

Zur Mechanik der Schichtenfaltungen.

Von

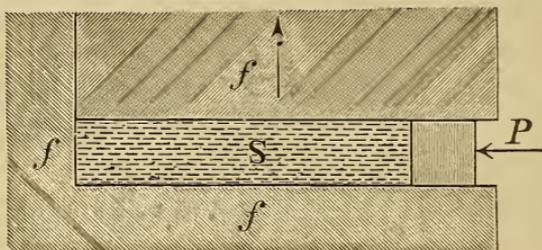
Dr. F. M. Stapff.

(Schluss.)

(Mit 3 Holzschnitten.)

7.

Wird eine feste und spröde Gesteinsschicht S in der aufwärts verschiebbaren, sonst aber unnachgiebigen Führung f, f einem hinreichenden seitlichen Druck P ausgesetzt, so tritt unter Erscheinungen, welche man gelegentlich recht gut an den Steinen



zerquetschter Gewölbe studiren kann, Zermalmen der Schicht ein, und bei fortgesetztem Druck hebt das Gesteinspulver nach hydrostatischen Gesetzen den oberen beweglichen Führungsdeckel.*

* Eingeschlossener trockener Sand wurde zu Bauzwecken öfters benutzt, um Druck zu übertragen, z. B. beim Montiren der cylindrischen Gussstahlbögen der Mississippibrücke bei St. Louis, deren 2 Hälften im Scheitel in eine Sandbüchse ragten. Durch behutsames Auslaufenlassen des Sandes liess man dann die sich nähernden Bogenenden so weit senken, als die Construction erheischte.

Bei diesem Vorgang wird keine Fältelung der Schicht eintreten, wenn sie massig ist oder ihre Schieferungsflächen zur Druckrichtung normal liegen. Erfolgt hingegen der Schub in der Schieferungsrichtung (Skizze), so kann während oder nach dem Bersten der Schicht Knickung und Fältelung eintreten, unter gleichzeitiger Hebung des Deckels.

Ausser der bezeichneten Druckrichtung setzt das Eintreten der Fältelung eine gewisse Biegsamkeit und Zähigkeit der Schicht voraus, wie wir solche an einigen glimmerreichen Sandsteinen, Itakolumit, Gelenkquarz, Talkschiefer, manchem Thonschiefer und Glimmerschiefer kennen, bei sehr dünnen über einander geschichteten Glastafeln voraussetzen dürfen. VON HAUER beschreibt die Emporwölbung einer durch Steinbrucharbeiten entblösten und entlasteten grossen Sandsteinplatte, und BALTZER's Ansicht, dass ein gewisser Thongehalt fester Schichten ihre Modelung durch Druck erleichtere, verdient gewiss auch Beachtung. „Creeps“ und andere Emporquetschungen plastischer Schichten können hier, wo von unplastischen die Rede ist, natürlicher Weise nicht als Beispiele citirt werden.

Biegsamkeit und Elasticität sind Eigenschaften, deren Sichtbarwerden durch die Dimensionsverhältnisse der Körper in hohem Grad bedingt ist. Niemand rechnet z. B. Gusseisen zu den biegsamen und elastischen Metallen im Sinne des täglichen Lebens. Aber dennoch habe ich 1870 zu New-York gesehen, wie die etwa 1 Yard weite Röhrentour der Harlemwasserleitung sammt durchfliessendem Wasser gegen 3 Fuss emporgebogen wurde (um eine andere Rohrleitung unter ihr wegzuführen), nachdem sie auf 200 bis 300 Yards Länge abgedeckt war. (Die etwas nachgiebigen Flantschendichtungen zwischen den einzelnen Röhren dürften dabei die Leitung allerdings etwas gelenk gemacht haben.) Der riesige gusseiserne Treibcylinder zu JOHN ERICKSON's erstem Warmluftmaschinenschiff wurde liegend ausgebohrt, sackte sich dabei aber so, dass er nachher in vertikaler Stellung im Innern tonnenförmig wurde und von aussen abgespreizt werden musste, damit der cylindrische Kolben abschliessen konnte.

Zur Beurtheilung der mechanischen Arbeit, welche zum Zerquetschen und Falten einer (wie eingangs beschrieben)

eingeklemmt gedachten Schicht durch Seitenschub erforderlich ist, setzen wir gemäss 1.—3. voraus, dass die Schicht auf 0,6366 ihrer ursprünglichen Länge zusammengeschoben werde, wobei ihre Dicke auf das 1,5708fache der ursprünglichen wächst, wenn die Fältchen so klein und zahlreich sind, dass die Grenzflächen der Schicht auch nach der Fältelung als eben gelten können.

Der Seitenschub P' legt dann den Weg $0,3634 S$ zurück und verrichtet die Arbeit $L' = P' \cdot 0,3634 S$. Diese Arbeit wird consumirt durch Zerquetschen und Zusammenschieben der Schicht, durch Heben derselben und des auf ihr lastenden todten Gewichtes um den Weg, welchen ihr Schwerpunkt zurücklegt, durch die Reibung an den Grenzflächen der Schicht und in ihrem Innern. Da während des Zerquetschens der Schicht der Zerdrückungsmodel allmählig von K auf 0 sinkt*, während die Schichtendicke von d auf $1,5708 d$ wächst, so beansprucht das Zermalmen die Arbeit

$$\frac{(K + 0)}{2} \cdot \left(\frac{1 + 1,5708}{2} \right) d \cdot 0,3634 S = 0,2336 K \cdot d \cdot S.$$

Gehoben auf $\left(\frac{1,5708 - 1}{2} \right) d$ wird das Gewicht $Sd\gamma$ der Schicht selbst; ferner das Gewicht der überliegenden Schichten:

$$\left(\frac{1 + 0,6366}{2} \right) S \cdot h'\gamma,$$

wenn wir voraussetzen, dass die vom Schub ergriffene Schicht unter den überliegenden hingleitet, also anfangs $Sh'\gamma$, zuletzt aber nur noch $0,6366 Sh'\gamma$ zu tragen hat. Wie früher bedeutet hier h' die Höhe des überliegenden Schichtencomplexes und kann $= m'd$ gesetzt werden. Wir erhalten nun als zum Heben erforderliche Arbeit:

$$(Sd\gamma + 0,8183, Sm'd\gamma) 0,2854 d = (0,2854 + 0,2335 m') Sd^2\gamma.$$

Die Arbeit, welche durch innere Reibung während des Quetschens der Schicht consumirt wird, entzieht sich der Berech-

* Dabei wird angenommen, dass auch nach dem ersten Zertrümmern durch feineres Pulverisiren der Masse noch Kraft und Arbeit verzehrt wird.

nung. Auf die obere Grenzfläche wirkt der Druck $0,8183 S m' d\gamma$, auf die untere $0,8183 S (1 + m') d\gamma$; auf beide zusammen also $0,8183 S (2 m' + 1) d\gamma$. Unter diesem Druck und dem Reibungscoefficienten φ wird der Weg $0,3634 S$ zurückgelegt. Daher die Arbeit:

$$0,8183 S (2 m' + 1) d\gamma \cdot \varphi \cdot 0,3634 S = (0,2974 + 0,5948 m') S^2 d\gamma \cdot \varphi.$$

An den beiden Schichtenstößen ist die Reibung:

$$2 \cdot d \cdot P' \cdot \varphi \left(\frac{1,5708 d - d}{2} \right) = 0,5708 d^2 \cdot P' \cdot \varphi$$

zu überwinden; oder da

$$P' = \frac{L'}{0,3634 S}, \text{ die Reibung: } \frac{1,5708 d^2}{S} \cdot L' \cdot \varphi.$$

Mithin gesammte, durch die Reibung verzehrte Arbeit:

$$(0,2974 + 0,5948 m') S^2 \cdot d\gamma \cdot \varphi + \frac{1,5708 d^2}{S} \cdot L' \cdot \varphi.$$

Der ganze Zerquetschungs-, Knickungs- oder Fältelungsprozess beansprucht also die Leistung:

$$L' = 0,2336 K \cdot d S + (0,2854 + 0,2335 m') S d^2 \gamma \\ + (0,2974 + 0,5948 m') S d^2 \gamma \varphi + \frac{1,5708}{S} d^2 L' \varphi$$

oder

$$L' = \frac{d S^2}{S - 1,5708 d^2 \varphi} [0,2336 K (0,2854 + 0,2335 m') d \gamma \\ + (0,2974 + 0,5948 m') S \gamma \varphi] \dots \dots \dots (e)$$

Nehmen wir andererseits an, dass dieselbe Schicht durch den Seitenschub zu einem einzigen halbkreisförmigen Gewölbe zusammengebogen (und gleichzeitig zerquetscht) werde, wobei die Führung allerdings etwas anders beschaffen sein muss als eingangs stipulirt ist, so erhalten wir folgende Arbeitsaufwände:

Zum Zerquetschen, wie im vorhergehenden Fall:

$$0,2336 K \cdot d S.$$

Zum Heben der Masse $\left(\frac{S + 0,6366 S}{2} \right) (1 + m) d\gamma$

auf die Höhe, um welche ihr Schwerpunkt verschoben wird, d. h. auf $0,1352 S \div 0,1106 (1 + m) S^2 d\gamma$.

Zum Überwinden der Reibungen an der oberen und unteren Schichtfläche nehmen wir wie im vorgehenden Fall

$(0,2974 + 0,5948 \text{ m}) S^2 d \gamma \varphi$ an, sehen von Reibungen an den beiden Schichtenstössen dagegen ab, weil die Dicke der Schicht unverändert bleibt.

Die gesammte zum Zerquetschen und Zusammenbiegen erforderliche mechanische Arbeit ist mithin:

$$\begin{aligned} L &= 0,2336 K d S + 0,1106 (1 + m) S^2 d \gamma \\ &\quad + (0,2974 + 0,5948 \text{ m}) S^2 d \gamma \varphi \\ &= S d [0,2336 K + S \gamma (0,1106 + 0,1106 m \\ &\quad + (0,2974 + 0,5948 \text{ m}) \varphi)] \dots \dots \dots (f) \end{aligned}$$

Setzen wir wie in No. 6 : $L = L'$, führen auch dieselben Zahlenwerthe wie dort ein, nemlich für $K = 7300000$; $d = 10$; $S = 1000$; $\gamma = 2550$; und ausserdem für $\varphi = 0,75$, so folgt aus den Gleichungen e und f:

$$47,471 \text{ m} - 43,346 \text{ m}' = 1; \text{ oder } m - 0,913 \text{ m}' = 0,021 \dots \dots (g)$$

Hieraus ergibt sich, dass die tiefer liegenden Schichten bei Quetschung durch Seitenschub gefältelt, die höher liegenden dagegen zu einzelnen grösseren Falten geschlagen werden. Setzen wir beispielsweise:

m' (Schichtenzahl, unter welcher Klein-Fältelung eintritt) = 0 „ = 1 „ = 10 „ = 100 „ = 1000	so wird m (Schichtenzahl, unter welcher eine halbkreisförmige Falte geworfen wird) „ = 0,021 „ = 0,934 „ = 9,151 „ = 91,352 „ = 913,021.
--	---

Dieses Resultat stimmt mit der Erfahrung überein. Ein Blick auf die Photographien von A. FAVRE's künstlich gefältelten Thonschichten zeigt, dass die untersten (unmittelbar auf dem Kautschukband liegenden) derselben wenig oder nicht gefaltet sind, die obersten dagegen sehr stark, häufig selbst geborsten. In No. 6 kamen wir zu einem entgegengesetzten Resultat — weil wir bei der Berechnung von der unrichtigen Voraussetzung ausgingen, dass auf feste, spröde Gesteinsschichten dieselben mechanischen Gesetze applicirt werden könnten, nach welchen wir die Biegung und Knickung duktiler, zäher, Holz- oder Metallstäbe durch axiellen Druck beurtheilen.

8.

Da beim gleichzeitigen Zusammenschieben vieler übereinander liegender Schichten die unteren zu einem gewissen Grad vom Gewicht der oberen entlastet werden, so gestaltet sich der natürliche Faltenwurf noch etwas anders als der in vorhergehender Nummer unter der Annahme berechnete, dass jede Schicht einzeln unter dem todtten Gewicht aller überliegenden (vom Seitendruck nicht ergriffenen) zusammengeschoben werde. Ich will diese Rechnungen nicht weiter fortsetzen, da auf die durch selbige erzielbaren absoluten Ziffernwerthe doch kein grosses Gewicht gelegt werden kann; schon desshalb nicht, weil wir in der Natur mit ungleich festen, häufig schon vorher verklüfteten Schichten zu thun haben, auf welche die Schübe unter gar verschiedenen Richtungen wirken können, so dass sie viele a priori unbestimmbare Formenveränderungen hervorbringen. Nur für die Beurtheilung des Vorganges im grossen Ganzen geben solche Rechnungen eine Richtschnur und führen zu praktisch recht brauchbaren Verhältnisszahlen.

Auf Grund der im Vorstehenden aufgestellten Sätze würde ich z. B. bei Ergänzung eines Profiles gefalteter Schichten nur so viele und solche Mulden oder Sättel zwischen die beobachteten einschalten, dass (bei einfacher Faltung) das ergänzte Profil einer Schicht etwa 0,64 mal so lang wird als dieselbe Schicht abgewickelt.

Fehlen Anzeigen, wonach auf die Form der Faltungen an einem gegebenen Punkt geschlossen werden kann, so würde ich Halbkreise oder unter 79° gebrochene Zickzacklinien zwischen die beobachteten Falten legen, unter Umständen nicht zögern, als Äquivalent einer grossgefalteten Schicht eine kleingefaltete und verdickte einzuschieben; und wenn es nöthig wäre, in verschiedenen Niveaus eines Schichtenkomplexes ungleichzählig gefaltete Schichten anzunehmen, so würde ich die kleingefalteten (verdickten) Schichten immer nach unten, die grossgefalteten dagegen nach oben zu verlegen suchen. Keinesfalls aber würde ich bei Befolgung dieser Regeln die beobachteten Erscheinungen zu „verbessern“ suchen oder Faltungen konstruiren, wo keine sind. Vielleicht tragen

diese Sätze etwas dazu bei, der phantastischen Willkür einen Zaum anzulegen, mit welcher man heutzutage oft Profile aufzeichnen sieht.

9.

In No. 6 und 7 wurde die Ansicht ausgesprochen, dass mit der Faltung starrer, spröder Gesteinsschichten in der Regel deren Zertrümmerung oder selbst Zermalmung verknüpft sei. Der Begründung dieser Ansicht möchte ich die Anmerkung vorausschicken, dass die Behauptung, alle Schichten seien erst nach dem Festwerden gefältelt, unhaltbar ist. Schrumpft irgendwo und irgendwann die mit Meeresschlamm dick überzogene Erdkruste zusammen, so werden die bis zu einem gewissen Grad konsistenten, plastischen Sedimente sich eventuell ebensowenig dem Faltungsprocess entziehen können, als die unterliegenden festen Schichten.

Der blaue untersilurische Thon der Umgegend von St. Petersburg, der silurische Schieferthon Südschottland's, der Schieferthon gar vieler Steinkohlenbecken würden ebensowohl als die umgebenden festen Schichten gefaltet, gefältelt oder gequetscht worden sein, wenn an den betreffenden Orten Zusammenschiebungen überhaupt stattgefunden hätten.

Die Faltung solcher weicher, aber zu gewissem Grad konsistenter, plastischer, flexibler Schichten hat nichts Räthselhaftes; JAMES HALL, G. A. DAUBRÉE, A. FAVRE haben sie experimentell hervorgebracht; auch können wir ihren Verlauf an den „Creeps“ vieler Steinkohlengruben beobachten.

Andererseits aber ist unwiderlegbar, dass viele Schichten nach ihrem Festwerden gefaltet worden sind (man denke z. B. an die zuerst durch D. SHARPE und P. MERIAN hervorgehobene Streckung von Petrefakten), d. h. nachdem durch Erstarrung oder chemische Metamorphose jene Mineralien ausgeschieden worden waren, welche jetzt noch diese Gesteinsschichten konstituieren.

Die Erklärung der Faltung fester Schichten stösst auf mancherlei Schwierigkeiten. Ohne Weiteres und ohne irgend welchen Beweis, festen, spröden, gemengten Gesteinen die Eigenschaft zu vindiciren, dass sie unter enormen Drücken ohne vor-

gehende Zermalmung plastisch würden oder in jenen Zustand gerietten, welchen THURMANN „Pelomorphismus“ nennt, ist heutzutage keine Erklärung, erinnert aber lebhaft an jenes überstandene Entwicklungsstadium der Geologie, da irgend welche *qualitas occulta* oder unbekannte Naturkraft citirt wurde, um unerklärbare Erscheinungen scheinbar zu erklären. Die Duktilität, Malleabilität, Plasticität geschmeidiger Metalle ist ebenso lange bekannt, als man diese Metalle hämmert, prägt, treibt, zu Blech walzt oder zu Draht zieht. TRESCA hat durch Versuche und Calculé Gesetze festzustellen gesucht für die Form- und Molecularveränderungen, welche solche Metalle beim „Fliesen“ (*écoulement*) durch starken Druck erleiden. Es scheint aber ein gewagter Analogieschluss, wenn man TRESCA's Resultate als Beweis für den Pelomorphismus fester spröder Gesteine anführt, welche weder geprägt noch zu Draht gezogen werden können.

TRESCA hat — so viel ich kenne — nicht mit weissem Roheisen, Antimon oder anderen ausgezeichnet spröden Metallen experimentirt, und ich denke, er würde sich sehr hüten, für solche seine an Blei oder Kupfer gemachten Erfahrungen ohne Weiteres gelten zu lassen; noch viel weniger aber für Gneiss, Quarzit oder dergl. Gesteine.

Auf notorisch biegsame und elastische, obwohl feste Gesteine, wie solche beispielsweise unter No. 7 angeführt wurden, darf man freilich ohne Bedenken jene Resultate appliciren, welche z. B. DAUBRÉE bei seinen Versuchen erzielte, übereinandergeschichtete Metallbleche etc. durch Seitendruck zu fälteln; aber wiederum nicht auf notorisch harte und spröde, aus heterogenem Material gemengte Gesteine.

Die Formveränderungen und sonstigen Erscheinungen, welche beim Zermalmen von Gesteinen eintreffen, haben in neuerer Zeit u. a. BAUSCHINGER, KICK, POLACK experimentell und theoretisch studirt. Wichtige Aufschlüsse in dieser Richtung geben auch Erz- und Steinquetschwerke und zerdrückte Gewölbe, welche letztere wohl am nächsten die Verhältnisse ausdrücken, denen gepresste Gesteinsschichten ausgesetzt sind.

Noch nie hat man bei solchen Versuchen oder Gelegenheiten irgend etwas wahrgenommen, was als Beweis für den Pelomorphismus starrer Gesteine gelten könnte. Durch axiellen Druck

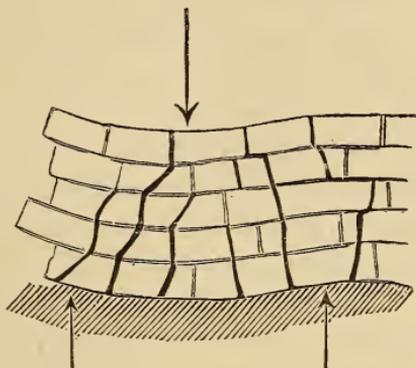
wird ein (unzerklüfteter, möglichst homogener) Gesteinscylinder so zersprengt, dass auf der oberen und unteren Cylinderbasis mit den Spitzen einwärts gerichtete Kegel entstehen, deren Mantel gegen die Basis 45° + halbem Reibungswinkel des Gesteins geneigt ist. Bei geringer Neigung der Druckrichtung gegen die Cylinderaxe erfolgt Spaltung nach elliptischen Cylinderschnitten, welche gleiche Neigung zur Axe besitzen, wie die eben erwähnten Abtrennungskegel, und gleichen Flächeninhalt, wie je deren Mäntel. Wirkt der Druck auf prismatische Körper, so entstehen anstatt Ablösungs-„Kegeln“ Pyramiden u. s. f.

Dieser letztere Fall kommt bei zusammengeschobenen Gesteinsschichten nicht selten vor. An den Quarzitschiefern aus der Südseite des Gotthardtunnels kann man fast stets Durchgänge beobachten, welche gleichfalls mit dünnen Häuten von silberweissem Glimmer (Sericit, Talk) überzogen, schiefwinklig zur Schieferung gerichtet sind, und nach welchen das Gestein oft leichter spaltet als nach den Schieferungsflächen. Ebenso zeigen die gequetschten Glimmergneiss-schichten des Gotthardmassives nicht selten geriefte, mit braunem Glimmer (bei 6000 und 6100 m vom Nordportal auch mit Graphit) bekleidete Durchgänge schief zur Parallelstruktur, und Ähnliches kommt auch bei den schwarzen Schiefern des Ursernthales, dem Serpentin von Gige und anderen Schichten vor. Wir haben hier nicht mit Klüften im gewöhnlichen Sinn des Wortes zu thun, sondern mit durch Quetschung erzeugten Ablösungen, deren Lage nach den oben mitgetheilten mechanischen Gesetzen vielleicht die Richtung der auf die Schichten wirkenden Drücke ermitteln liesse. Der Talk, Glimmer, Graphit, Serpentin des Gesteins haben während der Quetschung die Lossen als sehr dünne abgeriebene Häutchen überzogen, ungefähr wie wenn geschmeidige Metalle auf dem Probirstein abfärben.

Beim Setzen eines Gewölbewiderlagers aus Gneissgranit im Gotthardtunnel (bei 2800 m vom Nordportal) zerbarsten die lagerhaft eingemauerten Steine nach Flächen, welche die Mauerschichten fast normal schneiden, d. h. gleichsam radial zu der durch die Setzung entstandenen Einmündung.

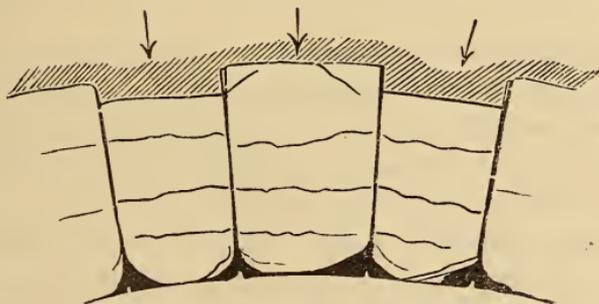
Die Einbiegung der Mauerschichten ist hier zwar nicht durch

Seitenschub erfolgt, sondern durch Druck des belasteten, auf dem Widerlager ruhenden Gewölbes von oben, und durch lokal mangelnden Widerstand von unten. Der mechanische Effekt ist aber genau derselbe, welchen auch Seitenschub hervorgebracht haben



würde: Faltung der künstlichen Gneissgranitschichten und zwar ohne dass dieselben pelomorph wurden. Man sollte meinen, die Mauerfugen allein hätten die Gneissgranitschichten so gelenk gemacht, dass ihre Biegung ohne Berstung erfolgen konnte. Dem ist aber nicht so; die Risse setzen auch mitten durch die Werksteine, genau wie Radialrisse, welche wir in vielen natürlichen Schichtengewölben theils noch offen, theils mit Mineralmasse verwachsen, wahrnehmen können.

Bei übermäßigem Druck auf den Rücken lagerhaft eingemauerter Gewölbesteine aus Gneissgranit tritt soge-



nanntes „Brennen“ derselben ein, d. h. an den Sichtflächen runden sich ihre Kanten durch Abspringen von Scherben ab. Gleichzeitig reißen solche Steine häufig nach mehr weniger concentrischen, der Gewölbeprofillinie parallelen Flächen. Man könnte

in Versuchung kommen, letztere Risse als ein neues Beispiel für „cleavage“ durch Druck normal zur Druckrichtung hinzustellen. Gewölbesteine aus weniger festem Material als Gneissgranit, z. B. aus Kalkglimmerschiefer; Ziegelsteine etc. werden unter übermässigem Druck zu Pulver zerquetscht, oft so fein, dass man es mit dem Fingernagel auskratzen kann. Sind die Ziegelsteine (namentlich schlecht gebrannte, d. h. thonhaltige), gleichzeitig nass, so entsteht daraus allerdings ein Brei, plastisch genug, um zwischen den Gewölbefugen herausgepresst zu werden. Eine ganz ähnliche Erscheinung kann man beim Feinquetschen nasser Erze und Gänge zwischen Gusseisenwalzen beobachten: das Mehl klebt zu einer fast plastischen Masse zusammen, welche die Walzen gürtelförmig umzieht und von denselben durch besondere Schabeisen entfernt werden muss. Dies sind aber nur scheinbare Beispiele für den unter hohem Druck eintretenden Pelomorphismus von Gesteinen, denn vor oder während der Zertrümmerung der Ziegelsteine oder der Erze zu Mehl tritt keine Plasticität derselben ein, und erst das fertige Pulver derselben wird beim Befeuchten mehr oder weniger plastisch. Für die Theorie der Schichtenfaltung ist diese letztere Thatsache von Bedeutung; sie wird nicht nur durch die oben angeführten Beispiele aus dem praktischen Leben bewiesen, sondern auch durch direkte Versuche von KICK und POLACK, welche fanden, dass dieselbe Porzellanerde unter der hydraulischen Presse „flüssig“ wurde, als sie noch 27,2% Wasser hielt, aber mit nur 21,4% Wasser hart und brüchig blieb.

Als ein der Natur entnommenes Beispiel für die Wirkung starken Druckes (unter gleichzeitiger Bewegung) auf feste spröde Gesteine will ich noch Quarzfeldspathgänge im Gotthardtunnel (besonders zwischen 2800 à 3700 m N. und 4540 à 4740 m S.; aber ausserdem noch an sehr vielen anderen Punkten) anführen, welche zu so feinem Pulver zerquetscht sind, dass durchfliessendes Wasser milchig getrübt wird und einen, in nassem Zustand quasi plastischen Bodensatz fallen lässt, welchen Laien oft genug für Kaolin gehalten haben.

Der umgebende Gneiss ist vielerorts gleichfalls zertrümmert und zerquetscht, dadurch aber der Zersetzung

so zugänglich geworden, dass er nun mehr oder weniger lettig und gebräuch erscheint.

Die vorstehenden Belege dürften genügend darthun, dass spröde, starre Gesteine durch starken Druck wohl zu Scherben oder selbst zu Mehl zerquetscht werden, welches angefeuchtet quasi plastisch werden kann; dass aber bei denselben, ohne vorgehende Zertrümmerung, kein Pelomorphismus eintritt, welcher dem „écoulement“ (im Sinne TRESCA's) geschmeidiger Metalle oder anderer duktiler Substanzen entspräche. Damit stimmen auch die Ansichten SCHEUCHZER's und aller älteren Geologen. Sollte dieser plastische Zustand etwa erst durch erhöhten Druck auf das trockene Gesteinspulver eintreten, für welche Annahme z. B. das Schmelzen von Eis unter hohem Druck bei einer gewissen Temperatur sprechen könnte, so würden wir es anstatt mit dem räthselhaften Pelomorphismus einfach mit Schmelzung zu thun haben. Ein erst zerquetschtes, dann geschmolzenes und in weichem Zustand gemodeltes, gemengtes Gestein, z. B. Gneiss, dürfte aber nach diesen Processen, kein Gneiss mehr sein, sondern vielleicht entglastem Glas ähneln, welches erst durch neue Molecularveränderungen wieder zu Gneiss werden könnte. (Man denke an DAUBRÉE's Versuche mit überhitztem Wasserdampf.)

Gegen die Modelung solcher Gesteine nach vorhergehender Schmelzung, deren mineralogische, selbst chemische Zusammensetzung durch Schmelzung durchgreifend verändert werden würde, spricht aber nicht nur Fehlen sogenannter „Contacterscheinungen“ an der Grenze von Gneiss und Kalk und das Vorkommen von wasserhaltigen Silicaten, Bitumen, Schwefelkies etc. in gefältelten Kalken und schwarzem Thonschiefer etc., sondern auch die mit Gesteinsquetschungen und Kleinfältelungen stets verknüpften (wenn mitunter auch un mikroskopisch nachweisbarem) Harnische, welche nur durch Gleiten starrer Gesteinsfragmente auf einander erklärbar sind. Namentlich der Serpentin des Gotthard ist voll solcher innerer Spiegel, an denen das Gestein dieselbe Zusammensetzung hat wie abseits davon. Niemand dürfte heutzutage behaupten mögen, dass der Serpentin in einem durch Schmelzung weichen Zustand sich befand, als äusserer Druck auf denselben diese Spuren seiner inneren Quet-

schung zurückliess. Sehen wir eine und dieselbe Gneisssschicht hier mit ihrer ursprünglichen, eben-schiefri-gen Struktur, dort gefältelt, ohne dass sie mineralogisch verändert ist, so können wir sicher sein, dass sie während ihrer Faltung nicht pelomorph war.

Gegen die Faltung starrer, aber pelomorph gewordener, schiefriger Schichten durch Seitenschub spricht noch, dass ihre Strukturflächen den Faltungen conform verlaufen. Eine pelomorphe, oder um unzweideutig zu reden, eine durch Schmelzung weich gewordene Gesteinsschicht könnte aber durch Seitenschub nur normal zur Schubrichtung, d. h. quer über die Falten Parallelstruktur annehmen, wenn wir für Gesteine die Resultate der bekannten Versuche SORBY's, TYNDAL's u. A. gelten lassen. Diese an Wachs und Thon (mit oder ohne eingemengten Eisen-glimmerblättchen) angestellten Versuche können noch durch einige Beispiele aus der Technik vermehrt werden, welche freilich auch keine Gesteine betreffen und deshalb wiederum nur Analogieschlüsse gestatten. VON COTTA machte wohl zuerst darauf aufmerksam, dass nach der EXTER'schen Methode (durch Zusammenpressen getrockneten, gemahlener und erwärmten Materials) dargestellte Torfziegel normal zur Druckrichtung blättern; und einem jeden Metallarbeiter ist bekannt, dass weiche Metalle durch anhaltendes Kalthämmern oder Walzen schiefern. BAUR's, DAUBRÉE's, STUDER's Erklärungen der Plattenabsonderung eingequetschter Gesteinsmassen durch seitlichen Druck findet in diesen Versuchen und Beispielen um so mehr eine Stütze, als wenigstens STUDER Plasticität dieser Gesteine voraussetzt. Nach einer gütigen brieflichen Mittheilung schliesst derselbe aber Erweichung durch Schmelzung aus, denkt vielmehr an „den Einfluss von durch hohen Meeresdruck eingepresstem Wasser“ — eine Ansicht, die in einigen der oben citirten Beispiele (KICK's Versuche mit Porcellanerde) eine direkte Stütze findet.

Bei Graniten und Gneissgraniten der Alpen, so weit sie unzweifelhaft in weichem Zustand emporgequetscht wurden, kann man sich eine bessere Erklärung ihrer symmetrischen Verplattung nicht wünschen; und wenn zwischen denselben, ihren Platten conform, metamorphosirte Schiefer-schichten eingelagert sind, deren ursprünglich sedi-

mentärer Ursprung bewiesen werden kann, so würde auch STUDER keinen Augenblick zögern, letztere Schichten als aus ihrer ursprünglichen Lage verschoben zu erklären.

Den Gneissgranit des Finsteraarhornmassives, den Granit und Gneissgranit der Centralkette westlich vom Gotthard glaube ich zu der ersten Kategorie zählen zu dürfen; die vom Tunnel durchfahrenen sogenannten Glimmergneisse des Gotthardmassives sind dagegen durch so vielfache Übergänge und Schichtenverbände mit den zweifellos metamorphosirten (ursprünglich sedimentären) Ursernschichten verknüpft, dass man kaum umhin kann, auch diese Glimmergneisse etc. für metamorphosirte Sedimentärschichten zu halten. Obwohl sie an dem Bau des „Gotthardfächers“ Theil nehmen, kann man also dennoch nicht auch auf sie dieselbe Erklärung der regelmässigen Verplattung appliciren, welche wir für die benachbarten Gneissgranite gelten lassen; um so weniger, als sie im Inneren des Tunnels auf das mannigfachste gefaltet, gefältelt, gequetscht sind. Im Gotthardmassiv hat aber der Tunnel bisher noch nirgends den Boden einer grösseren Schichtenmulde durchfahren, deren Flügel zu Tage gegangen wären; die Konstruktion solcher Mulden etc. ist also noch Conjecturalgeologie.

Bei diesem negativen Resultat angelangt, müssen wir versuchen uns eine Vorstellung zu verschaffen, wie starre spröde Gesteinsschichten durch seitlichen Druck ohne vorgehende Erweichung gefältelt werden können. Ich glaube, in vielen Fällen wird der Druck nur eine Zersplitterung der Schicht und Übereinanderschichtung ihrer Scherben veranlassen (Beispiele: die erwähnten Quarzitschiefer und Glimmergneisse etc. aus dem Gotthardtunnel), während sich die Schicht verkürzt und gleichzeitig verdickt.

Bei Anwesenheit flexibler* Mineralbestandtheile (Thon, Talk, Glimmer, Chlorit, Graphit u. dergl.) und

* Andererseits kann man öfters beobachten, dass wenn feste und zähe Schichten mit weniger widerstandsfähigen wechsellagern, erstere gefaltet, letztere aber zerquetscht sind; als Beispiel mögen die gefalteten Hornblendegesteinsschichten gelten, welche 5900 m v. N.-P. des Gotthardtunnels zwischen zerquetschten Glimmergneiss-schichten liegen.

einem gewissen Wassergehalt (nicht chemisch gebundenes Wasser) bei hinreichender Belastung und etwas schief gerichtetem Druck mögen oft kleine Hindernisse, welche Stauungen veranlassen, die erste Anregung zum Faltungsprocess sein. Ich erinnere hierbei an die merkwürdigen Faltenwürfe, welche A. FAVRE künstlich erzielte, als er quer unter die zusammenschiebenden Thonschichten Holzleisten einlegte.

Wollte man in eine \cup förmige unnachgiebige Führung unter hinreichendem Drucke eine Schicht in ihrer Längsrichtung einschieben, so würde sie zertrümmert, nach Befinden pulverisirt werden — aber die \cup Form der Führung annehmen. Gewiss würde es auch gelingen, starre Schichten dadurch zu krümmen und zu falten, dass man sie auf einer nachgiebigen Unterlage, z. B. von Blei, mit einer entsprechend geformten Patrizze aus Stahl stark presste. In der Natur sind die hier für Kleinversuche vorgeschlagenen Führungen und Wirkungsarten freilich nicht gegeben, die Stelle der ersteren vertreten die unter hinreichend hoher Gebirgsdecke sich gleichförmig biegenden Nachbarschichten.

Die mit solchen Faltungen starrer Schichten verknüpften Risse müssen nach der äusseren Peripherie der Falte hin im Verhältniss $\frac{r+d}{r}$ zahlreicher oder weiter werden als nach der inneren, wenn r den inneren Krümmungsradius, d die Dicke der Schicht bedeutet. Nur in der Mittellinie (neutralen Axe) der Schicht ist Faltung ohne Risse denkbar; unterhalb derselben muss sich die gefaltete Schicht durch Zusammenschiebung (Quetschung oder Kleinfältelung) verdicken, was aber auch nicht ohne Risse geschehen kann.

Es ist geometrisch gleichgültig, ob wenige breite Risse, oder unendlich viele mikroskopische den Hohlraum darstellen, welcher durch Streckung der Schicht an der äusseren Faltenperipherie entsteht. Weite, noch klaffende oder zu Gesteins-Adern vernarbte Risse in Schichtengewölben lassen sich ohne Weiteres häufig genug wahrnehmen und ebensowenig fehlen mikroskopische. Milliarden von Infusorienpanzern setzen Berge zusammen, Millionen mikroskopischer Risse besitzen zusammengelegt die Breite einer recht tüchtigen Spalte.

Bei kleinen (und zumal mikroskopischen) Fältelungen laufen

diese Risse nicht nur radial, sondern auch tangential. An den Tangentialrissen „schleppen sich“ die übereinandergeschobenen Fältchen. Dadurch entsteht eine massurähnliche Mikrostruktur, welche z. B. an den schwarzen Schiefen des Ursernthales recht deutlich wahrgenommen werden kann. Zu weit getriebene Kleinfältelung bringt überhaupt Erscheinungen hervor, welche mit denen der Quetschung übereinstimmen. Die übergefältelten Lamellen lösen sich in Stängel, selbst Fibern auf, welche quer zur Schubrichtung liegen. VON COTTA erklärte wohl zuerst diesen „Lineärparallelismus“ (bei Thonschiefern) als durch Pressung verursacht, während SEDGEWICK und MURCHISON denselben als Folge von Streckung auffassten. Mit dieser Strukturform ist häufig verknüpft: Verzerrung eingewachsener Mineralien. Besonders der im ebenschiefrigen Glimmergneiss des Gotthardmassives häutige Magnesiaglimmer wird in demselben, aber kleingefältelten und gequetschten, Gneiss langschuppig, in der Richtung der Gesteins-Stängel, welche selbst vom Glimmer umhüllt sind. Noch weiter fortgesetzte Quetschung zertrümmert die Stängel in glimmerumhüllte Körner und veranlasst verworrene Parallelstruktur.

Man muss sich schliesslich noch fragen, wie zertrümmerte, pulverisirte, in Form gepresste Schichten wieder fest werden können? Als unlogisch auszuschliessen ist die Annahme, dass wenn ein gewisser Druck die Zermalmung veranlasst, derselbe Druck (oder ein höherer oder niedrigerer?) das Pulver wieder in Stein verwandeln könne. Gegen eine solche Annahme spricht auch die Erfahrung. Wohl presst man aus trockenem Thon Ziegel, Röhren u. dergl., aus Quarzpulver (mit sehr wenig feuchtem Thon) feuerfeste Steine; aber diese Gegenstände besitzen nach dem Pressen gerade genug Zusammenhang, um in den Ofen getragen werden zu können, wo sie durch Schmelzung (Sinterung) hartgebrannt werden. Man kann trockene Sägespäne zu fester Holzmasse zusammenpressen, Kohlenklein zu Briquettes, trockenes Torfklein zu festen, dünnen Torfziegeln. Aber auch in diesen Fällen veranlasst nicht der Druck das Festwerden, sondern theerartiges Cement, welches sich beim Zusammenpressen der ge-

nannten, vorher erwärmten, organischen Substanzen entwickelt. Man kann Metaldrehspäne, Eisenschwamm, Platinschwamm etc. zu festen Kuchen pressen. Entweder verhaken sich aber dann die einzelnen Späne und die Consolidation ist nur oberflächlich, oder es tritt (bei gleichzeitiger Anwendung von Hitze) einfach Schweissung ein. Die Möglichkeit, dass die Scherben starrer, durch Quetschung gefalteter, Gesteinsschichten durch Erhitzung zu beginnender Schmelzung wieder consolidirt werden, ist nicht ausgeschlossen. Die Struktur, chemische und mineralogische Zusammensetzung solcher Schichten würde aber sofort die Frittung verrathen, welcher sie ausgesetzt waren*.

Viel allgemeiner dürften zerquetschte (resp. gefaltete) Gesteinsschichten durch Verkittung ihrer Fragmente wieder fest werden. Die wenig dauerhafte (mechanische) Verkittung durch Thon, Mergel, Eisenocker u. dergl. ist bekannt genug; als einige Beispiele für dieselbe aus dem praktischen Leben seien nur die Atobas erwähnt (an der Sonne getrocknete Mauersteine, welche die Indianer Nord-Mexiko's aus Schlamm anfertigen), die Lehmsteine, die Luftziegel aus Süsswasserkalk, Infusorienerde oder vulkanischer Asche.

Von grösserer geologischer Bedeutung ist die (chemische) Verkittung durch in Wasser fast unlösliche, obwohl aus wässriger Lösung ausgeschiedene Mineralien, namentlich Quarz, wasserhaltige Silicate, Carbonate, Eisenoxydhydrate, selbst Schwefelkies u. dergl. Unzählbare Spalten, Sprünge und mikroskopische Risse in gequetschten, gefalteten und gefalteten Schichten sehen wir besonders mit Quarz und Kalkspath gefüllt, welche die beim Faltungsprozess entstandenen Gesteinsfragmente wieder verheilt haben.

Im täglichen Leben begegnen wir genug Beispielen künst-

* Manche Spiegel und Harnische auf Schwefelkies, Speisskobalt, Bleiglanz, Serpentin, Talkschiefer u. a. machen übrigens den Eindruck, als wäre das an den Rutschflächen abgeriebene Pulver wieder zu fester Substanz zusammengedrückt und sodann polirt und gerieft worden. Die Zusammensetzung der genannten Mineralien schliesst die Möglichkeit eines Verschmelzens des Pulvers durch die Reibung aus.

licher aber steinfester Verkittung von Mineralsubstanzen durch solche. Man denke an die Carbonate und wasserhaltigen Silicate, welche beim Gebrauch gewöhnlichen oder hydraulischen Mörtels die Mauersteine verkitten; an das Kalksilicat, womit in den künstlichen Ransome-Steinen (Hafenbauten von Port Saïd) Sand, Kreide, Cement zu „Stein“ verbunden werden; an anderweitige Verwendung von Wasserglas zu ähnlichen Zwecken; an die „Stöckel“ oder „Mattone“ des Kupferwerks Agordo, d. h. durch Eisensulphat und Gyps steinhart cementirte, vorher geröstete und ausgelaugte Kiese; an den neogenen Zeolith, welcher in römischen Badeanlagen zu Luxeuil in den Ziegeln auskrystallisirt ist; an Sprudelstein und Kalksinter; an die durch Eisenoxydhydrat verbundenen Geschiebe, welche oft als steinhartes Conglomerat Eisenstangen inkrustiren, die lange in Flussbetten liegen.

Den Inhalt dieser No. 9 können wir dahin resumiren, dass für den Faltungsprozess starrer Schichten durch Seitenschub kein Pelomorphismus derselben vorausgesetzt werden darf; dass der Faltungsvorgang vielmehr mit Zermalmung des Gesteins verknüpft ist, dessen Scherben und Pulver nachmals wieder verkittet werden, und zwar vorzugsweise auf nassem Wege.

10.

Im Vorgehenden haben wir immer nur Seitenschub als Ursache der Schichtenfaltungen etc. vorausgesetzt, wollen auch auf die Erörterung anderer Ursachen nicht eingehen, obwohl solche nicht ausgeschlossen sind. HERSCHEL z. B. erklärt Schieferung als das Resultat intermolekulärer Bewegung mit Reibung; STUDER wünschte vorzüglich zu ermitteln, ob die Molekularbewegung im Kautschuk, mit welchem A. FAVRE die Thonschichten zusammenziehen liess, uns über die Vorgänge in unserem Grundgebirge aufkläre; J. HALL theilte mir mündlich mit, wie er die zierlichsten Kleinfältelungen in einer dicken Oelfarbenkruste beobachtete, welche dadurch entstanden war, dass Maler immer an derselben Stelle ihrer Werkstätte die Pinsel abstrichen. Seitenschub ist hier der zur Kugelfläche tangential gerichtete Druck, welcher in der Erdkruste durch Zusammen-

ziehung der Erdmasse in radialer Richtung erzeugt wird; die vertikale Bewegung ist also die ursprüngliche, aus welcher die horizontale erst folgt. Da die eigenthümliche Richtung einer jeden durch die Schwere veranlassten Bewegung gleichfalls vertikal ist, so wird man vielleicht glauben, vorgehender Satz sei aufgestellt, um die Schwerkraft als Grundmotiv der Faltungsvorgänge einzuführen. Dies ist jedoch um so weniger meine Meinung, als nur in wenigen Fällen von untergeordneter Bedeutung durch Wirkung der Schwere veranlasste Falten beobachtet oder möglich sind. Solche Ausnahmefälle sind z. B. die „Creeps“, welche durch Einpressen notorisch plastischer Schieferthonschichten in die Strecken der Steinkohlengruben entstehen; und für einzelne Fälle dürfen wir die Erklärungen NAUMANN's, KÜHN's, HERSCHEL's u. A. gelten lassen, wonach geneigte Schichtensysteme, deren Massen noch einen hohen Grad von Weichheit, Biagsamkeit und innerer Beweglichkeit besitzen, das Bestreben erhalten, auf der schiefen Ebene herabzugleiten, wobei die tiefsten Theile, von den nachdrängenden oberen seitwärts zusammengepresst, mannigfaltig emporgerichtet, aufgestaut, gekrümmt, gewunden und übereinander geschoben werden.

Nehmen wir für einen Augenblick die Existenz eines durch immensen Druck erzeugten pelomorphen Zustandes starrer Gesteine an, so führt diese Annahme unmittelbar zum Schlusssatz, dass die Gebirge der Erde versinken müssten, denn für eingeschlossene breiartig „fließende“ Gesteinsmassen sollen doch wohl keine anderen Gesetze als die bekannten hydrostatischen geltend gemacht werden?

Halten wir dagegen daran fest, dass Faltung starrer Schichten nicht pelomorphen Zustand derselben voraussetzt, sondern Zertrümmerung durch seitlichen Druck, so lässt sich leicht berechnen, ob und unter welchen allgemeinen Verhältnissen Faltungsvorgänge durch die Schwerkraft veranlasst werden können.

Für technische Zwecke habe ich 1868 die Resultate der damals bekannten besten Versuche über absolute Festigkeit von Gesteinen zusammengestellt („Über Gesteinsbohrmaschinen“; 1869, p. 16) und selbige ohne Rücksicht auf Gesteinsnamen lediglich nach auffälligen Intervallen in der ganzen Reihe der vorliegenden Beobachtungen in 4 Gruppen eingetheilt, nemlich:

1. Gruppe: Porphyry, Melaphyr, Trapp, Basalt, Schwefelkies . . K = 21,513,400 Kgr. pr. □ M.
2. Gruppe: Granit, Gneiss, Sandstein, Kalkstein, Marmor, Stinkstein; Schwefelkies, Schwedische Eisenerze und deren Gangarten = 7,300,800 " " "
3. Gruppe: Granit, Gneiss, Sandstein, Kalkstein, Marmor, Grauwacke; Blende, Schwefelkies, Bleiglanz; Glimmerschiefer, Quarz; Eisenspath = 2,983,800 " " "
4. Gruppe: Gangarten, als Flussspath, Schwer-
spath, Kalkspath, Eisenspath, Mangan-
spath, Quarz; Erze, als Bleiglanz, Blende,
Schwefelkies; verwitterte Silicat-
bergarten = 1,228,900 " " "

Die Gesteine dieser 4 Gruppen besitzen (nach Ausschluss der Erze und Gangarten) ein mittleres Gewicht γ pr. Kubikmeter von 2762 Klgr. (1. Gruppe); von 2576 Klgr. (2., 3., 4. Gruppe). Nun muss ein Kegelberg, welcher durch sein Gewicht die Gesteinsschicht nächst seiner Basis zerquetschen soll, die Höhe $\frac{3K}{\gamma}$ besitzen, — d. h. wenn er

aus Gesteinen der ersten Festigkeitsgruppe besteht

$$\frac{3 \times 21513400}{2762} = 23367 \text{ m hoch sein}$$

„ zweiten Festigkeitsgruppe

$$\frac{3 \times 7300800}{2576} = 8502 \text{ m " "}$$

„ dritten Festigkeitsgruppe

$$\frac{3 \times 2983800}{2576} = 3475 \text{ m " "}$$

„ vierter Festigkeitsgruppe

$$\frac{3 \times 1228900}{2576} = 1431 \text{ m " "}$$

Hieraus ergibt sich sofort, dass die ganze Erde keinen Berg aus festestem Gestein besitzt, welcher hoch genug wäre durch sein Gewicht seinen Fuss zu zertrümmern;

dass aber die höchsten bekannten Berge, wenn sie aus festen Gesteinen (2. Gruppe) bestehen, sich gerade noch tragen können. Gleiches gilt von den hohen Alpenbergen, wenn sie auch nur aus dem mittelfesten Material der 3. Gruppe aufgebaut sind; und die höchsten europäischen Mittelgebirge könnten ihre Basis nicht zerquetschen, wenn sie auch nur aus verwitterten Silicatgebirgsarten beständen.*

Vorstehende Daten müssen uns überzeugen, dass das Gewicht der Berge aus starrem Gestein, wie sie auf unserer Erde nun einmal beschaffen sind, keinerlei Quetschung und Schichtenfaltung am Bergfuss veranlassen kann. Wir dürfen uns auch darüber beruhigen, dass irgendwelche Tunnelröhre in Folge der Höhe** des überliegenden Gebirges zusammengeinge, wenn sie auch von Meer zu Meer quer durch Südamerika, Europa oder Asien getrieben würde.

Noch viel günstiger stellt sich die innere Stabilität der Gebirge heraus. Die Bedingung, unter welcher eine dünne quadratische Gesteinssäule sich von ihrer Umgebung losreißen und ihren Fuss im Erdinnern zerquetschen könnte, ist durch folgende Gleichgewichtsgleichung ausgedrückt, in welcher K wie früher den Zerdrückungs- (resp. Abscheerungs-) Modul pr. Quadratmeter, γ das Gewicht von 1 Kilometer, s die Seite, h die Höhe der Säule bedeutet.

$(4sh + s^2)K = s^2h\gamma$. Setzen wir $s = 1$, so folgt $h = \frac{-K}{4K - \gamma}$, d. h. das gedachte Losreißen und Zerquetschen

kann überhaupt gar nicht statthaben, falls nicht $\gamma > 4K$, — eine Bedingung, die kein bekanntes starres Gestein der Erdkruste erfüllt. Selbstverständlich verursachen innere Gesteinsablosungen, dass diese theoretischen Werthe mit denen der Wirklichkeit numerisch nicht übereinstimmen. Die Gleichgewichtsgleichungen drücken aber dennoch die Fundamental-Beziehungen korrekt aus, wor-

* Dass durch ausgeschweiften Bergfuss die Selbsttragfähigkeit noch erhöht wird.

** Lokale Niederbrüche in notorisch druckhaftem oder schwimmendem Gebirge gehören gar nicht hierher, weil sie mit der Höhe des überliegenden Gebirges nichts zu schaffen haben.

auf es hier allein ankommt, da man aus der Erfahrung z. B. vom sogenannten „Bruchbergbau“ hinreichend kennt, wie Gesteinschutt sich so verspreizt, dass nach Befinden recht grosse freie Räume in demselben ausgehalten werden können — unabhängig von der Höhe der überliegenden Bruchmassen. Die Behauptung, dass unterirdische Räume in festen geschlossenen Gesteinen durch das Gewicht der überliegenden gleichfesten Gesteine um so eher eingedrückt werden könnten, je höher die überliegende Gebirgsdecke, ist nicht wissenschaftlich weil ihr die Theorie widerspricht, nicht exakt, weil ihr die Erfahrung entgegensteht. Wenn alte Häuer von „zugewachsenen“ Grubenörtern reden, so können sie Recht haben, so lange es sich um Gallerien in Schieferthon, Salzthon und anderen plastischen Gebirgsarten handelt; alle sogenannten „zugewachsenen“ Strecken in festem Gestein sind dagegen lediglich mehr oder weniger mit Schlamm, abgelösten Wänden, Ocker und Sinterabsätzen zugestopft, durch Vorgänge, welche mit der Höhe des überliegenden Gebirges nichts zu thun haben. Der schon im vorigen Jahrhundert auflässig gewordene Eselsschacht bei Kuttenberg erreichte 656 m Tiefe im Gneiss, der in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts verlassene Reinankenschacht bei Kitzbüchl 664 m in Thonschiefer. Beide wurden nicht etwa aufgelassen, weil das Gebirge in die Grubengebäude hinein „floss“, sondern weil die gewonnenen Erze nicht mehr die Kosten für Wasserhaltung, Förderung etc. bezahlten.

Mit dem Gotthardtunnel sind auch in der grössten bisher erreichten Teufe von 1555 m unter Oberfläche in Glimmergneiss (welcher hinsichtlich seiner Festigkeit etwa zur 3. Gruppe gehört) klaffende Wasserspalten und offene fussweite Krystalldrusen angefahren worden; — an Zeit hat es in diesem Fall dem Gebirge offenbar nicht gefehlt, die Hohlräume auszufüllen, falls überhaupt die Cohärenz des Gesteines innere Verschiebungen desselben durch die Schwerkraft allein zuliesse. Die druckhafteste Stelle des Gotthardtunnels liegt nicht etwa unter den höchsten Bergen, sondern im Ursernthal ca. 304 m unter Oberfläche, und falls es die Standfertigkeit, Verklüftung und Gesundheit des Gebirges zulässt, wird

man den Tunnel auch unter den höchsten Profilverpunkten unvermauert lassen.

Jeder unterirdische Bau veranlasst eine Gleichgewichtsstörung in den Spannungen des umgebenden Gesteines, welche durch die Rückwirkung starker Sprengmittel und durch Temperaturveränderungen (zumal beim sogenannten Feuersetzen) noch gesteigert wird. Die allmähliche Wiederausgleichung der Spannungen hat zur Folge, dass sich mehr oder weniger concentrische Schalen ablösen*, und erst wenn, nach Beendigung des Ausbruches keine wesentlichen Temperaturänderungen mehr statthaben und bleibende Ausgleichung der Gesteinsspannungen eingetreten ist, pflegt dies Abbröckeln aufzuhören. Auf Rechnung des durch seine Schwere in die unterirdischen Bauten gleichsam „eingepressten“ Gebirges darf man solche Gesteinsablosungen gewiss nicht setzen.

* Besonders nach dem Feuersetzen, oder wo Dynamit als Sprengmittel angewendet wird. Die Schüsse des letzteren veranlassen zu einer Tiefe von wenigstens $\frac{1}{2}$ m in festem kompaktem Gestein (z. B. dem Gneissgranit des Finsteraarhornmassives) eine versteckte concentrisch-schalige Ablösung, welche z. B. auch dadurch bemerklich wurde, dass Gesteinsprismen aus dem Göschener Richtstollen, die BAUSCHINGER untersuchte, quer zur Schieferung leichter brachen, als parallel zu derselben.

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: 1879

Band/Volume: [1879](#)

Autor(en)/Author(s): Stapff Friedrich Moritz

Artikel/Article: [Zur Mechanik der Schichtenfaltungen. 792-814](#)