



Verhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt.

Sitzung vom 28. März 1916.

Inhalt: Vorträge: V. Pollack: Über Quellung (oder „Blähen“) und Gebirgsdruck. — A. Rosiwal: Neuere Ergebnisse der Härtebestimmung von Mineralien und Gesteinen. — Ein absolutes Maß für die Härte spröder Körper. — Literaturnotizen: Wykopaliska Staruńskie.

NB. Die Autoren sind für den Inhalt ihrer Mitteilungen verantwortlich.

Vorträge.

Prof. Vincenz Pollack (Wien). Über Quellung (oder „Blähen“) und Gebirgsdruck.

Wenn man durch ein Menschenalter intensiv mit Beobachtungen, Theorie und Praxis allerlei Art von Bodenbewegungen der jüngsten bis ältesten Erdgeschichte in ihren Großformen bis zu Kleinstformen herab beschäftigt ist, so wirkt es nicht verwunderlich, wenn aus der großen Masse der Erscheinungen noch manche Fragen heraustreten, die ein Spiel verschiedener Meinungen sind, obschon seit langem die Möglichkeit vorliegt, durch einwurfsfreie Untersuchungen und Versuche der Wahrheit näher zu kommen. Einer dieser Fragen soll hier nähergetreten werden, um etwa den Weg anzudeuten, auf welchem den obwaltenden Unklarheiten beizukommen wäre, ohne die Schwierigkeiten zu verkennen, die vorliegen; doch sollen Tatsachen angeführt werden, die deutlich für jenen sprechen, der reichlich Erfahrungen und Beobachtungen auf dem fraglichen Felde gemacht, dabei ist jedoch anzustreben jederlei Beobachtung, auch von Tatsachen, immer des Subjektiven tunlichst zu entkleiden und die vorhergegangenen, gegenwärtigen, aber vollkommen einwurfsfrei bestimmten Tatsachen sprechen zu lassen. Die menschlichen Sinne können fehlerlose Ergebnisse um so weniger in vielen Fällen liefern, als viele Umstände subjektiver und objektiver Art in Betracht kommen, die das zu erwartende Ergebnis in geringerem oder größerem Maße beeinflussen. Manche oder viele Tatsachen entziehen sich der Beobachtung und werden als bestimmt nicht vorhanden erklärt, weil die Aufmerksamkeit, die Beobachtungen (Sinne und Hilfseinrichtungen, Instrumente, Versuche, Verfahren) oft beim besten Willen und großer Vorsicht nicht ausreichen; dann entgehen auch mancherlei Tatsachen oder Erscheinungen der Beobachtung, d. h. die letztere ist nicht erschöpfend

vollständig, da vielleicht ein subjektiver Faktor beeinflussend wirkt, der das eine oder andere bewußt oder unbewußt als nicht erforderlich, gar nicht oder zu ungenau betrachtet. Im weiteren ist noch zu beachten, daß, wenn auch für alle Tatsachen die wahren oder wahrscheinlichsten Werte in objektivster Weise festgestellt erscheinen, die daraus zu ziehenden Folgerungen oder Schlüsse leicht einer subjektiven Ansicht zum Opfer fallen und falsche Schlußergebnisse liefern können. Auch wenn exakt mathematische Entwicklungen auf Grundlage guter Beobachtungen möglich erscheinen, werden gewisse Voraussetzungen, Annäherungen sowie mancherlei in die Rechnung kaum einbeziehbare bekannte, geahnte oder unbekannte Nebenumstände leicht zu Fehlschlüssen führen. So leiden beispielsweise die Erscheinungen mancher kleinster bis größter terrestrischer, subterrestrischer, subaquatischer usw. Bodenbewegungen an teilweise falschen, viel zu subjektiven oder unvollständigen Beobachtungen und verfallen dann selbst anerkannte Fachmänner in unrichtige Schlüsse.

Diese Vorbemerkungen erschienen wünschenswert, weil gerade im vorliegenden Falle Meinungen herrschen, die zwar Wahrscheinlichkeiten zeigen, die aber kaum durch einwurfsfreie Tatsachen belegt werden können.

So einfach auf den ersten Blick gewisse und im Oberflächenbild sehr häufig vorkommende oberflächliche Hangbewegungen und teilweise die seltener zu beobachtenden tiefer im Innern liegenden Gleitbewegungen sind, so verwickelt können sie aber unter gewissen Bedingungen und zahlreichen Umständen werden. Gewöhnlich stellt sich der allereinfachste Fall so, daß eine mehr oder minder wasser-durchlässige oder auch wasserführende Masse auf einer weniger durchlässigen in Bewegung gerät; dabei können beide durch irgendeine mehr oder weniger ausgesprochene Fläche vor der Bewegung abgegrenzt sein oder es kann auch ein allmählicher Übergang aus einer Masse in die darunterliegende vorhanden sein. Werden auch in vielen Fällen äußere Veranlassungen einer solchen Bewegung zu finden sein, so sind andere Fälle möglich und bekannt, wo eine eigentliche Veranlassung nur im Zusammenwirken kaum merklicher Umstände „im Reißen des letzten Zusammenhaltes“ zu erklären ist. Die bekannten äußeren Veranlassungen sind: Erosion oder künstliche Wegnahme des Fußes, also unten oder Überlastung oben oder über den ganzen Bewegungskörper. Als innere Ursachen wirken hauptsächlich: angedeutete und vorgebildete Flächen, somit Schicht-, Kluft-, jüngere und ältere Bruchflächen und dergleichen¹⁾, sodann die Materialbeschaffenheit insbesondere in bezug auf die Beweglichkeit desselben und das Verhalten zu Wasser. Damit ist auch der Übergang zur von der Materialbeschaffenheit bedingten „natürlichen Böschungs-Neigung“ gegeben. Es ist kein Mangel an Tabellen, die den „natürlichen Böschungswinkel“ für alle Gesteine und deren Ablagerungen über und unter Wasser zeigen. Es sind dies auch für praktische Zwecke, also z. B. für Erdbauten genügende und

¹⁾ Vgl. Pollack, Beiträge zur Kenntnis der Bodenbewegungen. Jahrb. d. k. k. geol. R.-A. 1882, pag. 565 ff.

schon lange im Gebrauche stehende Durchschnittswerte¹⁾. Die Begehung mitunter weitausgedehnter Gebiete mit über Berg und Tal zusammenhängenden Geländebewegungen in Siebenbürgen, am Vogelsberg, im böhmischen Mittelgebirge, in den Dolomiten, in den Karpathen, im Appenin usw., zeigt aber viel flachere Gehänge-
neigungen: das Ergebnis innerer Materialbeschaffenheit, der Atmosphärien einschließlich der Abtragungstätigkeit der Denudation und Erosion. Wird mit Q das Gewicht einer in Bewegung geratenen Scholle bezeichnet, mit α der Winkel der unteren Fläche der Scholle gegen die Wagrechte, so ist $Q \sin \alpha$ die Kraft, mit der die Scholle in der Richtung des Fallens abwärts strebt. Die senkrecht zur Abtrennungsfläche wirkende Komponente beträgt $Q \cdot \cos \alpha$ und wird der Reibungskoeffizient zwischen bewegter Scholle und der Unterlage oder Trennfläche mit f bezeichnet, so wirkt $Q f \cdot \cos \alpha$, d. i. die Reibung, der Bewegung entgegen. Wenn $Q \sin \alpha > f \cdot Q \cdot \cos \alpha$, so wird Bewegung eintreten. Aus dem Gleichgewicht $Q \sin \alpha = f \cdot Q \cdot \cos \alpha$ wird

$$f = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha. \text{ Ballif}^2) \text{ hat seinerzeit aus einer geringen Gleit-}$$

bewegung an der Salzach den geringen Wert für Lehm auf Tegel von $f = 0.07$ gefunden, was etwa 4° entspricht. Je mehr eine Gleitbewegung in ein Fließen (toniges, breiiges Material mit reichlich Wasser) übergeht, um so flacher wird der Gleichgewichtswinkel sich zeigen und schließlich nahe Null werden können. Hierbei ist die Kohäsion oder Adhäsion im abreißen oder abgleitenden Körper nicht in Betracht gezogen, die für den Beginn der Bewegung in Rechnung zu ziehen wären. In den oben genannten Gebieten sind meist Neigungen des Geländes von 6° und 7° ($\operatorname{tg} 6^\circ = 0.05$) als nicht selten zu sehen und genügt oft ein anscheinend geringer Anstoß, die in labilem Gleichgewicht stehenden Massen in neuerliche Bewegungen zu bringen.

Bei all den genannten Bewegungen tritt zwischen bewegter Masse und ruhender Unterlage in vielen Fällen eine vollkommene Trennung ein, obschon sich auch Fälle ergeben, die mehr Setzerscheinungen gleichen, z. B. an lockeren Hängen, Seeufern³⁾, wo zwar viele kleine Risse und Trennungen mehr oder minder beobachtet werden können, wo es aber nicht zur völligen Ausbildung einer zusammenhängenden größeren Trennungsfläche und daher wohl auch nicht zu einem vollen Abgleiten der abreißen Hangendmasse kommt. Der durch die Schwere ausgeübte Zug ist eben nicht groß genug, Kohäsion oder Adhäsion sowie Reibung vollständig zu überwinden. Im weiteren können im Abrißkörper selbst schon anfänglich oder

¹⁾ Sie variieren für gewöhnliche Fälle in losen Massen (Lehm, Schotter, Sand u. dgl.), zwischen 30 und 40° gegen den Horizont; in Fels zwischen 45° und lotrecht (z. B. im trockenen, festen Karstkalk bei nicht zu großer Tiefe); in beweglichem Boden sind die oben berührten Erwägungen zu berücksichtigen.

²⁾ Ein Versuch zur Bestimmung des Reibungskoeffizienten von Lehm auf Tegelschichten. Wochenschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1876, pag. 289 ff.

³⁾ Vgl. des Verfassers: Über Projektierung und Bau der schwierigeren Strecken der Arlbergbahn. Allg. Bauzeitung. Wien 1886. Seeufersenkungen und -Rutschungen. Zeitschr. d. Öst. Ing.- u. Arch.-Ver. Jahrg. 1889.

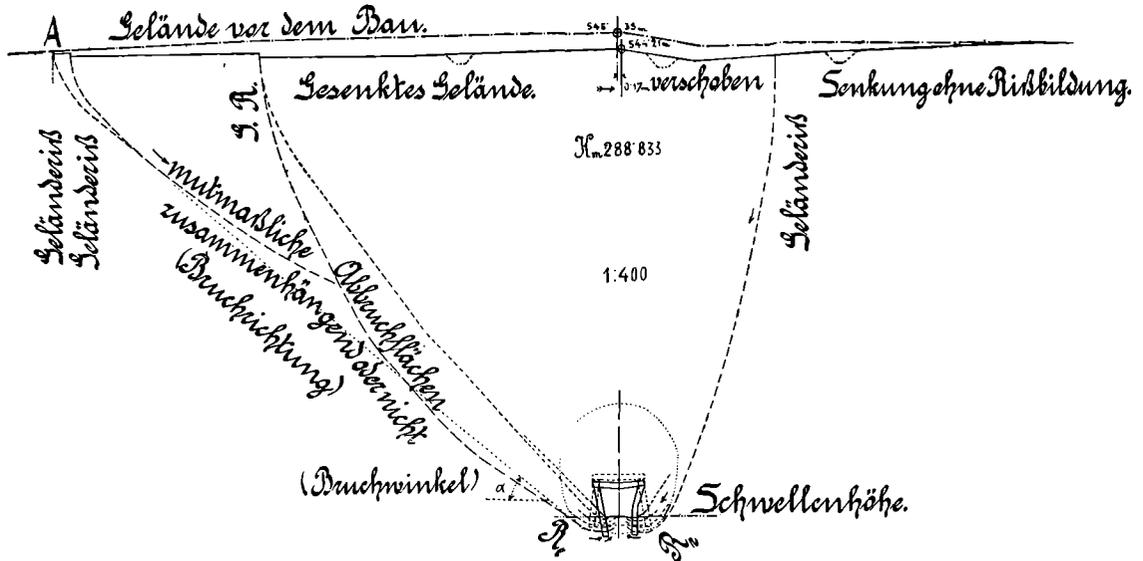
während der Bewegung weitere Zertrennungen eintreten, die durch Stellen schwächeren Zusammenhanges begünstigt erscheinen, ebenso im Liegenden, wo durch örtliche Pressungen und Entlastungen verschiedene Beanspruchungen sich ergeben, die ein Mitreißen oder Schleppen ermöglichen, so daß also Gleitflächen in mehrfacher Zahl übereinander sowohl im Hangenden als im Liegenden auftreten oder zur Ausbildung gelangen. In ungeschichteten und unklüftigen Massen trennt sich der Abrißkörper längs einer oder mehrerer sich bildenden Bruchflächen von seiner Unterlage ab. Der Gleitkörper ist aber nicht nur an seiner Unterfläche und am oberen Stoß von einer oder mehreren Gleitflächen begrenzt, sondern auch seitlich. Aus den Trennungsrissen werden seitliche Verschiebungsflächen (Blätter), also sekundäre Gleitflächen. Somit ergibt sich hier in vielen Fällen ein gewisser Unterschied in den Gleit- oder Rutschflächen. Sie sind sehr häufig bei den mehr oberflächlichen Schwerkraftsbewegungen vorgebildet und dann meist als innere Ursache anzusehen: Flächen, auf denen die Massen infolge Aufhören des Zusammenhaltes ins Gleiten und Rutschen geraten; es sind dies, wie bereits erwähnt, Schichtflächen oder auch nur Übergänge, dann alle übrigen möglichen Flächen, also Absonderungen, transversale Schieferung, Bruchflächen älterer und jüngerer Art usw. Auch werden bei den geodynamischen Aufrichtungen oder tektonischen Bewegungen solche Schwerkrafterscheinungen auf Schicht- und Klufflächen eingetreten sein, wenn auch heute nur selten Beispiele dieser Art noch erhalten sind.

Flächen, die nicht als innere Ursache der Bewegung zu betrachten sind, die oben bei den Oberflächenbewegungen angedeutet erscheinen, sondern als Wirkung bewegter Massen in denselben oder im Liegenden in kleinster bis größter Erstreckung, von kaum sichtbarer Größe in Bruchteilen eines mm^2 bis zu vielen Quadratkilometern entstehen, auch nicht vorgebildet sein müssen, wenn auch Trennungen naturgemäß auf vorhandenen Schicht-, Schieferung- oder sonstigen Klufflächen als Stellen geringeren Zusammenhanges leichter vor sich gehen können, geben die Gleit- oder Rutschflächen, Harnische, Spiegel auch Schub-, sowie Zugflächen u. dgl. der zweiten Art. Sie sind die Ergebnisse verschiedenster Verschiebungen tektonischen oder vulkanischen Charakters, die den endogenen Kräften der Erdrinde zugeschrieben werden.

Diese zweierlei Bewegungsflächen lassen sich auch, da sie viel Gemeinsames haben, oft nicht trennen, gehen auch wohl ineinander über. Das Auffinden läßt nicht nur auf stattgehabte Bewegungen rückschließen, sondern selbst zum Teil durch die Richtung und Art von etwa vorhandenen glänzenden Striemen oder Riefen bekanntlich auch die Richtung der Bewegungen und sonstige Umstände erkennen.

In Stollen- und Tunnel-Bauten in beweglichen oder druckhaften weichen Tongesteinen sind nebst den in den Ulmen zu sehenden kleineren und größeren Rutschflächen im Material selbst, die unter Umständen in mehr oder weniger dem sogenannten „Bruchwinkel“ grob annähernd parallelen Schalen sich allmählich bis zur Geländeoberfläche erstreckenden Hauptbruchflächen mit Rissen an der Oberfläche, deren Hauptrichtung meist der Stollenrichtung entspricht, bei

Abbildung 1.

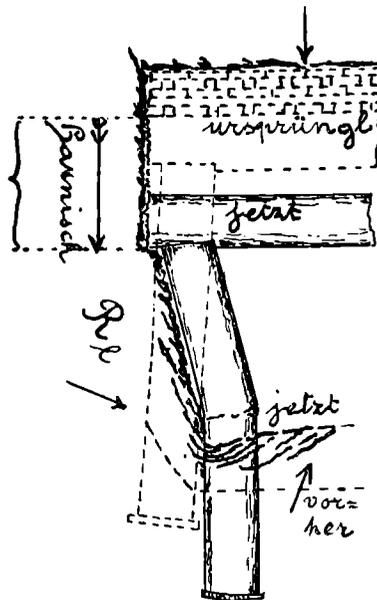


Bemerkungen zur Abbildung 1.

Zur weiteren Erläuterung der größtenteils nicht schematischen, sondern auf Grund wirklicher geodätischer Aufnahmen, im Maßstabe 1 : 100 gezeichneten und auf 1 : 400 verkleinerten Abb. 1, welche aus mehreren Profilen ausgewählt wurde, sei folgendes erwähnt: Schematisch eingetragen sind nur unzugängliche (strichlierte) „mutmaßliche Abbruchflächen zusammenhängend oder nicht“ sowie die (unter dem „Bruchwinkel“ α gedachte) gewöhnlich der Einfachheit der Rechnung halber als verglichene Gerade gezeichnete, punktierte Bruchrichtung und die im herabgedrückten Stollen (oder Tunnel) austreichenden zahllosen Harnische R_e links und R_r rechts der Achse. Neben der sehr steil angedeuteten Abrißfläche vom letzten Geländeriß rechts hinab zum Hohlraum werden wohl noch mehr oder weniger verborgene Abrisse vorhanden sein, doch waren dieselben an der Geländeoberfläche trotz der namhaften Geländesenkung — wohl infolge der verteilten Zerrungen — nicht sichtbar, weshalb sie bisher nicht in die Originalzeichnung aufgenommen wurden. An anderen Stellen des 600 m langen neuen Tunnels, der 30 m rechts des unter A befindlichen alten Tunnels angelegt erscheint, sind umgekehrt die Risse rechts von der Tunnelachse weiter als links entfernt. Die strichpunktierte oberste Linie gibt das ursprüngliche auf die oberirdisch abgesteckte Tunnelachse (in km 288 833, Meereshöhe 545 38 m) senkrecht aufgenommene (nivellierte) Geländequerprofil. Durch den Vortrieb des Sohlstollens und einzelner kurzer Vollausrüche für das Tunnelprofil in den weichen, vielfach ver- und überschobenen, verknieteten, mit zahllosen glänzenden Rutscheln versehenen Schieferletten mit zentimeterdicken, zu Sand und Mehl zermalnten, ausgequetschten und in Linsen sowie kugeligen Formen angehäuft Sandsteinwechsellagerungen traten Senkungen ein. In Abb. 1 sind 4 an der Erdoberfläche deutlich sichtbare Spalten von mehreren Zentimetern Breite sowie, was bereits angeführt, die gemessene Senkung ohne weitere sichtbare Trennungsrisse eingetragen. Zugleich verschob sich hier die übertags abgesteckte Achse um 17 cm nach rechts (an anderen Stellen nahe 1 m) und senkte sich der Achspflöck um 1 17 m. Die voll gezogene Geländelinie (nebst drei punktierten Entwässerungsgräben) zeigt den Bestand des Geländes zu Beginn des Jahres 1916.

einiger Aufmerksamkeit hinter Stollenständern, Kronbalken, Wandruten, Verpfählungen in kleineren, aber auch größeren Flächenausmaßen bis zu mehreren Quadratmetern zu finden. (Abb. 1.) Schiebt weiters das Gebirge nebst der Vertikalpressung auf die Verpfählung und das Stollenzimmer an den Kappenhirnhölzern an der zum Teil weniger verpfählten Ulme herab, um in den freien Raum (Abb. 2) vorzudringen, so zeichnen sich alle feinsten Unebenheiten des mit der Säge abgeschnittenen Kapphirnholzes sowie der Ständer usw. plastisch glänzend und striemenartig im tonigen Material auf jene Weglänge ab, welche das herabgedrückte Material mehr als das herabgedrückte Kappholz durchschritten hat. So haben sich in einem jetzt in Ausführung

Abbildung 2.



befindlichen Tunnel bei den vielfachen Erneuerungen des Sohlstollens in weichen Schiefen, Schieferletten und Tonen hinter den verbogenen oder gebrochenen Hölzern, insbesondere bei den Kappen bei der Fortnahme der hereingedrückten oder verdrückten Stempel und Kappen solche lotrechtgestrieme glänzende Rutschflächen in der Kappenbreite von 30 bis 40 cm und einen halben Meter Höhe fast ausnahmslos gezeigt. (Abb. 2.) Die Kappe, durch je zwei Stempel gestützt, hat dem Gebirgsdruck weniger nachgegeben als das tonige Ulmenmaterial, das nach der Tiefe und dem freien unverpfählten Stolleninnenraum ausweichen konnte, wie das in Abb. 2 ersichtlich.

Von den Gleitbewegungen seien nun jene besonders betrachtet, die ein Auftreiben des Liegenden hervorrufen. Bei Herstellung offener An- oder Einschnitte in tonigen Gesteinen zeigt sich diese

Erscheinung häufig. Hatte man früher geglaubt, daß an Gehängen eine hangabwärts geneigte vorgebildete Gleitfläche für dies Vorkommen erforderlich sei, so wurde diese Ansicht bald verlassen, als sich zeigte, daß das Material auch auf widersinnig aufsteigenden Gleitflächen, ja auch ohne solche vorgebildete Flächen zum Aufsteigen kam, daß also das Vorkommen von inneren Flächen nicht als Bedingung der Auftriebbewegung anzunehmen sei. Diese Auftrieberscheinungen¹⁾, die aber nicht nur in künstlich herzustellenden Erdbau-einschnitten, sondern auch in unterirdischen Bauen, Stollen, größeren Hohlräumen, in Tunnels, aber auch in Bachsohlen und -Wänden, sowie an See- und Meeresufern usw. zu verzeichnen sind, haben verschiedene Erklärungsbestrebungen wachgerufen, die auch heute noch vorwalten.

So wurden chemische Prozesse namhaft gemacht: Zersetzung von Schwefelkiesen, Neubildung von Gipsnadeln u. dgl. Obschon chemische Analysen des Materials sowie der beteiligten Gewässer die Haltlosigkeit eines wesentlichen Einflusses chemischer Prozesse bei so bedeutenden Bewegungen erkennen ließ, verstummten diesbezügliche Ansichten nicht.

Zumeist aber wurde und wird eine Volumsvermehrung durch Aufnahme von Feuchtigkeit oder Wasser aus der Atmosphäre herangezogen, so daß durch Absperrung des Gebirges vor diesen Einflüssen den „Quell-“ oder „Bläh-“Erscheinungen begegnet werden könnte. Wurde somit die gegenständliche Auftrieberscheinung in vielen Fällen in Wort und Schrift als „Quellen“, „Quillen“ und „Blähen“ oder „Aufblähen“ bezeichnet, so war auch begreiflich, daß das betreffende angeblich quellende oder auftreibende Material entsprechende Benennungen, z. B. „Bläheteigel“ erhielt. Damit sollte vorwiegend die äußere Erscheinungsform angedeutet werden, eine Art sozusagen Verlegenheitsbezeichnung gegeben sein. Es ist klar, daß dort, wo eine meßbare Volumsvergrößerung eintritt, nicht bloß Formveränderungen, sondern auch Druckerscheinungen auftreten werden, was insbesondere in geschlossenen unterirdischen Hohlräumen zum Ausdruck kommen muß. Wenn daher obige Annahme einer Volumvermehrung durch Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Luft oder durch unmittelbar zuströmendes Wasser und als Folgeerscheinung zunehmender Druck Bedeutung erlangen könnte, so ist es praktisch einwurfsfrei, diese Einflüsse durch geeignete Mittel fernzuhalten. Diesbezügliche Versuche: Anstrich der Hohlräume mit Zementmilch oder Ausbetonierung von Stollen ringsum, 0.3 m stark, Ableitung der fließenden Wasser durch Eisenrohre liegen vor, doch meist ohne Erfolg. Die wenigen Fälle, wo günstige diesbezügliche Erfahrungen sich ergeben haben sollen, sind leider nicht derartig erschöpfend behandelt, daß ein sicheres Urteil zu gewinnen wäre.

Von reinerem Anhydrit sind druckäußernde Volumsvergrößerungen bekannt, ohne daß jedoch systematisch die

¹⁾ Auftrieberscheinungen anderer Art, z. B. Frostauftrieb, kommen hier nicht in Betracht.

Größe des Druckes aus der Raumvergrößerung bzw. Verhinderung der Raumvergrößerung bekannt wäre. Andererseits zeigt mit anderem Gestein, z. B. Dolomit gemengter Anhydrit, wie er etwa im Bosrucktunnel angefahren wurde, weder Volumsvergrößerung noch Druck.

Wird das, was überhaupt und in neuerer Zeit über Quellung bisher niedergelegt erscheint, betrachtet, so ergibt sich ungefähr, ohne in Einzelheiten eingehen zu können, nachstehendes Bild.

Soweit dem Verfasser erreichbar erschien, haben diesbezüglich hauptsächlich die neue Kolloidchemie und die Pflanzenphysiologie die Fragen behandelt, wobei jedoch anorganische Körper naturgemäß nur wenig zur Behandlung kamen. Ohne auf die Kolloide selbst und dessen verschiedene Zustände als Sol und Gel einzugehen, sei, um Quellungserscheinungen besprechen zu können, erwähnt, daß die Hydrogele ein besonderes Absorptionsvermögen gegenüber Flüssigkeiten (praktisch am meisten Wasser) zeigen, welches unter dem gemeinsamen Begriff der Quellung zusammengefaßt wird. Unter Quellung oder Imbibition¹⁾ wird die Aufnahme von Flüssigkeit seitens eines festen Körpers ohne chemische Veränderung nach bestimmten gleichbleibenden Gewichtsverhältnissen trotz verschiedener äußerer Bedingungen verstanden. Sie geht mit einer Gewichtsvermehrung, in den meisten Fällen auch mit einer Volumsvergrößerung des festen Körpers einher.

Gewöhnlich werden 3 verschiedene Vorgänge zusammengefaßt:

1. Poröse Massen nehmen in vorgebildete, nach außen offene (mithin meist mit Luft gefüllte) Hohlräume ohne Formveränderung Flüssigkeit auf: kapillare Imbibition, z. B. Bimsstein. 2. Eine poröse Masse nimmt in vorgebildete, abgeschlossene, mit löslichen Stoffen der Flüssigkeit erfüllte Räume durch Endosmose Flüssigkeit auf: Imbibition durch Endosmose. 3. Eine homogene porenfreie Masse nimmt unter Volumvergrößerung Flüssigkeit auf: Molekulare Imbibition. Hierher gehören die meisten schlechtweg als Quellung bezeichneten Vorgänge, soweit sie chemische Stoffe betreffen. Die drei Abteilungen lassen sich häufig nicht streng auseinanderhalten. Die kapillare Imbibition unterliegt den Gesetzen der Oberflächenspannung, die endosmotische jenen der Osmose. Die molekulare oder echte Quellung ist ein in die Adsorptionserscheinungen gehöriger Vorgang, für welche die wichtigsten Sätze lauten:

1. Ein quellfähiger Körper nimmt im Wasser eine endliche Menge bis zu einer nicht übersteigenden Grenze (Quellungsmaximum) auf.

2. Dieser Größtwerth ist vollständig von der chemischen Natur des Körpers und der Flüssigkeit, der Kohäsion und Elastizität des quellbaren Körpers, Temperatur und inneren Reibung der Flüssigkeit abhängig. Da die Quellung ein von selbst verlaufender Vorgang ist, so kann sie auch eine endliche Menge Arbeit leisten. (Hygrometer, Felsspre-

¹⁾ Arthur Müller, Allgemeine Chemie der Kolloide. 1907. Bd. VIII des Handbuches der angewandten physikalischen Chemie in Einzeldarstellungen, pag. 99 ff.

gung durch quellende Holzkeile, Schädelsprennung durch quellende Erbsen, Jerichorose, Spielzeuge; Thermodynamik.)

3. Das Volumen des gequollenen Körpers ist kleiner als die Summe seines ursprünglichen Rauminhaltes und das der aufgenommenen Flüssigkeit; die Quellung ist somit im ganzen mit einer Volumverminderung verknüpft. (Der Quellskörper selbst hat naturgemäß zugenommen.)

4. Die Quellung ist von Wärmeentwicklung begleitet.

5. Aus 3 und 4 folgt, daß das Quellungsgleichgewicht durch Wärme mehr oder weniger gehindert, durch Kälte und durch Druck befördert wird.

6. Quellung und ihr Gegensatz die Schrumpfung hängen mit der Oberflächenspannung zwischen dem quellenden oder schrumpfenden Körper und der Umgebungs-Flüssigkeit zusammen. Bei verminderter Oberflächenspannung wird sich die Berührungsfläche zwischen beiden vergrößern, d. h. es wird Quellung eintreten, nach 3. unter gleichzeitiger Raumverminderung des ganzen Systems und umgekehrt.

Obschon über die großen Kraftäußerungen beim Quellen Angaben meist aber nur in der botanischen Literatur zu finden sind, so liegen bisher doch nur wenige systematische, quantitative Messungen über Quellungsdruck vor, was wohl darin seinen Grund haben mag, daß er wegen seiner Größe unbequem zu bestimmen ist.

Nur wenn halbdurchlässige Wände, die das Wasser, nicht aber das Gel durchlassen, benützt werden, ist ein Quellungsdruck¹⁾ zu beobachten. v. Schröder²⁾ suchte Tonzellen als halbdurchlässige Membrane zu verwenden, die innen das Gel enthielten, außen in Wasser tauchten und einen Manometer hatten: sie wurden beim Quellen zersprengt. Hingegen hat Reinke³⁾ mit dem Ödometer, dessen Abbildung Hanstein und Freundlich a. u. a. O. geben, erfolgreiche Versuche ausgeführt. Die Vorrichtung besteht in einem kräftigen Metallzylinder, in dem ein beweglicher und durchbohrter Kolben durch den Quelldruck gehoben werden kann. Das Wasser befindet sich über dem Kolben und tritt durch die Bohrungen auf die zu untersuchende Quellmasse. Der Kolben trägt oben ein Tischchen, auf das Gewichte gelegt werden. Die Höhe, um die es beim Quellen gehoben wird, läßt sich durch eine Hebelübersetzung an einem Zeiger und Bogen ablesen. Zunächst wurde das schwerste Gewicht (20 kg) aufgelegt; war das Gleichgewicht erreicht, so wurde das Gewicht verringert und von Neuem der Endzustand abgewartet usf. So ergaben sich die Gewichte und daraus die Atmosphärendrucke, die mit bestimmten Volumen der quellbaren Substanz (trockenes Laub verschiedener Meeresalgen: *Laminaria*) im Gleichgewicht standen und aus den Volumen ließ sich auf den Wassergehalt schließen. Man darf weiters unter gewissen Beschränkungen bei tiefer Temperatur (bei der die Solbildung sehr zurück-

¹⁾ H. Freundlich, Kapillarchemie. Leipzig 1909, pag. 476.

²⁾ Zeitschr. f. phys. Chemie 45, 117 (1903.)

³⁾ Hansteins botan. Abh. 4, 1 (1879). (Freundlich a. a. O., pag. 499.)

bleibt) und nicht zu nahe dem Quellungsmaximum von umkehrbaren Vorgängen sprechen: denn das Wasser wird vom Gel aufgenommen, wodurch sich das lastende Gewicht hebt und durch Erhöhung des Druckes kann das Wasser wieder herausgepreßt werden. Reinke gibt nun unter Zuhilfenahme des erhobenen Elastizitätsmoduls des Versuchskörpers (Stiel der Laminaria) die Arbeitsmengen und dazu gehörige zeichnerische Darstellungen (Kurven). Das steile Ansteigen der Quellungsdruckkurve sowie der Entquellungsdrucklinie läßt die großen Werte rasch überblicken. Bei niedrigen Quellungsgraden sind ungeheure Drucke notwendig, um Wasser auszupressen; bei 80% lufttrockener Substanz gelang es auch nicht mehr. Reinke konnte aus dem wassergesättigten Laube von Laminaria schon bei sehr geringem Drucke etwas Wasser auspressen, während zu gleichem Erfolge bei 170% Wassergehalt ein Druck von 16, bei 93% Wasser aber schon 200 Atmosphären Druck erforderlich waren. Hinsichtlich der Quellungsgeschwindigkeit wurde durch von Zeit zu Zeit angestellte Wägeversuche gefunden, daß das Wasser zuerst sehr rasch, dann zunehmend langsamer aufgenommen wird, bis das Quellungsmaximum erreicht war, welcher Vorgang auch durch eine Gleichung darstellbar erscheint.

In Ergänzung des bereits Gesagten ist Quellung nach Pfeffer¹⁾ eine durch Oberflächenenergie erzielte Erscheinung: durch Anziehung zwischen Substanz und Wasser strebt das Wasser zwischen die Teile zu dringen und treibt diese, wo es angeht, gleichsam wie ein Keil solange auseinander, bis ein Gleichgewichtszustand zwischen diesem Streben und der Kohäsion, d. h. der Anziehung der Substanzteile untereinander erreicht ist. Weil aber die Oberflächenenergie nur auf kleinste Entfernung wirksam erscheint, sinkt die Quellungskraft sehr rasch mit zunehmendem Wassergehalt: während die zunächst hinzukommenden Wasserteilchen mit ungeheurer Kraft adsorbiert und kondensiert werden, geht diese Wirkung bald dem Nullpunkt zu, welchen sie, bevor die Wasserhülle eine meßbare Dicke gewann, erreicht. Bei einer Quellung kann verschiedenes, z. B. auch chemische Bindung oder ein Lösungsvorgang mitwirken; es wird auch nicht immer eine scharfe Grenze zwischen Poren- und Lösungs-Quellung feststellbar sein. Um die Kohäsion zu überwinden, also um die Teilchen auseinanderzutreiben, hat die Oberflächenenergie große innere Widerstände zu überwinden und dementsprechend vermag, wie bereits erwähnt, der aufquellende Körper gewaltigen Druck gegen äußere Widerstände auszuüben. Um das Aufquellen trockener Stärke zu verhindern, bedarf es nach Rodewald²⁾ eines Druckes von 2523 Atmosphären, um das Gefrieren des Wassers bei -20° zu hindern, sei sogar ein Gegendruck von 13000 Atmosphären erforderlich³⁾ und geringer ist wohl auch nicht die Energie, mit der die Bildung von Kristallen oder von Ausscheidungen bei chemischen Reaktionen angestrebt erscheint.

¹⁾ Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. I. Bd. 1897, pag. 62.

²⁾ Versuchstat. 1894. Bd. 45, pag. 237.

³⁾ Clausius, Die mechanische Wärmetheorie. 1876. Bd. I, pag. 174.

Hiermit ist nun das Wesen der Quellung erklärt. Versuche mit quellenden Gesteinen, insbesondere von Tongesteinen in seinen Abarten scheinen nicht vorzuliegen; es ist wenigstens dem Verfasser nicht gelungen, irgendwelche tatsächlich begründete Angaben oder Versuche aufzufinden, die klar werden ließen, inwieweit ein Gestein oder ein Gesteinsbestandteil einer merkbaren, d. h. meßbaren Volumsvergrößerung durch Feuchtigkeitsaufnahme (aus der Luft, durch zuzitende Wasserfäden, stehendes Wasser, also Überstauung auf Sohlen und hinter Mauerwerken, auch aus dem Mauerwerk oder Beton oder durch die Verwitterung) unterliegt, auf welche Tiefe von der Oberfläche an, in welchen Zeiträumen und mit welchem Druck sie wirkt; wie viel quellbare Substanz ein Gestein enthält. Einzelne Vorfragen, die damit im Zusammenhang stehen, lassen sich in genauerer oder größerer Weise durch Laboratoriums- und Büroversuche, zum Teil auch in der Natur verfolgen. So wird es sich für praktische Verwertung bei Tages- und unterirdischen Aushüben um die Beantwortung etwa nachfolgender Fragen handeln.

1. Wie viel Feuchtigkeit oder Wasser enthält das betreffende Material in „erdfeuchtem“ (natürlichen) Zustande beim Anrieb?

Eine grobe, aber meist genügende Untersuchung kann mit Zuhilfenahme einer Wage (Briefwage bis 1000 *gr* Angabe) erfolgen, indem sowohl ein größeres Probestück, als auch eine natürlich-gelockerte (zerbröckelte) Probe zuerst im bergfeuchten Zustand gewogen, die Proben sodann in trockener Luft (Zimmer, Sonne) aufbewahrt und dann immer in entsprechenden Zeitabschnitten nachgewogen werden. In den ersten Tagen wird meist eine stärkere Austrocknung, d. h. Gewichtsabnahme erfolgen, die später geringer wird; in feuchte Luft ¹⁾ gebracht, wird wieder eine Gewichtszunahme möglich sein. (vgl. auch nachfolgend 2). Für ein genaueres (Laboratoriums-) Verfahren wird das am Entnahmeort in verlötete Büchsen (gereinigte 5- und 10-*kg*-Karbidgebüchsen) gebrachte und versendete Probematerial durch Trocknen (bei 110° C) bis zur Gewichtskonstanz auf Wassergehalt quantitativ bestimmt werden. Oder nach den Verfahren der eidgenössischen Prüfungsanstalt: „Mitteilungen“ (Tetmajer 1884).

2. Wieviel Wasser kann das Gebirge in offenen Tagesaushüben und in unterirdischen Strecken (Stollen, Tunnelvollaushüben usw.) in ruhiger Lage noch aufnehmen oder aufsaugen ²⁾ und welche Zeiten ergaben sich für bestimmte Prozentsätze Wasser?

Nachdem sich für die Proben durch Laboratoriumsversuche ohne Schwierigkeit die quantitative Wasseraufnahme aus der Luft oder einer anderen Feuchtigkeitsquelle auch für bestimmte Zeitabschnitte genau verfolgen läßt, auch nach oben grobe Versuche zum Teil unter Mithilfe einer Feuchtigkeitsquelle mit Trichter und Filterpapier genügende Ergebnisse erreichen können, so ist damit schon eine Art

¹⁾ Die Verwendung eines (Reise-) Psychrometers wird hier und beim nachfolgenden Versuch zweckdienlich wirken.

²⁾ Bei viel Wasser werden manche Materialien größtenteils — mit gewissen Rückständen — wieder Schlamm, dem es sein Entstehen verdankt; doch kommen auch Tone anderer Herkunft in Betracht. (Vgl. auch G. Linck, Über den chemismus der tonigen Sedimente. Geol. Rundschau 1913, pag. 289.)

erster schätzungsweiser Übersicht gewonnen. Wenn oben von ruhiger Lage die Rede, so soll damit angedeutet sein, daß vorläufig noch kein sich besonders äußernder örtlicher Schweregebirgsdruck vorhanden ist. Nachdem aber in unterirdischen Hohlräumen (oder in steilen Tagesaushüben) die nach Entblößung auftretende Auflockerung nach den schwerdruckfreien Seiten (also vorwiegend durch Zugwirkungen) eine Rolle spielen wird, welcher Umstand in den Versuchen nur schwer in einer die Natur nachahmenden Weise darzustellen möglich sein wird, so mag ein Ausweg darin zu finden sein, daß einzelne Proben, z. B. im Stollen, der lange am Holze stand, dort zu entnehmen sind, wo eine durchschnittliche Feuchtigkeit anzunehmen ist und den Wassergehalt dieser gelockerten, zerspaltenen Proben nach 1. bestimmt.

Die berührten Auflockerungen werden bei eintretendem Gebirgsdruck durch Druck- und Zugwirkungen, durch Zerreißen, Verquetschungen usw. noch größer.

Zur Beurteilung der Auflockerung selbst, die in kleinen Zwischenräumen zwischen den Teilchen und in mehr oder minder zusammenhängenden Spalten, die die Masse durchziehen, besteht, liegen zwar vielerlei Angaben vor, doch ist in vielen Fällen ein unmittelbares Vergleichen der Ziffern um so weniger leicht durchführbar, als meist die Angaben fehlen, in welcher Weise die gefundenen Zahlen entstanden sind. Ein namhafter Gegensatz besteht besonders in den Ziffern beim oberirdischen Erdbau gegenüber jenem in unterirdischen Strecken. E. Teischinger¹⁾ gibt in einer Studie eine größere Zifferreihe „vorübergehender“ und „bleibender“ Auflockerung. Die Werte für die vorübergehende Lockerung wurden aus einer Anzahl von Stollenvortrieben langer Strecken ermittelt, welche von Unternehmungen und Bauleitungen (Aufsichtsorganen) beigelegt erschienen, und zwar aus den Verhältnissen der festen ausgebrochenen, zu den losen geförderten Massen (Arlberg-, Karawanken-, Wocheiner-, Göstling-Tunnel, Franz Josefsstollen Bleiberg, Göstling-Wasserstollen, Bretherstollen Raibl, verschiedene Stollenvertriebe v. Siemens und Halske u. a. und Beobachtungen Teischingers). Auch hat Teischinger Versuche über Hohlräume in den Massen durch Wasserdrängung, Wägungen fester und aufgelockerter Gesteine und durch Sieben, Mengen und Schichten der getrennten Teile, Stampfen in trockenem und feuchtem Zustand angestellt. Für die bleibende Auflockerung standen weniger Behelfe zur Verfügung und beschränkten sich auf an verschiedenen Stellen angegebenen und auf Reisen über Setzungsmaße von Anschüttungen in Erfahrung gebrachten Zahlen, welche nach Bodenarten geordnet und in einer von der Bodenbeschaffenheit, der vorübergehenden Lockerung und Schüttungshöhe abhängigen Form darzustellen versucht wurden, da diese drei Größen einen Einfluß auf das Maß der bleibenden Auflockerung ausüben müssen. Einige wenige kleinste, größte und mittlere Ziffern sind nachstehend gegeben.

¹⁾ Vergrößerung des Rauminhaltes von Massen infolge Auflockerung. Österr. Wochenschrift f. d. öffentl. Baudienst, 1911. Heft 31, 32; auch Sonderabdruck. Briefliche Mitteilung vom 9. Februar 1916.

Bodenart	Vorüber- gehende Lockerung	Bleib. Auf.	Festig- keit	Bleibende Auf- lockerung bei	
				$h = 1 \text{ m}$	$h = 10 \text{ m}$
Schotter	1·05	1·02	100	0·02	0·01
Dammerde (trocken)	1·15	1·05	15	0·04	0·02
Dammerde (feucht) .	1·20	1·07	10	0·05	0·02
Lehmboden (trocken)	1·40	1·14	20	0·10	0·05
Ton (feucht, mit Breithau gelockert)	2·00	1·25	10	0·08	0·07
Kalk (fest, Bleiberg)	2·20	1·58	100	0·20	0·16

Beim Kohlenabbau mit „Versatz“, wo die Gewinnung der Versatzberge durch Nachreißen der Strecken oder durch Gewinnung fremder Berge zu bewerkstelligen kommt, muß die Auflockerung (Auflockerungskoeffizient) oder das „Schüttungsverhältnis“, d. h. das Verhältnis zwischen dem Raummaß der hereingewonnenen und dem der anstehenden Berge in Rechnung gestellt werden, welche für Gesteine, die in mehr oder weniger flachen, regelmäßigen Stücken brechen (Schiefer, Kohle) mit grob 1·5 : 1, für Gebirgsarten, die zur Bildung unregelmäßiger Bruchstücke neigen (Sandstein, Konglomerat) mit bis zu 2·5 : 1 angenommen zu werden pflegt¹⁾.

Nach Fayols²⁾ Beobachtungen ist jedoch 2 : 1 als Maximum anzusehen, eine Angabe, die gegenüber den Werten für bleibende Lockerung voriger Tafel von Teischinger noch immer sehr hoch ist und nur den Werten für vorübergehende Lockerung genügend nahe kommt; zudem ist der Koeffizient für ein und dasselbe Gestein verschieden, je nachdem den groben Bruchstücken mehr oder weniger kleine beigemischt sind. Heise-Herbst führen für einen Strebbau die Berechnung für einen Streckenabstand durch.

Die vorstehenden Auflockerungs- oder Vermehrungsangaben sind das Ergebnis von Gewinnungsarbeiten und dürfen naturgemäß nicht auf Zug- oder Druckbewegungen in geschaffenen Hohlräumen oder Steilaushüben unmittelbar bezogen werden. Wird nunmehr endlich auf die Äußerungen der Gebirgsschwere als ein weiterer Faktor sowohl der weiteren Lockerung als auch des Hereinwachsens des mehr oder weniger nachgiebigen Materials in die geschaffenen, wenig gebölzten Hohlräume übergegangen, so sind damit die wesentlichen Einflüsse einer möglichen Volumszunahme von festeren und lockeren Massen angeführt. Je nach der Anteilnahme der einzelnen Faktoren und der Materialbeschaffenheit werden die in der Natur zu beobachtenden Grade geringsten bis stärksten, auch in langen Zeiträumen kaum merkbaren, langsamen bis raschen Quellens zu verzeichnen sein. Meist aber werden erst die schon stärker an Holzeinbauten, Fördersohlen, besonders aber an empfindlichen Mauerungen sich zeigenden Bewegungen beachtet. War bisher vom Gebirgsdruck als Lockerungsmittel der Gesteine nach

¹⁾ Lehrbuch der Bergbaukunde von Heise und Herbst. I. Bd. 1908, pag. 338.

²⁾ Nach Hatton de la Goupilliére, cours d'exploitation. Bd. II, 1907 pag. 93.

freier unverwarther Seite die Rede, so muß derselbe nunmehr selbst in seiner Gesamtheit in Berücksichtigung gezogen werden, da er nicht nur mittelbar, sondern auch unmittelbar die Erscheinung des Quellens zu vermehren in der Lage ist, sich auch vielfach ohne besondere Untersuchungen, wie sie bereits angedeutet, nicht trennen läßt.

Gebirgsdruck. Wird unter allgemeinem Gebirgsbildungsdruck der tektonische sowie der vulkanische Druck in der Erdkruste verstanden, über dessen Herkunft eine Reihe von Hypothesen aufgestellt worden sind und unter dem hier nur kurz zu behandelnden örtlichen Gebirgsdruck¹⁾ den fast ausschließlichs aus der Schwere der Massen sich ergebenden vertikalen Abwärts- oder Schwerkdruck, welcher sich aber auch nach den Seiten bis zur Lotrechten nach aufwärts umbilden kann, so ist wohl einzusehen, daß beim etwaigen Vorkommen beider eine Gesamtwirkung erzielt wird, die eine etwa versuchte Trennung praktisch kaum möglich erscheinen läßt, um so mehr, als mehrere Forscher beide Erscheinungsformen der gleichen Schwerkraftsquelle zuzuschreiben geneigt sind.

Es ist nicht schwierig, z. B. das Gewicht eines Berges für irgend einen Horizont zu berechnen und aus der bedeckten Grundfläche einen Durchschnittswert für das m^2 Horizontal-Projektion oder das Gewicht lotrechter Prismen von der Breite eines Hohlraumes bis zur Erdoberfläche zu bekommen, allein diese Werte geben bei den in Betracht zu kommenden relativen geringen Tiefen, nur unter bestimmten Bedingungen (z. B. in völlig zerrüttetem oder sehr nachgiebigem Gebirge) den wirklichen Gebirgsdruck, sondern bei größeren Überlagerungen wohl gedachte, aber nicht erwiesene und meist zu große Werte.

Brandau²⁾ u. a. erläutern den „Gebirgsdruck“ „als aus einer Reihe von Einzelkräften bestehend, deren Richtung und Größe sich auch bei eingehender Untersuchung des Gebirges nur annähernd, oft gar nicht, niemals aber genau ermitteln läßt.“

Ältere und neuere Versuche über Druckäußerungen, auf Grund von Erfahrungen aufgestellte ältere und neuere Theorien haben es jedoch bereits möglich gemacht, die von Brandau berührte Annäherung in der Bestimmung der Größe des Gebirgsdruckes weiteren Fortschritten zuzuführen³⁾. Naturgemäß hat man in Bergbauten die meisten Erfahrungen über den Gebirgsdruck gemacht, indem nicht nur verschiedene Gebirge angefahren, sondern kleine und große Hohlräume zu verschiedenen Zeiten, fern und in der Nähe, neben, darunter und

¹⁾ Als weitere Bezeichnungen sind in der Literatur zu finden: lokaler Gebirgsdruck, regionaler, freier oder freigewordener Gebirgsdruck, Gebirgsschwere, Massenschwere; hydrostatischer, dynamischer Gebirgsdruck, Gesteins-, Gravitations-, Schwerkrafts-, Berg- und Erddruck u. dgl.

²⁾ Das Problem des Baues langer, tiefliegender Alpentunnels und die Erfahrungen beim Bau des Simplontunnels. Schweizerische Bauzeitung 1910.

³⁾ Es ist nicht möglich, an dieser Stelle auf das darüber gewonnene Ergebnis aus den Arbeiten von Ph. Forchheimer, Fayol, Gröger, Lyell, Alb. Heim, C. Schmidt, C. J. Wagner, Erdmenger, Baumgartner, Stella, Willmann, Kommerell, Bernhardt, Wiesmann, Nieß, Bierbaumer, Heise, Herbst, Hennings, Rothpletz u. v. a. näher einzugehen.

über alten und neuen Bauen usw. zur Ausführung brachte. Sowohl in Westfalen als in Oberschlesien¹⁾ wachsen mit zunehmender Tiefe die Druckwirkungen. Auch bei Tunnels wurde in gewissen Materialien (Schutt, Schiefer, Schiefertone, Schieferletten, Moränen, zerrüttetes Gebirge, Karbonschiefer usw.) besonders wenn unterbrochene oder zusammenhängende Abtrennungsrisse etwa bis an die Oberfläche reichen oder infolge Feststellung durch genaue Nivellierung Senkungen sich ergeben, die gleiche Wahrnehmung gemacht, in einem Falle von Brandau die locker gewordene Überlagerung gar auf 600 m geschätzt. Wie sich die Bewegungen des Druckes in einem Hohlraum äußern werden, hängt von der Tragkraft der den Hohlraum umgebenden Materialien ab. Weiches Gestein wird schon bei geringer Last, widerstandsfähigeres erst bei großem Druck nach freien Seiten nachgeben. So kann die Firste allein, Ulmen allein oder Sohle allein oder auch alle zusammen in den Hohlraum hereingedrückt werden. Im Karawankentunnel²⁾ (Oberkarbonschiefer-Druckstrecke) wurden Kronbalken nebst anschließenden Firststollen sowie die starke Mauerung im First stark herabgedrückt: die Sohle blieb dort unberührt, sie war somit gegen den Druck widerstandsfähig. Im Czernitzer- und Lupkower Tunnel hingegen wurde ringsum die Mauerung in den Hohlraum gepreßt (Mergel, Schieferletten). Starre Gesteine (ohne Schicht- oder Kluftabgänge) zeigen in der Festigkeitsdruckmaschine und in Stollen die Druckauslösung in Form von „Gebirgsschlägen“. Gewöhnlich lastet nur ein Teil der der Unterstützung beraubten Gesteinsmassen auf dem eingebrachten Ausbau. Sind die untersten Gesteinsbänke lose oder von glatten Klüften durchzogen, so daß sie den Zusammenhalt verloren haben, so wird sich größeres Gewicht des sich abtrennenden Teiles ergeben; die Hauptmasse des Gebirges wird von den beiden Seiten des Hohlraumes mitgetragen und verstärkt höchstens einen allfällig zur Wirkung gelangenden Seiten- oder Sohlendruck, wobei der letztere dem bisher Gesagten zufolge dann eintreten muß, wenn eine Gesteinsmasse im Liegenden der Strecke die auf ihr wirkende Gebirgslast nicht mehr zu tragen vermag und davon in die Strecke oder bei Böschungsdruck in offenen Einschnitten in die Sohle hinein ausweicht³⁾.

Die Erscheinung des Sohlauftriebes tritt aber nicht etwa bloß bei ziemlich steilen Trennungsf lächen, wie Abb. 1 zeigt, ein, sondern auch bei sehr flachen Geländeneigungen, und zwar bis herab von 7° und 6° z. B. (Bebra-Hanau und Nordungarn, böhmisches Mittelgebirge), ja sogar bis zu 4° (Salzburg-Tirolerbahn) gegen die Wagrechte, wo der geringste Anschnitt (oft kaum von 1 m Tiefe) die labilen Massen neuerdings in Bewegung bringt. Damit ist wohl auch erwiesen, daß

¹⁾ Bernhardt, Über den Gebirgsdruck in verschiedenen Teufen. Zeitsch. d. obersch. B. u. H.-Ver. 1901.

²⁾ M. v. Klodič und R. Franz, Der Bau des Karawankentunnels. Allgem. Bauzeitung, Wien 1912.

³⁾ Vgl. diesbezüglich u. a. auch: Wolff, Grubenausbau in: Die Entwicklung des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlenbergbaues in der zweiten Hälfte des 19. Jahrh. II. 1902, pag. 349 ff.

der Böschungsdruck selbst bei sehr flachen Gelände- und Böschungsneigungen und sehr geringen Höhen sich auf die angrenzenden Sohlen überträgt und dort zur Wirkung gelangt. Mithin ist es nicht von vornherein aus diesem Grunde ausgeschlossen, daß z. B. die Schwere- last seitlicher Steinbruchwände sich in den Steinbruchsohlen merkbar machen kann und dort Gebirgsschläge verursachen oder wenigstens veranlassen kann ¹⁾.

Das Gesteinsmaterial kann alle Abstufungen von größter Lockerheit bis ziemlich großer Gesteins- und Gebirgsfestigkeit durchmachen, es kann spröde bis halbplastisch, plastisch bis hochplastisch sein und kann dann einen Massenschwreindruck in Hohlräume lotrecht, seitlich und auch allein einen Auftrieb in der Sohle ausüben.

In geschichtetem oder geklüftetem Gebirge wird die Richtung der jeweiligen Druckkräfte durch das Fallen der Hauptabgänge größtenteils bestimmt oder ausgedrückt. Wolff²⁾ will, ohne die Gonotsche Theorie zu bekräftigen, doch „die Tatsache nicht verkennen, daß der Druck sich mit Vorliebe in den Komponenten parallel und senkrecht zum Fallen äußert“, je steiler eine Schicht einfallt, die das Hangende eines Grubenbaues bilde, desto geringer ist der Hangend- druck, „weil sich die Schicht sozusagen mehr auf sich selbst stützt“, was besonders in Abbauen, Bremsbergen und streichenden Strecken zu merken. Andererseits zeigt sich in letzteren bei mittlerem und steilem Einfallen ein besonders starker Druck am hohen oder oberen Stöße, dem die Schichten zufallen. Der Druck in der Fallrichtung kann so groß werden, „daß er keilartig auf die Sohle wirkt und diese in großen Schollen aufhebt“. Bei ganz flachem Einfallen tritt der Seitendruck mehr zurück, dagegen stellt sich meist ein um so größerer Firstdruck ein. In Grubenbauen sind bei Quellen oder Anschwellung der Sohle (schwellendem Gebirge) Versuche mit Grundschwellen oft gemacht, doch mit dem Erfolg, daß Zimmerung und das Geleise schlimmere Verschiebungen erlitten, als wenn die Sohle dem Auftrieb überlassen wurde. Auf all die Mittel, um der Zimmerung und den Mauerungen (Einlage von Holzstücken u. dgl.) eine gewisse Nachgiebigkeit zu erteilen, kann hier nicht näher eingegangen werden.

Ein Rückblick auf das bisher Gesagte läßt nun erkennen, daß ein Zuwachsen unterirdischer Strecken oder ein Sohlenauftrieb in offenen Einschnitten, an See- und Meeresufern etc. entweder als Volumenzunahme oder als Druckerscheinung oder als eine Zusammenwirkung beider erklärt wird. Die meisten Sohlen- auftriebe lassen sich ohne Voreingenommenheit als Schwere- druckerscheinungen in einfacher Weise erklären. Die Volumen- zunahme und der daraus sich ergebende Quelldruck ist bisher zu wenig untersucht und nachgewiesen, bleibt somit noch eine der Lösung harrende Hauptfrage, über die einiges angedeutet wurde und über die erst Versuche und Studien Licht

¹⁾ Vgl. auch E. Suess, Über Zerlegung der gebirgsbild. Kräfte. Mitteil. d. geol. Ges. Wien 1913.

²⁾ A. a. O., pag. 351.

bringen können. Wenn schon das besser zu vermeidende Wort „Blähen“ gebraucht wird, so ist aus praktischen Rücksichten zu verlangen, daß auch eine Erklärung beigefügt wird, um nicht falschen Auffassungen und dann falschen Maßnahmen Eingang zu verschaffen.

(Im Vortragssaale waren am 28. März 1916 nebst vielen Tafelskizzen über ober- und unterirdischen Gleitbewegungen mit Sohlenantrieb auf recht- und widersinnigen vorgebildeten Rutschflächen und ohne solche, der Aufpressungen von nachgiebigem Liegenden in ebenem Gelände (St. Jodok am Brenner), dem Schema der Auftreibungen im Culebra-Einschnitt im Panamakanal, der Frostauftriebe von Gleisen bei Tauwetter, der Bildung verschiedener und zahlreicher Rutschflächen über- und nebeneinander, Rutschflächenformen an Hängen und in unterirdischen Abbauen (Unterstein usw.), der Darstellung eines Ödometers einschließlich der Versuchsergebnisse und der Quell- und Entquell-Druck-Kurven, noch Tafeln [über Volumsänderungen, Manteldrücke usw.] Skizzen, Pläne, Bilder und Photographien ausgestellt: Über Gleitbewegungen und Auftreibungen bei Geländeneigungen von 6 bis 7° von der Ungarischen Nordostbahn, Linz—Budweis (Ebener Einschnitt mit tiefen am Bach auslaufenden Trennungsflächen), Bebra—Hanau (in basaltischen, sehr beweglichen Tonen) und am Plattensee, letztere beide mit Bruchscholleneinsinkungen und Aufpressungen, bzw. Aufrichtungen von Nachbarschollen, der Auftriebe an der südüngarischen Küste und der Küste des Schwarzen Meeres nächst Odessa, des Sohlenantriebes in festen kristallinen Schiefen im Simplon, der (erfolglosen) Halb- und Ganzbetonierung des Sohlstollens in der Druckstrecke des Karawankentunnels sowie der Firstsenkungen im Karawankentunnel, der Firstsenkungen, Seitendrücke und Sohlenantriebe im Czernitzer- und Lupkower Tunnel u. v. a.)

A. Rosiwal. Neuere Ergebnisse der Härtebestimmung von Mineralien und Gesteinen. — Ein absolutes Maß für die Härte spröder Körper.

Vor fast 25 Jahren ist der Vortragende mit Untersuchungen über die Härte von Mineralien und Gesteinen beschäftigt gewesen, welche die zahlenmäßige Ermittlung dieser Festigkeitsart bezweckten.

Als Resultate dieser ersten Versuche, die Härte spröder Körper durch Schleifen zu bestimmen, hat derselbe einige Jahre später eine Zusammenstellung der durchschnittlichen Flächenhärte sowohl von Mineralien als auch von gemengten Gesteinen veröffentlicht¹⁾.

Der Versuchsanordnung lag das Toulasche Prinzip der Härtebestimmung zugrunde: eine bestimmte (gewogene) Menge des Schleifmittels bis zur Unwirksamkeit zu zerreiben. Den hierbei erlittenen Volumsverlusten der Probekörper ist die Härte umgekehrt proportional.

Die Ausarbeitung der Versuchsmethode führte den Vortragenden damals zur Aufstellung einer bestimmten Abschliffnorm insbesondere für die präzise Ermittlung der Gesteinhärten, wie sie von ihm in die technische Materialprüfung eingeführt wurde. Es konnte hierbei nicht der jedesmaligen bloßen Schätzung überlassen bleiben, in welchem Zeitpunkte die „Unwirksamkeit“ des Schleifmittels eingetreten war, sondern es wurde ein für allemal die gleiche Abschliffzeit von 8 Minuten allen Versuchen zugrunde gelegt und dafür

¹⁾ Verhandl. d. k. k. geol. R.-A. Wien, 1896, pag. 475—491.