

Austrittspupille variierte, so daß ich, um eine bestimmte Stellung des Auges einhalten zu können, schon von vornherein ein Okulardiaphragma verwandt hatte.

Somit wird der beobachtete Winkel  $q$  ein Mittelwert aller jener den Wellennormalen innerhalb des Öffnungswinkels entsprechenden Polarisationsrichtungen und abhängig außerdem in hohem Maße von der Zentrierung des gesamten optischen Systems. Einer weiteren wesentlichen Verkleinerung des Öffnungswinkels aber wird durch die notwendige Helligkeit eine Grenze gesetzt. Möglicherweise kommt außerdem auf 111 infolge außerordentlich feiner paralleler Spuren der ausgezeichneten Spaltbarkeit nach 010 der Einfluß von Gitterpolarisation in Betracht.

Insofern gewinnen die vorliegenden Messungen ein allgemeineres Interesse, als sie darauf schließen lassen, daß den Messungen mit Hilfe der gebräuchlichen petrographischen Mikroskope infolge der bei ihnen benutzten viel größeren Öffnungswinkel recht erhebliche Fehler anhaften können, falls nicht gerade die Polarisationsrichtungen auf dem Flächenkomplex in der Nachbarschaft der untersuchten Fläche in ähnlicher Weise wenig voneinander differieren wie auf 010 von Gips. Daher ist bei Angaben von Genauigkeitsgrenzen für gemessene Auslöschungswinkel und daraus gefolgerten Schlüssen im allgemeinen Vorsicht geboten.

Berlin, Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität,  
Februar 1912.

### Beiträge zur Plastizitätsfrage.

Von **Richard Lachmann** in Breslau.

Mit 4 Textfiguren.

#### I.

Die Untersuchungen des Verfassers über die Deformationen der deutschen Kalilager führten zu einer eingehenden Erörterung der Frage, in welchem Grade die Kohäsionseigenschaften der Salzminerale, namentlich ihre Plastizität zur Erklärung der deformativen Phänomene herangezogen werden dürfen.

Da diese Erörterungen in weiterem Zusammenhang an einer etwas schwer zugänglichen Stelle<sup>1</sup> publiziert werden, so sei es erlaubt, an diesem Orte die geologisch und petrographisch für diese Frage wichtigen Erscheinungen und Gedankengänge gesondert darzulegen.

Es ist zu bedenken, daß das Interesse, welches der Geologe an der Erörterung der Plastizitätsfrage nimmt, sich nicht ohne weiteres mit demjenigen des Physikers und des Ingenieurs deckt.

<sup>1</sup> Studien über den Bau von Salzmassen. Dritte Folge, Kali. 1912.

Die Physik (AUERBACH, OSTWALD, TAMMANN) hat die Frage nach der mechanischen Umformbarkeit kristallisierter Substanzen grundsätzlich in positivem Sinne beantwortet. Für den technischen Standpunkt genügt anderseits der in hohem Grade gelungene experimentelle Nachweis der plastischen Umformung eines Minerals bzw. eines Gesteins, der Geologe verlangt aber darüber hinaus nach einer Übereinstimmung natürlicher Vorkommnisse mit den Versuchskörpern, sowie vor allem nach einer Prüfung der quantitativen Bedeutung der Erscheinung im Haushalte der Natur.

In diesem Sinne ist es von großer Bedeutung, daß man mit MILCH<sup>1</sup> eine strenge logische Trennung zwischen Mineraldeformation und Gesteinsdeformation vornimmt, wie es anderseits sehr wünschenswert ist, daß man die Begriffe bruchlose und plastische Umformung scharf auseinanderhält. Man muß außer der nicht eigentlich bruchlosen Umformung durch Kleinzerrümmung

(A.: Kataklaststruktur) folgende drei Arten der Umformung ohne Bruch unterscheiden:

B. die eigentliche plastische Umformung auf Grund mechanischer Umprägung des Minerals,

C. die Umkristallisation (Rekristallisation), soweit sie mit einer Ortsveränderung verbunden ist und

D. die Ummineralisation, das heißt das mit einer Volumenänderung verknüpfte Neuzusammentreten der molekularen Baustoffe eines Minerals zu neuen Verbindungen unter geänderten physikalischen Bedingungen.

Bei den Vorgängen unter C und D handelt es sich also um eine bruchlose (nicht plastische) Gesteinsdeformation ohne Mineraldeformation. Die Gefügeelemente werden nicht mechanisch deformiert, sondern auf dem Wege der Lösung und Wiederausscheidung umgesetzt. Nur im Falle B gehen bruchlose, und zwar plastische Gesteinsdeformationen und plastische Mineraldeformationen Hand in Hand. Es sei gleich vorweggenommen, daß dieser letztere Fall in der Natur niemals vollkommen verwirklicht ist.

Dagegen sind die experimentellen Untersuchungen über plastische Gesteinsumformung bis zu einem hohen Grade der Vollkommenheit gediehen.

Den bekanntesten Versuchen von KICK, RINNE und ADAMS zur Feststellung der Plastizität unter hohem allseitigen Druck haftete ein technischer Mangel an, der darin gelegen ist, daß es bisher nicht möglich erschien, über die Art und Weise eine Aussage zu machen, wie sich innerhalb der Druckzylinder die von der Presse

<sup>1</sup> Über Plastizität der Mineralien und Gesteine. Geologische Rundschau. II. 1911. p. 145–162.

ausgeübten Druckkräfte auf dem Versuchskörper, die ihn einschließende Schmelzmasse und die inneren Wände des Zylinders verteilen. Und dabei ist gerade diese Frage für uns von größter Bedeutung, weil ja der von der Schmelzmasse fortgeleitete Druck nach dem HEM'schen Theorem die molekulare Auflockerung vornimmt und den Zustand der „latenten Plastizität“ herbeiführt, indessen der auf den Versuchskörper selbst wirkende Überdruck der eigentlichen deformierenden gebirgsbildenden Faltungskraft entspricht. Nun ist es kürzlich v. KÁRMÁN<sup>1</sup> gelungen, eine Versuchsanordnung zusammenzustellen, bei welcher unabhängig von einander auf einen Gesteinszylinder mit Hilfe von Glyzerin ein „Manteldruck“ auf die Außenfläche ausgeübt werden kann, während zwei Druckstempel aus Nickelstahl gegen die beiden Basisflächen der Gesteinssäule gepreßt werden können und hierbei einen axialen Druck von bis zu 10 000 Atmosphären zuließen. Die Versuchskörper mit ihrer Umhüllung aus Glyzerin befinden sich dabei innerhalb eines auf 6000 Atmsphären geeichten Krupp'schen Hochdruckzylinders, und eine dünne Schutzhülse aus Messing verhindert das Eindringen der Flüssigkeit in den Gesteinskörper.

Zu den Versuchen wurde Carrarascher Marmor und feinkörniger Buntsandstein verwandt. Die Versuchsergebnisse sind in den beiden nachstehenden Diagrammen wiedergegeben, in denen als Abszisse die Verkürzung der Säulen in Prozenten und als Ordinate der Überdruck des axialen über den Manteldruck in Atmosphären eingetragen ist. Die einzelnen Kurven zeigen das Verhalten der Gesteinskörper unter dem Einfluß des beigefügten jeweiligen Manteldrucks.

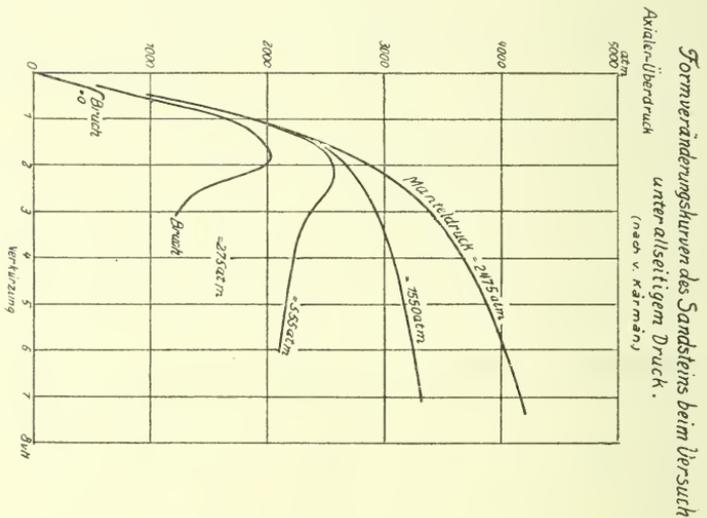
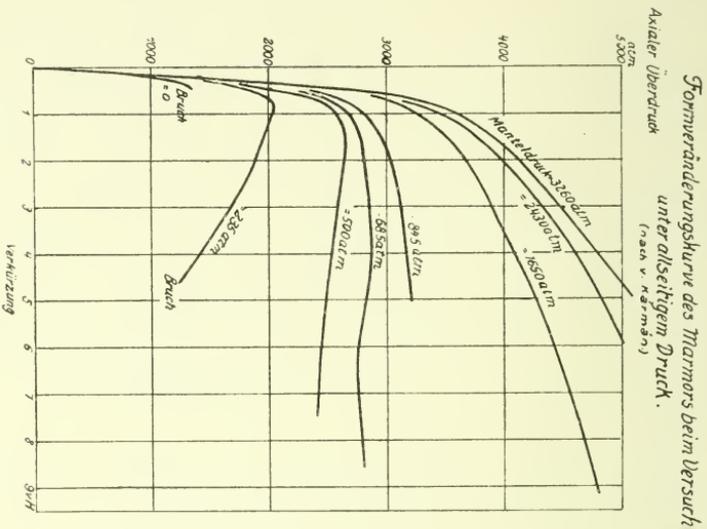
Von den wichtigen Ergebnissen dieser Experimente heben wir nur hervor, daß

1. bei Marmor und Sandstein ein allseitiger Druck von etwa 700—800 Atmosphären erforderlich ist, um bei Anwendung eines geeigneten Überdruckes plastische Deformationen zu erzielen und
2. bei sehr hohen Manteldrucken stets wachsende Überdrucke nötig sind, um noch merkliche Formänderungen hervorzurufen.

Im Gegensatz zu der herrschenden Meinung werden wir also durch die KÁRMÁN'schen Versuche darüber belehrt, daß die Plastizität der Gesteine nur bis zu einem gewissen Optimum sich mit dem zunehmenden allseitigen Drucke steigert, daß aber von einer gewissen Höhe des allseitigen Druckes an der Widerstand gegen die Deformationen (die Festigkeit) wächst, bis eine Formänderung der Gesteine außer unter abnormen Drucken nicht mehr möglich wird. KÁRMÁN hat von seinen Versuchskörpern nach der Beanspruchung Dünnschliffe hergestellt, und deren mikroskopische Untersuchung hat ergeben, daß zwei wesentlich verschiedene Arten von Formänderungen unterschieden werden müssen.

<sup>1</sup> Über Festigkeitsversuche bei allseitigem Druck. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1911. 2. 1748 ff.

a) Die Formänderung der Gesteine hauptsächlich bei geringem allseitigem Druck. Hierbei verschieben sich die einzelnen Kristallkörner gegeneinander, und es entstehen Zertrümmerungszonen und Trübungen an ihrer Grenze. Die Versuchskörper weisen auch eine



geringere Festigkeit auf, als vor der Beanspruchung. KÁRMÁN bezeichnet den Vorgang als eine intergranulare Formänderung. Er entspricht der Feinzertrümmerung oder der Kataklasstruktur der Petrographie und erniedrigt die Festigkeit der Versuchskörper.

b) Die Formänderung der Gesteine bei hohem allseitigem Druck.

Die Kristallkörner werden hierbei derart aneinandergedrückt, daß eine gegenseitige Verschiebung nicht mehr möglich ist. Die Formänderung vollzieht sich durch Ausbildung von Zwillinglamellen innerhalb der Kristallindividuen (intra granulare Formänderung). Die Beobachtung, daß in diesem Zustande der Fortschritt der Umformung sehr schnell erschwert wird — entsprechend der Steilheit der oberen Kurven in den Diagrammen — erklärt v. KÁRMÁN in der Weise, daß zunächst die Kristalle mit für die Zwillingverschiebungen geeigneter Lage, bei welchen also die Spannungslinien in den Zwillingsebenen liegen, deformiert werden. Später kommen dann die ungünstiger gelegenen Kristallkörner an die Reihe. Das Ergebnis der Umformung unter allseitigem Druck pflegt eine Verfestigung der beanspruchten Körper zu sein.

Aber noch ein Drittes scheint aus diesen Versuchen hervorzugehen. Die Verkürzung der Marmorzylinder um 5 v. H. wurde bei einem Manteldruck von 500 Atm. durch Anwendung eines Überdrucks von 2500 Atm. erzielt. Bei Steigerung des Manteldrucks auf 3260 Atm. ließ sich die gleiche Verkürzung nicht einmal unter Anbietung von 5000 Atm. erreichen. Es zeigt sich, daß die Deformationskurve mit wachsendem Manteldruck sich der Überdruckaxe nähert, so daß bei einem allseitigen Druck von 10 000 Atm. überhaupt keine meßbaren Formänderungen außer bei den gewaltigsten Überdrücken zu erwarten sind. Wahrscheinlich ist unter diesen Umständen die Aneinanderpressung der Körner eine derartige, daß selbst die geringen Bewegungen an der Oberfläche der Kristallkörner, welche in Begleitung der Zwillingbildung vor sich gehen muß, zur Unmöglichkeit wird.

Es ergibt sich demnach auf experimentellem Wege, daß eine plastische Umformung von Marmorgestein ohne Zertrümmerung des Gefüges unter Ausbildung von Zwillinglamellen innerhalb der Kristallkörner nur im Bereiche einer begrenzten Erdzone etwa zwischen 3 und 6 km Tiefe denkbar erscheint<sup>1</sup>. In höheren Lagen tritt eine nach der Oberfläche zu größer werdende Zertrümmerung der Massen ein. In Tiefen von 6 km kann überhaupt keine mechanische Gestaltsänderung mehr vor sich gehen. Diese Zahlen sind natürlich für andere Gesteine verschieden. Für feinkörnige Sandsteine dürften sie bei 4 und 8 km liegen<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Man müßte denn die Annahme machen, daß die Horizontalkräfte in der Tiefe ins Ungemessene wachsen. Dies steht mit Beobachtungen an Decken in Widerspruch. Die hangenden Schweizer Decken sind relativ schneller bewegt als die tieferen, folglich nahmen die Druckkräfte bei der Alpenfaltung nach der Tiefe zu ab.

<sup>2</sup> Ähnliche Folgerungen, daß nämlich die Plastizität unter steigendem Druck abnimmt, hat bereits DALY aus den ADAM'schen Versuchen gezogen. (The nature of volcanic action. Proc. Amer. Inst. Arts and Sc. XLVII. Juni 1911.)

## II.

Jedoch auch innerhalb der optimalen Zone für mechanische Deformation spielt dieser Faktor, wie die petrographische Beobachtung lehrt, nur eine geringe Rolle. Die Fälle sind sehr bald aufgezählt, in welchen mechanisch-homogene Biegungen von Mineral-körnern beschrieben wurden, die mit einiger Sicherheit auf Gebirgsdruck zurückgeführt werden können. Solche Fälle sind bekanntlich von MILCH am Quarz und Orthoklas beobachtet worden, und auf lastende Gesteinsmassen, wenn auch nicht auf tektonische Kräfte, sind die natürlichen Translationen an Steinsalzkristallen zurückzuführen, die jüngst von RINNE abgebildet wurden<sup>1</sup>.

Diesen verhältnismäßig spärlichen Beobachtungen an natürlichem Material, denen noch eine Reihe von Fällen an die Seite zu stellen wäre, bei denen mechanisch deformierte Mineralien in engem Verbande mit zerbrochenen oder unversehrten anderen Körpern angetroffen wurden, bei denen also für das Gestein eine plastische Umformung nicht angenommen werden darf, diesen Ausnahmefällen in der Natur steht nun die ungeheure Fülle von gebogenen und gefalteten Gesteinsmassen gegenüber, für deren Erklärung eine andere Entstehung angenommen werden mußte.

Eine solche hat die moderne Petrographie seit den Forschungen LOSSEN'S in den kristallinen Schiefen des Harzes in der Vorstellung der Umkristallisation des in große Tiefen und unter große Gebirgsdrucke geratenen Gesteinsmaterials zur Verfügung. Unter den dort herrschenden Umständen, so wird angenommen, sind selbst Schiefer und Sandsteine in dem als Bergfeuchtigkeit allgegenwärtigen und stark überhitzten Wasser löslich, und dieser Umstand gestattet, daß sich die Gesteine als Ganzes durch Verschiebung der Kristalle in Falten legen, ohne daß ein mechanisches Zerbrechen oder ein plastisches Umformen der einzelnen Mineralkörner eintritt.

Ein besonders einleuchtendes Beispiel soll erläutern, wie sich in konkreten Fällen bei der Untersuchung von dislozierten Gesteinen der Anteil der plastischen und der Lösungs-Umformung ergeben hat.

W. SALOMON beschrieb 1897 gequetschte Gesteine aus dem Mortiroletale in den Bergamasker Alpen<sup>2</sup>. Hier sind aus massigen Eruptivgesteinen auf dem Wege der bruchlosen Umformung scheinbar geschichtete kristalline Schiefer geworden. Die bruchlose Umbiegung ist aber nur zum allergeringsten Teile eine plastische. An gewissen Biotitgneisen obwiegt bei weitem der Betrag des durch Bruch ausgelösten Teiles der mechanischen Energie, wahrscheinlich weil die Umformung oberhalb der für die beanspruchten Mineralien zu ihrer plastischen Umformung erforderlichen Grenzstufe vor sich

<sup>1</sup> Natürliche Translationen an Steinsalzkristallen. Zeitschr. f. Kryst. 50, 1912. S. 259 ff.

<sup>2</sup> N. Jahrb. f. Min. etc. Beil.-Bd. XI. p. 355 ff.

ging. Bei anderen Gesteinen aber, besonders bei einem umgeformten Hornblendediorit, ist der größte Teil der mechanischen Energie in chemische Arbeit verwandelt worden. Diese Umwandlung äußerte sich einmal in der Streckung der Mineralien senkrecht zur Druckrichtung und zweitens in der Umwandlung gewisser Gemengteile der Gesteine, namentlich des Andesins, in Silikate von gleicher chemischer Zusammensetzung, aber geringerer Raumverdrängung.

Alle vier eingangs erwähnten Umformungskategorien wirken demnach zusammen, um die bruchlose Umformung zu erklären.

Was die uns besonders interessierende zweite Form anlangt, so berichtet SALOMON von einer plastischen Torsion des Quarzes in den Gneisen bis zu  $57^{\circ}$ , läßt uns aber nicht darüber im Zweifel, daß der relative Betrag dieser Art von Umformung ganz außerordentlich zurücktritt.

Es ließe sich auch an anderen Beispielen feststellen, daß die moderne Petrographie der Plastizität der Mineralien nur eine quantitativ ganz beschränkte Rolle bei der Umformung von Gesteinen zuweist. Es genügt hier der Hinweis, daß nicht ein einziger Fall derart nachgewiesen ist, daß eine in der Natur beobachtete Biegung von festen Gesteinen durch eine gleichsinnige plastische Umformung seiner sämtlichen mineralischen Gefügeelemente eindeutig erklärt werden konnte.

Der bekannte HEIM'sche Satz gilt also für feste Gesteine in der beschränkten Form, daß zwar nicht eine plastische, wohl aber eine bruchlose Umformung der Gesteine vorkommt. Was die gesteinsbildenden einzelnen Mineralien in der Erdkrinde anlangt, so gibt es für jede derselben eine optimale Tiefenzone für plastische Umformung, welche beispielsweise für Kalkspat nach den Versuchen KÁRMÁN's zwischen 3 und 6 km gelegen ist. Oberhalb dieser Zone herrscht Kataklase, unterhalb wird jede mechanische Formänderung in festem Zustande zur Unmöglichkeit.

Die Spärlichkeit im Vorkommen wirklich beobachteter plastisch deformierter Mineralien selbst in der optimalen Plastizitätszone erklärt sich ungezwungen dadurch, daß die Gestaltsänderung durch Lösungsumsatz, der Hauptfaktor der Gesteinsumformung überhaupt, für die meisten Substanzen in der genannten Zone bereits überwiegend sich geltend macht. Offenbar ist der Energieaufwand bei diesem Vorgang der geringere.

### III.

In welcher Weise ist nun das erzielte Resultat auf das spezielle Problem der Formänderung von Salzmassen anzuwenden?

Die RIXNE'schen Versuche lassen vermuten, daß die geologisch

optimale Plastizitätszone für Steinsalz bei über 3 km gelegen ist<sup>1</sup>. Wenigstens geht aus einigen allbekannten Tatsachen hervor, daß in Tiefen bis etwa 2 km die Steinsalzmassen für die geologische Betrachtung als ein durchaus spröder Körper in Rechnung zu stellen sind.

Es sei nur daran erinnert, daß in den Tiefen, bis zu denen der Bergbau vorgedrungen ist, das heißt bis zu den Tiefen von 1 km und darüber Steinsalz immer noch das sprödeste Material ist, mit dem der Bergmann zu tun hat. Auch nicht im härtesten Granit könnte man Hohlräume von Tausenden von Kubikmetern Inhalt ohne Zimmerung aufrecht erhalten, wie es in Salz- und Kalibergwerken durchaus die Regel ist.

Ebenso sprechen für die große Sprödigkeit der Salzmassen die aus über 1500 m Tiefe herausgeholtene Kerne der Salzbohrungen, und erfahrene Bohrfachleute bestätigen, daß von einem Festklemmen des Bohrgestänges, wie es infolge des überlastenden Gebirgsdruckes bei anderen Gesteinsarten vielfach der Fall ist, gerade im Salze nie etwas gespürt wird.

Es sei auch auf jene früher von mir abgebildeten vulkanischen Schlagrisse hingewiesen, welche im Steinsalz des Werratal von den explosiven Schußkanälen in derselben Weise ausstrahlen, wie die Sprünge auf einer von einem Steinwurf getroffenen Glasscheibe<sup>2</sup>. Sie verursachen nicht eigentlich eine Verschiebung der Schichten, sondern sind meistens nur durch eine Linie zertrümmerter Salzkristalle kenntlich. Ein anschaulicherer Beweis gegen ein plastisches Verhalten von Salzmassen in Tiefen von 1—2 km dürfte wohl kaum zu erbringen sein.

Daß anderseits die Reaktion auf Druck durch Lösungsumsatz gerade beim Steinsalz eine ganz prominente Rolle spielt, ist die natürliche Folge seiner leichten Löslichkeit. Für Salzmassen gilt daher in verschärftem Maße der oben für die festen Gesteine überhaupt begründete Satz, daß bei der Formänderung die Plastizität gegenüber der Umkristallisation zurücktritt.

Diese Behauptung mag durch einige Beispiele erläutert werden. POSEPNY hat das merkwürdige Vorkommen von Braunkohle im Steinsalz von Rinnik Akna wiedergegeben, welches FORTH im

<sup>1</sup> Auf der diesjährigen Greifswalder Jahresversammlung der deutschen geologischen Gesellschaft demonstrierte Professor MÜLLER die überraschend vollkommene Biegung von durch Spaltung erhaltenen Steinsalzstäbchen bei geringer Erwärmung. Salzstäbchen lassen sich sogar in einigen Wochen bei normaler Zimmertemperatur homogen plastisch deformieren. Es kann also a priori keinem Zweifel unterliegen, daß im Erdinnern bei Biegungsbeanspruchung eine plastische Deformation hätte eintreten können. Nur sind offenbar die natürlichen Bedingungen normalerweise abweichende.

<sup>2</sup> Der Salzauftrieb. Halle 1911. Figur 23.

Jahre 1850 beobachtet hat<sup>1</sup>. Wir sehen einen wohlgeschichteten Braunkohlenbrocken zertrümmert in kristallinischem Steinsalz eingeschlossen, in der Weise, daß man ohne Schwierigkeit einzelne jetzt durch Steinsalz getrennte Bruchstücke wieder aneinanderfügen könnte. Die Braunkohle ist durchzogen von einer Schicht von hellem Harz, den wir wohl mit dem als Pyropissit bezeichneten Mineral unseres Halle-Merseburger Braunkohlenreviers<sup>2</sup> gleichstellen dürfen. Jedenfalls handelt es sich noch mehr wie bei der Braunkohle um einen durch große Weichheit ausgezeichneten wachsartigen Körper von einer unvergleichlich geringeren Sprödigkeit wie Steinsalz. Wenn nun trotzdem das Steinsalz die durch Trennung seiner Einschlüsse geschaffenen Zwischenräume als scheinbar plastischere Füllmasse auskleidet, so ist doch wohl das eine klar, daß es nicht im festem Zustande mechanisch eingepreßt wurde, sondern daß eine Salzlösung in die Risse des Einschlußkörpers eindrang und daß die sich ausscheidenden Kristalle die Bruchstücke auseinandergeschoben haben.

Die Erklärung durch Umformung auf dem Wege des Lösungsumsatzes ist auch auf die ganz überwiegende Mehrzahl der Fälle anzuwenden, in denen in Salzschichten eine Biegung der Schichtung wahrgenommen werden kann. Man achte einmal auf Grubenfahrten auf jene kleinen, oft beschriebenen Fältelungen, und man wird immer und immer wieder die Wahrnehmung machen, daß die Schichten gebogen und die Kristalle gerade sind. Ja es zeigen sich Beispiele dafür, daß zusammenhängende Steinsalzkristalle, deren parallele Spaltflächen in mehreren Quadratdezimetern Fläche das Grubenlicht wiederspiegeln, zwei und mehr anhydritische Jahresringe umspannen, deren jeder auf's heftigste und nicht einmal ganz parallel dem Nachbar gefältelt ist.

Nur als Ausnahme ist zu erwähnen, daß auch in der Natur hier und da die von MÜGGE künstlich erzeugte Translationsstreifung an Steinsalzkristallen mit schwach wellig verbogenen Spaltflächen gefunden werden. Die Umstände ihres Auftretens berechtigen aber zu Zweifeln darüber, ob bei diesen Unregelmäßigkeiten in der Kristallausbildung wirklich der Gebirgsdruck als Erklärung herangezogen werden darf.

Im Berlepschacht bei Staßfurt beobachtete ich die charakteristischen Wellenstreifungen, welche diagonal an den Würfelflächen nach dem Rhombendodekaeder an wasserhellen, mehrere Zentimeter großen Kristallen verliefen. Diese Würfel aber entstammten dem jüngeren Steinsalz, und zwar einer sehr ruhig gelagerten Partie, welche in der Schichtung gar keine Faltung erkennen ließ.

<sup>1</sup> Studien a. d. Salinargebiet Siebenbürgens. Jahrb. d. k. k. Reichsanst. 1871. Tafel V Fig. 29.

<sup>2</sup> Vgl. HEINHOLD, Über die Entstehung des Pyropissits. Jahrb. d. geol. Landesanst. f. 1906. p. 114—158.

Ein größeres Material von Steinsalzkristallen mit krummen Spaltungsflächen wurde mir sodann von der Betriebsleitung der Grube Beienrode aus dem älteren Steinsalz zur Verfügung gestellt. Hier waren die Anhydrithäute stark zerrissen und gefältelt, aber zwischen der Deformation der Schichtung und den Biegungen der Spaltflächen bestand nicht der geringste Zusammenhang. Gerade Strecken der Anhydritschichten werden sowohl von geraden wie von gekrümmten Spaltflächen geschnitten und begleitet, und an Krümmungen der Schichtung ließen sich gleichsinnige und widersinnige Biegungen der Würfelflächen beobachten. Bei der nachgewiesenen Unabhängigkeit der Deformation der Schichtung von derjenigen der Kristalle ist es nicht angängig, den Gebirgsdruck für beide Phänomene zur Erklärung heranzuziehen, und damit entfällt naturgemäß die Möglichkeit, wenigstens das Zusammengesetzte der beiden Erscheinungen, nämlich die Schichtenfaltung, mit Hilfe der Plastizität des Steinsalzes zu deuten.

Ja selbst Zweifel darüber scheinen mir berechtigt, ob denn die Translationsstreuung und die Biegung der Würfel durch die Gebirgsfaltung hinreichend erklärt sind. Häufig zeigte ein und derselbe Kristall auf verschiedenen Spaltflächen Krümmungen in verschiedenen Richtungen. Eine gerichtete Kraft, wie sie der faltende Gebirgsdruck ist, schien keineswegs geeignet, derartige Formänderungen zustande zu bringen. Es sei ferner an die bekannte Erscheinung gebogener Kristalle erinnert, welche in Hohlräumen aufwachsen und die ebensowenig durch mechanischen Druck verursacht sein können wie ein im Besitze des Verfassers befindlicher stark verbogener Gipskristall aus den Schichten des Gipshutes von Hohensalza, der aus tektonischen Gründen jedenfalls niemals von gebirgsbildenden Kräften getroffen worden ist.

Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, daß Kristallbiegungen auch von der Art, wie sie künstlich mit der Kristallpresse hervorzurufen sind, in der Natur durch immanente Kräfte bei der Diagenese sich bilden können.

In diesem Sinne mögen Berufenere entscheiden, ob die Vermutung haltbar ist, daß die hier und da auftretenden krumm ausgebildeten Steinsalzkristalle durch Behinderung der Individuen bei der Umkristallisation, nicht aber durch mechanisch faltenden Gebirgsdruck zu erklären sind. In dem gegenwärtigen Zusammenhange genügt die Feststellung, daß der Lösungsumsatz, nicht die Plastizität des Materials die Schichtenfaltung der Salze verursacht hat.

Mit dieser Feststellung ist sehr wohl vereinbar, daß unter besonderen Verhältnissen namentlich in großen Tiefen und bei einer Verhinderung der Umkristallisation durch wasserdichten Abschluß einzelner Steinsalzschiechten auch in der Natur gelegentlich in seltenen Fällen die plastische Eigenschaft des Materials sich geltend

macht. So erklärt sich vielleicht das erwähnte, durch RINNE beschriebene Vorkommen natürlich deformierter Kristalle im Ton von Gräfentonna, und auch dem Verfasser ist es gelungen, zwei Fälle aufzufinden, bei denen Aggregate von Salzkristallen durch Gebirgsdruck plastisch deformiert waren.

Auf dem Kalibergwerk Niedersachsen bei Celle enthält der graue Salzton unmittelbar im Hangenden des Kalilagers eine etwa 5 cm mächtige, durch Kieserit und Carnallit verunreinigte Lage roten, großkristallinischen Salzes. Die Aufrichtung der Schichten

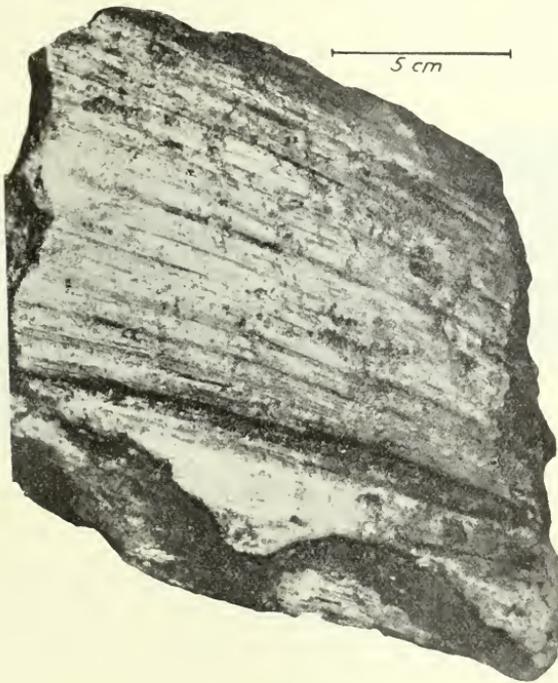


Fig. 3. Ansicht eines Steinsalzblockes mit Rutschstriemen.  
Kaliwerk Niedersachsen bei Celle.

und eine senkrechte Striemung im Ton beweisen eine mächtige Aufwärtsbewegung der Massen. Dieser Bewegung konnte die im Ton abgeschlossene Salzschiefer nur durch mechanisch-plastische Deformation der einzelnen Kristalle nachgeben, welche genau parallel den Rutschstreifen verzerrt sind.

In Fig. 3 ist ein charakteristisches Bruchstück dieses Vorkommens abgebildet. Man erkennt die lebhaft an Gletscherschrammen erinnernde Riefung und Politur an der Außenseite des Salzblocks, an dessen Rückseite die gleiche Erscheinung etwas undeutlicher zu beobachten ist.

Vor Ort war die Richtung der Striemen im Fallen der unter  $70^{\circ}$  geneigten Schicht gelegen.

Fig. 4 zeigt die Ansicht der in Fig. 3 links gelegenen Bruchfläche. Man sieht hinter der Kante die Längsstriemen und parallel dazu das Aufleuchten der Bruchflächen von leistenförmig gestreckten Steinsalzkristallen. Das Individuum am linken Rande der Abbildung hat eine Breite von 2,7—3,3 mm und ist auf 105 mm Länge gestreckt. Setzen wir eine kubische Ausbildung des Kristalls vor der Auswalzung voraus, so beträgt die Streckung etwa das 35fache. Die Kristalle sind zwischen zwei Rutschflächen gleichsam ausgeplättet worden, haben aber ihre kristallographische Orientierung noch gut bewahrt, wie aus dem parallelen Aufleuchten der Würfelspaltflächen zu erkennen ist.

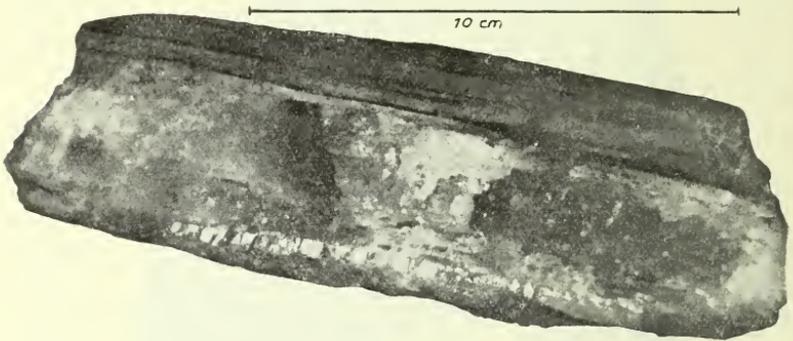


Fig. 4. Derselbe Block im Querbruch. Man beachte die Auswalzung der Steinsalzkristalle.

Eine noch weit vollkommenere plastische Umformung konnte Verfasser an einem Steinsalzkristall feststellen, der den Erdwachsgruben von Boryslaw in Galizien entstammt und demnächst besonders und ausführlich beschrieben werden soll. Es handelt sich um ein allseitig in Ozokerit eingeschlossenes Vorkommen, bei welchem die mechanischen Bedingungen der Umformung bei der Überschiebung des Karpathenrandes noch recht gut rekonstruierbar sind und das unter sehr hohem Druck auf das anschaulichste deformiert worden ist. Der Einschluß in eine weiche und plastische Masse, starke Drucke und ein absoluter Wasserabschluß sind hier zusammengetroffen, um eine für den Experimentator wahrscheinlich unerreichbar günstige Versuchsordnung zu schaffen.

Der Fall Boryslaw lehrt also, daß unter gewissen engbegrenzten Umständen die natürliche Plastizität des Steinsalzes zu noch weit absonderlicheren Formen führt, als sie experimentell bis heute erzielt worden sind.

Wenn also lediglich durch die mechanische Plastizität des

Steinsalzes, wie die ersten Veröffentlichungen von HARBORT<sup>1</sup> vermuten ließen, und lediglich durch das Heransquellen dieses plastisch gewordenen Steinsalzes aus Spalten die norddeutschen Salzstöcke erklärt werden sollten, so müßten wir in den Gruben bei Hannover keine grobkristallinischen Salzmassen, sondern ein Gefilz von zerpreßten Steinsalzfäden vorfinden<sup>2</sup>.

#### IV.

Es bleibt noch übrig, die neuen Beobachtungen an Steinsalzmassen mit den Erfahrungen der petrographisch-geologischen Forschung an schwer löslichen und deformierten Gesteinen, besonders an kristallinen Schiefen, in Vergleich zu bringen.

Die Untersuchungen an den permischen Salzmassen haben den Vorzug, daß die Erscheinungen und Ursachen der Deformation hier vollständiger und leichter zu übersehen sind als an den kristallinen Gesteinen, deren physikalisch-chemische Entstehungsbedingungen nur schwer rekonstruierbar erscheinen.

Am Steinsalz ließ sich feststellen:

a) daß die plastische Umformung des Materials gegenüber der Umformung durch Lösungsumsatz (Rekristallisation) quantitativ, d. h. als geologischer Faktor keine Rolle spielt;

b) daß die Ursache der Deformation nicht in regionalen gebirgsbildenden Kräften, sondern in Vorgängen der Selbstumformung (Autoplastie) der Salzmassen gesucht werden muß. Als wesentliche autoplaste Faktoren hat ARRHENIUS thermische Volumenänderungen und den Auftrieb des spezifisch leichten Salzes bezeichnet<sup>3</sup>.

Die erste dieser beiden Thesen steht nach der vorstehenden Darlegung mit den übrigen Ergebnissen der Petrographie in Einklang. Was die zweite anlangt, so soll hier die Frage wenigstens aufgeworfen werden, ob nicht auch in den kristallinen Schiefen, in denen die BECKE'sche Hypothese der Kristallisationschieferung zu theoretisch so anfechtbaren Konsequenzen wie die SANDER'sche „Abbildungs-Kristalloblastese“<sup>4</sup> geführt hat, nicht ebenfalls autoplaste Kräfte anstatt des Gebirgsdrucks zur Erklärung der Deformationen hinreichend und notwendig sind.

<sup>1</sup> Zur Geologie der nordhannoverschen Salzhorste. Monatsber. d. deutsch. Geol. Ges. **62**. 1910. p. 326 ff.

<sup>2</sup> Bei einer mündlichen Besprechung betonte Herr Dr. HARBORT, daß er ebenfalls die Einwirkung von Lösungsvorgängen bei der Ausbildung der Salzstöcke heranzieht, so daß nunmehr seine Anschauungen über den Bewegungsvorgang mit den von ARRHENIUS und mir geäußerten im wesentlichen harmonieren.

<sup>3</sup> ARRHENIUS und LACHMANN, Bildung der Salzlagerstätten. Geologische Rundschau. **3**. 1912. p. 139 ff.

<sup>4</sup> Über Zusammenhänge zwischen Teilbewegung und Gefüge in Gesteinen. Mineral. u. petr. Mitt. **30**. 1911. p. 298.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [1912](#)

Autor(en)/Author(s): Lachmann Richard

Artikel/Article: [Beiträge zur Plastizitätsfrage. 745-757](#)