastisch erscheinen, werden es aller Wahrscheinlichkeit nach in der Nähe ihrer Schmelzkurve“ (p. 180). Berücksichtigt man mit G. TAMMANN den von E. RIECKE geführten Nachweis (vergl. WIEDEMANN'S Annalen. 54. 731. 1895), „daß der Schmelzpunkt des Kristalls sowohl bei der Wirkung von komprimierenden, als auch von dilatierenden Kräften erniedrigt wird“ (Annalen der Physik. 4. Folge. 7. 214; Kristallisieren und Schmelzen p. 178), in Verbindung mit dem Satze G. TAMMANN'S, „daß die Kurven gleicher Plastizität der Stoffe auf der pT -Ebene mit steigendem Druck zu niederen Temperaturen gehen“ (N. SLA-

TOWRATSKY und G. TAMMANN, Zeitschr. phys. Chem. **53**. 341. 1905), so ergibt sich die hohe Bedeutung dieser Tatsachen für die Frage nach der Entstehung sekundärer Parallelstrukturen in verfestigten Gesteinen. Die Plastizität der Gesteinsgemengteile unterhalb der Erdoberfläche wächst nicht nur in dem Grade, wie es der Summe aus der Wirkung der erhöhten Temperatur für sich allein und der Wirkung des erhöhten Drucks für sich allein entspricht, sondern jede verstärkt die Wirkung der andern und zu beiden tritt noch die Wirkung der Schmelzpunkterniedrigung durch den Druck hinzu. Berücksichtigt man, daß mit Zunahme der Tiefe wenigstens bis zu den für die Gesteinsumformung in Betracht kommenden Tiefen Druck und Temperatur gleichzeitig zunehmen, so ergibt sich eine sehr bedeutende Zunahme der Plastizität für die Gesteinsgemengteile mit zunehmender Tiefe im Vergleich mit dem Verhalten dieser Gebilde an der Erdoberfläche.

Gegen diese Erwägungen ist ein Widerspruch nur möglich, wenn man im Gegensatz zu den Physikern, die in der Plastizität eine quantitative Eigenschaft der Stoffe erblicken (vergl. F. AUERBACH: Plastizität und Sprödigkeit, Ann. d. Phys. N. F. **45**. 277 ff. 1892; Kanon der Physik. p. 121. 1899), bestimmte Minerale für absolut spröde hält und außerdem das Verhalten dieser Minerale gegen Gestaltänderung, wie es sich bei den physikalischen Verhältnissen an der Erdoberfläche darbietet, auf die Zustände in größeren Tiefen der Erdrinde überträgt. Obgleich C. DOELTER in seiner „Physikalisch-chemischen Mineralogie“ (p. 159. Leipzig 1905) eine Erhöhung der Plastizität der Gesteine durch Erhöhung von Druck und Temperatur annimmt und ausdrücklich auf die Dynamometamorphose verweist, führt er doch, auf Angaben E. WEINSCHENK's (Centralbl. für Min. etc. 1902. p. 161) Bezug nehmend, l. c. aus: „Bei Quarz führt dagegen die geringste Einwirkung mechanischer Kräfte zur Zertrümmerung; man kann daher das Verhalten bei Marmor nicht auf den Quarz oder ein entsprechendes Gestein, wie Gneis, übertragen.“ Demgegenüber darf wohl bei der Wichtigkeit der Frage darauf hingewiesen werden, daß ein gegen WEINSCHENK's Behauptung von der „Sprödigkeit“ des Quarzes im Jahre 1904 von mir

veröffentlichter Aufsatz (Centralbl. f. Min. etc. 1904. p. 181—190), in dem die Häufigkeit plastisch umgeformter, kamptomorpher Quarzkörner nachgewiesen und ein besonders schönes Beispiel abgebildet und beschrieben wurde, bisher kaum Widerspruch und jedenfalls keine Widerlegung gefunden hat¹. Der entgegengesetzte Nachweis, daß der Quarz wirklich bei der geringsten Einwirkung mechanischer Kräfte der Zertrümmerung anheimfällt, würde allerdings die Annahme dynamometamorpher Entstehung für einen großen Teil der kristallinen Schiefer mindestens sehr erschwert haben.

Es sind nun an Mineralen erfolgreiche Versuche über Zunahme der Plastizität durch sehr hohe Temperaturen (C. DOELTER, TSCHERMAK's Min. Mitt. 22. 297 ff., spez. 298 ff., A. H. DAY und P. F. ALLEN, Zeitschr. phys. Chem. 54. 1 ff., spez. 33. 1906), durch hohe Drucke (F. RINNE, dies. Jahrb. 1903. I. 160 ff., 1904. I. 119 ff.) sowie durch hohen Druck bei erhöhter Temperatur (F. D. ADAMS und H. NICHOLSON, dies. Jahrb. 1902. II. -252—254-) ausgeführt worden²; wünschenswert erscheinen Versuche, die bei möglichst geringem Druck und bei möglichst wenig erhöhter Temperatur eine deutliche Zunahme der Plastizität erkennen lassen, um petrogenetische und geologische Folgerungen auch auf nicht zu tiefe Teile der festen Erdrinde übertragen zu können: in je höheren Gebieten der Erdrinde sich entsprechende Vorgänge

¹ Der einzige, mir gegen meine Auffassung der Verhältnisse in dem l. c. beschriebenen Konglomerat bekannt gewordene Einwand, C. DOELTER's Bemerkung in seiner Petrogenesis (Braunschweig 1906): „Es handelte sich aber hier wohl um Plastizität unter Gegenwart von Lösung nach der BECKE'schen Erklärung“ (Anm. p. 213), gibt zunächst prinzipiell die Möglichkeit einer sekundären Gestaltsveränderung beim Quarz zu, erledigt sich aber im speziellen Fall durch einen Hinweis auf die Beschaffenheit des Gesteins: die Gerölle sind verkittet „durch einen mittel- bis feinkörnigen Sandstein mit eisenschüssig tonigem Cäment“, das natürlich nicht in diesem Zustande vorliegen könnte, wenn sich chemische Einwirkungen von irgendwelchem Belang auf das Gestein geltend gemacht hätten (Centralbl. f. Min. 1904. p. 182, vergl. auch die Abbildung auf p. 183).

² Vergl. die Zusammenstellungen O. LEHMANN's in seinem Werke: Flüssige Kristalle (Leipzig 1904), die auch die ältere sowie die physikalische und technische Literatur berücksichtigen (p. 10—19, 98—106).

annehmen lassen, desto größere Bedeutung erlangen sie für die Frage nach dem Wesen der mechanischen Gesteinsumwandlung und der Entstehung der kristallinen Schiefer. In Gemeinschaft mit Herrn Dr. FALKENBERG, Assistenten am physikalischen Institut der Universität Greifswald, beabsichtige ich derartige Versuche an gesteinsbildenden Mineralen auszuführen; in dieser vorläufigen Mitteilung sollen zunächst einige hierher gehörige Beobachtungen an Steinsalz ihren Platz finden.

Für den Anfang einer Untersuchungsreihe, wie sie hier beabsichtigt ist, erschien Steinsalz nach den Untersuchungen von MÜGGE und RINNE besonders geeignet: während es sich in mäßig dicken Stücken Biegungsversuchen gegenüber bei Zimmertemperatur und Atmosphärendruck spröde verhält, zeigte O. MÜGGE, daß sehr dünne Blättchen durch Drucke, die mit der Hand zu erzielen sind, Translationen und Biegungen eingehen (dies. Jahrb. 1898. I. 71 ff., spez. 138—145), und F. RINNE gelang der Nachweis, daß durch allseitigen sehr starken Druck auch dickere Stücke „in überraschend weitgehender und vollkommener Art plastisch umgeformt“ werden (dies. Jahrb. 1904. I. 118).

Die der nachfolgenden Beschreibung zugrunde liegenden Versuche lassen sich sehr einfach ausführen.

Zunächst wurden Spaltungsstücke von appr. 20 mm Länge und rechteckigem bis quadratischem Querschnitt von appr. 3 mm Seitenlänge in einer Alkoholflamme kurze Zeit erwärmt; sie ließen sich mit Hilfe von zwei Pinzetten wie Wachs biegen, ohne daß Spuren von Schmelzung an der Oberfläche der Stäbchen auftreten; auch erheblich dickere Stäbchen zeigen das gleiche Verhalten. Sodann wurden Stäbchen von den angegebenen Dimensionen in einen Heizschrank gebracht und bei verschiedenen Temperaturen auf Zunahme der Plastizität geprüft. Im Laufe der aufeinanderfolgenden Versuche, bei denen verschiedene Stäbchen verschiedenen Temperaturen ausgesetzt wurden, ergab sich, daß Stäbchen, die 20 Minuten einer Temperatur von 205° ausgesetzt waren, sich sehr leicht und sehr deutlich biegen ließen. Eine Abbildung eines auf die angegebene Weise nach Erwärmung auf 205° gebogenen

Stäbchens — beim Biegen selbst war die Temperatur durch Öffnen der Tür des Heizschrankes nicht unbeträchtlich gesunken — gibt Fig. 1; ich verdanke diese und die folgenden Zeichnungen der Freundlichkeit von Frau Dr. PHILIPP, der ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank sage. Fig. 2 gibt ein in der Alkoholflamme stärker gebogenes Stäbchen wieder. Der Schmelzpunkt des Steinsalzes wird von verschiedenen Forschern etwas verschieden, aber stets nahe an 800° angegeben; nach den neuesten Untersuchungen von RUFF und PLATO liegt er bei 820° (Ber. d. deutsch. chem. Ges. 36, 2357 ff., spez. 2363). Es ist somit beim Steinsalz in einem Temperaturbereich, der weit vom Schmelzpunkt entfernt ist, eine sehr deutliche Zunahme der Plastizität durch mäßige Erwärmung zu erzielen.

Es sollen zunächst die Erscheinungen, die sich in dem einfachsten Fall, bei der Biegung um eine Würfelkante, beobachten lassen, beschrieben werden. Zur Vereinfachung der Beschreibung wird die Aufstellung der langsäulenförmigen Spaltungsstücke hier stets so vorgenommen, daß der Querschnitt der Säule die Lage von (010) hat und die Biegung in der Ebene (001) derart stattfindet, daß die Krümmung der Kante (001):(100) resp. (001):($\bar{1}00$) das Maß der Biegung darstellt; die nach der Biegung konkave Fläche wird als (100), mithin die konvexe Fläche als ($\bar{1}00$) gestellt.

Veränderungen der Oberfläche zeigen sich bei einem in der Alkoholflamme gebogenem Spaltungsstück am deutlichsten auf der konvexen Seite ($\bar{1}00$), die verhältnismäßig matt und schon für das unbewaffnete Auge mit einer feinen, aber deutlich ausgeprägten Runzelung bedeckt erscheint. Bei mikroskopischer Beobachtung ergibt sich die Runzelung als Folge des Zusammenwirkens mehrerer Streifensysteme, von denen das eine der Kante (010):(100), also der Würfelkante, um welche die Drehung stattfand, annähernd parallel läuft, während die beiden anderen diese Richtung schneiden. Der Verlauf dieser Systeme ist natürlich von Art und Grad der Biegung abhängig, ist mithin auch an demselben Stäbchen an verschiedenen Stellen verschieden; in der Regel bleibt die vertikal verlaufende Streifung nahezu kon-

stant, während die beiden sie schneidenden Systeme in ihrem Werte und in den Winkeln, unter denen sie die Vertikalstreifung schneiden, starken Schwankungen ausgesetzt sind. Beobachtet man jedoch die Streifen in den von der Krümmung noch nicht erheblich veränderten Teilen des Stäbchens, so zeigt sich, daß die hier noch spärlichen Streifen die vertikalen Linien nahezu unter 45° schneiden; die Runzelung entsteht also durch eine Translationsstreifung nach den Flächen des Rhombendodekaeders, die an den stärker gekrümmten Partien des Stäbchens gebogen und verzerrt sind. Mit zunehmender Krümmung werden die Streifen beider Systeme dichter, die Winkel der Streifen des zweiten Systems werden schiefer, so daß spitze Rhomben entstehen; in diesem Stadium beobachtet man häufig ein Anastomosieren der Vertikalstreifung mit den die Rhomben bildenden Streifen. Durch diese Entwicklung stellt sich bei stärkster Entfaltung der Streifen gelegentlich eine Erscheinung ein, die auf den ersten Blick jede kristallographische Gesetzmäßigkeit vermissen läßt und direkt an die Skulptur von Baumrinden erinnert.

Zur Geltung als Translationsflächen kommen somit in erster Reihe Flächen von $\{110\}$, deren Zonenachse mit derjenigen Würfelkante zusammenfällt, um welche die Krümmung vorgenommen wurde, sodann die auf der gekrümmten Fläche senkrecht stehenden Flächen von $\{110\}$; die Flächen der dritten Zone, die eine Streifung parallel der Kante $(\bar{1}00) : (001)$ hervorbringen müßten, treten offenbar nur untergeordnet in Wirksamkeit, da Streifungen in der angegebenen Richtung überhaupt nur verhältnismäßig selten und auch dann nur in nicht erheblicher Zahl beobachtet werden konnten.

Die Erscheinungen auf der konkaven Seite (100) sind der Art nach den von der konvexen Seite beschriebenen völlig gleich, dem Grade nach erheblich schwächer ausgeprägt, so daß die konkaven Seiten dem unbewaffneten Auge stets glatt erscheinen und die Streifung gewöhnlich erst mit der Lupe deutlich zu erkennen ist.

Die Flächen, in denen die Biegung stattfand, (001) und $(00\bar{1})$, erscheinen dem unbewaffneten Auge ganz glatt; u. d. M. sieht man aber auch hier sehr komplizierte Liniensysteme. Als Translationsflächen machen sich die auf

(001) senkrecht stehenden Flächen von $\{110\}$ geltend; sie sind besonders deutlich an dem konvexen Rand entwickelt — in viel höherem Grade aber wird der Eindruck durch geschwungene Linien beherrscht. Diese Linien gehen von der konkaven Seite aus und ziehen nach der konvexen Seite; je weiter ihr Anfangspunkt von der Biegungsstelle entfernt ist, desto flacher sind sie geschwungen, je näher er dieser Stelle liegt, desto stärker sind sie gekrümmt; die flach geschwungenen erscheinen nicht selten durch Zusammenwirken mit den Translationsstreifen eigentümlich gezähnt. Die ganze Erscheinung ist schwer zu beschreiben; in der etwas vergrößerten Fig. 3 sind die charakteristischen Eigenschaften in ihrer Abhängigkeit von der Krümmung wiedergegeben. Fig. 4 zeigt die Erscheinungen, die sich am konvexen Rande an der Stelle stärkster Krümmung beobachten lassen, in stärkerer Vergrößerung.

Am wenigsten charakteristisch sind die Erscheinungen auf (010); hierbei ist aber zu berücksichtigen, daß diese Endflächen der Säulchen von der Krümmung direkt am wenigsten betroffen wurden. Neben Translationsstreifung und eigentümlich gekrümmten Linien, die an die Linien erinnern, die TRESCA bei durch Druck zum Fließen gebrachten Kristallen erhielt, ist bisweilen auch Neigung zum Aufblättern nach (001) zu beobachten.

Ein Vergleich der Verteilung der Substanz in dem Stäbchen vor und nach dem Biegen läßt schon in der äußeren Gestalt charakteristische Einwirkungen erkennen. Besonders zwei Erscheinungen machen sich nach dem Biegen deutlich geltend: auf der konvex gekrümmten Seite bildet sich eine breite, ziemlich flache Rinne, und auf der konkaven Seite wird die Substanz nach oben und unten gepreßt, am stärksten in der unmittelbaren Nähe der Umbiegungsstelle, so daß sich hier zwei deutliche Wülste bilden.

Es erschien wünschenswert, Andeutungen über die Art der Bewegung der Substanz zu erhalten; zu diesem Zwecke wurden auf (001) vor dem Biegen mit dem Diamanten mehrere Linien parallel den Würfelkanten eingeritzt. Diese Linien liegen nach dem Biegen nicht mehr parallel: die in der Richtung der Kante (001):(100) auf (001) angebrachten Ritze

folgen der Krümmung nur angenähert, nicht genau, und zwar nähern sie sich einander mit der Annäherung an die Umbiegungsstelle, je weiter nach außen (nach der konvexen Seite) diese Linien liegen, und sie entfernen sich in der gleichen Richtung voneinander, je näher sie der konkav gekrümmten Seite liegen. Die parallel der Kante $(001) : (010)$ eingeritzten Linien konvergieren nach einem außerhalb des Stäbchens, und zwar in dem von der konkaven Seite umschlossenen Raum gelegenen Punkte; gleichzeitig liegen sie annähernd symmetrisch zu einer Linie, die ihrer eigenen Richtung vor der Deformation entspricht. Vollständige Regelmäßigkeit im Verlauf dieser Linien ist natürlich nach der Art, wie die Biegung vorgenommen wurde, nicht zu erwarten; die Abweichungen von einer streng symmetrischen Anordnung werden um so geringer, je gleichmäßiger die Biegung von beiden Enden des Stäbchens her ausgeführt wird und je weniger sie sich aus der Ebene der Würfelfläche entfernt (vergl. Fig. 5).

Die interessantesten Erscheinungen läßt die Untersuchung der Spaltbarkeit erkennen.

Parallel (001) ist die Spaltbarkeit in den gebogenen Stäbchen weder der Art noch dem Grade nach von der ungebogener Stäbchen verschieden; es läßt sich ein gebogenes Stück mit Leichtigkeit in dünne Täfelchen nach (001) spalten. Ein solches Spaltungstäfelchen aus einem stark gebogenen Stäbchen ist in Fig. 6 abgebildet.

Die Spaltbarkeit nach (010) ist an verschiedenen Stellen des gebogenen Stäbchens in ihrem Wert und in ihrem Verlauf verschieden: an den Enden, die von der Krümmung wenig beeinflußt sind, verläuft sie parallel den (natürlich jetzt nicht mehr einander parallelen, sondern nach der Art der Biegung sehr verschiedene Winkel miteinander bildenden) Grundflächen der Säulen, die vor der Biegung die Lage von (010) resp. $(0\bar{1}0)$ hatten. Weiter nach der Umbiegungsstelle hin verlieren die Trennungsflächen ihre Vollkommenheit und ihre ebene Beschaffenheit: sie werden gekrümmt und nehmen eine im allgemeinen radiale Stellung ein, wobei sie zunächst noch annähernd senkrecht auf (001) stehen; weiterhin wird die Spaltbarkeit immer unvollkommener, die Krümmung immer stärker, so daß an die Stelle der Spalt-

barkeit ein typisch muscheliger Bruch tritt. Fig. 7 zeigt ein Spaltungsstück, das auf der einen (linken) Seite von einer deutlichen Spaltungsfläche, auf der anderen näher der Umbiegungsstelle gelegenen von einem typisch muscheligen Bruch begrenzt wird. Fig. 8 erläutert die Kohäsionsverhältnisse unmittelbar an der Umbiegungsstelle: das Stück wird auf beiden Seiten von Flächen des muscheligen Bruches begrenzt, aber die Flächen konvergieren sehr stark von der konvexen nach der konkaven Seite des gekrümmten Säulchens.

Am auffallendsten sind die Erscheinungen bei dem Versuch, parallel der gekrümmten Fläche (100) zu spalten. Auch hier ist die gute Spaltbarkeit erhalten geblieben und man kann von glatten Flächen begrenzte Stücke herausspalten, deren Spaltungsflächen im allgemeinen der Krümmung des Stäbchens folgen, aber, wenn die Spaltung nahe der konvexen Oberfläche ausgeführt wird, nach der Umbiegungsstelle konvergieren, wenn sie umgekehrt die der konkaven Seite zunächst liegenden Teile betrifft, in der gleichen Richtung divergieren (Fig. 9 und 10). Auf diesen nach der Krümmung hergestellten Spaltungsflächen fehlt auch auf der konvexen Seite die intensive Streifung, die auf der konvexen Oberfläche des gebogenen Säulchens bis zur Runzelung vorgeschritten ist. Ein ähnliches Verhalten beobachtete O. MÜGGE beim Bleiglanz; er fand hier die Translationsstreifen $//(001)$ „auf den natürlichen Oberflächen deutlicher als auf Spaltungsflächen“, die meist der Krümmung der natürlichen Flächen folgen (dies. Jahrb. 1898. I. 124).

Die Beziehungen der Richtungen der Spaltbarkeit und der Oberflächenzeichnung auf gebogenen Stäbchen sowie besonders des Verlaufes der parallel den Würfelkanten eingeritzten Linien fallen auf den ersten Blick auf und sind leicht verständlich.

Die Änderung der optischen Verhältnisse durch die angegebene Behandlung der Stäbchen ist recht gering; um mehr als einen ganz unbestimmten Eindruck einer schwachen, unregelmäßig verteilten Doppelbrechung zu erhalten, mußte ich andauernd mit eingeschobenem Gipsblättchen beobachten. Von den optischen Störungen ist nun der größere Teil gar nicht auf die Biegung zurückzuführen, sondern findet sich

teils schon an unbearbeiteten Spaltungsstücken, teils an lediglich erwärmten, nicht mechanisch beanspruchten Säulchen: mehr oder weniger unregelmäßig auftretende doppelbrechende Zonen, die oft an Sprünge gebunden sind, finden sich nicht selten in natürlichen Kristallen; die Erwärmung erzeugt verschiedene Orientierung der zentralen und der peripherischen Partien der Spaltungssäulchen¹. Infolge der zu ihrer Entstehung ungünstigen Gestalt der Spaltungssäulchen, wohl auch wegen der geringeren Erhitzung und der langsameren Abkühlung erreichen die optischen Erscheinungen niemals die Deutlichkeit und Schönheit, wie sie R. BRAUNS in seiner bekannten Arbeit (dies. Jahrb. 1887. I. 47 ff., spez. 49—51) durch schnelle Abkühlung erhitzter Steinsalzspaltungsstücke erzielte.

Für die hier behandelte Frage ist nur ein wesentlich negatives Ergebnis der optischen Untersuchung wichtig, dessen Bedeutung bei einem Vergleich mit den optischen Verhältnissen der von O. MÜGGE studierten, durch Druck gekrümmten Spaltungsblättchen (dies. Jahrb. 1898. I. 141) klar wird: während bei den nach O. MÜGGE gekrümmten Blättchen doppelbrechende Lamellen nach Flächen von $\{110\}$ sich meist sehr stark bemerklich machen, treten sie hier zurück und scheinen auch ganz fehlen zu können. Bezeichnenderweise finden sich diese doppelbrechenden Lamellen verhältnismäßig stark entwickelt in den oben beschriebenen, bei 205° nicht sehr intensiv gekrümmten Stäbchen, während sie viel stärker, aber bei höheren Temperaturen gebogenen Stäbchen gänzlich fehlen können. Die optischen Anomalien längs den Translationslamellen erklärt O. MÜGGE (l. c.) durch die große Reibung, unter der sich die Translation wegen der Biegung vollzieht; das Fehlen oder Zurücktretten dieser Anomalien weist auf eine sehr bedeutende Verminderung der Reibung durch Temperaturerhöhung. Hierfür spricht auch die Tatsache, daß Stäbchen, die sich wegen größerer Dicke oder geringerer Temperaturerhöhung schwerer biegen als andere, deutlichere Anomalien längs Streifen nach Flächen von $\{110\}$ aufweisen, sowie die Beobachtung, daß bisweilen die Streifen in den von der

¹ Es fiel stets in den peripherischen Teilen der Spaltungsstücke die Richtung größerer Elastizität mit der Längsrichtung des Säulchens zusammen, in den zentralen die Richtung kleinerer Elastizität.

Umbiegungsstelle weiter entfernten, weniger stark gekrümmten, aber auch weniger stark erhitzten Teilen deutlicher und besser entwickelt sind als an der Umbiegungsstelle selbst, die in der Alkoholflamme einer höheren Temperatur ausgesetzt war.

Vergleicht man mit den hier geschilderten Erscheinungen die entsprechenden Eigenschaften nicht erwärmter und mechanisch nicht beanspruchter Spaltungssäulchen von Steinsalz — die bei der Herstellung der Spaltungsstücke sich ergebenden mechanischen Beeinflussungen lassen sich natürlich nicht vermeiden — so zeigen sich im optischen Verhalten keine sehr erheblichen Unterschiede; schon E. REUSCH führte nach Betonung der „außerordentlichen Kompressibilität und Deformierbarkeit des Steinsalzes“ aus: „Es ist deswegen kaum möglich, ein Stück Steinsalz zu bekommen, das nicht, entweder durch Druck an Ort und Stelle oder durch den gewaltsamen Akt des Abspaltens, bleibende Spuren von inneren Verschiebungen und Umstellungen der Moleküle und eben damit Doppelbrechung zeigte, wie dies BREWSTER und BIOT längst beobachtet haben“ (Ann. d. Phys. und Chem., herausg. v. POGGENDORFF. 132. (208.) 444. 1867; Monatsber. Akad. d. Wiss. a. d. Jahre 1867. 223. Berlin 1868).

Mit dieser Beobachtung stimmt bis zu einem gewissen Grade die Oberflächenbeschaffenheit mancher, nicht künstlich veränderter Spaltungsstücke überein: auch auf ihnen finden sich gelegentlich Streifensysteme, die an die eigentümlichen Zeichnungen auf der Oberfläche gebogener Stäbchen erinnern, wie sie in Fig. 3 und 4 abgebildet wurden. Selbstverständlich fehlt diesen Linienzügen die starke Krümmung, die sie bei den künstlich gebogenen Stäbchen besitzen, aber sie weisen nicht selten Störungen auf, die an Flexuren erinnern: im Gebiet dieser Flexuren sind optische Anomalien regelmäßig und stark entwickelt, stärker wie in den künstlich in der Wärme viel intensiver gebogenen Stückchen. Spaltungsflächen mit diesen Zeichnungen können dem unbewaffneten Auge ganz glatt erscheinen, liefern aber auf dem Reflexionsgoniometer mehrere, oft verzerrte Reflexbilder, die gewöhnlich nicht in einer Zone liegen und somit das Vorhandensein von Krümmungen und Knickungen beweisen, die man auch gelegentlich bei intensiver Beleuchtung direkt beobachten kann.

Daß durch die Erwärmung beim Steinsalz eine sehr starke Verminderung der inneren Reibung herbeigeführt wird, erwiesen sehr zahlreiche, unter verschiedenen Bedingungen ausgeführte Versuche, das erwärmte Steinsalz auch in anderen Richtungen zu deformieren. Sie alle zeigten eine überaus große Zunahme der Plastizität durch Temperaturerhöhung, so daß nur einige Beispiele erwähnt zu werden brauchen.

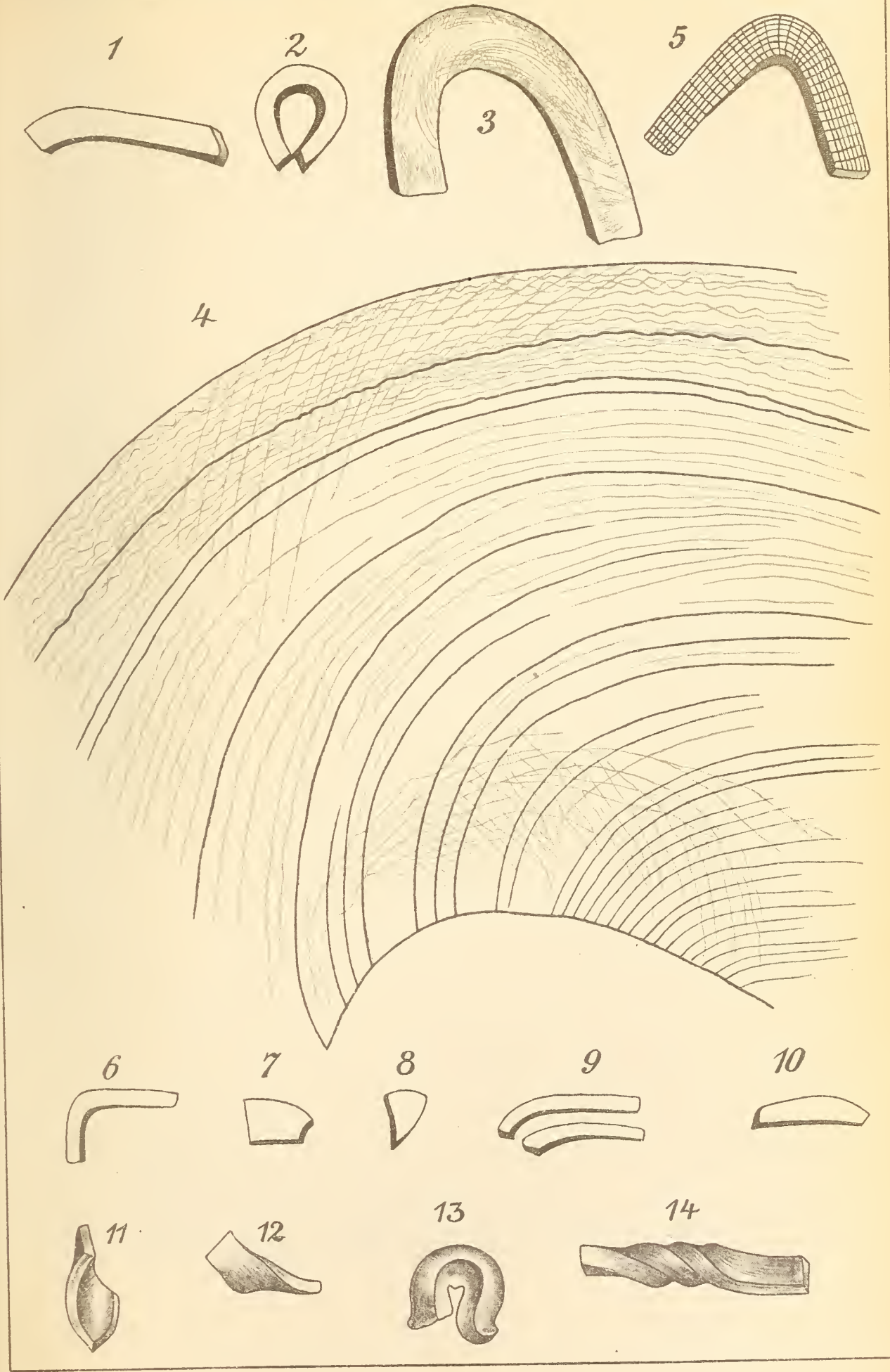
Biegungen um eine zweizählige Symmetrieachse lassen sich ebenso leicht durchführen wie um eine vierzählige: derartig gebogene Tafeln zeigen Translationsstreifen nach $\{110\}$ besonders deutlich, aber wieder ohne erhebliche optische Anomalien. Fig. 11 und 12 geben eine in dieser Weise gebogene Tafel von zwei Seiten wieder; man sieht deutlich, daß eine Würfelkante hierbei als gerade Linie erhalten bleibt: es ist dies diejenige Kante des Würfels, die mit der zweizähligen Symmetrieachse, um welche die Krümmung stattfand, in einer Nebensymmetrieebene liegt. Sehr eigentümlich gestaltete Gebilde erhält man, wenn man Spaltungsstücke von der Säulengestalt, wie sie bisher zu Biegungen um eine Würfelkante benützt wurden, um eine zweizählige Symmetrieachse biegt. Biegt man bei gleicher Aufstellung der Spaltungsstücke, wie sie der Beschreibung der oben geschilderten Versuche zugrunde gelegt wurden, um die Senkrechte auf $(\bar{1}01)$, so werden die Flächen $(\bar{1}00)$ und $(00\bar{1})$ konvex, die Flächen (001) und (100) konkav gekrümmt. Die konvexen Flächen bedecken sich mit einem dichten Netz von Translationsstreifen, die konkaven erscheinen auch hier glatt und (001) trägt wieder in der Nähe der Umbiegungsstelle einen deutlichen Wulst. Die Winkel der Zone $(001):(100)$ verzerren sich natürlich, aber die Zone bleibt insoweit erhalten, daß ihre gekrümmten Kanten in unter sich parallelen Ebenen liegen (Fig. 13). Die Spaltbarkeit nach (001) und (100) bleibt auch hier erhalten, nach (010) nimmt sie, ganz entsprechend dem Verhalten der um eine Würfelkante gebogenen Säulchen, von den Enden nach der Umbiegungsstelle an Vollkommenheit ab und geht schließlich in muscheligen Bruch über.

Biegungen um beliebige, kristallographisch nicht definierbare Richtungen lassen sich bei erwärmten Steinsalzstückchen gleichfalls mit großer Leichtigkeit durchführen.

In seiner grundlegenden Abhandlung „Über Translationen und verwandte Erscheinungen in Kristallen“ (dies. Jahrb. 1898. I. 71 ff.) hat O. MÜGGE gezeigt, daß man aus theoretischen Gründen erwarten muß, bei allen leicht biegsamen Substanzen die Translationsebene „vor allen anderen Ebenen durch Vollkommenheit der Spaltung ausgezeichnet“ zu finden. Tatsächlich lehren seine Versuche, daß keiner der leicht biegsamen Substanzen diese Spaltbarkeit fehlt, „und bei den weniger biegsamen, nämlich . . . Eis, Kalkspat und Steinsalz ist T keine oder weniger vollkommene Spaltfläche. Andererseits sind aber auch einige Substanzen trotz vollkommener Spaltbarkeit nach T nicht oder nur wenig biegsam. . . . es müssen also noch andere, vielleicht Elastizitätseigenschaften, außer Spaltung und Translation nach T die Biegsamkeit bedingen“ (l. c. p. 156). Durch die hier geschilderten Versuche zeigt sich, daß durch Wärmezufuhr Steinsalz aus der Reihe der weniger biegsamen in die Gruppe der leicht biegsamen Körper tritt; die Ursache liegt offenbar in der Verringerung des Widerstandes gegen eine Formveränderung und diese Verringerung macht sich allgemein, nicht ausschließlich in kristallographisch bestimmten Richtungen geltend, wenn auch wohl in kristallographisch verschiedenen Richtungen mit verschiedener Intensität.

Bis zu welch überraschend hohem Grade diese durch Temperaturerhöhung bewirkte Verringerung der inneren Reibung geht, zeigen am deutlichsten Torsionsversuche: in der Alkoholflamme lassen sich Steinsalzsäulchen vollständig torquieren, so daß man aus ihnen, ohne daß sich Sprünge bilden, schraubenförmig gedrehte Gebilde herstellen kann, wie sie Fig. 14 zeigt.

Die starke Zunahme der Plastizität des Steinsalzes durch Temperaturerhöhung in Verbindung mit der Überzeugung, daß die Plastizität eine quantitative Eigenschaft der Kristalle ist, rechtfertigt den Versuch, auch andere Minerale daraufhin zu prüfen, ob mit den zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln ähnliche Verhältnisse nachgewiesen werden können.



L.Milch: Zunahme der Plastizität bei Kristallen.

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: 1909

Band/Volume: [1909](#)

Autor(en)/Author(s): Milch Ludwig

Artikel/Article: [Ueber Zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der Temperatur. 60-72](#)