

Die Bewegung im Festen.

Geologische Skizze von Dr. E. Reyer.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass in vielen festen Körpern Umänderungen vor sich gehen.

Der Temperaturwechsel bewirkt immer eine Verschiebung der Moleküle ¹⁾ und diese geht oft so weit, dass die Theilchen nachträglich, wenn die ursprünglichen Verhältnisse wieder hergestellt sind, nicht mehr in die alten Lagen zurückkehren. Besonders bei Körpern, deren Erstarrungs-Bedingungen wesentlich verschieden waren von den nachträglich herrschenden Existenz-Verhältnissen, wird das molekulare Gleichgewicht oft so stark gestört sein, dass die Moleküle jede Verschiebung in Folge von Temperaturwechsel gerne benützen, um in Lagen umzurücken, welche den neuen Verhältnissen entsprechen.

In gleichem Sinne wirkt jede mechanische Gewalt. Jeder Druck oder Zug und jede Erschütterung können innere Umlagerungen in festen Körpern veranlassen.

Unter derartigen Verhältnissen werden amorphe Körper allmählich krystallinisch, und krystallinische Anordnungen, welche gewissen Existenz-Bedingungen entsprechen, können unter geänderten Verhältnissen eine Umordnung erfahren. Geschmolzener, glasiger Zucker ²⁾ und amorphe Kieselsäure werden mit der Zeit krystallinisch, der in hoher Temperatur abgeschiedene monokline Schwefel wird bei niederer Temperatur mit Beibehaltung der Gestalt in ein Haufwerk rhombischer Krystalle umgewandelt ³⁾, aus Aragonit wird Kalkspath ⁴⁾, Wagenaxen und Bronzekanonen werden durch anhaltende Erschütterung krystallinisch und brüchig ⁵⁾. Der Ausdehnungs-Coëfficient der Messstangen ändert sich in Folge von langem Landtransport ⁶⁾, wiederholt geglühtes Eisen wird krystallinisch ⁷⁾, reines Zinn zerfällt unter dem Einflusse heftiger Kälte zu Krystall-Grus ⁸⁾, die Leitungsdräthe der elektrischen Batterien werden durch langen Gebrauch brüchig u. s. f.

Bei manchen Körpern ist die Lagerung der Moleküle so widerstrebend, dass ein unbedeutender Anstoss genügt, um eine Umlagerung zu veranlassen ⁹⁾: Quecksilberjodid braucht nur geritzt zu werden, schwefelsaures Nickel wird durch die Sonnenwärme umgewandelt. In anderen Fällen bedarf es jedoch einer längeren und intensiveren Ein-

wirkung und bei vielen festen Stoffen gehen die inneren Wandlungen so langsam vor sich, dass unser Leben zu kurz ist, um eine wesentliche Aenderung nachweisen zu können.

Verwickelter als die angedeuteten Verhältnisse sind jene Umlagerungen in festen Körpern, welche von Stoffwechsel begleitet sind. In manchen Fällen hat eine derartige chemische Wandlung das vollständige Zerfallen des festen Körpers zur Folge; oft aber wird der Stoff so langsam gewandelt, dass die alte Form erhalten bleibt¹⁰⁾. Je nachdem die Aenderung mit Stoffverlust oder -Aufnahme verbunden war, nehmen Gewicht und Volumen ab oder zu und nicht selten stellen sich in Folge dieser Volumänderungen Runzeln und Grübchen oder Auftreibungen an der Oberfläche des umgewandelten Körpers ein.

Durch diese Truggestalten, ferner durch Vergleichung verschiedener Stadien der Umänderung, endlich durch directe Beobachtung gewisser rasch ablaufender Prozesse sind wir nun in Stand gesetzt, das innere Leben, Wandeln und Vergehen der Gesteine zu verfolgen. Schon die Bergleute des 16. Jahrhunderts waren durch manche einschlägige Thatsachen auf das Wachsen und Absterben der Erze aufmerksam geworden. Mathesius¹¹⁾ berichtet, wie in einem alten Stollen eine Puh aus dem klüftigen Gestein gesintert, daraus Silber gewachsen. Auf St. Lorenz zu Abertam sei innerhalb zwanzig Jahren in den Klummen der Tragstempel Silber ausgeschieden worden u. s. f. Er erwähnt, wie aus Eisen, das man in Kieslauge legt, allmählich Kupfer werde, dass das Rothgildenerz in der Grube immer brauner und besser werde, dass man oft in eine verbrannte Art oder in eine grosse Druse schlage, darin man nur Staub und ergesen Erz antreffe. Das sei leicht wie ein Aschenkuchen und die Bergleute meinten, gutes Erz sei wohl einmal dagewesen, aber die natürliche Hitze im Berg habe es verbrannt.

Mathesius betont das Entstehen der Erze aus sinternden Flüssigkeiten und anderseits weiss er auch die Fälle, da man heftig heisse Gebiete im Bergwerk antreffe. Hieraus schliesst er, dass das Erz mitunter nach Art einer sich abkühlenden Galerte starr werde; anderseits meint er, dass die Hitze in den Bergen so wirke, wie in den Oefen und Retorten der Alchymisten und aus Feuchtigkeit und Dämpfen Erz mache.

Bezüglich der Art des Wachsthumes meint er, müsse man Pflanzen und Mineralien unterscheiden:

„Etliche Gewächs, als der Bäume Früchte, werden grösser, indem sie der Erde Saft in sich saugen und so theilt der Baum auch die Nahrung gleich aus in Stamm, Ast, Blätter und Blüten. Der Kalk von Karlsbad hingegen, der den Erbsen gleicht, hat seine Hülsen wie die Zwiebel und da wird der Leib immer grösser, indem das kalkige Wasser sich drum hängt und aussen anlegt, wie der Blasenstein wächst und wie der Schneeballen grösser wird, wenn man ihn im Schnee wälzet.“

Mathesius ist also der Meinung, dass die Pflanzen durch Intussusception, die Steine aber im Gegensatze durch äussere Anlagerung zunehmen und wachsen.

Nach ihm aber haben Steno und Lister gezeigt, dass auch feste Gebilde (Muschelschalen, Knochen) wachsen, indem sich in ihren Poren neuer Stoff ablagert, und seit dem Anfange unseres Jahrhunderts ist die Lehre vom schwellenden Wachsthum als fest begründet anzusehen¹³⁾.

Man kann drei Arten des schwellenden Wachsthumes unterscheiden:

Entweder werden in allen Poren des Körpers nach allen Richtungen Stoffe abgelagert (räumliches Wachsthum), oder das Anwachsen beschränkt sich auf eine bestimmte Fläche (flächiges Wachsthum), oder auf einen bestimmten Punkt (Concretion).

Das Wachsen der Organismen, das Schwellen des Thones, wenn man ihn befeuchtet, die Umwandlung von Anhydrit in Gyps, gehören in die erste Classe.

Die zweite Art des Wachsthumes kann man beobachten, wenn man im Winter einige Geschiebe am Felde aufhebt. Da findet man häufig zwischen den Geschieben und dem Boden eine doppelte Eisschicht zwischengelagert.

In diesem Falle ist also das zuziehende Wasser auf der Trennungsfläche zwischen Stein und Boden, und zwar sowohl vom Boden, als vom Stein aus gefroren und die anwachsende doppelte Eisschichte hat den Stein allmählich vom Boden emporgehoben¹⁴⁾.

Alle Conglomerate bilden sich in eben dieser Weise und dieselbe Art des Anwachsens findet auf Gängen statt. Dass durch diese Prozesse die ursprünglich aneinander liegenden Stücke durch die dazwischen anwachsenden Massen weit auseinander getrieben werden können und schliesslich in schwebenden Stellungen erscheinen, ist natürlich¹⁵⁾.

Flächiges Anwachsen kommt auch in eruptiven Massen vor. Oft ist ein einheitlicher Erguss sehr mangelhaft durchmischt, da basisch, dort wieder reich an Kieselsäure u. s. f. Kommt nun ein solcher ungleichmässig gemischter Teig zum Ergusse, so breiten sich die differenten, jedoch durch Uebergänge mit einander verbundenen Partien (Schlieren) flächig aus und beim erfolgenden Erstarren ereignet es sich dann oft, dass ein oder der andere erstarrende Stoff an die blattförmigen Partien (Schlierenblätter) sich anlagert. Die Krystalle wachsen dann von dem Schlierenblatte aus und ragen mit ihren Enden in die anliegende, noch nicht erstarrte Breimasse hinein.

Die dritte Art des Anwachsens ist die concretionäre¹⁶⁾. Sie bedarf keiner weiteren Erläuterung.

Alle drei Arten des schwellenden Wachsthumes hängen durch Uebergänge miteinander zusammen, oder besser: das flächige und das räumliche Wachsen lassen sich aus dem concretionären Anwachsen ableiten.

Wir gehen nun, nachdem die krystallinische Umlagerung und das schwellende Wachsthum kurz abgehandelt sind, über zu der Umformung.

Die mechanische Umformung spielt im praktischen Leben eine viel grössere Rolle, als die bisher vorgeführten Umlagerungen.

Ein bekanntes Beispiel bietet der Siegellack, welcher als starrer, leicht zerbrechlicher Körper bekannt ist, aber doch jeder lange wirkenden Kraft nachgibt, wie ein Teig.

Ferner sind die Metalle bis zu einem gewissen Grade selbst durch sehr geringe äusserliche Einwirkungen umformbar.

Wenn man Drähte oder Stahlfedern längere Zeit einspannt und mit Gewichten belastet, so geben sie allmählich nach und biegen und dehnen sich. Rascher und leichter folgen sie einer mechanischen Gewalt, wenn man sie erwärmt. Dass stärkere Einwirkungen die Metalle zu den weitgehendsten Umformungen zwingen können, ist bekannt¹⁷⁾. Ein grosser Theil der Cultur beruht ja auf der Verwerthung dieser Eigenschaft.

Wir strecken und dehnen das Eisen, wir formen daraus zahllose Geräte für den Bauer, den Bergmann, den Fabrikanten; unser Verkehr, unser Friedensleben und unsere verwüstenden Kriegswerke sind mitbedingt durch die besagte Umformbarkeit der Metalle.

In geringerem Grade haben auch viele andere Stoffe diese wunderbare Eigenschaft:

Feuchtes Holz und warmes Horn geben äusseren Kräften so leicht nach, dass man sie biegen, strecken und pressen kann, wie man will.

Wichtig für alle diese Processe ist es, dass die Kraft gleichmässig und anhaltend wirke. Grosse, aber kurze Anstrengungen führen meist nur eine Zertrümmerung herbei, während kleine Kräfte mit der Zeit Wunderbares leisten.

Das Eis ist wohl eines der sprödesten Stoffe; wenn wir es aber mehrere Tage lang belasten, wird es allmählich breitgedrückt, durch entsprechende andere Einwirkung kann es auch gestreckt, gewunden, geknetet werden; wenn wir es in einem spritzenartigen Gefässe pressen, dringt ein klarer, compacter Eiszapfen aus der Mündung.

In den Gletschern offenbart sich diese Plasticität des Eises trefflich; da sehen wir, wie die feste Masse unter dem Einflusse des eigenen Druckes langsam von den Firnfeldern herabströmt bis ins Thal.

Dies Verhalten des spröden Eises ist gewiss überraschend; noch wunderbarer muthet es uns aber an, wenn wir erfahren, dass auch das Glas anhaltenden Einwirkungen allmählich nachgibt.

Es ist eine alte Beobachtung, dass alle Thermometer mit der Zeit zu hohe Angaben liefern: Das Quecksilber sinkt beim Gefrieren des Wassers nicht mehr bis zum Null-Strich. Egen hat diese Erscheinung erklärt und gezeigt, dass die Thermometer-Kugel durch den Luftdruck mit der Zeit etwas comprimirt wird, dass sie im vollen Sinne des Wortes unter diesem Drucke um einen kleinen Betrag schrumpft¹⁸⁾.

Bei erhöhter Temperatur wird beim Glase ebenso, wie bei den Metallen jede Umgestaltung viel leichter und rascher erzielt. So kann man Glasfäden über heissem Eisen biegen, ja kräuseln und Glasplatten, welche man in einer erhöhten Temperatur erhält, kann man durch anhaltende Einwirkung biegen und strecken.

Wir ersehen hieraus, dass die Sprödigkeit durchaus keine charakteristische Eigenschaft gewisser Körper ist, sondern dass sie unter geeigneten Umständen beseitigt werden kann.

Welche Umstände in dieser Weise die Gebrechlichkeit überwinden und den spröden Körper zu einem schmiegsamen machen, ist aus den Versuchen wohl zur Genüge ersichtlich. Man muss eben dafür sorgen, dass, wenn die Moleküle an einem Orte auseinander gerissen werden, sie dafür mit den nächsten Nachbarn wieder in so innige Berührung kommen, dass der feste Zusammenhang wieder hergestellt wird.

Wir wissen, dass man warme Metalle durch Aneinanderpressen oder Hämmern vereinigen kann, ja dass gut polirte Metall- oder Glasplatten durch einfache Berührung in einer Weise zusammenwachsen, dass sie in der That nur einen Körper bilden und nicht mehr getrennt werden können¹⁹⁾.

Aus den angeführten Versuchen geht aber ferner hervor, dass die innige Berührung auch in einer anderen Weise — nämlich durch anhaltenden, womöglich mehrseitigen Druck — erzwungen werden kann.

Unter derartiger Einwirkung äusserer Kräfte erhalten viele Substanzen, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen spröde sind, die Eigenschaft der Plasticität. Das spröde Eis und das zerbrechliche Glas erliegen, wie erwähnt, jeder anhaltend wirkenden Kraft; sie lassen sich drücken und strecken und formen.

Nachdem wir nun eine Reihe von Erscheinungen aus dem praktischen Leben angeführt, wollen wir die geologische Bedeutung der Umformung ins Auge fassen.

Viele einschlägige Beobachtungen über die Plasticität der Gesteine liegen vor.

In festen Gesteinen eingebettete Krystalle und Organismen von bekannter Gestalt trifft man oft auffallend gestreckt und viele Conglomerate machen den Eindruck, als seien ihre Bestandtheile gedrückt, geknetet oder ausgezogen worden²⁰⁾.

Den Bergleuten ist es sogar gelungen, nachzuweisen, dass noch heute unter unseren Augen und in verhältnissmässig kurzer Zeit Umformungen in den Felsmassen stattfinden.

Mathesius erinnert, dass Stollen, durch welche man ehemals mit dem Laufkarren geräum fortkommen konnte, mit der Zeit so zusammengewachsen seien, dass sie unwegsam wurden²¹⁾. Spätere Bergtechniker bestätigen diese Erfahrung. In den Zwanziger-Jahren unseres Jahrhunderts wurde neuerlich darauf hingewiesen und gezeigt, wie in den Kohlenbergwerken, sobald man die Kohle abgebaut, die Schiefergesteine des Bodens und der Decke schwellen und hereinwachsen²²⁾.

Diese Thatsachen werden trefflich beleuchtet, wenn man das bezügliche Verhalten des Anhydrit studiert. Dies Mineral, welches nichts anderes ist als wasserloser Gyps, erliegt gerade so wie der künstliche wasserlose (gebrannte) Gyps der Einwirkung des Wassers und wird unter starkem Aufschwellen in gemeinen Gyps umgewandelt. Charpentier hat diese Erscheinung zuerst beobachtet. Er weist nach, dass aller aus den Bergwerken auf die Halden gestürzte Anhydrit allmählich unter dem Einflusse wechselnder Temperatur und Befeuch-

tung zu Gyps wird und dass, wo immer Anhydrit in der Natur zu Tag ausgeht, er regelmässig in den obersten und äussersten Partien in Gyps umgewandelt ist. Diese Wasseraufnahme reicht oft sogar von der Oberfläche bis in beträchtliche Tiefe.

Das allmählich, aber unwiderstehlich vorgehende Anschwellen, welches in Folge der Wasserbindung eintritt, treibt die anlagernden Gesteine auseinander, hebt und sprengt sie und presst den quellenden Gyps da und dort in die entstehenden Zwischenräume, Fugen und Spalten. Hierdurch entstehen den Eruptivgebilden analoge Formen.

Hoffmann ging so weit, den Gyps aus diesem Grunde geradezu als junges Eruptivgestein zu betrachten²³⁾.

In diesem Falle wird offenbar die Umlagerung und Umformung durch die gewaltige chemische Umänderung bedingt und begünstigt; in anderen Fällen hingegen beobachtet man Umformungen, welche offenbar mit keiner Substanzänderung zusammenhängen.

So treten Kalkstein, Schiefer, Kohle, Graphit und andere Gesteine²⁴⁾ in Formen auf, welche den am Gyps oder an Eruptivmassen beobachteten gleichen, und doch können wir oft mit Bestimmtheit behaupten, dass diese plastischen Umbildungen in keinerlei Weise durch chemische Aenderungen bedingt waren. Doch scheint in all diesen Fällen die Durchfeuchtung des Gesteines von grossem Einflusse zu sein.

Delius, Saussure, Rozes, Macculloch und viele andere Autoren heben hervor, dass Kalkstein, Sandstein, Opal, Chalcedon, Beryll, Asbest, Tremolit etc. im bergfeuchten Zustande weich und mild sind, während sie an der Luft durch Wasserverlust steinhart werden²⁵⁾. Selbst der Granit soll im bergfeuchten Zustande ungleich leichter zu bearbeiten sein, als nachdem er ausgetrocknet ist. Verwandt ist die Erscheinung, dass ein Salz um so rascher aufgelöst werden kann, je länger es feucht gehalten worden. Hat man es hingegen scharf getrocknet, so widersteht es ungleich länger der lösenden Flüssigkeit.

Diese Erfahrungen berechtigen uns in der That zu der oben ausgesprochenen Vermuthung, dass die Umlagerung durch die Bergfeuchtigkeit begünstigt wird.

Wir wollen es vorläufig bei diesem Erfahrungssatze bewenden lassen und nun die Ansichten verschiedener Geologen über die Umformung der Gesteine überblicken: Macculloch ist meines Wissens der erste, welcher die einschlägigen Thatsachen in einer befriedigenden Weise zusammenfasst und zu einem fruchtbaren Ergebnisse gelangt.

Er beruft sich auf die Weichheit der bergfeuchten Gesteine, bringt mit diesen Beobachtungen die Erscheinungen der Gebirgsfaltung in Verband und spricht schliesslich die Behauptung aus, dass die beobachtete Weichheit der feuchten Gesteine vollkommen genüge, um alle vorkommenden Umformungen und Faltungen derselben zu erklären.

Uebrigens verweist er auf die Thatsache, dass durchaus nicht immer alle Partien eines Schichtsystemes in gleichem Masse nachgeben, dass vielmehr oft die weicheren Schichten gebogen, die spröderen aber gebrochen worden seien. So z. B. treffe man oft in feingefalteten Schiefer Quarzit-Einlagerungen, welche der Biegung nicht folgen konnten, sondern barsten und zertrümmerten. De la Beche hebt gleich-

falls hervor, dass in den Gebirgen alle Schichten der Einwirkung einer einheitlichen Kraft erlegen seien, dass uralte und harte Gebilde, zugleich mit den jungen, weichen Schichten gebogen worden seien. Diese Beobachtung veranlasst ihn zu der Annahme, dass zu irgend einer Zeit gewisse die Beweglichkeit erleichternde Agentien alle Schiefer ohne Unterschied durchdrungen und erweicht hätten; das Wasser und die Wärme sind nach seiner Ansicht derartige Vermittler der Bewegung²⁷⁾.

Volger führt seine Erfahrungen über Krystallbildungen und über schwellendes Wachsthum in den Kreis der Betrachtung und leitet die Umformung der Gesteine hiervon ab.

Seine Erörterungen halten den folgenden Gang ein:

Jeder Krystall zieht alle Theile gleichartigen Stoffes an sich; er wächst. Der anwachsende Körper erzwingt selbst gegen mächtige Widerstände seinen Platz. Natürlich wird, wenn eine grosse Masse solcher Krystalle in dieser Weise zunimmt, ein gewaltiges Anschwellen platzgreifen. Volger führt nun das Umformen der Gebirgsgesteine und das Zuwachsen der Stollen in Anhydrit-Gebirgen auf diese Grunderscheinung zurück. Zum Schlusse sucht er auch die Faltung der Gebirge aus derartigen Processen zu erklären.

Er betont, dass jede Gesteinsschichte sich durch bedeutende seitliche Ausdehnung und durch geringe verticale Mächtigkeit auszeichnet. Wächst nun eine solche Schichte durch Intussusception und schwillt sie an, so wird hiedurch natürlich keine bedeutende Erhöhung, wohl aber eine namhafte seitliche Streckung bewirkt. Da nun eine entsprechende seitliche Verschiebung durch die Reibung auf der Unterlage gehemmt wird, so muss eine Faltung eintreten. Wie ein Papier, das wir unter ein feuchtes Tuch legen, sich fältelt, weil es sich nicht nach Bedarf strecken kann, so auch müssen die Gebirgsschichten Falten werfen, weil sie nicht unbegrenzt nach den Seiten sich dehnen können. Der Autor meint nun, dass viele Schichten durch Stoffaufnahme angeschwollen seien und leitet aus diesen Processen ganz allgemein die Gebirgsfaltung ab²⁸⁾.

Wir stimmen dem Principe dieser Erörterung bei und anerkennen, dass die Faltung in manchen Fällen als Folge von innerem Wachsen und Schwellen einer Schichte eintritt, nur möchten wir die übermässige Verallgemeinerung vermieden wissen. Ausserdem muss betont werden, dass dieses schwellende Wachsen nicht die einzige Ursache der Umformungen ist, sondern dass die Umgestaltung, wie eben ausgeführt worden, auch durch krystallinische Umlagerung ohne Stoffwechsel unterstützt und vermittelt werden kann.

Diese Ansichten drangen leider nicht durch und wurden in der Folge vergessen. In den letzten Jahren aber brachten die tektonischen Untersuchungen von Suess, v. Mojsisovics, Heim und anderen jüngeren Forschern so starke Bewegung in dieses Forschungsgebiet, dass man wohl sicher erwarten darf, dass diese und benachbarte Fragen der physikalischen Geologie von nun an nicht mehr nur sporadisches, sondern ganz allgemeines Interesse erwecken werden.

Dass die Gesteine bis zu einem gewissen Grade plastisch sind sich faltig biegen, bei zu rascher oder zu weitgehender Biegung aber

bersten, wird wohl derzeit von vielen Forschern, welche mit den einschlägigen Thatsachen vertraut sind, anerkannt.

Heim ist aber weiter gegangen. Seine bezüglichen Betrachtungen sind zu ausführlich, um hier wiedergegeben werden zu können. Ich hebe nur der Vollständigkeit halber einige der wichtigsten Punkte hervor.

Heim begegnet zunächst der öfters vorgebrachten Meinung, als hätten sich die Schichten gebogen zu, einer Zeit, da dieselben noch nicht erhärtet waren.

Die Alpen wurden nachweislich noch gefaltet, als bereits viele ältere Sedimente durch die Thätigkeit des Wassers zerstört und in Sand und Geschiebmassen verwandelt waren; dies beweist aber, dass die entsprechenden Sedimente bereits vor der Faltung hart waren. Das Gleiche sagen auch die gestreckten Krystalle und Petrefacte aus.

Ferner wird das Verhalten der Gebirgsmassen eingehend untersucht und gezeigt, dass in den Gebirgen, welche durch Erosion stellenweise bis in grosse Tiefe blossgelegt sind, nur in den tieferen Lagen eine tadellose plastische Umformung angetroffen wird, während in den Gebieten, welche zur Zeit der Faltung nahe der Oberfläche lagen, Zerbrechen und Umformung einander begleiten. Der Autor schliesst hieraus, dass die Gesteine sich äusseren Gewalten gegenüber ebenso verhalten, wie das Eis, welches nur bei anhaltendem und mehrseitig wirkendem Drucke sich plastisch verhält, sonst aber zertrümmert. Er wird schliesslich zu der Anschauung geführt, dass die Gesteine in den Tiefen der Erde so plastisch sind, dass sie jeder Gleichgewichtsänderung sich anpassen²⁹⁾.

Ich möchte diese Abhandlung in einem Punkte ergänzen, indem ich die Bedeutung des Wassers für den Umformungsprocess ins Auge fasse und analysire. Sehen wir zu, welche Vorgänge sich unter der Einwirkung des Wassers abspielen.

Wir gehen aus von der Betrachtung der Plasticität des Eises: Dieser Körper schmilzt unter Druck, selbst wenn die Temperatur weit unter 0° steht. Lässt der Druck nach, so erstarrt dieses überkälte Schmelzwasser natürlich.

Befindet sich nun eine Eismasse unter ungleichförmigem Drucke, so wird da und dort im Sinne des Druckes eine innerliche Schmelzung eintreten. Die Theilchen passen sich dem Drucke an und hiedurch werden die betreffenden Stellen so weit entlastet, dass das Schmelzwasser wieder friert. Nun aber wirkt der stärkere Druck an anderen Stellen und dort spielt dasselbe Spiel u. s. f., bis die ganze Masse sich dem herrschenden Drucke entsprechend umgeformt hat. Indem immer an einer Stelle so viel friert, als an einer anderen Stelle thaut, bleibt während der Umformung die Summe der Kräfte constant und das innere Gleichgewicht erhalten.

Aehnliches gilt auch für die Umformung einer mit Lösungsfeuchtigkeit durchtränkten festen Masse.

Unter erhöhtem Drucke tritt eine vermehrte Löslichkeit ein. Wenn nun ein durchfeuchteter Körper der Einwirkung einer äusseren

Kraft ausgesetzt wird, muss an den stärksten beeinflussten Stellen eine vermehrte Löslichkeit walten. Das Gefüge wird daselbst aufgelockert und die Masse accommodirt sich dem Drucke. Sobald dies eingetreten und der Druck an den besagten Stellen verringert ist, wirkt derselbe in benachbarten Gebieten lösend; an den erleichterten Orten aber krystallisirt eben so viel aus, als an den überlasteten gelöst wird. So wird die Spannung (potentielle Energie) im Körper aufgehoben, indem sie in molekulare Bewegung (actuelle Energie) umgesetzt wird, und dieser Process dauert an, so lange das Gleichgewicht gestört ist³⁰⁾.

Wir sehen also, dass der Vorgang der Umlagerung in den festen Gesteinen durchaus nicht so einfach ist, wie etwa bei den schweisbaren Metallen. Es handelt sich nicht bloss um ein plastisches Schmiegen; die Umformung wird vielmehr durch eine harmonische Wechselwirkung von Lösung und Krystallisation wesentlich unterstützt^{30 a)}.

Nachdem wir in solcher Weise das Verhalten der Felsmassen charakterisirt, mögen wir nun den ganzen Erdball in dieser Beziehung ins Auge fassen.

Wir haben an anderem Orte³¹⁾ gezeigt, wie gewisse astronomische und physikalische Thatsachen uns zu der Annahme zwingen, dass die Erde durch und durch fest ist. Die Kruste ist, so wie wir sie vor uns sehen, fest und spröde, sie erleidet unter dem Einflusse starker äusserer Kräfte Brüche. Die Tiefen der Erde aber sind, wie wir eben hervorgehoben haben, fest und zugleich plastisch; wenn das Gleichgewicht gestört wird, tritt eine Umformung ein.

Aus diesem einfachen Resultate über das Verhalten der Erde folgt, dass dieselbe in grossen Tiefen eine zusammenhängende, lückenlose feste Masse darstellt.

Grosse Hohlräume, wie solche in vielen geologischen Hypothesen eine Rolle spielen, sind unhaltbar, weil die anlagernden und überlastenden Massen plastisch sind, also jede Lücke sogleich ausfüllen.

Klaffende Spalten können in grosser Tiefe aus gleichen Gründen nicht existiren.

Es wurde ferner von mehreren Autoren behauptet, der Erdkern habe sich stärker zusammengezogen, als die Kruste und schwebe nun frei innerhalb derselben. Andere meinen, dieser Kern sei flüssig und werfe unter dem Einflusse der Mondanziehung Fluthwellen gegen die feste Kruste. Dadurch entstünden die Erdbeben.

Beides ist falsch. Eine freischwebende Kruste kann sich nicht halten; sie muss sich zufolge der gewaltigen Gravitation dem Kern immer anpassen. Belli hat gezeigt, dass in einer derartigen „schwebenden Kruste“ durch die Schwere ein Druck erzeugt wird, welcher 400-mal grösser ist, als jener Druck, unter dem unsere härtesten Gesteine zu Pulver zermalmt werden³²⁾.

Diese Ausführung wird durch den Inhalt unserer Abhandlung in ihrem Wesen bestätigt, zugleich aber auch modificirt. Die durchfeuchteten Gesteine sind nämlich plastisch und wir brauchen desshalb gar nicht einmal den Zermalmungsdruck anzuwenden, um sie zur Umformung zu zwingen. Schon ein viel geringerer Druck würde die Kruste

veranlassen, sich ohne Unterlass eng an den Kern zu schmiegen. Von einem Anschlagen der hypothetischen Fluthwellen an eine „schwebende“ Erdkruste kann also keine Rede sein³³⁾.

Trotzdem aber bleibt der Zusammenhang zwischen Mondgang und Erdbeben doch zu Recht bestehen; nur muss er anders erklärt werden. Meine Ansicht ist, dass die ganze Masse der Erde zufolge der Mondanziehung wie eine schwingende elastische Kugel wandernde Wellen wirft. Die tiefen Theile geben nach, die starr-spröde Kruste aber platzt und kracht da und dort unter dem Einflusse der Wellung — besonders in Gebieten, welche ohnedies schon durch die Gebirgsbildung bewegt sind.

Fahren wir fort in der Betrachtung unseres fest-plastischen Erdballes, so gewahren wir, dass sich in demselben fort und fort, den wechselnden Einflüssen gemäss, Umlagerungen und Umformungen abspielen müssen.

Wenn die Rotation der Erde im Laufe der Zeit eine Aenderung erleidet, muss die Abplattung nach und nach und bis zu einem gewissen Grade sich anpassen. Wie die Stahlreife in dem bekannten Versuche mit der Drehscheibe sich umsomehr abplattent, je stärker wir die Scheibe drehen und wie sie sich dann wieder runden, wenn die Rotation nachlässt, so auch wird die Erde sich abfläachen und aufbauchen, wenn die Drehungsgeschwindigkeit zu- oder abnimmt. Die heute beobachtete Abplattung entspricht also gewiss nicht der zur Zeit der Erstarrung herrschenden Rotation, sondern es hat aller Wahrscheinlichkeit nach noch in den letzten geologischen Epochen eine den kosmischen Beziehungen entsprechende Umformung des ganzen Erdballes stattgefunden.

Wir wollen nun zum Schlusse die Ergebnisse unserer Abhandlung kurz zusammenfassen. Wir haben erfahren:

- I. Dass sich in vielen starren Körpern, sobald die äusseren Verhältnisse eine Aenderung erleiden, Umlagerungen abspielen: gläseriger Zucker wird körnig, Wagenaxen werden krystallinisch.
- II. Die Starrheit der Körper kann ausserdem auch durch Stoffaufnahme (bez. Verlust) gebrochen werden: Anhydrit nimmt Wasser auf und schwillt entsprechend an, trocknender Lehm schwindet.
- III. Wenn auf einen festen Körper, dessen Moleküle in ein oder der anderen Weise sich umlagern, eine äussere Kraft wirkt, so wird der Körper sich dieser Einwirkung entsprechend umformen: Anhydrit, welcher Wasser aufnimmt, gibt jeder mechanischen Einwirkung nach und verhält sich im Laufe der Zeit wie Brei.
- IV. Es kann, wenn auch vordem vollkommenes molekulares Gleichgewicht herrschte, durch eine anhaltend wirkende Kraft eine Umlagerung und Umformung herbeigeführt werden. In manchen Fällen werden die Moleküle durch den Druck so weiter gerückt, dass sie ohne Vermittlung immer wieder mit neuen Molekülmassen in innigen Verband treten (Schweissen der

Metalle); wenn der Körper aber zugleich auch von einer lösenden Flüssigkeit durchtränkt war, wird die schweisende Wirkung des Druckes sich combiniren mit einem anhaltenden inneren Umkrystallisiren: Durch den gebirgsbildenden Seitenschub werden die Gesteine unter fortwährender innerer Umlagerung gefaltet und gestreckt.

- V. Der ganze Erdball ist durch und durch zwar fest, aber doch plastisch, folgt also den kosmischen Agentien: Unter dem Einflusse des Mondes wirft die feste Erde Fluthwellen; sie passt sich überhaupt den geänderten kosmischen Kräften fort und fort bis zu einem gewissen Grade an.

L i t e r a t u r .

¹⁾ Die Ausdehnung der Körper in der Wärme verursacht meist nur vorübergehende Aenderungen. Die Spitze eines von der Sonne beschienenen 30 Meter hohen Thurmes beschreibt in Folge des wechselnden Standes der Sonne eine geschlossene Curve. Die äusserste Abweichung beträgt bis $\frac{1}{2}$ Meter. Am Abend steht die Spitze wieder an der alten Stelle.

Rockwood, Americ. J. 1871 (3), II., pag. 177, vgl. Les mondes (2), 24, pag. 296.

²⁾ Hausmann (Abhandl. d. Ges. d. Wiss. Göttingen 1847, pag. 65) behandelt ausführlich die krystallinische Umlagerung.

N. Fuchs hat zuerst das alte Vorurtheil, als könne die Krystallisation nur in liquiden Massen eintreten, bekämpft (Akad. München 1833).

³⁾ Savart, Ann. Chim. et Phys. 1819, 12, pag. 74.

Haidinger, Pog. Ann. 1827, Bd. 11, pag. 177.

Frankenheim, Cohäsion, 1836, pag. 396.

Scheerer, Ueber Paramorphismus 1854.

C. Fuchs, Künstlich dargestellte Mineralien. 1872, pag. 31 f.

⁴⁾ Marcel de Serres, Ann. sc. nat. 1847, p. 21; Necker, De la Beche, Naumann, Geologie 1850, I., pag. 747, handeln über die Umwandlung der aus Aragonit bestehenden Conchylienschalen.

Vgl. Hausmann, Abhandl. d. Ges. d. Wiss. Göttingen, 1847, III., pag. 64.

Rose (Pog. Ann. 1837. Bd. 42, pag. 364), weist nach, dass auf nassem Wege bei niederer Temperatur Calcit, bei hoher Temperatur aber Aragonit gebildet wird. Wenn man den durch Fällung aus heisser Lösung gebildeten Aragonit längere Zeit bei niederer Temperatur unter Wasser stehen lässt, tritt eine Umlagerung zu Kalkspath ein.

Diese Umwandlung tritt aber auch ein, wenn man den Aragonit schwach glüht. Grosse Krystalle zerfallen hierbei zu gröblichem Calcitpulver; kleine Krystalle hingegen werden mit Beibehaltung der alten Gestalt in Afterkrystalle umgewandelt.

⁵⁾ Humboldt, Kosmos I., pag. 460.

Beaumont, Mém. Géol. France, II., pag. 411.

Warrington, Mem. chem. sc. 1843, II.

Augustin (Jb. Mineral. 1848, pag. 747) erwähnt, dass Flintenläufe krystallinisch werden. Der Bruch zeigt schöne Hexaederflächen.

Mayer, Erdmann's J. 1831, pag. 3.

Church, Chem. News 1871, pag. 243: Ueber das Brüchigwerden der Geschütze.

Armstrong (Chem. News 1860) lehrt, dass man das Krystallinschwerden der eisernen Dampfkessel und Wagenaxen vermeiden könne, indem man dem Gusse bis zu 1% Nickel zusetze.

⁶⁾ Bessel, Bayer, Berliner Ber. Fortschritte der Physik für 1867, pag. 3.

⁷⁾ Stabeisen, das man in flüssiges Gusseisen taucht, wird krystallinisch. Zinken, Breislak's Lehrbuch der Geologie, übersetzt von Strombeck. III., pag. 692 f.

⁸⁾ Gmelin, Chemie, und Fritsche, Comptes rend. 1868, Bd. 67, pag. 1106.

⁹⁾ Schrötter (Sitzungsber. d. Akad. Wien 1863, II., pag. 457) erwähnt, ein schlecht gekühltes Glas habe sich in Folge starker Erschütterung geblättert und abgeschält.

¹⁰⁾ Im Gegensatz zu den vorhin berührten Umlagerungen in Krystallen (Pseudomorphosen) werden diese durch Stoffwandlung entstandenen Gebilde als Pseudomorphosen bezeichnet. Man unterscheidet: Verwitterungs-, Umhüllungs-, und Ausfüllungs-Pseudomorphosen. Roth, Chem. Geol. 1879, I., pag. 63.

Ueber Wandlungen der Krystalle berichten: Wöhler, Chem. und Pog. Ann. 1832, Bd. 26, pag. 182.

Karsten, Eisenhüttenkunde 3. Aufl. I., pag. 604. IV., pag. 164.

Hausmann, Abhandl. d. Ges. d. Wiss. Göttingen 1847. Bd. III., 3.

Ueber das Krystallinschwerden des Glases berichten:

Réaumur, Mém. Acad. Paris 1739, pag. 370.

Klir, Phil. Trans. 1776, pag. 536.

Daubrée, Rapport Géol., pag. 12.

¹¹⁾ Mathesius, Prediger zu Joachimsthal in Böhmen, ist der Verfasser der „Sarepta“ oder Bergpredigten (1562). Ich beziehe mich auf die 4. Auflage vom Jahre 1679. 3. und 6. Predigt, pag. 134, 241.

¹²⁾ Walch. Beschäft. der Berliner Gesellsch. von Naturfreunden. 1785, pag. 23, 240 f.

Sachs, Botanik. 3. Aufl., pag. 58, 574.

Ueber das Wachsen des Holzes und über Baumnarben berichten:

Du Hamel, Hist. et Mém. Acad. Paris für das Jahr 1746 (ed. 1751) p. 319 f.

Göppert, Ueber Zeichen in lebenden Bäumen, 1868 und Jb. schles. Forstvereines, Breslau 1868, pag. 252, 1869, pag. 278. Göppert zeigt, wie das Cambium zwischen Holz und Rinde die Tendenz hat, jede Verletzung auszugleichen. Wo dem Baume eine Wunde beigebracht wird, da wuchert und schwillt das Cambium von allen Seiten, bis die Wunde vernarbt ist. Wie ein plastischer Teig verhält sich diese wachsende Substanz, sie schmiegt sich jeder Erhöhung oder Vertiefung an, umfließt fremde Körper (Holzsplitter, Steinchen u. s. f.) und ebnet schliesslich Alles aus.

¹³⁾ Breithaupt, Paragenesis 1849, pag. 46. Volger, Pog. Ann. 1854, Bd. 93, pag. 225.

Vionnois, Comptes rend. 1865. Bd. 60, pag. 421.

¹⁴⁾ Fournet im 3. Bd. von Burat: Traité Géogn. 1835, p. 417 f.

Breithaupt: Paragenesis, 1849. pag. 22, 45.

Cotta, Gangstudien 1850. II., pag. 285.

¹⁵⁾ Vgl. Bunsen in Wöhler's Jb. 1847, Bd. 62. Volger in Pog. Ann. 1854. Bd. 93, pag. 247, Naumann's Lehrbuch, Cotta, Gangstudien, IV, pag. 16.

¹⁷⁾ Tresca (Comptes rend. 1864, Bd. 59, pag. 754) zeigt, dass selbst harte Metalle unter hohem Druck aus spritzenartigen Gefässen, wie Brei herausgepresst werden können. In gleicher Weise verhält sich das Eis (Tresca, Comptes rend. 1865, Bd. 60, pag. 398; Bianconi, Acad. Bologna 1871, pag. 155 u. 1876).

¹⁶⁾ Egen, Pog. Ann. 1827, Bd. 11, pag. 347.

¹⁷⁾ Pouillet, Elem de Phys. 1832.

Herr J. Koglmann theilt mir eine einschlägige Erfahrung mit: Wenn man eine Glasscheibe mit dem Diamant anritzt, sie dann aber nicht gleich bricht, so ist die Glassubstanz nach einigen Tagen in der Schnittfläche so weit wieder zusammengewachsen (verschweisst), dass sie nicht mehr mit Sicherheit nach der vorgeritzten Linie gebrochen werden kann.

²⁰⁾ Ueber Streckung und Knetung vergl. Naumann, Karst. Arch. 1839, Bd. 12, pag. 23, Jb. Mineral. 1847, pag. 308 und dessen Geologie 1850, I., 447, 469, 567, 781 f.

Keilhau, Gaea. 1850, pag. 91.

Hitchcock, American J. 1861, Bd. 31, pag. 372.

Daubrée, Comptes rend. Bd. 82, 1876, pag. 710, 798.

²¹⁾ Mathesius, Sarepta (1. Aufl. v. 1562) 4. Aufl. v. 1679, pag. 134.

²²⁾ Greenough, Geologie, übers. 1821, pag. 57.

Brard, Ann. Chim. Phys. 1828, Bd. 38, pag. 166. Die Quellung soll bis 50 Meter unter die Sohle der betreffenden Strecke merklich sein.

²³⁾ Hoffmann, Beitr. z. Kenntniss Deutschlands, 1823 und Pog. Ann. 1825, III., pag. 34.

Hausmann, N. Jb. f. Min. 1847, pag. 594.

Naumann, Geologie, 1850, II., pag. 620.

²⁴⁾ Durchfeuchteter Kalk erleidet fortwährende Umlagerungen. Nasse Kalkniederschläge werden unter Druck krystallinisch und compact. Concentrisch gebaute Tropfsteine weisen nach längerer Zeit rhomboedrische Spaltungsflächen auf, welche ganz unabhängig von der ehemaligen Structur quer durch den Tropfstein verlaufen. Kuhlmann, Comptes rend. 1864, Bd. 58, pag. 1038.

Vergl. ferner: Macculloch, Western Islands 1819, I., pag. 49.

v. Cotta, Jb. d. Mineral. 1834, pag. 331.

Emmons, Rep. Survey State of New-York, I., 1838, pag. 198.

Viquesnel, Bull. Soc. Geol. 1848, VI., pag. 12.

Keilhau, Gaea. 1850, pag. 72, 80.

Naumann, Geologie, 1850, II., pag. 93, 157, 176, 704.

Zirkel, Petrographie, 1866, I., pag. 201, 225, 268.

Wilson, Q. J. Geol. Soc. 1870; Ann. des Mines, 1879.

²⁵⁾ Mém. Acad. Paris, 1746, pag. 1075.

Saussure, Voyages, VI., 319.

Hall, Trans. Roy. Soc. Edinb. VII., pag. 102.

Macculloch, Geology, 1831, I., pag. 123 und Trans. geol. soc. L., IV., pag. 267.

²⁷⁾ De la Beche, Theoret. Geologie, übers. v. Hartmann, 1836, pag. 81, 84.

²⁸⁾ Volger, Erde und Ewigkeit, 1857, pag. 441, 513; Pog. Ann., 1858, Bd. 93, pag. 228.

Bischof, Chem. Geol. 1863, I., pag. 335.

Mohr ist gleichfalls der Ansicht, dass die Gebirgsschichten schwellend wachsen (Geschichte der Erde, 1866, pag. 194). Dagegen wendet Pfaff ein, dass der hohe Druck jede chemische Action, also auch das Wachsthum, durch Intussusception hindere. Zink wird unter hohem Druck nicht mehr von Schwefelsäure angegriffen, gebrannter Gyps nimmt unter den gleichen Verhältnissen kein Wasser auf (N. Jb. f. Mineral., 1871, pag. 836).

²⁹⁾ Heim, Gebirgsbildung, 1878, II., pag. 7, 80 f. und Taf. 14.

Wettstein (Strömungen im Festen und Flüssigen, 1880, pag. 32) ist gleichfalls der Ansicht, dass unter hohem Gesteinsdruck und bei erhöhter Temperatur molekulare Beweglichkeit in den Gesteinen herrschen müsse.

⁸⁰⁾ J. Thomson, Proc. Roy. Soc. London, 1861, XI., pag. 473.

^{80*)} Pfaff (Allg. Geol. pag. 313) hat gezeigt, dass trockene Felsmassen auch unter dem Drucke von mehreren tausend Atmosphären nicht plastisch werden.

Heim's Ansicht, als genüge der Druck allein, um die Felsmassen hochplastisch (ja „flüssig“) zu machen, ist also nicht haltbar. Treffend ist Pfaff's Bemerkung, dass der hohe Druck als solcher die Beweglichkeit der Moleküle nicht fördere, sondern vielmehr hemme (Pfaff, Gebirgsbildung, 1880, pag. 19).

Uebrigens scheint mir Pfaff's Erörterung nicht minder angreifbar, als Heim's Ausspruch. Beide Autoren haben die Wirkung der Durchfeuchtung unbeachtet gelassen.

⁸¹⁾ Reyer, Physik der Eruptionen, 1877, pag. 119 f. Die Eruptionen sind nur Folgen von Erweichungen in Folge localer Entlastung.

⁸²⁾ Belli, Giorn. Istit. Lomb., 1850, II ; Mallet: Phil. Trans. London, 1873. Bd. 163, pag. 180.

⁸³⁾ Dass eine Differenzirung zwischen Kern und Schale in der Natur überhaupt nicht existiren kann, dass vielmehr beide Theile durch Uebergänge miteinander verbunden sein müssen, habe ich a. a. O. ausgeführt (Reyer, Physik der Erupt., 1877).
