

# Versuch einer Übersicht der Massen- oder Bodenbewegungen.

Von Vincenz Pollack.

(Mit 13 Textbildern.)

Es herrscht wohl schon seit langem das Bedürfnis, wenigstens vorläufig eine allgemein umfassende, wenn auch vielleicht aus verschiedenen Gründen nur wenig systematisch geordnete Übersicht der am Erdkörper im großen und kleinen vorkommenden alten und neuen Massenbewegungen zu erhalten, einesteils um nicht bloß das theoretisch-praktische Wissen zu erweitern, indem doch auch der Fortschritt auf diesen Gebieten nicht nur für eine in diesen Rahmen weiterschreitende Naturerkenntnis von Wichtigkeit, sondern sie erscheint auch für die Praxis und für Nachbarwissenschaften von besonderem Belang, und weiters wird es auch notwendig, trotz oder in der gewaltig gewordenen Fülle der mannigfachsten Erscheinungen gegebenenfalls ein wohlbegründetes Urteil über deren Gesamtwesen und etwa über Quellen für Einzelfragen gewinnen zu können. Verfasser, seit mehreren Dezennien vielfach mit den Oberflächenbewegungen im weiterstreckten Beobachtungsfelde vertraut, hat ein größeres Lebenswerk in aller Ausführlichkeit darüber in Vollendung, von welchem einiges wenige hier gegeben und daher zur Diskussion gestellt werden soll.

Die fortschreitende Praxis hat immer mehr ergeben, daß sich oft eine scharfe Trennung zwischen Erd-, Tiefen- und Oberflächenbewegungen nicht durchführen läßt, so z. B. in der Schweiz, wo die Feldgeologen für ganze Talflanken die Frage: ob „erosiv“ oder „tektonisch“ offen lassen; ähnlich ist es beim Druck in unterirdischen Räumen, ferner bei gewissen Gebirgsschlägen usw.

Die Schwerkraft wird heute vielseitig als jene Kraft angesehen, der nicht bloß die Oberflächen-, sondern durch Umsetzungen die wagrechten und aufsteigenden tektonischen Bewegungen zugeschrieben werden, und es möge daher zur Vervollständigung des Gesamtbildes entschuldigt sein, daß auch die Geodynamik in groben Hauptzügen um so mehr einbezogen erscheint, als beide vielfach ineinandergriffen und -greifen, sich gegenseitig unterstützen u. a. m. — Orts- oder Lageänderungen im Raume mit der Zeit werden als Bewegung bezeichnet. Es fehlt hier an Raum, um die verschiedenen Arten anzugeben, sowie die mannigfachsten inneren und äußeren Gründe und Anlässe, natürliche und künstliche, Veränderungen und Übergänge.

## Ursache und Anlaß; Wirkung.

Nach den Wörterbüchern (z. B. Sander) bezeichnet „Ursache“ den inneren Grund, warum etwas ist oder geschieht, im Gegensatz zum

äußeren Anlaß (Impuls), wodurch etwas in Gang kommt. Jeder Massenbewegung entspricht ein innerer Grund, eine Ursache, während eine oder mehrere unmittelbare Veranlassungen nicht unbedingt notwendig sind, sich oftmals auch schwer sicher nachweisen lassen und oft nur sehr kleine oder unmerkliche mittelbare Anlässe summiert auftreten, welche schließlich eine mehr oder weniger verborgene oder sichtbar werdende Wirkung erzielen; bei manchen Vorkommnissen fehlen auch die zur Beurteilung nötigen Erhebungen oder erscheinen z. T. heute noch nicht möglich. Zu einer Übersicht der auftretenden oder möglichen Ursachen und Veranlassungen ist vorerst noch für die große Gruppe der bleibend verfrachtenden Größt- bis Kleinst-Bewegungen auf gewisse entweder  $\pm$  schon vorhandene oder erst während der Bewegung sich bildende Zusammenhangstrennungen (Bewegungsbahnen nach Schwinner), d. i. auf den Ausdruck Rutsch- oder Gleitfläche um so mehr einzugehen, als hier die Terminologie oder Nomenklatur nicht einheitlich ist und dadurch schon mancherlei Mißverständnisse sich ergeben haben.

### **Rutschflächen im geologischen und bautechnischen Sinne.**

Bekanntlich wird der Ausdruck Rutsch- oder Gleitfläche in verschiedenen Abarten auf jede selbst aller kleinste Fläche, auf der eine  $\pm$  nachweisbare Verschiebung eingetreten, angewendet ohne Rücksicht darauf, ob eine solche Fläche — abgesehen natürlich von der den Bewegungen gemeinsamen Grundursache der Schwerkraft — als Ursache derselben anzusehen oder aber als Schlußergebnis, als Wirkung entsteht, welcher Unterschied aber in der Bautechnik von Bedeutung wird. Es ist von vorneherein klar, daß alle entstandenen, also vorhandenen oder vorbereiteten Flächen im Gestein, in der Erdkruste ( $\pm$  regelmäßige oder unregelmäßige Schicht-, Absonderungs-, Druck-, Zug- sowie Bruchflächen usw. und Zusammensetzungen daraus) somit Stellen geringsten Widerstandes als Gleitflächen dienen können. Demnach ist es weiter leicht erklärlich, daß bei großen und kleinen Faltungen und Fältelungen, Überschiebungen, Schollenbewegungen, die sich äußernde Wagrechtkomponente — mag sie für die einen die bloße Umsetzung der terrestrischen Schwerkraft, für die andern noch fraglicher Herkunft sein — meist die nachgiebigeren Schichtglieder oder Schicht- sowie andere Flächen als Bewegungsbahnen zwar vorzieht, aber naturgemäß im Verlaufe bei festeren Hindernissen durch Ausweichen nach Stellen geringeren Widerstandes oder Druckes wag- bis lotrecht (etwa nach der freieren Oberflächenseite aufwärts), sich betätigt. Sobald diese schiebende oder scherende (gebirgsbildende) Bewegung irgendwo im ganzen oder nur teilweise nachläßt, kann die bisher überwundene zentripetale gewöhnliche Schwere sich bemerklich machen, womit ein Übergang zu den reinen Oberflächenbewegungen geschaffen. Sie sind zwar bisher meist nur für relativ kleine Ausmaße unmittelbar beobachtet, doch liegt eigentlich kein Grund vor, daß sie nicht auch die größten Ausmaße erreichen sollten, womit den auch hier die etwaige Grenze zwischen „tektonischer“ und gewöhnlicher Oberflächenschwerkraftwirkung sich verwischt. Das von manchen angenommene Rücksinken

(Verdichten) von Falten, Decken, die isostatische Wechselbewegung des Untergrundes zufolge Be- und Entlastung, manches aus der „Salz“- und „Granit“-Tektonik, aus dem Vulkanismus usw. deuten wohl darauf. Fungieren also häufig die schon erwähnten, vorher gebildeten Flächen bei den Oberflächenbewegungen als Ursachen der Bewegungen und werden als solche schon seit sehr langem im bautechnischen Sprachgebrauch und in der bautechnischen Literatur (Erd-, Tunnel-, Wasser- und Bergbau) als Rutschfläche bezeichnet, so fungieren sie aber auch, wie soeben erörtert, tektonisch und dynamisch bei den Schwerkraftsumsatzbewegungen der Erdtiefe. In beiden Fällen treten aber auch ohne vorgebildete oder unbehindert durch vorgebildete Flächen Brüche, Abtrennungen ein, wo sie dann unter verschiedenen Bezeichnungen nur die Wirkung einer stattgehabten Massenbewegung abbilden. Beide können sonach ineinander greifen oder nebeneinander bestehen, wenn auch zweifelsfreie Beispiele kaum anzuführen. Die ursächlichen vorgebildeten Flächen, somit solche auf denen das Hangende ins  $\mp$  langsame (allfällig auch verborgene) bis raschere Gleiten oder Stürzen gerät, könnten daher als eigentliche,<sup>1)</sup> im gewissen Sinne als primäre, die Wirkungen als sekundäre Rutschflächen (Scherflächen) bezeichnet werden, was bei den nachfolgenden Erörterungen stets gegenwärtig zu halten ist. Ähnliche (sekundäre) Gleitflächen ergeben sich auch bei der Metallbearbeitung (Tammann). Die Nische beim Flimser Bergsturz wurde auch als Ausgleitfläche (Schichtfläche) bezeichnet.

### Form der Bruchflächen.

Aus verschiedenen kleinen und größeren Versuchen<sup>2)</sup> sowie Beobachtungen in der Natur an natürlichen und künstlichen Trocken- und Naßböschungen sowie unterirdischen natürlichen oder künstlichen Hohlräumen erscheinen im halbwegs bindigen (kohärenten) Material

1) Heim bezeichnete seinerzeit (1882) nur die seitlichen Abgrenzungen zwischen bewegtem und feststehendem Boden z. T. „als weniger wichtige Rutschflächen“, als „Verschiebungsspalten“. In der Zeitschrift des Arch. u. Ing. V. zu Hannover, XXIX (1883), sind bei den Entwässerungen Wiesbaden—Niedernhausen z. T. „Abrisse“ als „Rutsch“-Flächen im Cyrenen-Mergel (eigentlich Letten) bezeichnet, dagegen wird ein Unterschied zwischen „Abgang“ (im Letten sehr häufig) und Gleitfläche gemacht. — Bei der Brücke der Moselbahn (1880) streicht eine Rutschfläche unter dem Moselwasserspiegel aus. Übrigens vermeiden in neuerer Zeit manche Geologen (z. B. Heritsch) den Ausdruck Rutsch- oder Gleitfläche an weniger angebrachter Stelle. — Alle anderen oft in mannigfachen Formen vorkommenden Trennungen, Pressungen, Zerreißen am Grunde der bewegten Masse oder nächst demselben sowie in verschiedener Richtung in ihr selbst, wurden nur selten mit einem besonderen Ausdruck bezeichnet, spielen aber in der Geotektonik eine bedeutende Rolle.

2) Vgl. die Versuche von Engesser im kleinen, Janssen und Prantes im großen, dann Fayols in: Vz. P. Bodensenkungen im Berg- und Tunnelbau mit Berücksichtigung der Versuche in Frankreich. Zeitschr. d. Österr. Ing. u. A. V., 1919 (mit 90 einschlägigen Bildern). — Für denselben Vorgang erscheinen oft mehrere Ausdrücke, für einen Begriff verschiedene Vorgänge und Erscheinungen. Quiring (Entstehung der Schollengebirge, 1913) ordnet nach geometrischen und genetischen Gründen, bei der Bewegung nach Vorgang und Fläche, so Überschiebung und Überschiebungsfläche, Vertikalverwerfung und Sprung, Wagrechtverschiebung und Blatt. „Störung“ wird von Kayser (Geologie) für alle seit Ablagerung eingetretenen Änderungen verwendet, während darunter der Bergmann nur Lageänderungen mit Zerreißen

erfahrungsgemäß im Lotrechtschnitt die Abbruch- oder Rutschflächen als eingebogen gekrümmte (konkave) Flächen, wenn nicht durch eine einflußnehmende andere der besprochenen vorgebildeten Flächen eine ebene Bahn vorwaltet.<sup>1)</sup> Bereits in der älteren ausgezeichneten Technischen Geologie von D. Brauns (1878), die eingehend physikalische, darunter die Kohäsionsverhältnisse an Böschungen in der Natur, an Bahneinschnitten, Dämmen, Tunnels usw. ausführlich nach vielfach noch heute geltenden theoretischen und praktischen Gesichtspunkten vertritt, sind die nach oben konkaven, ja überhängenden Naturböschungsabrisse in den Fig. 21 und 22, sowie über (Tunnel-)Hohlräume in Fig. 34 mit der Kohäsion, in Fig. 40 mit Klüftung (Verwerfung) dargestellt. Aus Lockerungen an der freigelegten Innenfläche und doch z. T. nach rückwärts im Gebirge vorhandenen, eintretenden gewölbsartigen Verspannungen entstehen im Querschnitt des unterirdischen Baues grob an Ei- oder Ellipsenform erinnernde Hohlräume (Bruchhöhlen, Verbrüche) von mitunter großen Abmessungen.<sup>2)</sup> Auch natürliche Höhlen zeigen solche von verschiedenen Einflüssen abhängige Formen. Deshalb wurden den auch vielfältig bei den Erdbauberechnungen die eintretenden Abrißdeformationen nach gekrümmten Flächen z. B. bei den schwedischen Staatsbahnen der Einfachheit halber als

sieht, die andere (Kayser, Höfer) als Verwerfungen bezeichnen. K. Lehmann (Glückauf 1920. S. 1) u. A. sind gewohnt, unter Verwerfung den  $\pm$  lotrechten Vorgang an einem Sprung entlang zu verstehen und hat für Bergbauzwecke folgende Bezeichnungen als ausreichend aufgestellt: Lageveränderungen (alle Krustenbewegungen als Wirkung und Ausgleich endogener Kräfte und Spannungen): 1. Biegung, Stauchung, Knickung, Verdrückung; 2. Aufrichtung; 3. Flexur; 4. Faltung; 5. Störung, welche letztere zerfällt in: Überschiebung auf Wechsellinien, Aufschiebung auf Schaufelflächen, Verschiebung auf Verschiebflächen (Blättern), Verwerfung auf Sprüngen. Das bisher am genauesten und besten aufgenommene rheinisch-westfälische Steinkohlengebirge ist ein im älteren Karbon durch Druck von N nach S stark gefaltetes und später durch westöstliche Zerrung (im Altrotliegenden) und Abrutschungen an Böschungssprüngen entstandenes Schollengebirge: ein Rumpfschollengebirge. (Vgl. auch: A. Krümmner, Tektonik des Emser Gangzuges, 1912.)

<sup>1)</sup> Es unterliegt übrigens gar keinem Zweifel, daß vielfach unter dem vielleicht allzuhäufig als tektonisch gewertetem Wort „Verwerfung“, u. zw. nicht bloß bei kleinen Abmessungen, sondern auch größeren Erstreckungen, keine eigentlichen tektonischen Abgänge, sondern  $\pm$  bloß Absätzflächen der Oberflächendynamik gemeint erscheinen, z. B. Setzungen in mächtigen weichen, tonigen und sandigen (Tertiär- oder Diluvial-) Massen (vgl. Karrer: 1. Wr. Hochqu. Leitung; Fuchs, Vershobenenes Terrain); Nach- oder Böschungssprünge oder -brüche im Rheinischen Kohlengebirge; einige Wände der Nördlichen Kalkalpen (auf weicher Unterlage) gegen das Vorhügelland oder die Ebene.

<sup>2)</sup> Verfasser hat im Geologischen Teil seiner: Kurze praktische Geometrie für Verkehrs- und verwandte Anlagen, 2. Aufl., Wien 1919, einen größeren Arlbergtunnelbruch (nach dem Überschiebungsblochdiagramm) in einem perspektivischen Diagramm, im Längen- und Querprofil unverzerrt in Maßzahlen auf Seite 263/64 in den Bildern 222, 223, also nicht schematisch, sondern nach genauen Messungen dargestellt, wobei nicht nur in den zahlreichen Schnitten die Gesteinsbeschaffenheit, Schieferung, Quarzbänke und -linsen, Wässer, sondern auch eine flache, verdrehte Überschiebung aus einer gelben Lettenkluft sich genau konstruieren läßt, bzw. ihr langer Verlauf usw. beurteilen läßt. Eine Abscherung im Liegenden aus dem siebenbürgischen Tertiär hat Vz. P. im Jahrb. d. Geol. Reichsanstalt 1882 in Fig. 8, S. 580 und Tafel XIV in einer „Tegellinse“ gegeben (Fig. 8 und 9 sind daselbst etwas rechts aufzudrehen, wie aus der Beschriftung zu entnehmen).

liegender Kreiszyylinder mit parallel zur Böschung streichender Drehachse (=  $\frac{1}{2}$  Halbmond oder 1 Quadrant), als der Natur am nächsten stehend, eingeführt und danach die erforderlichen Gleichgewichtsbedingungen aufgestellt. Ist  $P$  das Gewicht der gleitenden abgeessenen Masse,  $r$  der Zylinderhalbmesser,  $a$  der Schwerpunktsabstand (Horizontalprojektion) der Gleitmasse von der Zylinderachse,  $b$  der Flächeninhalt des vorhandenen (abbrechenden) Zylinderschnitts,  $K$  die erforderliche Kohäsion für die gewählte Gleitfläche (Kraft/Flächeneinheit), so ist fürs Gleichgewicht:  $Pa = bKr$ , also  $K = \frac{Pa}{br}$ .

Beim Bau der St. Louis und South-Eastern R. R. wurden tiefe Einschnitte mit einfüßiger Böschung ( $45^\circ$ ) in Löß dem Einfluß der Witterung überlassen und wurde nur für Abfuhr des abrieselnden Materiales gesorgt. Mit der Zeit stellte sich in der Böschung durch die Atmosphärien die bekannte oben lotrecht bis überhängend, unten flach verlaufende Stabilitätslinie oder -fläche her, welche nur außergewöhnliche Ereignisse oder sehr lange Zeit ändert. Im Löß eingeschnittene Schluchten und Täler mit analogen Querprofilen (von Lehmpyramiden und anderen Einzelheiten abgesehen), haben den amerikanischen Ingenieuren als Vorbild für dieses Arbeitsverfahren gedient.<sup>1)</sup>

Ganz oder z. T. geglättete, geriefte oder gestriemte Flächen, nicht selten zufolge anderer Einflüsse: Wasserwirkung, hohes Alter, Verwitterung, Abbröckelung u. dgl. kaum noch erkennbar, erhalten oder verborgen, sind somit Folgen gleitender bis stürzender sowie fließender oder auch schwingender Bewegungen. Sie können von mikroskopischen (Mikrogleitflächen) bis zu gewaltigen Erstreckungen und nach allen Richtungen auftreten und zeigen vielerlei Begleiterscheinungen je nach Materialbeschaffenheit, Masse, Gewalt, Wiederholungen, Widerständen, Pressungen, Zerrungen usw. Oft liegen auch mehrere Gleitflächen übereinander; Unregelmäßigkeiten erzeugen im und an der Grenze des Gleitkörpers und der nicht oder weniger bewegten Nachbarmasse Zertrümmerungszonen, Breccien, Gerölle, Linsen, Kegel, Zylinder, Häute, Parallel- und unregelmäßige Strukturen bis zur Mylonitisierung auf nicht selten bis zu namhaften Mächtigkeiten. Aber auch einzelne Belastungen durch Schollen, Blöcke, größere und kleinere Trümmer geringen Kubikinhaltes bis zu Kubikkilometer bedingen beim Sinken oder einer sonstigen beliebigen Bewegung an den Berührungswänden Glättungen, Ausweich- bis zu Zerstörungsformen. Stollensgspärre werden durch die Gebirgslast abwärts gedrückt und bilden den zurückgelegten Weg mitunter ab.<sup>2)</sup>

Übrigens bilden sich nicht selten die konkaven Abbruchflächen auch für die Oberflächen kennzeichnend ab, wie nachstehende Beispiele zeigen.

1) Der Ingenieur sucht tunlichst „faulem“ Gebirge auszuweichen, die Verwitterung zu verzögern, ihre Wirkung unschädlich zu machen oder abzuschwächen, in einzelnen Fällen sie sich nutzbar zu machen.

2) Vgl. den 0.5 m hohen, 0.3 m breiten Kappenharnisch Bild 2: Überquellung und Gebirgsdruck. Verh. d. Geol. Reichsanstalt 1916, S. 106.

Anlässlich der Beschreibung einer Rutschung gibt Koenen einige schematische Bilder.<sup>1)</sup> Zufolge Unterspülung durch Meereswellen etwa 1·5 km nordöstlich von Saßnitz (Rügen) lag ein „halbmondförmiges Gebirgsstück“ (Bild 1) von 100 m Länge noch in der Ausbruchsnische, 10 m tiefer mit der Oberfläche, als der angrenzende Wald und ist diese gegen die Abbruchfläche hin erheblich geneigt, „wie dies häufig vorkommt

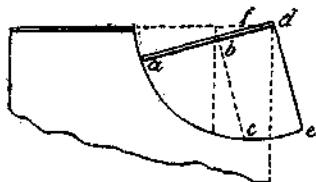


Bild 1.

und dadurch begründet erscheint, daß die Bruch- oder Rutschfläche konkav ist (Bild 1) und der Rutschkörper sich gleichsam um die Achse *f* dieser Konkavfläche drehte“. Hiebei kann ein Teil des abgerissenen Stückes höher zu liegen kommen als vor der Bewegung, wenn nämlich die Achse noch innerhalb des gerutschten Körpers zu liegen kommt, ähn-

lich dem Teil *ade*, wenn auch eine Rutschung im Sinne des Stückes *abc* meist öfter eintritt. Dasselbe kann vom Absinken an Verwerfungen statthaben; falls die Schichten beidseitig einer Verwerfung verschiedenes Fallen zeigen, so dürfte die Verwerffläche nach jener Seite konkav werden, nach welcher die gesunkenen Schichten steiler fallen. Wenn im allgemeinen in den schematischen Profilen von Dislokationen Verwerfungen (unrichtig) geradlinig gezeichnet erscheinen, „so hat dies seinen Grund wohl darin, daß ihr Einfallen in der Regel nur an der Tagesoberfläche beobachtet werden kann“, daß aber auch „die große Mehrzahl der Autoren die Erfahrungen in der Natur, im Erdbau sowie Berg- und Tunnelbau nicht entsprechend berücksichtigen und ihre gedachten Profile nie mit gemessenen und konstruierten Profilen verglichen.“ „Ein verständlicheres Bild erzielen und auch der Wirklichkeit näher kommen würde man wohl,

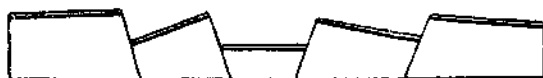


Bild 2.

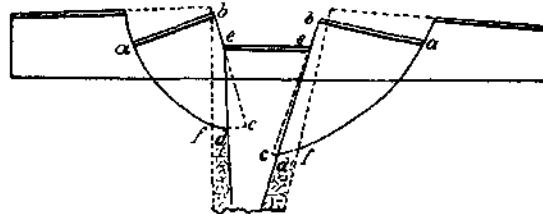


Bild 3.

wenn die Verwerfungen entsprechend gekrümmt angegeben würden; ist ja doch schon oft genug beobachtet worden, daß Verwerfungen in der Tiefe ein flacheres Einfallen annehmen. Das schematische Profil Bild 2<sup>2)</sup> würde danach etwa nach Bild 3 zu erläutern sein, auf dem durch

strichlierte Linien die Ursprungslage der beidseitig an das zuerst gesunkene mittlere Stück herangerutschten Gebirgsteile angegeben ist. Die untersten Teile *cde* dürften zertrümmert worden und in die darunter klaffende Spalte *df* teilweise eingestürzt sein. — Bei den Rutschungen

<sup>1)</sup> Über postglaziale Dislokationen. Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanstalt für 1886. S. 1 ff.

<sup>2)</sup> J. C. Russel (Annual Report V. S. Geolog. Survey, Washington 1883, S. 202; Brögger. Über die Bildungsgeschichte des Kristianiafjords, Nyt. Magazin for Naturvidenskaberne XXX. Bd. 2. Heft., S. 114; dann die Profile an den Hängen des Stadtgebietes Wien (Th. Fuchs) usw., vgl. später S. 54—57 die Bilder 4 bis 9.

in Rügen ist z. T. die Oberfläche landeinwärts geneigt bis zum Beginn des steileren Abhanges.<sup>1)</sup> Weiters scheint, als sei der ganze zwischen Küste und Steilhang liegende Gebirgstheil in älterer (postglazialer) Zeit ebenfalls abgesunken, da die Grenze nach oben schon mehr von Hangschutt bedeckt und abgerundet ist, und zwar nicht zufolge Unterspülung durch die See, da die Terrasse auf 3 km zu verfolgen ist, und zwar nach W bis zu 1 km breit werdend; die von O nach W streichende Verwerfung ist in den nördlichsten Kreidebrüchen Saßnitz' gut sichtbar. Es scheint ein stufenförmiges Absinken vorzuliegen sowie daß der Ostseeboden selbst auch in postglazialer Zeit einsank.

Das häufige rückwärtige größere Absinken der Bruchscholle längs der Abrißfläche wird wiederholt in der Literatur erwähnt und abgebildet. Ein jüngeres Beispiel ist bei den großen, auch heute fort-dauernden Glazialrutschungen an der Bahn nächst Frankfurt a. d. Oder<sup>2)</sup>, ein älteres vom September 1884 am linken Klobuczkaufer<sup>3)</sup> gegeben. Der Bach liegt im Tegel, darüber folgt eine ungeschichtete 10 m dicke Tafel sandiger Löß mit steilen, fast senkrechten Wänden. „Nach den lang anhaltenden Regen des vorigen Spätsommers erweichten die Grundwässer sowohl den etwas sandigen Tegel als den unteren Teil der Lößterrasse, die Unterlage wich nach der Seite aus, wo ein Ausweichen möglich war, nämlich gegen den Bach zu, und der Löß folgte, größtenteils seinen Zusammenhang bewahrend, im Ganzen.“

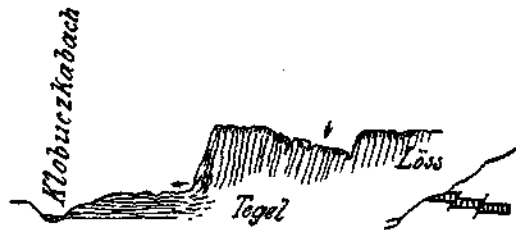


Bild 4.

Bild 4a.

(Bild 4.) In bekannter bogenförmiger Abklüftung löste er sich vom Hinterland, mehrere parallele Klüfte zerlegten ihn in Streifen, die mehr weniger selbständig den Untergrundbewegungen folgten. „Demnach herrscht im rückwärtigen Teil an der Randklüftung mehr die sinkende Bewegung, im vorderen Teil mehr die gegen den Bach zu vorwärtsschreitende.“ So erscheint der Rückteil des Lößes wie in einer Grabenversenkung gesunken, während am Fuß der Lößterrasse auf der berasteten Tegelfläche Runzelung und Faltung erscheint. Der Bach wurde gestaut (Auftrieb?).

Das Sinken im rückwärtigen Löß, der nach der Rutschung tiefer kam als die vorderen Teile, erzeugt eine in Sand- und Tegelgruben öfter vorkommende Erscheinung (Bild 4 a). Tertiärschichten zeigen staffelförmige Verwerfungen hintereinander, an welchen die vom Hang weiter entfernten Flügel immer derart die tieferen sind, wie das Bild 4 a darstellt. Es liegt somit keine tektonische, sondern bloß eine Abrutscherscheinung vor. — Ähnliche Verhältnisse besprechen Hilber<sup>4)</sup> und A.

<sup>1)</sup> Auch als „Absatzfläche“ oder „Widergebirge“ in neuerer Zeit bezeichnet.

<sup>2)</sup> Vz. Pollack. Rutschungen im Glazialen, Jahrb. d. Geol. R. A. Wien 1917. Taf. XIII, XII.

<sup>3)</sup> Becke. Über die bei Czernowitz 1884/85 stattgefundenen Rutschungen. Jahrb. d. Geol. R. A. Wien 1885, XXXV., S. 397 bis 406.

<sup>4)</sup> Ebenda S. 413.

### Form tektonischer Abbruchflächen.

Die im Bild 1 bis 3 schematisch angedeuteten landeinwärts geneigten Bruchstaffeloberflächen kommen aber nicht bloß bei der Oberflächendynamik, sondern auch bei der Tiefendynamik vor, wie nachstehendes Beispiel zeigt. Krenkel<sup>1)</sup> hat sie bei der Bruchzone Südafrika—Taurus behandelt, die „durch verschieden gebaute geologische Provinzen und mit ihrem alle Widerstände in altem erstarrten und jungem ungefalteten wie gefaltetem Lande überwältigenden Laufe unter allen Dislokationslinien der Erde wohl ohnegleichen ist.“ Die Gemeinsamkeit der fünf großen Teilgebiete läßt als letzte Heimat der Kräfte „großartige, langwährende Schollenverschiebungen ahnen, die von Strömungen in der plastischen Zone abhängig sind.“ Die Frage: „tektonische oder atektonische Entstehung“ entscheidet Krenkel zugunsten der ersteren. Doch kommen auch „Landstufen“ erosiver Natur vor. Die Tanganjikaformation ist am Seeufer 10 bis 15 km breit, am Ufer sich häufende Verwerfungen, durchzogen zu einem Mosaik von Bruchschollen und -schöllchen längs Haupt- und Nebenverwerfungen, was sich unter dem See fortsetzt. Der ganze Graben ist in bewegliche Schollen gegliedert, die wie Körner eines riesigen Gelenksandsteins ineinandergreifen. An den Grenzflächen der Schollen fanden Bewegungen statt, die auch heute noch durch zahlreiche Beben sich äußern. Die Schollen sind das bewegliche Hilfselement, „das den durch eine großzügige Tektonik der Tiefe verursachten Absenkungsvorgang nach der Erdoberfläche vermittelt“. Die Kleinschollen tragen durch Klüftung, Faltung, Überschiebung sekundärer Natur im seenahen Teil zum Gleichgewichtstreben bei. Die Oberflächen der weiten Großstaffeln besitzen rückläufiges Gefälle vom See landein: damit ist wohl ein Drehen des Absitzkörpers im Sinne des Schemas Bild 1 und die entsprechende konkave Bruchfläche verbunden.

### Verbesserungen an schematischen Querprofilen bei Abgleitungen.

Es darf wohl außer Frage stehen, daß für mancherlei Zwecke und Folgerungen die Darstellung der auftretenden Gleitflächen der Natur der Sache sich möglichst anpassen muß und daß unrichtige Bilder weiterer Erkenntnisse sehr im Wege stehen. Selbst im Berg- und Tunnelbau sowie bei natürlichen Deckeneintrutschungen und Ulmenbewegungen über oder seitlich von Höhlungen, wo also stützende Massen noch mehr als bloß bei seitlichen Erosionen entfernt werden, gehen erfahrungsgemäß lotrechte und seitliche Niederbrüche in  $\pm$  konkaven Bruchflächen vor sich. Form und Abmessungen der Senkungs- und Bruchzone hängen von einer größeren Zahl von Elementen ab, und zwar hauptsächlich von der Festigkeit und Neigung der Schichten oder Schieferung, der vorhandenen Absonderungen und Brüche, Verwerfungen und anderen geologischen Einflüssen, von der Natur des Bodens und der Mächtigkeit der Bänke, von den Abmessungen der Höhlung, deren Tiefe unter der

<sup>1)</sup> Die Bruchzonen Ostafrikas. Geol. Rdsch. 1924, S. 209 ff. (Auch besonderes Werk 1920, Borntraeger). — Auf die Frage der Entstehung der Störungen — ob Antiklinahypothese oder der durch Krenkel auch vertretenen „Zerrung“ (die eigentlich auch auf gewöhnliches Schollenabbrechen hinweisen könnte) wird hier nicht eingegangen.



Erdoberfläche und von der Art und Weise der Entstehung usw., wobei noch die Wirkung der Wässer hinzukommt. Der Einbruchraum kann regelmäßig, unregelmäßig, erhöht, abgeflacht u. dgl. sein und hat der Verfasser an bereits angegebenen Orte eine große Zahl mannigfachster Vorkommnisse eingehend besprochen, auf die hier hingewiesen werden muß. Selbst bei manchen tektonischen Gräben wird wahrscheinlich aus der Grabenbreite (vgl. u. a. auch Bild 3) auf eine  $\pm$  geschätzte Grabentiefe, bezw. auf ein Weichen der Unterlage daselbst wenigstens annähernd zu schließen und danach auch der Verlauf der (konkaven) Bruch- oder Gleitflächen zu beurteilen sein. Die Gepflogenheit bei schematischen Skizzen und bei geologischer Kartierung die Brüche, Verwerfungen nach der Tiefe als gerade  $\pm$  geneigte (meist sehr steile bis saigere) Abtrennungen anzunehmen, ist zwar, wie bereits erwähnt, nicht selten ein Verlegenheitsmittel der Darstellung, ähnlich der Lesesteingeologie bei fehlenden Aufschlüssen, entstanden dadurch, daß infolge fehlender Aufschlüsse in einem Gebiet, wo zwei Formationen oder Glieder in Berührung zu treten scheinen, nach irgendwelchen Anzeichen ( $\pm$  morphologischer oder anderer Art oder auch ohne solche) Grenzen angenommen werden — jetzige wagrechte Deckenbewegungen wurden früher nicht selten als „Verrutschungen“ in mehr lotrechtem Sinne „erklärt“ — oder es wird ein Oberflächenaufschluß nach der Tiefe zu, nicht genau genug für den wirklichen Verlauf verfolgbar und nach obigem am Ausgehenden meist zu steil und zu gerade angenommen oder schließlich auch, weil jener allzukurze Teil der Abrißkrümmung, der im Berg- oder Tunnelbau oben und unten aufgeschlossen genau vermessen aufgenommen wurde oder werden konnte. Doch stellen sich bei der Oberflächendynamik und zuweilen auch bei zutage deutlich ausgehender Tiefentektonik die Verhältnisse etwas günstiger, da als Regel ein gekrümmter Abbruch anzunehmen, wenn auch nicht mit so geringem Halbmesser als etwa von Koenen oder in Schweden gezeichnet wird. Natürlich können da die betreffenden individuellen Anschauungen oder Erfahrungen des Aufnehmers oder Beobachters von wesentlichem Belang sein: in Schrift, Bild und Wort sind unzutreffende Annahmen zu finden, die im vorhinein nicht selten die Überzeugung aufdrängen, daß, wenn überhaupt solche Flächen nötig, ihr Verlauf mehrfach falsch nach Form und Erstreckung in Profilen eingezeichnet erscheinen und wäre wohl zu wünschen, daß derartige bloße Annahmen, ähnlich den „Luftfaltungen“ u. a. in Querschnitten oder im Lageplan mindest etwa bloß strichliert oder punktiert (also noch fraglich bezüglich genaueren Bestandes oder Verlaufes) angedeutet sein sollten, und zwar sowohl wag- wie lotrecht. — Aus den vielen in geologischen Werken gebrachten Beispielen seien folgende herausgehoben.

### Zur Talbildung.

In Bild 5 ist unter I bis IV und unter Auslassung von Zwischenstadien, VII, die schematische Darstellung eines Erosionstales in Weichmaterial (oder klüftigem Gestein) gegeben, wobei, abgesehen von den scharfgeraden ebenen Abbruchflächen an den Hängen oder Ufern, im Sand ( $\gamma$ ) plötzlich eine wagrechte untere scharfe Grenze der ab-

gerutschten Körper breit und weit unter der Bachsohle ins Gebirge mit scharfen Knick, Wagrechte kombiniert mit versteilterer (!) Böschung im Innern, gezeichnet erscheint, was aus mehrerlei Gründen ganz unmöglich in der Natur ist und auch keine Vorstellung über den Entwicklungshergang zuläßt. Daneben ist im gleichen Bild I a bis IV a und VII a annähernd grob ein möglicher Vorgang gegeben, mit abgerundeten Bruchflächen aber ohne Versteilerung weder im Innern, noch am Ausgehenden, meist ohne bergeinfallenden oberen „Absatzflächen“ der Schollen und ohne sichtbare Stauchung oder Sohlenaufreibung vor oder im Bett  $\epsilon$ : indem der Bach die langsam zusitzend gedachten Massen allmählich verfrachtet oder indem — was in den Profilen aber nicht dargestellt — die Rutschflächen zunächst der Bachsohle fast wagrecht oder etwas ansteigend gegen die Sohle (Auftrieb durch die seitliche

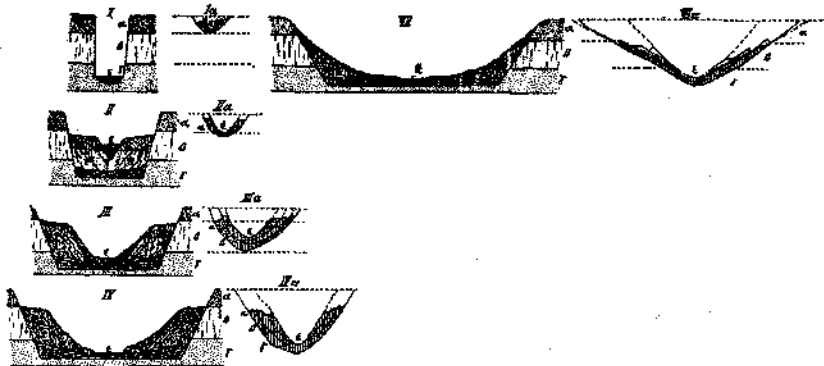


Bild 5. Ursprüngliche schematische Darstellung der Bildung eines Erosionstales in weichem Gelände von der Bildung des ersten Einrisses (I) durch die verschiedenen Stadien der Abrutschung, Fortführung und Ausgleichung bis zur bleibenden Ausweitung (VII) nach Fuchs.  $\alpha$  = Schotter,  $\beta$  = Löß,  $\gamma$  = Sand,  $\epsilon$  = Bach (das abgerutschte und verschobene Gelände ist durch senkrechte Schraffierung in I a bis VII a gekennzeichnet). I a bis VII a verbesserte schematische Darstellung. Die strichpunktierte Linie in VII a am obersten Rand links und rechts stellt die allmählich eingetretene Gleichgewichtsböschung dar.

Schollenlast!) austreichen.  $\epsilon$  ist unverdrängt am selben Ort angenommen. Wird durch irgend einen Umstand der abtragende Bach  $\epsilon$  einseitig verschoben (z. B. durch einseitige Auflandung oder ein Hindernis, einseitig stärkere Hangrutschung), so erweitert sich das Tal auf Kosten eines der Hänge, um ein andermal den zweiten Hang zu bearbeiten. Auf jeden Fall nähern sich die Rutschflächen unten den Angriffs- oder Ausweichungsstellen, was aus zahlreichen Versuchen und Naturbeobachtungen hervorgeht.

In Bild 6, 1, sind für das inneralpine Becken (bei Wien) die ursprünglichen drei Tertiärschichten  $a$ ,  $b$ ,  $c$  noch ungestört am Grundgebirge (rechts in den Querschnitten) angenommen [nebenbei bemerkt wäre die Gleichgewichtsanlagerung solch loser Massen auf dem Grundgebirge (Tegel, Sand, Tegel) unter Rücksicht auf die unvermeidlichen starken Materialsetzungen wohl etwas anders zu skizzieren]; in den Querschnitten 2 und 3 späterer Phasen sind die (durch lange Zeit in der Literatur noch als gerade, ebene, steil zur Tiefe fallende) Verwerfungsflächen bereits gekrümmt gezeichnet, um schließlich in neuester

Zeit (F. X. Schaffer) ohne Verwerfungen in Bild 7, 20 a, in der (verbesserten) Ursprungslagerung, 20 b erodiert und der vermutete jetzige Zustand in 20 c zufolge Rutschungen etwa auf den  $R_1$  und  $R_2$  in der

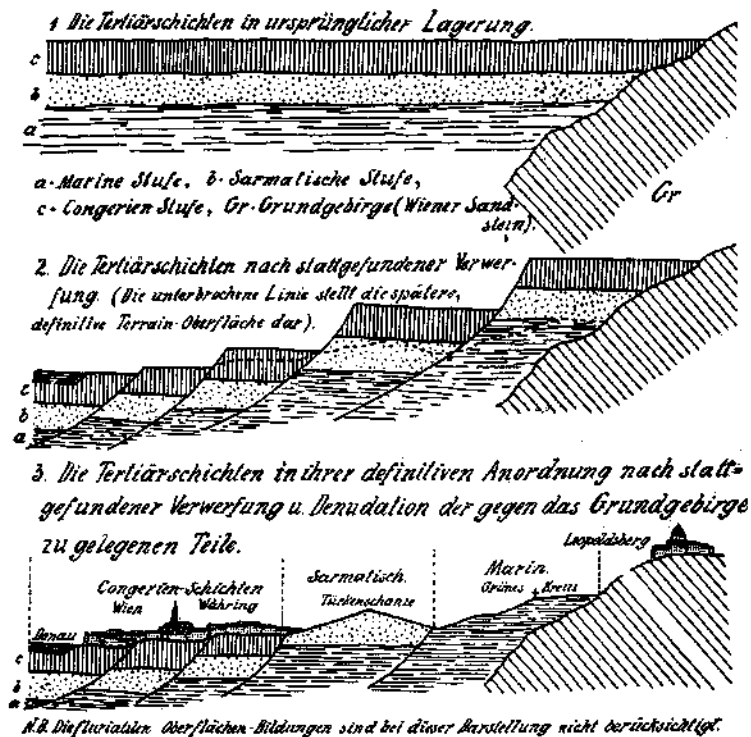


Bild 6.

Richtung der beiden Pfeile, angedeuteten Abrißrändern und erfolgten Abtrag, der gestrichelten (unterbrochenen) Oberflächenlinie in 2 ähnlich zu erscheinen.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Die mannigfachen Gebilde der marinen Tertiärschichten des Wiener- oder inneralpinen Beckens (Gerölle, Sande, Tegel) kamen wohl in einem und demselben Meere zur Ablagerung (E. Sueß). Die groben Konglomerate des Strandes sind am besten in den (meist nicht mehr betriebenen) Schottersteinbrüchen bei Kalksburg aufgeschlossen. (R. Hoernes. Bau und Bild Österreichs. 1903. Ebenen. S. 948 ff.) Gröberer Sand und Meeresgeröll verkittet, enthalten zahlreiche Hohldrücke und Steinkerne. — Kalkige Skelette einer Alge (submarine Wiese), welche Kalk absondert (*Lithothamnien ramos.*) geben den Leithakalk; zwei Bilder der großen Steinbrüche bei Wöllersdorf am Rande des Neustädter Steinfeldes (Schwemm- und Schuttkegel der Flüsse) zeigen deutliche Schichtung (a. a. O. S. 958) des Kalksteins, der in zahlreichen 0.5 bis 1.0 m mächtigen Bänken aufgeschlossen ist, welche unter ziemlich steilem Winkel (bei 30°) gegen die Steinfeldfläche (Ebene) fallen; doch ist diese Neigung weder eine ursprüngliche, noch durch spätere gebirgsbildende Aufrichtung veranlaßte, sondern ledigliches Nachgeben der Unterlage (Tegel, Sande), randliche Bewegungen, welche auch jüngere, von Th. Fuchs und A. besprochene Auffüllungen der Niederung von Wien zeigen. In einem zweiten Bilde (oberster Steinbruch, Fig. 10, S. 959) ist deutlich das Angrenzen ungestörter, wagrecht gelagerter sowie auch abgesunkener, schräg gestellter Teile zu sehen, überdies im oberen Aufschlußteil eine später, durch Fließwasser verursachte teilweise Zerstörung der Kalkbänke sowie fluviale Absätze, die entweder dem jüngsten Tertiär oder bereits der Eiszeit angehören mögen. Zwischen den Bänken erscheinen auch kleine aber auch stärkere mergelige Zwischenlagen („Amphisteginenmergel“).

Im Wald- oder Kapellenbruch bei Kaisersteinbruch<sup>1)</sup> ist eine Zerstörung des Leithakalkes nach dessen Absatz sichtbar.<sup>2)</sup> Der Kalk ist oben abgeschnitten (Bild 8)

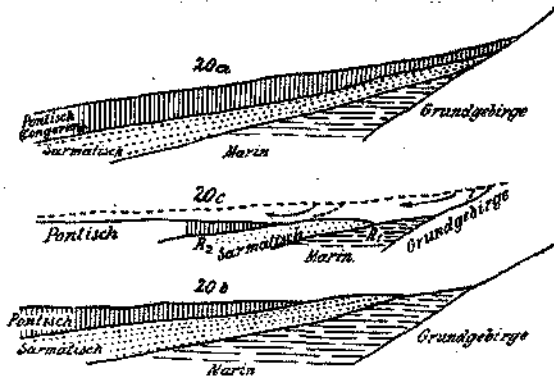


Bild 7.

und auf der Fläche liegen abgerollte Kalkblöcke, dazwischen Quarzgeröll. Es scheint sonach zwischen Leithakalk und sarmatischer Stufe eine Erosionszeit eingetreten zu sein. Die auf die Blocklagerung folgenden Bänke werden sarmatisch sein.

Im nächsten Bild 9 hingegen ist eine auf fast 900 m Tiefe erschlossene „Schaufelfläche“ bis vorläufig zum Zechsteinsalz reichend dargestellt, mit einer Reihe sekundärer Ab- oder Nachbrüchen sowie Spaltenfüllung. Die gegenüberliegende „Graben“-Böschung ist nur angenommen und könnte auch entgegengesetzt einfallen. Diese

ist nur angenommen und könnte auch entgegengesetzt einfallen. Diese

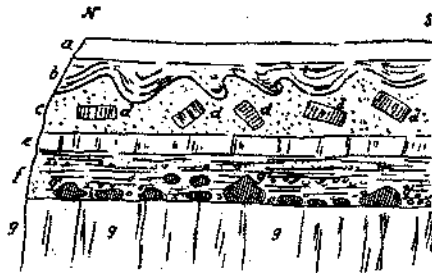


Bild 8. *a* = Humus, *b* = Mergel, sandiger Boden (taschenbildend), *c* = gelblig-sandig (taschenbildend), *d* = Trümmer einer Sandsteinbank voll sarmatischer Bivalven und Gerithien, *e* = harte, grobe Sandsteinbank mit Lithothamniendetritus, *f* = dünn geschichteter grober Sand mit Lithothamniendetritus, *g* = lichter, dichter Lithothamniendetritus mit *Pecten latissimus*, *g'* = abgerollte Blöcke desselben Kalkes, dazwischen viel Quarzgerölle.

Sudheimer Bohrung im hannoverschen Eichsfelde und angrenzenden Leinegebiet gehört der Keuper- und Lias-Versenkung des Leinetales an und steht an der Oberfläche im Gipskeuper (Bild 9). Die Bohrung hat in 837,5 m die flach einfallende Randverwerfung des Leinetalgrabens gefaßt und darunter das normale Zechsteingebirge erreicht.

<sup>1)</sup> Bei der Quellenfassung ob den Kriegsbaracken in Kaisersteinbruch (schieb gegenüber im Leithagebirge), wurde aus den großen Klüften des ebenfalls zur Niederung geneigten, sowie auch zum Teil abgebrochenen Leithakalkes der nachgiebige unterliegende wasserführende blaue Tegel (Wasserhorizont, ringsum das Gebirge!) erschlossen. Am Nordportal des großen Türkenschanztunnels (Vorortelinie) waren in den sarmatischen Sanden zahlreiche Abbruchflächen, der Niederung steil zufallend, in Photographien festgelegt.

<sup>2)</sup> Th. Fuchs. Über Anzeichen einer Erosionsepoche zwischen Leithakalk und sarmatischen Schichten. Sitz.-Ber. d. Ak. d. Wiss. 1902, 351.

Die Verwerfungsfläche gleicht der Schaufelfläche gewöhnlicher oberflächlicher Rutschungen.<sup>1)</sup>

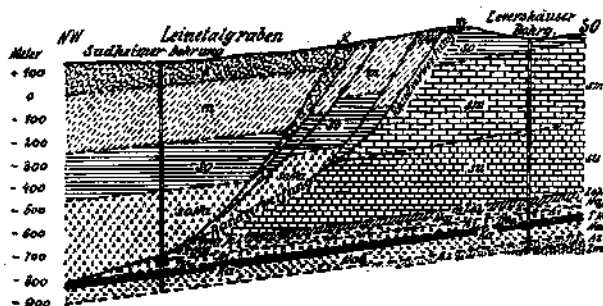


Bild 9. Profil durch den Leinetalgraben südlich von Northeim. 2 : 37.500.

<i>m</i>	= Muschelkalk.	<i>A<sub>1</sub></i>	= Hauptanhydrit.
<i>sm</i>	= Mittlerer Bundsandstein.	<i>TNa</i>	= Grauer Salzton.
<i>Naj</i>	= Jüngeres Steinsalz mit Rotem Salzton mit Pegmatitanhydrit.	<i>Zm</i>	= Mittlerer Zechst. Dol. (Hauptdol.).
<i>A<sub>2</sub></i>	= Älterer Anhydrit.	<i>K</i>	= Keuper.
<i>jl</i>	= Lias.	<i>soNa</i>	= Röt-Steinsalz.
<i>so</i>	= Röt.	<i>zoλ</i>	= Zechsteinletten mit dolom. Einlag. (Plattendolomit).
<i>su</i>	= Unterer Bruchsandstein an der Basis Bröckelschiefer.	<i>Ka</i>	= Kalitager.
		<i>Naä</i>	= Älteres Steinsalz.

### Bewegungsursachen und -anlässe.

Das auffällig verschiedene Verhalten gleichnamiger Bodenarten bei Gleichgewichtsstörungen wurde z. B. zwar ab und zu  $\pm$  bekannt, doch begnügten und begnügen sich einschlägige geologische und tiefbautechnische Schriften und Beschreibungen auch jetzt noch durchwegs die Stoffe nach der äußeren Beschaffenheit zu bezeichnen oder zu schildern, ohne die eigentlich wichtigen ursächlichen, inneren physikalischen Eigenschaften näher zu untersuchen, warum denn in dem einen Fall Standfestigkeit, im andern unter gleichen Bedingungen anscheinend das gleiche Material große Beweglichkeit zeigt! Außerdem erscheinen in der großen Reihe mannigfacher Bewegungserscheinungen auch solche mit völlig ungeklärtem, rätselhaftem Wesen: Luftfeuchte, Wasserwirkung, Volumvermehrung, „Blähung“, latente Spannungen und vieles andere werden angenommen, der Beweis hiefür ist nicht zu erbringen! Um in dem Chaos unhaltbarer Meinungen endlich festeren Fuß auf unbestreitbarer Grundlage fassen zu können, hat der Verfasser schon seit langem das Bedürfnis nach einer physikalischen Klassifikation der leichter beweglichen Gesteinsmassen zuletzt 1917<sup>2)</sup> für objektive — nicht subjektive — Vergleichs- und Anwehndezwecke unter damals vorläufiger, verbesserungsfähiger Einteilung skizziert, welche in erfreulicherweise in der darauffolgenden Literatur ausgebaut erscheint. Vom selben Bedürfnis getrieben, hat das American Foundation Committee des Ingenieurvereines in New York die geologisch-physikalischen Unterscheidungsmerkmale der Materialien (zulängliche Bodenbeschreibung) in nachfolgender Weise aufgestellt und sind auch die nötigen Schlamm-analysen beigelegt.

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Prakt. Geol. 1909, S. 187.

<sup>2)</sup> Jahrbuch der k. k. Geolog. Reichsanstalt, 1917, 67, S. 435 bis 460 (Wien 1918).

## Geologisch-physikalische Unterscheidungsmerkmale von Materialien.<sup>1)</sup>

(Bodenbeschreibung nach American Foundation Committee.)

Entstehungsart	Ortsständige Bildungen					Verfrachtet						
	Residual					Organogen (Kumulos)	Hangbildungen (Detritus)	Sedimentär			Glazial	Äolisch
								Flußablagerung (Alluvial)	Seeablagerung (Lakustrin)	Meeresablagerung (Marin)		
Bezeichnung	Massengesteinen (Granit, Basalt, Porphyr usw.)	Schiefergesteinen (Gneis, Glimmerschiefer, Phyllit usw.)	Karbonatgesteinen (Kalk, Marmor, Mergel usw.)	Klastischen Gesteinen (eisenschüss. Sandstein, Quarzkonglomerat usw.)	unverfestigten Massen (Ton, Sand, Schotter usw.)	Torf, Moor auf ursprünglicher Lagerstätte usw.	Schutthalden, Gehänge, Lehm usw.	Rezente Flußablagerungen, manche Adobe-Erden usw.	Manche Torfe und Moorablagerungen, Seeterrassen usw.	Strandbildungen, marine Tone usw.	Moränen, Blocklehme, Driftablagerungen	Sanddünen, Löß, manche Adobe-Arten, vulkanische Asche usw.
Zusammensetzung	Gestalt der Bodenteilchen (derb, flach, schuppenförmig, Flächen glatt oder rauh, Kanten scharf oder abgerundet). Größe der Bodenteilchen (Siebanalyse der größeren Bestandteile nach Tabelle unten des American Found Committee 1920 und Perzentsätze an abschlämmbaren Bestandteilen). Mineralische Beschaffenheit der Sandkörner und größeren Gesteinsbruchstücke. Bei Tonen: Plastizitäts- und Fließgrenze.											
Struktur	Dicht oder locker gelagert (für Sande und Schotter); dicht, locker (flockig) oder gekrümelt (für Tone und Lehme).											
Wassergehalt	Feuchtigkeitgrad (Sande); bezw. Wassergehalt in Gewichtsprozenten (Ton, Lehm, Schlamm).											
Besondere Merkmale	Veränderung der physikalischen Merkmale an frischen Bruchflächen in Berührung mit Luft oder Wasser (wird rissig oder weich, zerfällt in prismatische Brocken von 0.5 bis 1.0 cm usw.). Beimengungen (kalk- oder salzhaltig, humos, eisenschüssig usw.).											

<sup>1)</sup> In Anlehnung an Pap. a. Disc., American Society of Civil Engineers, New York, Jan. 19th 1916, Table 2, S. 351.

### Bezeichnung nach der American Foundation Committee 1920.

Bezeichnung		Weite der Sieböffnung in <i>mm</i>		Methode der Analyse
		Passiert	zurück- gehalten	
Steine, Schotter (Pebble)	grob	32·0	16·0	Sieb mit durchlöcherter Metallplatte
	mittel	16·0	8·0	
	fein	8·0	4·0	
Grus (Grit)	grob	4·0	2·0	Drahtsieb
	mittel	2·0	1·0	
	fein	1·0	0·5	
Staub (Dust)	grob	0·5	0·25	Drahtsieb
	mittel	0·25	0·125	
	fein	0·125	0·0625	
Mehl (Flour)	grob	0·0625	0·03125	Schlamm-analyse. Atter- berg verwendet Glas- zylinder mit 10 <i>cm</i> Flüssig- keitssäule über dem Boden- satz. Absatzzeiten und Bezeichnung sind in nach- stehender Tabelle gegeben.
	mittel	0·03125	0·015625	
	fein	0·015625	0·0078125	

Nach Atterberg (1913) Bezeichnung des Schlamm- produktes		Korngröße in <i>mm</i>	Absatzzeit in Stunden. Wasserhöhe 10 <i>cm</i>	Anmerkung
Kolloidschlamm	fein	< 0·0006 0·0006 bis 0·002	64 8	} Starke Brownsche Bewe- gung (obere Grenze 0·005 bis 0·002 <i>mm</i> )
	grob			
Schluff	fein	0·002 bis 0·006 0·006 bis 0·02	1 7½ Minuten	
	grob			
Mo und Sand		> 0·02		(sprich Mu)

Die angegebenen Bezeichnungen sind schon deshalb allen bisher üblichen vorzuziehen, weil der Beobachter, Berichterstatter usw. (sei er Geologe, Ingenieur, Behörde, Gesellschaft) genötigt ist, bei der Anwendung auf alle wichtigen und zur Beurteilung notwendigen Verhältnisse einzugehen, was bisher bei allen Beschreibungen und Untersuchungen fehlt. Probeentnahmen müssen den Wassergehalt konstant halten (also luftdicht oder Paraffineintauchung).

## Terzaghis grundlegende Forschungen.

In neuester Zeit hat nun der auch in Geologenkreisen durch seine Arbeiten bestens bekannte Ingenieurgeologe K. Terzaghi unter Mithilfe des amerikanischen Robert College in Konstantinopel auf Grund von im Jahre 1917 begonnenen reichlichen Versuchen eine physikalische Erdbaumechanik<sup>1)</sup> als Bindeglied von Geologie und technischer Praxis geliefert, die eine Fülle einschlägiger Fragen (theoretisch-mathematisch-physikalisch unter Berücksichtigung und Kontrolle durch Versuche und praktisch) behandelt (darunter z. B. die Ursachen von zwei wichtigen Fragen, d. s. der verschiedenen Rutschungen und der mechanischen Quellung), deren Ergebnisse in einer **Klassifikation nach Spannungszustand des Porenwassers, Wassergehalt und Durchlässigkeit, Material und relativer Dichte** bzw. **Konsistenzform** niedergelegt erscheint (S. 262) und schließlich (S. 356) in einer Einteilung der Ablösungen ausklingt. — Besonders wichtig erscheinen Größe und Form der Körner sowie der Wassergehalt, was auch in der gegebenen Tabelle des „Found. Comm.“ (F. C.) zum Ausdruck gelangt. Die besonderen Eigentümlichkeiten (z. B. leichten Fließens oder Gleitens) mancher wichtiger Bodenmaterialien hängt hauptsächlich von der Form ihrer mikroskopischen und ultramikroskopischen Teilchen ab, während die gröberen bloß neutrale Bestandteile bilden. Die Kolloidform ist nur ungefähr und indirekt bestimmbar. Den Wassergehalt hat zwar das F. C. abgestuft mit 0 bis 5 Prozent feucht, 5 bis 10 Prozent sehr feucht, 10 bis 15 naß, 15 bis 25 sehr naß, > 25 Prozent gesättigt naß, doch lehrte die Erfahrung, daß die Wirkung des Kapillarwassers nicht von der Menge, sondern vielmehr vom Verhältnis zwischen dem vom Wasser eingenommenen bzw. leergelassenen Rauminhalt, der Korngestalt sowie vornehmlich vom hydrostatischen Druck, unter welchem das Wasser steht, abhängig ist; der absolute Wassergehalt erscheint ohne Belang: Manche Clays (Tone, Lehme usw.) mit 36 Prozent  $H_2O$  sind flüssig, andere mit 40 Prozent sehr steif, fest. Ein fetter, homogener Clay mit 9 Prozent  $H_2O$ -Gehalt enthält keine Luft und die Oberflächenspannung des Kapillar- $H_2O$  übt mehrere 100 Atmosphären Druck aus; gleiches zer-

<sup>1)</sup> Wien 1925, Verlag Deuticke. — Hinsichtlich der bisher nicht einheitlichen Schlämmanalysen sei noch auf das neue einfache Verfahren mittelst zwei Glasröhren von G. Wiegner Prof. Zürich (Zentralbl. f. d. gesamte Landwirtsch. Bd. I (1920) Nr. 1. Autorreferat über landwirtsch. Versuchsstationen, Bd. 91 (1918) S. 41—79. — Geßner. Der verbesserte Wiegnersche Schlämmapparat; Mitt. aus dem Gebiet der Lebensmitteluntersuchung usw., Bd. 13 (1922) S. 238—243 aufmerksam gemacht, sowie (nach dankenswerter brieflicher Mitteilung vom 19. November 1924 der Geologischen Abteilung des Württembergischen Statistischen Landesamtes) auf die Fehlerquellen nach Wärme und Härte des  $H_2O$  nach Ing. Eichele. — Bei den Erd- und Felsarbeiten ober- und untertags, die naturgemäß mit ihren einschlägigen Erscheinungen einzubeziehen sind, lassen sich in der Ausführungspraxis in oder auf oder mit gewissen Materialien solche unterscheiden, wo nach althergebrachten gewöhnlichen (normalen Grundlagen, Grundformen) die Arbeiten sich sehr einfach gestalten, wobei also weder physikalische, geologische usw. Verhältnisse nicht über das gewöhnliche Erfahrungsmaß hinausgehen, während unter abnormalen Umständen die Herstellung verwickelt, schwierig, kunstvoll und oft fast nicht zu bewältigend sich darstellt, indem besondere Erkenntnisse und demgemäß am besten wohl vorbeugende Maßnahmen erforderlich sind.



bröckeltes Material mit gleicher Wassermenge repräsentiert eine Häufung von Einzelstücken, die durch dünne Lagen weichen Materials getrennt erscheinen. Sand mit 9 Prozent  $H_2O$  unterscheidet sich von trockenem Sand nur daß er eine Spur von Bindung andeutet. Nichtsdestoweniger wird übereinstimmend mit der Nomenklatur des F. C. jede der drei Arten „damp“ (feucht) genannt. Daher gibt die Bezeichnung keine klare Vorstellung der physikalischen Kennzeichen der Stoffe und erscheinen Vergleiche untunlich. Es empfiehlt sich daher, wie der Verfasser anlehnd an die schwedischen Forscher 1917 bereits versucht, eine Klassifikation auf die „physikalischen Eigenschaften“ (Elastizität, Bindung, Durchlässigkeit usw.), deren es viele gibt, zu gründen. Jede einzelne ist zudem die Gesamtwirkung mehrerer Ursachen, aber bietet den Vorteil, daß sie in einfachen Koeffizienten- und übersichtlichen Diagrammformen ausgedrückt werden kann. Ohne den in der nachfolgenden Beschreibungstafel angeführten Angaben bzw. Laboratoriumsuntersuchungen läßt sich eine sichere Identifizierung von Materialien nicht durchführen.

### Tafel der erforderlichen Angaben zur vollständigen Beschreibung der physikalischen Eigentümlichkeiten einer homogenen Bodenart.

Kennzeichen der Angabe	Art der Angabe
A. Die Probe betreffend	1. Porenvolumen. 2. Wassergehalt in Gewichtsprozenten der festen Masse.
B. Substanz der Probe	3. Kornform, soweit sie unter dem Mikroskop erkennbar (Zeichnung der Körner). 4. Durchschnittliches spezifisches Gewicht der festen Masse (Pyknometer). 5. Wassergehalt in Gewichtsprozenten fester Masse, bei welchem der flüssige, plastische, halb feste und feste Zustand ineinander verlaufen. 6. Höchster Wert der inneren Reibung. 7. Verhältnis zwischen wag- und lotrechtem Druck auf eine von einem festen Ring umgebene Materialschichte bei kapillarer Pressung Null. 8. Maximale kompressive Kraft eines Würfels jenes Materials nach Trocknung im Ofen bei 100° C.
C. Diagramme der charakteristischen Substanz	9. Verteilungskurve <sup>1)</sup> . 10. Druck-Porenziffer-Diagramm, einschließlich mindest einen vollständigen Cyklus (Periode). 11. Belastungs-Kompressionskurve für einen Würfel des Materials (Plastische Festigkeit und Wassergehalt müssen bekannt sein), einschließlich mindest zwei volle Zyklen. 12. Porenziffer-Durchlässigkeitskurve.

<sup>1)</sup> Es ist nicht oft und eindringlich genug auf die großen Vorteile von Terzaghi's Verfahren der Darstellung der Sieb- und Schlämmanalysen der Kurven nach logarithmischem System hinzuweisen, daß endlich einmal Diagramme erhalten werden, die sofort, schon auf den ersten Blick umfassende Auskünfte geben. Wird z. B. das Diagramm der „Wiener Bausande“ Abb. 2 in der Zeitschrift des Österr. Ing. u. Arch. V. 1924, S. 369, mit den nach Terzaghi aufgetragenen loga-

Sind die Arbeiten vorläufig auch mühsam, so ist damit endlich ein gangbarer Weg weiten Horizonts betreten und ein außerordentlich wertvoller doppelter Behelf gewonnen. Vor allem wird der Gefahr entgangen die Beschaffenheit des Materials ungenügend zu beschreiben. Es zeigte sich weiter, daß in den physikalischen Eigenschaften der Gruppen *B* und *C* ein ursächlicher Zusammenhang besteht, ohne daß es heute schon möglich, denselben zu erfassen!

Würden nach Terzaghis Vorschlag etwa 50 stark voneinander abweichende Bodenarten nach dem vorliegenden Programm unter Normalbedingungen untersucht; so würde wohl sich zeigen, wo und bis zu welchem Grad Verwandtschaft, Abhängigkeit usw. besteht und wäre dann die Möglichkeit gegeben, allmählich mit Vereinfachungen und sonstigen Erleichterungen auszukommen, um jedes Material eines Natur- oder Erdwerkes beherrschend genau zu beurteilen! Nicht nur wissenschaftliches, sondern auch hochvolkswirtschaftliches Interesse ist dabei beteiligt.

### Materialbeschaffenheit, Konsistenzform und einige nötige Erklärungen.

Bei der großen Gruppe der verfrachtenden Bewegungen ist die physikalische Beschaffenheit der zu bewegendenden Masse von  $\pm$  Bedeutung und ist diesbezüglich im Verhalten der einzelnen Gesteine ein reicher Beobachtungsstoff gesammelt, auf den hier nicht eingegangen werden kann, sondern es sollen nur einige Bemerkungen betreffs der mehr den Oberflächenbewegungen ausgesetzten bindigen bis nicht-bindigen Materialien oder wie sie in Schweden bezeichnet werden: der „Kohäsions“- und „Reibungs“-Erdarten Platz finden, wobei den Erörterungen Terzaghis gefolgt erscheint.

Ist  $\varepsilon$  die Porenziffer, d. i. der Quotient aus Rauminhalt der Hohlräume zu jenem der Teilchen oder Körner, w der  $H_2O$ -Gehalt in Gewichtsprozent und  $\gamma$  das mittlere spezifische Gewicht der Trockensubstanz,

so ist  $\varepsilon = \frac{w}{100} \cdot \gamma$ ; ist ferner  $n_0$  der Porenhalt lockersten Sandes,

$n$  jener auf natürlicher Lagerstätte und  $n_{\min}$ , wenn der Sand naß eingestampft ist und die hiezu gehörigen Porenziffern  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon$  und  $\varepsilon_{\min}$ , so

wird  $\varepsilon = \frac{n}{1-n}$ ; der Quotient  $F = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\min}}{\varepsilon_{\min}} = \frac{n_0 - n_{\min}}{n_{\min} (1 - n_0)}$  ist die Ver-

dichtungsfähigkeit und der Quotient  $D = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\min}} = \frac{(n_0 - n) (1 - n_{\min})}{(1 - n) (n - n_{\min})}$

rithmischen Kurven verglichen, so springen die wichtigen 0.5 mm Korngrößen bei Nr. 1, 3, 4, 2 und 9 nach Terzaghi sofort gesetzmäßig (als horizontale Linien) in die Augen, während sie sich in der Abb. 2 so gut wie gar nicht zeigen. Die schon jahrzehntelange Gepflogenheit mehrerer Geolog. Landes-Anst. — in Österreich ist noch nicht begonnen — die z. T. veralteten Schlämmanalysen, die zudem keinen Aufschluß über Kornform und Kolloidgehalt geben, allein und tabellarisch, sowie die hie und da auch in technischen Werken die Verteilungskurven allein darzustellen, hat für die Beurteilung der Beweglichkeit, Tragfähigkeit usw. nahezu keinen Wert. Die Atterberg'schen Grenzen haben einen so gewaltigen Einfluß, daß zwei Materialien mit gleichen Verteilungslinien geradezu entgegengesetzte Eigenschaften haben können!

ist die relative Dichte des Sandes; locker gelagerter Sand zeigt  $0 < D < \frac{1}{3}$ , bei dicht gelagertem Sand ist  $\frac{2}{3} < D < 1$ . Ist  $A$  die Ausrollgrenze oder untere Plastizitätsgrenze (nach Atterberg zu Drähten gerollt),  $F$  die Fließ- oder obere Plastizitätsgrenze (im Brei auf Porzellan eine Furche durch Stoß aufhebbar) und  $P$  die Plastizitätszahl (d. h.  $F - A$ ) durch Porenziffern ausgedrückt, so ist bei plastischer Konsistenzform für flüssig-plastisch  $\epsilon = A + \frac{3P}{4}$  bis  $F$ , bei sehr weich-plastisch  $\epsilon = A + \frac{P}{2}$  bis  $A + \frac{3P}{4}$ , bei weich-plastisch  $\epsilon = A + \frac{P}{4}$  bis  $A + \frac{P}{2}$  und bei steif-plastisch  $\epsilon = A$  bis  $A + \frac{P}{4}$ ; bei fester Form ergibt sich halb fest; loser fest (körnig, sandig), dann Schutt (Hauptmasse);

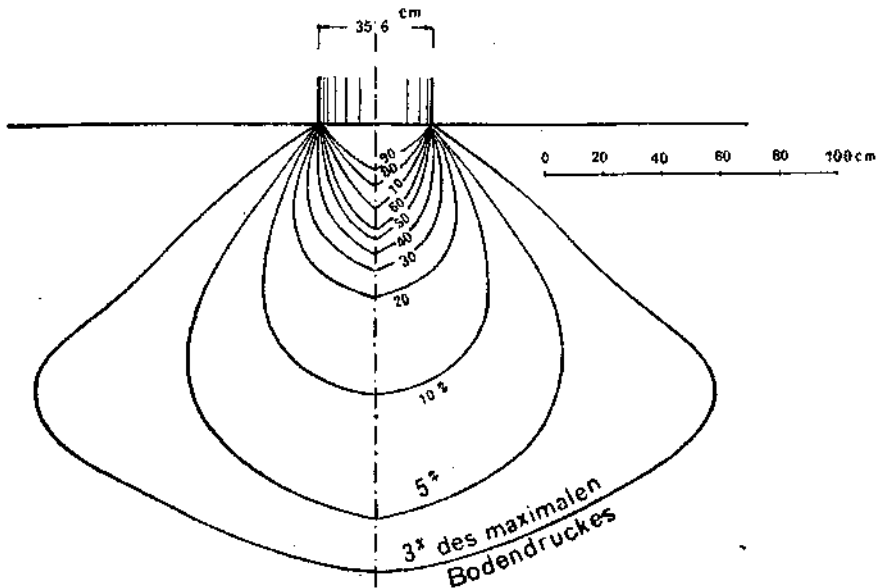


Bild 10.

ganz fest, Fels (Hauptmasse gewachsener Fels). Im Feinsand und  $M_0$  ( $M_u$ ) ist der Strömungswiderstand des Porenwassers so ausgiebig, daß der instabile Kornverband in den stabilen nur langsam ermöglicht: An Stelle statischer Reibung wirkt die wesentlich kleinere hydrodynamische Reibung, das Sand- $H_2O$  verhält sich wie Brei und da Breibewegung eine Begleiterscheinung, der nach erfolgter Sandlockerung eintretenden Raumverminderung (Setzung) ist, so ist der Vorgang später als „Setzungsfließung“ in der Zusammenstellung bezeichnet. — Bei der Materialsetzung sind von Belang: Festigkeit der Elemente und der Zwischenräume (Poren), letztere sind leer, nachgiebig erfüllt (also geringere Festigkeit als die Teilchen) oder fest (gleiche oder größere Festigkeit als die Einzelteilchen). Verdichtung besteht in Gestaltsänderung der Elemente durch Verringerung ihres Rauminhaltes, sowie Minderung

der Zwischenräume durch näheres Aneinanderlagern (Eigen- oder fremde Schwere, Verdichtung bei Sedimentierung; Zeitwirkungen).

Die Betrachtung des Bildes 10 gibt die im Pennsylvania State College aus Versuchen ermittelte Verteilung lotrechter und seitlicher Spannungen in einer Sandlage durch eine kreisförmige Last von 35·6 cm Durchmesser. — Rückartige und kontinuierliche Belastungssetzungen sind zwei grundsätzlich verschiedene Typen der Überschreitung des Grenzwertes der Bodentragfähigkeit. Bei ersterer führt die Steigerung der Last zur Bildung schaliger Trennflächen (Bild 11 b, „Gleitflächen“ vorerst zur Tiefe gehend, dann aufbiegend aufwärts zur Bodenoberfläche laufend), an denen das Material bei wagrechter Erdoberfläche schräg aufsteigend, bei geneigter Oberfläche abwärts, aber ausstreichend (oder aufwulstend) weicht: Bodenverdrängung durch seitlichen Auftrieb oder Seitenentweichung. Beim zweiten Typ (Bild 11 a) erfolgt die Materialverdrängung durch stetige Umlagerung der von der Spannungserhöhung betroffenen Massen: Verdrängung durch Verdichtung; die

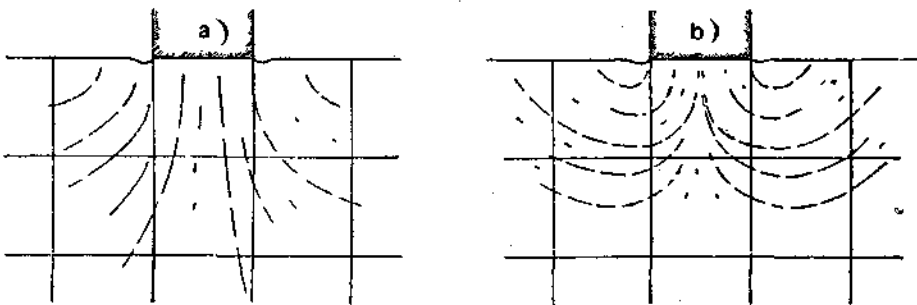


Bild 11.  
Verdrängung durch Verdichtung. Verdrängung durch Auftrieb.

Trennkurven verlieren sich fächer- und schaufelförmig allmählich in der Tiefe. In der sogenannten „kritischen“ Gründungstiefe geht die erste Form in die zweite über. —

Das Schrumpfen bindigen Materials erscheint als rein mechanische Wirkung des Kapillardruckes und ist der Vorgang bis zur Überschreitung der Schrumpfgrenze mit der unter  $H_2O$  eingetretenen Verdichtung durch einfache Belastung gleich. Wird eine plastische oder halbfeste, luftfreie Tonmasse mit  $H_2O$  überronnen, so wird der Kapillardruck sofort Null; die Masse dehnt sich zufolge der Entlastung aus und saugt  $H_2O$  an. Da sich die Dehnung einer unter  $H_2O$  nach vorheriger Dauerbelastung als rein elastische Formänderung zeigte, „muß das Schwellen oder Quellen des Tones nach erfolgter Überflutung als rein elastische, durch Ausschaltung des Kapillardruckes bewirkte Ausdehnung betrachtet werden.“<sup>1)</sup> Sonach hat dies aus den im Porenwasser herr-

<sup>1)</sup> Natürlich können außer der mechanischen Wirkung auch chemische Umwandlungen, die aber meist längere Zeit brauchen, was immer übersehen wird, in Betracht kommen, so z. B. die volumsvergrößernde Umwandlung von Schwefelkies in Gips (der in Septarienton eingehüllt zwei Monate braucht!), gewisser, bestimmter — nicht aller! — Anhydritmodifikationen in Gips u. dgl.

schenden Druckverhältnissen zu erklärende „Blähen“ nichts mit der sehr häufigen Meinung zu tun, daß Sohlenauftrieb, Stollenzusammenwachungen u. dgl. auf hygroskopische Wasseraufnahme aus der Luft zurückzuführen seien; meist kommt  $\pm$  Plastizität der Massen und der sich bis zu gewaltiger Höhe steigende lastende Gebirgsdruck in allen Umsetzungen zur Äußerung (vgl. Verh. d. Geol. R. A. 1917).

Massenbewegungen an  $\pm$  geneigten Flächen bei ganz oder teilweise ausgeschalteter statischer Reibung (Rutschungen) können sein: Rutschung oder Berstungsfließung; Fließung zufolge Zerklüftung durch Quellung bzw. Hebung und nachfolgendem Abriß oder Abbruch; Überlastungsfließung (zufolge eines im Porenwasser durch Belastung hervorgerufenen hydrostatischen Überdrucks) und Ausquetschung (Reibungsminderung durch einen im Porenwasser bereits herrschenden hydrostatischen Überdruck).

### Versuch einer Zusammenstellung der Boden- oder Massenbewegungen.

Der hier gebotene sehr beschränkte Raum gestattet weder auf die Gründe der Behandlung sämtlicher Aggregatzustände, mancher Ungleichmäßigkeiten noch auf Erläuterungen oder gar Einzelheiten einzugehen; ebenso waren Wiederholungen kaum vermeidbar, da verschiedene Erscheinungen mannigfach betrachtet werden können. Es war u. a. auch zur Verdeutlichung, einer Art Gliederung und aus anderen Gründen mehrfach wünschenswert auf Anlässe und z. T. auch Ursachen und Wirkungen einzugehen. All das Fehlende wird an anderer Stelle nachzutragen sein.

**I. Gas-, Dampf- und Luftbewegung** (auch Expansion, Explosions- und Flugwirkung). a) Aus der (hypothetischen) zentripetalen Gas- und Dampfkonzentration geht die bewegte Verflüssigungsphase (Schmelze) der werdenden Erde, allmählich mit  $H_2O$ -Dampf,  $CO_2$ - und Lufthülle hervor. b) Luft-, Dampf- und Gasbewegung und Wirkung: 1. Kleinste bis größte Windwellen; 2. Interferenzerscheinungen („Sog“); 3. Seiches (sprich Säsch); 4. Seebären (von bär = bare = Welle); 5. Gezeiten; 6. Wetteränderungseinflüsse; 7. Langperiodische Gezeiten; 8. Ganz- und halbjährige Perioden. c) Gas-, Dampf- und Luft-Druck-Bewegung; ober- und unterirdisch (Inselauftrieb, Ülmen- und Sohlen-Hereinpressung bis -Schleuderung usw.); dynamisch, tektonisch (magmatisch), vulkanisch.

**II. Klar- bis Breiwasserbewegung:** Gleitendes Fließen (in parallelen Fäden) und nichtgleitendes Fließen [rollendes, wogendes (turbulentes), wirbelndes Fließen, Wirbel, Walzen; Wimmeln (Brownsche Bewegung, vgl. auch Schwingungen)], Strömen, Schießen von Klarwasser, Trübwasser („Schweb“), Hochfluten. Oberflächliches Abwaschen von Natur- (darunter Gerinnbetten) und Kunstflächen (Böschungen, Ebenen). Denudation.

**III. Trockenes oder trocknendes oder nichttrockenes Fließen von Feinstmaterial.** (Kolloid  $\left\{ \begin{array}{l} \text{fein} < 0.0006 \text{ mm} \\ \text{grob } 0.0006 \text{ bis } 0.002 \text{ mm} \end{array} \right\}$  Korngröße; Schluff  $\left\{ \begin{array}{l} \text{fein } 0.002 \text{ bis } 0.006 \text{ mm} \\ \text{grob } 0.006 \text{ „ } 0.02 \text{ mm} \end{array} \right\}$ ; Mo und Sand  $> 0.02 \text{ mm}$  Korngröße), Schwimmsand und -letten bis Geröll und Schutt, also in bindigem bis unbindigem Material z. T. Setzungsflißung nach Terzaghi, d. h. Fließung zufolge rascher Änderung des Porenvolums. *A.* Bewegung loser oder gebundener Massen: 1. Oberflächige sehr seichte flächenhafte Trockenbewegung oder Abwaschung (Trocken-, Feucht- oder Naßrieseln); trockener und trocknender Gesteinsmehlstrom (Bandaissan); trocknende Asche. 2. Seicht aber doch tiefer einreißend wie vor im Trockenem. (Sand-, Geröll- usw. Abfließen in Sandgruben, Dünen, Geröllsteilhalden, Schuttkegeln [Hintergasse], bei Wassersammeln [Brazerhalde]); Erdfließen bei Niederschlägen nach Trockenheit; Racheln. 3. Tiefer greifend (Ampezzo, Verwitterungsmassen der Wengenerschichten) auch abscherend [wegen örtlich größerer oder schwererer Masse, unebenem Liegenden u. a. (Siebenbürgen, Pollack,<sup>1)</sup> Schweden)]. 4. Unterirdische erosive Verfrachtung, durch Deckeneinbrüche oberirdisch werdend; Höhlenerosion (Freech, Kleinasien; Schaffer, Pollack „Verwitterung“). 5. Moor- ausflüsse und -ausbrüche (Früh), Moorschlammfluß und -strom, Schlammfluß, kalte Schlammprudel (Lorenz). 6. Schlamm- bis Sandführung (Schwimmsand-, Schwimmlattenausfluß), „wasserreiches Gebirge“ (Weithofer); Erschütterung kann Verflüssigung, also Bewegungseintritt, sowie Festerlagerung bewirken. 7. Subaquatisches, submarines Fließen. *B.* Erdfluß, Bodenfließen, Solifluktion, plastische Bewegungen, Teilchen dem jeweiligen Druck entsprechend, verschoben; (Salsen); sortierende Bewegungen im Boden; meist Frost-, Tauerscheinungen mit Übergangerscheinungen (Einzelheiten in Högböhm S. 312, 320). 8. Halbflüssiger Boden, Fließlehme, Fließsande; (Fließerde am Aetna mit „Tjäle“). 9. Strifenboden. 10. Strukturboden, Karée-, Polygon-Boden (Steinnetze, Högböhm wie oben). 11. Schwankende Fließerde (vgl. Schwankungen). 12. Tote Fließerde; Frostrucken (Högböhm). 13. Verwandte Betonbewegungen (Zentralblatt). *C.* 14. Uferabfließen, „Sandfälle“ und „Abschiebungen“ an (holländischen) Sandküsten. *D.* 15. Dammausfließen: Ausbruch aus dem Damminnern. *E.* 16. Damm-, Mauer-, Stollenverkleidungs- usw. Durchfließen: Von außerhalb dieser Körper kom-mender Bewegungsträger (stehende, bewegte oder stärker drückende Flüssigkeit). *F.* 17. Schlamm-, Sand-, Laub-, Gehölz-, Geröll-, Schutt-, Aschen-, Eis- und Schneemuren von Altmaterial, Jung- und Gemischtmaterial (Stiny), sowie besondere Muren (z. B. am Ätna murähnliche Rutschungen nach Sieberg), vgl. Schwimmsanderscheinungen im Grobkörnigen: Terzaghi S. 349 ff. *G.* Naturböschungs-, Delta- oder Uferböschungs-, sowie Kunstböschungsausfließen: 18. Von „Schleifsand“ (Zugerseeufer; Subsolfluktion am Zugersee, Arn. Heim; schwedische Staatsbahnen); Schwimmlatten, Schwimmsand (vgl. Näheres S. 69—71).

<sup>1)</sup> Die eingestreuerten Orts-, Autoren-, Schrift-, Seitenbezeichnungen u. dgl. dienen als Hinweise, auf die an passender Stelle eingegangen wird.

Haben mindestens 0.1 mm Korngröße. 19. Von mehr tonigem Material im Frühjahr (Frostaftauung); Fließlehme; infolge Wasseranstauung und allenfalls Wasserdruck von innen hinter der Frostkruste; (auch Schlamm-sprudel). H. Schnee-, Eisstrom; Schnee- und Eis(Gletscher)bewegung; Binneneisfluß, Inlandeisbewegung; „Schlase“-Lawinen, langsame Gleitungen, Rutsche, Stürze (vgl. selbe). 20. Grundrutsche und -Lawinen (fließend, gleitend, rollend, stürzend). 21. Grundstaublawinen (wie vor aber zerstäubend, fliegend). 22. Oberrutsche oder -lawinen. 23. Gletscherbewegung und Inlandeisbewegung. I. 24. Bewegung in (flüssigen) Asphalt- und Salzpflanzen (Passarge), sowie in kochenden Wasser- und Lavaseen. J. 25. Vulkanische (magmatische) Staub- bis Schuttlawinen; (auch Flug). K. Vulkanischer Schlamm- und Aschenschlammstrom (Schlammvulkane), ohne und mit Zerspaltung (Trockenrisse am Ätna): 26. alter fester Schlammstrom (Traß), 27. jung, rezent. L. 28. Glutflüssiger Schmelzfluß fossil und rezent. Hypothetisch nach I. a. (oben) Schwimmen, Treiben von Schlacken, Bimsstein, dünnen Gesteinsstücken, Schollen usw. Weiteres anschließend Magma, Lava; Abkühlung bedingt Zäherwerden, Ausscheidung, verzögernde Bewegung. 29. Gesteinsfluß und (erste) Gesteinsbildung nebst Umformung (z. T. übergehend in Gebirgsbildung) primär flüssig, sekundär lose, dann erstarrend oder erhärtend; primär Magma- oder sekundär Lavafluß: Magmafließen durch Innendruck (Gase aufsteigend und seitlich); lotrechter (orogenetischer) Konvektionsstrom, wagrechter (epirogenetischer) Ausgleichstrom. Fließen durch Außendruck (Pressung durch Last). Injektion, Intrusion (Gänge, Röhren, Schloten, Lager), Einpressung, Einschwemmung. Fluß und Verfestigung. Fließtektonik, Granittektonik. — Sekundär nach Destruktion: Sedimentation (Verdichtung), Diagenese, Metamorphose (Umformung).

**IV. A. Natürliches Kriechen**<sup>1)</sup> oder Abrücken: Unsichtbares Abwandern bindiger und nichtbindiger Lagen, insbesondere der Verwitterungshaut auf die Verwitterungstiefe; sobald die Bewegung sichtbar, Übergang in die nächste Gruppe IV. B. Langsamgleitung (Sackung). Innere Ursache: Eigenschwere, Wechsel von Temperatur (Frost, Auftauung), und Durchfeuchtung, fortschreitende Verwitterung, herankriechende Belastung durch fremden Kriechschutt, Wurzeldruck; Anlässe: Zunehmende Wasserdurchtränkung von außen, natürliche oder künstliche Unterschneidung (Entlastung) der Verwitterungshaut oder Belasten, doch lassen sich Ursache und Anlaß kaum auseinanderhalten. Kriechen kommt sowohl auf geneigten als wagrechten Unterlagen vor (seitliches Ausweichen unter Eigen- [allfällig fremdem] Druck höherer Lagen, z. B. Schnee- und Eiskriechen auf wagrechten Pfeileroberflächen). Es muß nicht stetig oder kontinuierlich sein, da ja von verschiedenem „Wechsel“ abhängig. Naturgemäß äußern sich die Bewegungen im allgemeinen nach der Linie des größten Oberflächenfalles, ausnahmsweise

1) Kriechen (nach Passarge: Abrücken, Bodenschub) nur für die in langen Zeiträumen an den Wirkungen erkennbare Bewegungsart (wie Rutschen, Stürzen usw.); das Ergebnis: das Gekriech, Kriechschutt usw. Die Geschwindigkeit wurde bisher weder gemessen noch genügend geschätzt.

können aber auch (mindest scheinbare) bergseitige Drehungen von Gesteinen (M. Singer 1902) vorkommen. Fremder (von höheren Ausgehenden) kommender Verwitterungsschutt kriecht talab über den Schutt an Ort und Stelle; Kriechschutt übersteigt auch Vertiefungen und Erhöhungen. Die Bewegungen scheinen auch verschieden zu sein, nach der Vegetationsdecke: d. h. z. B. auf Wiesen stärker als im Walde. Zuweilen ist (hangabwärts) Glättung, Riefung ausgesprochen (Brazer Halde 1886; Stapff 1888). Nach Gefäll, Gestein usw. Geschwindigkeit, Mächtigkeit erhöht, je flacher desto stärker die Durchtränkung. Im Feinmaterial schwer zu entscheiden: was durch Verwitterungskräfte sowie tierischen und pflanzlichen Einfluß zerkleinert und was durch die Bewegung zerrieben ist. Der „Säbelwuchs“ von Bäumen und Strauchwerk usw. wird dem Wanderschutt (z. B. im Buntsandstein bei Freudenstadt), aber auch dem Hangschneedruck (Lawinenverbau 1906, Oberste-Brink) zugeschrieben. Bei weichem Material (Tone usw.) findet auch ein Ineinanderstauchen, ein Falten und Fältelung statt, wie beim Schnee und Halbfirn an Hängen (Lawinenverbau 1906). Selbst feste Felsschichten werden bei Lotrechtstellung, besonders wenn sie noch belastet erscheinen, zufolge Verwitterung auf eine gewisse Tiefe einknicken oder umkippen. Ist irgendwie die oberste Haut (Waldwurzeln, Rasendecke) festgehalten, so können die darunter liegenden Massen selbsttätig sich bewegen: flächenhafte Abtragung unter dem Urwald, Stelzwurzeln (Neu-Guinea); indirektes Rasenfilzabschälen oder -unterschälen (Geröll usw. wird unter der Rasendecke denudiert, bei Garmisch, Sapper 1915). Bei Übergängen von Rücken, Kuppen zu Abdachungen wird auch ein Zerren, Nachschleppen, Nachkriechen usw. statthaben, was auch Sonder (258) im großen bei der Erdhaut selbst annimmt. Buxdorf (Röthfluhfalte 1908) stellt unmittelbar auf Druck ein. Außer dem natürlichen, gewiß auch schon in den früheren Perioden vorhanden gewesenen (fossilen) Kriechen ist auch ein künstliches (z. B. durch Eingriffe) anzunehmen, mindestens als bewegungsfördernd. Außer den bereits vorgeführten Ausdrücken werden noch benutzt: Bodendurchmischung, auch Bodensortierung, Ackerbodendurchmischung, Hakenwerfen, Schwerefaltung und -fältelung u. dgl. Nach der Materialbeschaffenheit sei gegliedert: 1. Im weichen, plastischen oder halbplastischen: Materialabrückung, Lehm- und Tonkriechen; sehr zäher Schlammfluß oder -strom (z. B. die alten dunklen Ströme Ampezzos; Mojsisovics), Schweife. 2. Körnig-sandig: Sandkriechen, Kleinschotter- oder Kieskriechen, Humus-, Laub-, Nadelkriechen (Karrer); Schneewandern (Pollack 1906). 3. Schutt (Hauptmasse): Stone rivers (Steinflüsse); wandernder Schutt (Schleppen, Schweife, Haken); Wandersteine. 4. Fels (Hauptmasse „gewachsener“ festerer Fels). Oberflächliche Dislokationen anstehender Schicht-, Schiefer- und anderer Gesteine: Umbiegungen, Zerquetschungen, Auswalizaciones „Hakenwerfen“ (meist ohne auffällige Trennungsflächen), im Granit (Singer) in dünne Schweife ausgezogen, zu Grus geworden. Bei wagrechten Schiefen mit Enden an den Naturböschungen, so an der Oberfläche, nur schwache Umbiegung nach abwärts, also gleichsinniger Fall mit der Böschung. Bei steiler Schichtung und Fall entgegengesetzt der



Böschung, so Umbiegung in die Wagrechte, und auch abwärts. Bei Einfallen der Schichten in der Tiefe gleich der äußeren Naturneigung, aber steiler, so biegt sich das Ausgehende knieförmig bis rechtwinklig und darüber, daß die Ausläufer bergeln (ins Berginnere) geneigt erscheinen, also immer nach dem Fuß des Hanges. Fließwasser, Bachschutt verschoben in den Wasserläufen die Köpfe (Politz, Friedland a. d. Mohra, Kulmschiefer). „Haken“ erscheinen auch auf Rücken- und Kuppenscheiteln. An Hängen lassen sich zwei Fälle unterscheiden (Stamm S. 164): *a*) Haken, *b*) Schleppung (Hangdruck, nicht Schuttdruck); auswählend [selektiv 165]; rock streams (Steinströme), drei verschiedene Gruppen; Firn- und Gletscherbewegung (aktiv, passiv); Blanckenhorn, Götzinger, Stamm.

**IV. B.** Von den fünf folgenden Gruppen bloßer Oberflächenbewegungen waren von früheren Forschern Einteilungen nach Bewegungsart und Material gemacht. Erweiternd seien nun angenommen: **Langsamgleiten, Sacken**, bereits innerhalb größerer oder kleinerer Zeiträume sichtbar und meßbar werdend, die vorwiegend parallelig bewegte Scholle werde meist nicht oder nur wenig zerrüttet; vielfach schon vorhistorisch begonnen oder wenigstens vor größeren Zeiträumen, deren Dauer z. T. noch unbegrenzt ist. Rutschen, schon raschere Bewegung noch größtenteils in parallelen Linien, stärkere Zerrüttung, z. T. bereits stellenweise langsame Rollung und Mengung, rascher als die Sackung und meist auch zeitlich begrenzt, d. h.: bis zur Erreichung eines neuen  $\pm$  bleibenden Gleichgewichtszustandes; Stürzen: Abbruch erfolgt in steiler Fläche, wodurch rasche, „stürzende“, rollende, wälzende Bewegung der abgetrennten Teile eintritt; Fliegen: ein erhöhtes Stürzen, wobei mindest Teile der Bahn überflogen und nicht berührt werden; Auftreiben: häufig umgesetzte Folgen der vorher genannten Vorkommnisse. Die angeführten Bewegungsformen gehören nicht bloß der relativ einfachen Oberflächendynamik, sondern bis zu gewaltigen Abmessungen auch der viel verwickelteren Tiefentektonik an. Die mannigfachen Ursachen und Anlässe konnten wegen Raummangel nicht angegeben werden, ferner auch wenig die vielfältigen Übergänge: z. B. Eine ursprüngliche Kriechung geht auf steilerer Unterfläche in eine langsame Gleitung, dann Rutschung, über, stürzt über eine Wand, um am Fuße derselben einen Schlammstrom zu geben (Oberholzer, Heim); Brandungssteinwellen (Fels) reichen mehrere hundert Meter hoch am Anprallhang empor (Oberholzer).

Abgesehen von den vorgebildeten Gleitflächen spielt bei den Oberflächenbewegungsursachen insbesondere die physikalische Beschaffenheit der bindigen und nichtbindigen Materialien, wie endlich klargelegt wurde, die maßgebendste Rolle, welche Terzaghi eingehend behandelt hat und worauf hier nur kurz eingegangen werden kann. Die bekannteste Form der Bodenbeweglichkeit gipfelt im Schwimmsand,<sup>1)</sup> für welchen eine Reihe von z. T. sich sogar

<sup>1)</sup> Die Bodenbeweglichkeit der „Schwimmsand“- und Fließboden-Erscheinung ist nicht die Eigenschaft einer bestimmten Sandsorte (daher wäre die Bezeichnung besser: Schwimmaterial, Schwimmstoffe oder wie die Bergleute sagen: „Schwimmendes Gebirge“), sondern kann in allen Sandarten auftreten, wie z. T. angegeben wird.

widersprechenden Definitionen vorliegt, d. h. selbst gerichtlich einvernommene Sachverständige waren nicht in der Lage, einwandfrei zu entscheiden, ob ein strittiger Sand ein Schwimmsand sei. Der typische Schwimmsand ist dadurch gekennzeichnet, daß er sich im Grundwasserbereich beim Anschneiden nicht wie eine den Gesetzen des Erddruckes gehorchende körnige Masse, sondern wie eine zähe, breiartige Flüssigkeit verhält. Die Hauptursachen der Schwimmstoffkennzeichen feinstkörniger Sande sind: 1. Geringe Durchlässigkeit. 2. Unfähigkeit dieser Aggregate, kontinuierliche Formänderungen zu erleiden, wozu noch begünstigende Faktoren kommen. 3. Die geringe Sinkgeschwindigkeit der Teilchen und 4. Sperrigkeit der Lagerung feinstkörniger Sedimente.

Die Verhältnisse im bindigen Boden (Rutschung-Berstungsfließung) wurden z. T. bereits Seite 65 berührt. Nach Konsistenz: 5. Flüssig (Schlamm) bis halbflüssig: geringe, kleine, kurze bis größere Schlammriesel bis Schlammströme (vgl. langsamer, zäher Erdfluß B 8—12). 6. Weich, plastisch, halbplastisch: Gleitender, sozusagen trägflüssiger Zustand; gletscherartiges Abfließen (Terzaghi: Lehm Nr. II, S. 69); kleine bis große breiartige (dickflüssige) Abgleitung, Erdschlupf mit wall- oder walzenartiger Aufstauung, Wellung, Faltung; Schneewandern, Schneewellung ohne Zerrüttung, langsamer Schneeschlupf. Prädiagenetische Gleitungen (Tornquist) oder Zusammensinkung (Rothpletz) weicherer Lagen zwischen erhärtenden unter Aufrichtung (Faltung) oder stabilerer Lagen. Fossile subaquatische Gleitungen (Verstärkung von Untergrundneigung, Ausebnung von Ungleichheiten usw. nach O. M. Reis, z. B. im Muschelkalk S. 110 ff.), am Grunde von Wasserbecken. (Gleitstauchung, Staufaltung subaquatisch). 7. Körnig-sandig: Sand-, Schneeschlupf; „Sandfälle“, Abschiebung, Erdgänge. 8. Schutt (Hauptmasse): Schuttbewegungen, darunter auch Auspressungen (Langsames Ausquetschen von Pflanzenhorsten im Geröll): Schuttschlupf; Firnschlupf (ohne Zerrüttung). 9. Fels. Langsames Wandern von Fels (vorwiegend auf Flächen, in weichen oder Zertrümmerungszonen u. dgl. Felsgleitung, Felschlupf (Eis- und Firnströme, Gletscherbewegung). 10. Seeufer- oder Meeresuferensenkungen oder Gleitungen ohne Abtrennung. Unter dem Wasserspiegel auch auf wenig oder nicht geneigten Flächen durch Wasserbelastung und deren Wechsel sowie Eigenschwere (Eigenschlamm- und Eigenschuttbewegungen), Ausgleichbewegungen rezent und fossil.

**IV. C. Rutschung**, deutlich ersichtliche spontane Gleitbewegung; ganz oder teilweise aufgehobene statische Reibung; Zerrüttung in Schollen: „Berstungsfließung“, d. h. Zerklüftung durch „Schwellung“ in der Abrißnische, kleine Hebung mit nachfolgendem Abgleiten. 11. Flüssig, halbflüssig: Durch zusitzendes  $H_2O$  unmittelbar aus Material oder aus begonnener Rutschung in Fluß geratend, in zerrüttete Schlammströme übergehend. Wasserschneerutsch, Wasserlawinen vgl. III A 1 bis L 29. Bei rapider Förderung Mitnahme von Gleitfragmenten: Rutsch- und Staukeilen (F. F. Hahn 11).

12. Weich, plastisch	13. Körnig-sandig	14. Schuttig	15. Fels
trockene und nasse (auch subaquatische)			
Erd-, Lehm- bis Tonrutsche (in homogenem und nichthomogenem Material), zerrüttet; Skandinavien: Bodenverschiebungen (Rutsch). Rasenabschälen; Verwitterungsrinde abtrennen usw. Schneerutsche, Schneegrundlawinen, Oberlawinen	Sandrutsche, Überlastungsfließung zufolge eines im Porenwasser durch Last hervorgerufenen hydrostatischen Überdrucks; Abgleitung zufolge örtlicher Belastung; Ausquetschung: Reibungsminderung durch einen im Poren $H_2O$ schon herrschenden hydrostatischen Überdruck; schwedisch: Bodenverschiebungen; die mehlig und körnigen Lawinen. (Deecke, Baden II im Löß: „Beckensackungen.“)	Schuttrutschungen, zerrüttet; Knollen oder Schneegewölbewalunen (auch Begleitung von Staublawinen). Vgl. auch Einschlägiges von III.	Felsbewegungen, Felsrutschungen; Gebirgsfaltungs- und Bruchrutsche; Schollenbewegungs- (Böschungs- oder Bruchflächen-) Rutsche an Verwerfungen; subaerische, subterrane, subaquatische, submarine Schwere-, tektonische und vulkanische Rutsche. Ausgleichsrutschungen und Fältelungen usw. unter $H_2O$ (fossil und rezent). Strukturbrüche (einschließlich Sohlentrieb, s. d.) in weicherem Fels bei großer Böschungslast (Culebra); Zerrüttungsrutsche in Störungen durch Faltung, Verwerfung, Zerquetschung. Bewegungen an vor- oder erst sich bildenden Trennungen.

**IV. D. Sturz:** Stürzende, spontane Bewegung, allmählich, ähnlich dem schießenden, rollenden, wogenden, wälzenden, wirbelnden, turbulenten Fließen oder Strömen. 16. Flüssig (Schlamm) bis halbflüssig: Schlammstürze, (Schlammeinbrüche, Schwimmlatteneinbrüche u. dgl., unterirdisch); breiartiger Schlammsturz. 17. Weich, plastisch bis halbplastisch: Wie vor. 18. Körnig, sandig: Abrieseln, Abrollen, Abstürzen von Material oder Schnee: Erd-, Material- oder Sandstürze; vulkanische Sand- (bis Staub-) Lawinenstürze sowie „Mehl“ströme; Schneestürze; Schnee- und Firmgrundlawinenstürze. 19. Schuttig: Schuttrieseln, rollender Schutt, Schuttabrollung, Erd-, Stein-, Schutt-, Schotterstürze; Bergstürze, Schneeabrollung, Schneeknollen. (Everding erklärte die unregelmäßigen Hartsalzablagerungen als von einem Sturzfluß zusammengeschwemmte Konglomerate und die in Bändern gelagerten als durch enorme Gebirgsfaltung veranlaßt, wobei allerdings Unsicherheit nicht ausgeschlossen: z. B. können kleinere Stürze durch die gewöhnlichen Steinschlagrinnen zu Tal fahren und nach Vorgang und Trümmerlagerung ebensogut bloß zu den Schuttkegeln gestellt werden, eine scharfe Grenzaufstellung erscheint untunlich.) 20. Fels. Felsabbröckelungen, -rieselungen, Steinschlag, Steinfälle, Steinstürze, Abrollen kleiner bis größter Trümmer. — Strukturbrüche, Zermalmungsbrüche, Überlastungen unterer Lagen an Wänden, natürlichen oder künstlichen Böschungen, Ausweichen, Abbrechen. — Bei großen Abmessungen: Felssturz, Felsfall, Bergfall, Bergschub, Bergsturz usw. Eis- oder Gletscher-

sturz. Subaerische, subaquatische, subterrane Verwerfungs- und Faltungstürze (vgl. auch IV. A. 4 und C. 15 sowie: Senkungen, Einstürze).

**IV. E. Flug** (vgl. auch Spring- und Gasdruckbewegung). 21. Flüssig (Schlamm) bis halbflüssig: Wasserzerstäubung, Wasserschleier, Wasser-, Regenstaub; Zerstäubung dünnflüssiger Lava bei Ausbrüchen; Schlammzerstäubung; Hervorstößen dickflüssiger Schlamm- oder Lavamassen (Sprudel). 22. Körnig-sandig, schuttig: Luftwirbel bis zu Wasser- und Sandhosen, Tornados, Staubwirbel, Bergsturzlufwellen heben und verfrachten in der Luft (z. T. am Boden fortrollend) Material: Sandwellen, Dünen-, Löß-, Schnee-, Laub- usw. Ablagerung; Bimsstein-, Flugstaub; Schornsteinrauch und -gas; Auswürfe von Aschen und zerstäubten festen Stoffen. Fliegende Fein- und Grobteilchen wirken abschleifend, glättend, ausblasend usw., z. B. Dreikanter, Zeugen. Gewöhnlicher starker Wind hält Körnchen von 0.1 mm in Schwebelage (Schwimm-, Fließ-, Diluvialsand); an der Oberfläche treiben 2 mm große Quarzkörner. Aus Wind- und Schwerkraftkomponente: Bogenförmiges Abrieseln, Abgleiten, Abfließen (Pollack, Lawinenverb. S. 46/29). 23. Fels: Vulkanische Explosionen, die ganze Berge weg- und emporschleudern. Auswürfe von Aschen, Lapilli, Bomben (Zerstäubung von Fels). Elastisches Schleudern oder Werfen bei Gesteins- oder Gebirgsschlägen, Erdwürfen, Beben, Sprengungen (auch Quetschminen im Minenkrieg); Gas- und Staubexplosionen usw. vgl. Gasbewegungen.

**IV. F. Auftriebs- oder Hebungsbewegung** a) infolge dynamischer und verwandter Vorgänge: 24. Dynamischer Gasauftrieb und Auftrieb durch luftartige Stoffe mit Expansivkraft (Tension), Spannkraft und Dämpfe. Sich sammelnde, bewegte, komprimierende (zu- oder abströmende) Gase, Dämpfe oder tropfbare Flüssigkeiten können in ihrer Umgebung Steigen oder Fallen von Druck hervorbringen und damit zusammenhängende Bewegungserscheinungen bedingen. (Mudlumps, Kovaczna; Inselauftrieb, Aufpressung, Minenexplosionen.) (Wolff 44, Heyer) vgl. auch Dampf- und Gasdruckbewegung, Schleuderbewegung usw. 25. Wasserauftrieb; Auftrieb kommunizierender Röhren, artesischer Auftrieb (auch unter Bauten; Hahn S. 30, Lorenz, Terzaghi), bei steigenden Sohlen unter Wasserspiegel; Grundwasser- und Sickerwasserauftrieb: Druck (Zentralblatt der Bauverwaltung, 207); Grundbrüche an Stauwerken, Umlagerung, Sandaufbrüche, Strömungsdruck, Hochtreiben von Körnern oder bloß Umlagern: Drehen und Verschieben der Körner; Grundwasserdruck: Hebung der Grundfläche bei Deichen (Horn 480); Auftrieb von Piloten: Umlagerung des Sohlenmaterials (Triebssand) durch aufsteigende Grundwasser (Fölsch, Hamburg, Trockendock 1867), Delfzijl (Ems); Schlickauftrieb in Caissons (1904) beim Kaibau. [Ob und inwieweit Bodenbewegung auch beim Brunnensenken ohne Wasserhaltung statthat, ist noch fraglich (Terzaghi 343)], bei Aushüben usw. in Schlamm (Terzaghi 360, Pkt. 9). Auftrieb in den Ozeanen (A. Merz 1922, Arn. Heim 1924); Salzwasser- und Ölauftrieb. Auflockerung in und außer dem Brunnen. Auftrieb hinter Staukörpern: Einfluß hydrographischer und klimatischer Faktoren (Goldenes Horn, Drau, Etsch: Terzaghi 260, 261); durch Wind (Sturm) Hebung des  $H_2O$ : Senkung

hinter Küsten. Nah- und Fernwirkungen: Konrad: Drauhochwasser mehrere 100 m entfernt, 10 cm Hebung veranlaßt; bei Auer Pfähle herausgequetscht (Terzaghi 261). Auftrieb durch Wirbelbewegungen, Strömungen lotrecht und Tiefersinken fester Teile bewirken dies. Lösungsauftrieb in Spalten usw. (Quiring), Durchsinterung (O. Reis). Bei den Seeuferbewegungen kommt in Betracht: Beim Spiegelsenken Gewichtsvermehrung der Ufermasse infolge Wegfall des Wasserauftriebs, mit öfterem Wiederholen beim Füllen und Entleeren (Lüscher). „Kalben“ der Gletscher im  $H_2O$ . Hebungen an Festpunkten (auch Senkungen), Pegelhäusern durch Flut und Ebbe. Auftrieb im Dünen sand, von Torfdecken (mit Gebäuden) und sonstigen (dichten) Decken bei einseitiger Belastung; Sandaufbrüche (Terzaghi); Schwanken von Dünenriebsanddecken (kurische Nehrung); hydrostatischer Auftrieb: sofortige Fortpflanzung von Druck nach allen Seiten oder hydrostatische Druckverteilung (allseitige Druckverteilung oder hydrostatische Druckverteilung) Heims in festen Massen. „Schwellung“, „Schwindung“ durch Druck in den Falte teilen (Sander, Höttinger Sande). Wasserdruck bei Schneeschmelze. Sandkraterauswurf (Hobbs 100, 101). Auftrieb bei Murbrei (Dichte 1.4). Nach Forchheimer, Hydraulik 494, Terzaghi 140: Wenn der Schlamm eine gewisse Dichte erreicht hat, ist der Vorgang (der Setzung) nicht mehr als Niedersinken von Flocken, sondern als Aufwärtsfließen von  $H_2O$  durch eine Schlammschicht aufzufassen. Das  $H_2O$  wird dabei stets durch dieselbe Kraft — das Übergewicht der ganzen Schlamm masse — emporgetrieben. 26. Frostauftrieb (frierendes  $H_2O$  kann heben, tauendes senken; Hebung (und Senkung) von Gebäuden, Höglbohm 304; Effloreszenz von Eis; Bahnplanumsaushebung; „Kriechen der Salze“ (Hebung). 27. Isostatischer (gleichgewichtserstrebender, gravitativer und thermischer [Sandberg]) Auftrieb bei unausgeglichenem Zustand, wirksam erst über 100 km<sup>2</sup> Fläche. 28. Entlastungsauftrieb durch teilweise örtliche Entlastung von im Gleichgewicht stehenden Massen; Elastizitätswirkung.

29. Volumzunahme (Dehnung — Lockerung — Hebung; bei Raumminderung umgekehrt)	}	Stoffzunahme { $H_2O$ Zunahme, Oxydierung usw. Thermometamorphose, Quellung (wirkliche Aufblähung innen, kein bloßes Druckausweichen).
--	---	---

29. Wirkliche Quellung (und Schrumpfung) hebt (und senkt) Tonboden um „mehrere Zoll in nasser (und trockener) Jahreszeit“ (E. W. Hilgard 173, Ehrenberg, Bodenkoll. 150). — Hievon verschieden ist die „falsche“, „angebliche“ Quellung oder das „Blähen“, die ohne vorherrschende Volumsänderung meist Folge von Gebirgsschweredruck ist. Die mechanische Quellung des Tones (Terzaghi 98, Abt. 21) ist die rein elastische, durch Ausschaltung des Kapillardruckes bewirkte Ausdehnung. (Das Schrumpfen in bindigem Material ist die rein mechanische Wirkung des Kapillardruckes und ist der Schrumpfvorgang bis zum Augenblick der Überschreitung der Schrumpfgrenze mit der unter  $H_2O$  vorgenommenen Verdichtung des Bodens durch

Belastung identisch. 30. Schwellung, Hebung in den dünneren Randgebieten des Inlandeises. 31. Ausquetschungserscheinung [Reibungsminderung durch einen im Poren- $H_2O$  bereits herrschenden hydrostatischen Überdruck. (Auftrieb zufolge örtlicher Entlastung), Ausquetschung infolge örtlicher Belastung; letzteres auch „Überlastungsfließung“ infolge eines im Poren- $H_2O$  durch Last hervorgerufenen hydrostatischen Überdruckes]. 31. Hebung durch örtliche Entlastung (Elastische Dehnung) infolge Inlandeisabschmelzung (Schaffer, Abb.). [Daß Norddeutschland nicht wieder zur Ursprungshöhe nach dem Eisrückzug gegensätzlich zu Skandinavien emporstieg, liegt in seiner starken tektonischen Zerstückelung, welche die Senkung „abfin“ und „tektonisch fixierte“ (Soergel, 1923).] — Hebung (isostatisch?) durch Erosion (Entlastung = elastische Ausdehnung). Nach F. E. Sueß Eisabschmelzung kein eigentlicher isostatischer Vorgang. 32. Glazialauftrieb von Grundmoränen, Staumoränen, Drumlins, Osor. (Bodenverdrängung durch Eislast; Soergel). 33. Aufpressung durch vorrückende, schiebende Gletscher (Schichtstörung; Tornquist, Fuchs, Wahnschaffe). 34. Auftrieb und Seitenpressung (typisch im Erd-, Berg- und Tunnelbau, aber auch bei künstlich ungeritzten Verhältnissen):  $\alpha$ ) aus seitlich vorkommenden Lotrecht drücken entstehender Sohlen- und Böschungsauftrieb (also hydrostatisch auch im Festen entstehender und wirkender Böschungs-, Ulmen- oder Gebirgsschweredruck aufwärts-umgesetzt), wobei der Auftrieb erst langsam bis sehr langsam wegen Überwindung der inneren Reibung und der Gebirgsfestigkeit, die, kleiner als die Gesteinsfestigkeit, zur Äußerung gelangt. (Hydrostatische Druckverteilung, Gebirgsdruck, Heim 44, Pollack, 1882; 1, 2, 3,  $\alpha$ ,  $b$ ,  $c$ ).  $\beta$ ) Ausquetsch-, Schub- oder Schleppbewegung (aus seitlichen Lotrecht drücken  $\pm$  wagrecht hervorgehend). — Beide meist Folgen von natürlichen oder künstlichen Entlastungen, Wegnahme von Stützungen u. dgl. wie oben mehrfach erwähnt. 35. Auftriebshochbewegung der Salzpfeiler (Hannover u. a.); Salzauftrieb (Lachmann u. a.); Salzwanderung (Schuh). 36. Wachsauftrieb (Wachstumsdruck):  $\alpha$ ) kristallisierender Stoffe,  $\beta$ ) Pflanzenwurzeln, Decke hebende und Material aufwerfende Tiere. 37. Hebung an Rändern von dynamischen, tektonischen und vulkanischen Senkungsgebieten. [Aufbiegungen vorgekommener Senkungen durch Kohlenabbau und Versatzverdichtung (Seidl)]; „Aufsatflungen“. (Näheres bei Senkungen.)

**IV. F. b)** 38. Hebung, Auftrieb zufolge tektonischer Vorgänge. Niveaushiftungen: Tektonische Hebungen (Aufwulsten der Falten, Faltungs- und Decken- (Überschiebungs-) Auftrieb. Kontraktion (oder äquivalente Kraft) + Gewicht der Erde geben zentripetale Dislokationen: Niedergänge geben die Ozeane; die radialen Bewegungen werden (wenigstens vorläufig) zugleich als Grundform aller Bewegungen in der Erdkruste angesehen — abgesehen von den Unterkrustenströmungen (Ampferer, W. Penck u. a.) — indem alle anderen Bewegungen als Umformungen dieser aufzufassen sind, Ausweichbewegungen nach oben (orogenetische usw. Bewegungen). Da die Schrumpf- und andere Theorien mehrfach unzulänglich, hat neuest

C. G. S. Sandberg (1924) die ursächliche Einheit von Gebirgsbildung und Vulkanismus aus der verschiedenen Abkühlung, verschiedenen Krustendicke und der dadurch entstehenden gravitativen und thermischen Isostasie nachzuweisen versucht, wobei insbesondere die Erklärung (und experimentelle Nachahmung) der Deckfalten (Überschiebungen) hervorzuheben ist. Der granitische Aufstieg (des Riesengebirges) zerlegt sich in eine Fließ- und Bruchphase; die tektonische Mitarbeit tritt bei der zweiten deutlicher in Erscheinung. (Cloos benutzt statt „Druck“ besser „Bewegung“.) Schollenhebung, neue Inseln, gefaltete und ungefaltete Kettengebirge; tektonische Pressungen: Wachs- und Salzaus- und -aufquetschen. Kontinentale Hebungen. Tektonische Hebung, verbunden mit elastischer Bodenhebung durch rückgehendes Eis (Quaas 153); Hochdehnung, Cloos, 9; Aufrichtung „wie eine Mauer“ (Schuh 13).

**IV. F. c) 39. Auftrieb** zufolge vulkanischer oder magmatischer Vorgänge: 39.  $\alpha_1$ ) Vulkanischer (magmatischer) Gasauftrieb (Gasausbrüche, Solfataren, Mofetten; Aufpressen, Lockern) verstärkt auch durch tektonische (oder dynamische?) Vorgänge (Sandkraterauswürfe, Injektionen durch Gas).  $\alpha_2$ ) Gasausbrüche mit zertrümmertem Material (Glutwolken usw.), auch subaquatisch; Beben, Erschütterungen, Dampfauftrieb.  $\beta$ ) Heißwasserauftrieb, Geisire, Thermen; (Quellen über mittlerer Jahrestemperatur = „warme“ Quellen brauchen nicht vulkanisch zu sein).  $\gamma$ ) Extrusionen; Lava-, Magma-, Schlacken-, Schlamm- auftrieb (vgl. Fließen); vulkanischer Schlamm- sprudel und -strom, Schlammvulkane; Sandkraterauswürfe (Hobbs 100), Aufwerfen von Schlacken-, Lava- usw. Kegeln (vulkanische Kuppen); Ausbrüche von Lavaschildvulkanen.  $\delta_1$ ) Intrusionen (Theorie Reids); Magma auch bis wagrecht (Cloos) [Beben; auch kryptovulkanisch und -tektonisch]. Sinken von Erdkrustenstücken zufolge Trennung, Last oder Druck auf die Magmahülle oder -masse und hydrostatische Weiterleitung im Magma kann das Eindringen von Intrusionen, lakkolithischer Massen usw. an schwächeren oder schwächer belasteten Stellen bedingen und Hebungen veranlassen (Magmaauftrieb).  $\delta_2$ ) Versuchte Eruptionen (Embryonen).  $\epsilon$ ) Vulkanische oder magmatische Auftreibungen, Hebungen sowie Seitenverschiebungen (Zerrungen) und Senkungen örtlich und ganzer Landstriche. Lakkolithische Hebung; schichtenhebende Lakkolithe (Gilbert, Daqué 118); Dehnung (und Hebung) bei Beben (Kalifornien); alter basaltischer (phonolithischer) Magmaauftrieb der Hegau-Vulkane (Reck); Necks; unter dem pazifischen Magma liegt die spezifisch schwerere (basaltische) Magmaschale; das stark komprimierte Tiefenmagma wird nicht bloß leichter beweglich, flüssig, sondern vehemente chemische Reaktionen führen zu großer Volumvermehrung und Wärme, es intrudiert der Volumgewinn, die Erdkruste hebt sich. (Argentinische ungefaltete Kettengebirge aus der eigentlichen Erdkruste durch magmatische Intrusion; W. Penck 1924.)

Bei Gangbildung und -füllung von unten (Reißen, Klaffen, Verschieben, unebene Flächen, Pressen, Quetschen, Dehnen oder Zerreißen); Ab(sprengungs- oder Ablösevorgänge.  $\eta$ ) Apophysen (Einpressen, Ausziehen: aktiv, passiv),  $\theta$ ) Batholythe (Magma höhlt sich Räume; Aufschmelzung

oder Aufstimmung; Cloos); Marysville-Batholyth-Hebung, z. T. allmählich, z. T. an Brüchen (Barrels, Cloos) entweder: aktive Wirkung des granitischen Kernes oder Umsetzung des Seitendruckes nach oben: Hochdehnung. Bei gemischter Gebirgsbildung steigt die Erdoberfläche und -rinde, wo sie früher gesunken.  $\dagger$  Bradyseismische Bodenhebungen. Bemerkung zu IV. F, *b* und *c*. Neben den Spannkraften des Magmas Tiefe einschließlich der leichtflüchtigen Bestandteile (Gase, Dämpfe) in der Tiefe (100 *km*?) werden auch tektonische Vorgänge beim Auftrieb von Magma und Lava mitwirken, sei es durch gegenseitige Rindenverschiebung bzw. Aufpressung oder Auflockerung usw.

**V. (Bleibende) Senkungs-, Setzungs-, Verdichtungs-, Einsinkungs-, Durchbiegungs-, Zusammensitz-, Raumminderungs- usw. Bewegung.** (Dynamisch, isostatisch, tektonisch, magmatisch, vulkanisch.)  $\pm$  lotrechte und damit  $\pm$  zusammenhängende Seitenbewegungen. Allgemeinster Fall einer Setzung oder Senkung: 1. Bestimmte Materialteile oder Gelandeteile oder größere Krustenteile setzen sich; oder besondere Fälle: 2. Bestimmte markierte (z. B. sogenannte „Fest-“) Punkte können sich allein, ohne daß das umliegende Gelände sich ändert oder senkt [wie z. B. Seibt erwiesen und dann tägliche Änderungen an Festpunkten am Geodätischen Institut Potsdam usw.], sich ändern und 3. beide machen verschiedene (oder auch  $\pm$  gleiche) Bewegungen durch. Aktive (Schwere), passive (Zug) Setzung. Festpunktbewegung am Neuchatelersee 31 *mm*, 100 *m* landeinwärts am Gymnasium um 14 *mm* (Messerschmidt, Praktische Geologie 1894, 111). Wädensweil (Pollack, Salmoiraghi). A. Materialbeschaffenheitssetzung. In Betracht kommen: Festigkeit der Elemente und der Zwischenräume (Poren), letztere leer, nachgiebig erfüllt (also geringere Festigkeit als die Teilchen) oder fest (gleiche oder größere Festigkeit als die Einzelteilchen). Verdichtung besteht in Gestaltsänderung der Elemente durch Verringerung ihres Rauminhaltes sowie Minderung der Zwischenräume durch näheres Aneinanderlagern, Zusammensitzen (Eigen- oder fremde Schwere), Setzungsfließung; Verdichtung bei Sedimentierung; Zeitwirkungen. Natürliche und künstliche Setzung oder Verdichtung.

V. A. *a*) dynamische Setzung: 1. Zufolge Eigenschwere oder -druck: Eigengewichtsverdichtung ist die auf die natürliche oder künstliche, trockene oder Schlammungssedimentierung folgende Verdichtung des natürlich oder künstlich (z. B. in Dämmen) abgelagerten Materials durch statischen Druck (Terzaghi 347). Aufgeschüttete Erdbauten werden je nach Material, Hohlräumen, Aufschüttungsart, Untergrund, Zeiterfordernis nach Erfahrungsmaßen über die endgültig gewünschte genaue Planumshöhenlage überhöht und auch erbreitert, welche Maße durch Stampfen in dünnen Lagen, durch Walzen usw. verringert werden können. Die Senkungen, Verschiebungen (oder auch Rutschungen) unter Aufschüttungen können kleine bis große, bis seitlich gleitende Ausweichbewegungen („Nichttragfähigkeit“ Heyne's) annehmen, ebenso das Einsinken von Steinmassen, Abreißen von Durchlaßstücken auf Treisa—Malsfeld, Linz—Gaisbach usw. Verdrängungen vgl. Bild 11. Tragfähigkeit des Bodens: A) ungespannt, B) gleichmäßig, C) ungleichmäßig gespannter,



D) gemischter Boden. (Bei den schwedischen Staatsbahnen werden die Herstellungen und Erneuerungen in den dortigen „Feinmaterialien“ durch Sprengungserschütterungen erprobt: die allzu labilen Teile beseitigt, die anderen tragfähig verdichtet.) Die versunkenen Wälder, Moore, Küstengebiete z. B. Englands und die Zusammensetzungen der Schwemmländer (Tertiär, Diluvium und Alluvium) von Venetien, Toskana (E. Reyer), das Versinken von Gebäuden, Ortschaften daselbst, dann viele kleine Treppenverwerfungen (Liebe) 1 bis 2 cm hoch dürften mindest zum großen Teil hierher gehören. Bei der Sedimentation in Flüssigkeit sinken die Flocken  $\pm$  Luft behaltend, auch bei Staub- oder Aschenfall im Trockenen. Als Spuren von Setzungen an Erdwerken, alten und jungen Schutthalden oder -kegeln, an Seeufern usw. sind (oft hoch oben) Setzungsrisse, Spalten, Stufen u. dgl. zu ersehen, z. B. im Inntal ob Landeck. Zufolge Aufrichtung und Freiwitterung hoher steiler Schichtung und Schieferung bewirkt die Eigengewichtstendenz und Gesteinsbiegsamkeit besonders bei weicher Nachgiebigkeit angrenzender Gesteine („Wurzel“) am Fuß der Steilwände ein Neigen und Senken des oberen Plattenteils vom Ausgehenden an (also wegen verwitternder oder erosiver Entfernung von Stützmassen im Liegenden oder Talseitigen und Hangdruck im Hangenden elastisches und plastisches Nachgeben nach der [druckfreien] Seite unter Aufklaffen der Schichtfugen), wobei die abbiegende Neigung nach der Bergtiefe abwärts (zur Wurzel) wegen allmählich schließender Klüfte, größerer Festigkeit abnimmt; doch tritt auch Ausknickung bei Schicht- oder Banksteilstellung in einzelnen oder mehreren Schichten nach der wenigst widerstandsfähigen Seite ein: Anlaß zum Bergsturz am Arlberg, 3. Juni 1892 (Jahrbuch der Geologischen Reichsanstalt, Taf. XVII, Fig. 2, zeigt zwischen A und dem Pfeil, sowie rechts von A die knickenden hohen Steilbänke, die oben geblieben sind; vorgeneigte Schichtköpfe hanggräbenbildend am Südhang Langen bis St. Christof z. T. mit  $H_2O$  erfüllt; am Pareng im Birikalk). Hinter Rutschmassen, hinter bergleinliegenden oberen „Absatzflächen“ (vgl. S. 50/51) oder Wülsten ergeben sich Einsinkungen (auch an Hängen), Löcher, Wellen- und Hangtälichen, periodische und bleibende kleine Seen (Nolla, St. Christof), Schichtenneigungsseen. Zusammensitzbewegungen der ursprünglichen feinporösen, schwammigen Eisenerze der fränkischen Alb: Gleitharnische im Ton (Reis 1909, 189). Verdichtungen und Verhärtungen im Boden bei Ortsteinbildung (Ehrenberg 305). Übergänge zum Kriechen. — Kettengebirge biegen unter Eigengewicht mit Umgebung durch. 2. Durch Außendruck: unter ruhender und bewegter, örtlicher oder weiter erstreckter Belastung, Druck, Zusammenpressen im Material (Last schwerer als Materialwiderstand). Bodenverdrängung durch Verdichtung in Amerika gemessen: zuerst Bodenverdrängung mit Auftrieb: „kritische Tiefe“; dann bei Tragvermögen. Einsinkungen von Einzelkörpern (im kleinen) im Schlamm usw. am Boden des Meeres, in Seen, von Auswürflingen, Steinen, Blöcken, größeren Schollen. Zeitwirkungen: Im harten Pech versinken allmählich Bleikugeln; Einsinkungen in dickeren Massen des Inlandeises. Einsinken natürlicher und künstlicher Aufschüttungen im Schlamm oder nachgiebigen Böden im Meer, an Seeufern. Senkung durch Anschüttungsweichen im Trockenen (Lötschberg)

und im  $H_2O$  bei Steillagen der Akkumulation. Einsinken von (Keuper-sandstein-) Schichten in unterliegende Tone (Blanckenhorn): pressen Ton empor (vgl. Auftrieb). In den taschenartigen Vertiefungen auf den Keuperlettenoberflächen liegen Steine. Ackerbodenbewegungen lotrecht und seitlich, Bodendurchmischungen: Teile verschiedenen spezifischen Gewichts sinken verschieden, pressen andere z. T. weg, ab- und aufwärts usw. (Übergang z. T. zum „Kriechen“.) „Bodenzusammenpressung“ unter Dämmen (Geologische Kommission Schweden: Messung mit eigenen Rohren mit Pegeln, die American Foundation Committee hat Metallscheiben benutzt. Die Rüttelwirkung (Pfahlschlagen) gibt ein Maß für den Grad und die Gleichmäßigkeit der Verdichtung; Lockermassen, „Sandfälle“ usw. können durch künstliche (natürliche?) Erschütterungen (etwa Sprengwirkung) stabilisiert werden oder durch die Kontinuität des Materials aufhebende Pfahlrammung; stoßweise Formsandverdichtung in Fabriken (statt Stampfung). Stöße, Erschütterungen usw. veranlassen zufolge dem Gesetz der Trägheit das Einsinken schwerer Körper tiefer in den Boden; beim großen indischen Erdbeben sind schwere Denkmäler von engen bogenförmigen Rinnen und Rissen im Boden umgeben bis zur Hälfte in die Erde eingesunken (auch Charleston 1886). Fortwährende Zitterungen, Reibungen bewirken auch ein gegenseitiges Abreiben, Abschleifen usw. und dadurch ein Sinken. Setzungen erscheinen auch bei flachgründigen Bauwerken: lockere Stein- oder Materialhaufen, Mauern, Objekte, Sperren u. dgl.; in Krusten ehemaliger Seebecken, in Mündungsgebieten  $\pm$  schlammführender Flüsse usw.: in „verkapselten“ weichen Massen, Mulden (von Dorfgastein, bei Mallnitz, Heubach, Terzaghi 260); in örtlich belasteten Schlamm- und Tonmassen (Goldenes Horn). Rasch aufgebrachte Massen können versinken, langsam aufgebrachte setzen sich normal.

3. Temperatursenkungen: Abkühlendes  $H_2O$  verdichtet bis  $+4^\circ$  auf größte Dichte (noch mehr abkühlendes  $H_2O$  unter Gefrierpunkt dehnt sich aus). Abkühlung zieht viele Stoffe zusammen.  $\alpha$ ) Temperaturverluste, also Abkühlungssenkungen oder -setzungen (Krustenbildung aus dem Schmelzfluß, Klüftung usw.) Erdkontraktionshypothese. Langsames Sinken durch Abkühlung von Sand (der Kornhüllen Luft, Feuchtigkeit) und Gestein. (Die ausdehnende Wärme hebt.)  $\beta$ ) Einsinken durch Wärmezunahme: Einsinken von Körpern durch Erweichen der Unterlage oder Umgebung beim Tauen oder Auffrieren. Schmelzung unterliegender Eiskörper.

4. Senkungen durch Stoffentfernungen. Verdichtung, Setzung durch Wegnahme tragender oder stützender oder füllender Teile oder Poreninhalte:  $\alpha$ ) mechanischer Natur. 1. Auf natürliche Art (Entgasen, Verdunsten, Krustenbildung), Verdichtung und Senkung durch Auftauchen (loser, bindiger, Schlammmassen, Sedimenten), Verdunsten, Abtrocknen; Anbohren sandiger Zwischenlagen (Terzaghi 152, 146, 261, 181); Entgasung, Entlüftung durchlässiger Materialien (Sand usw.); natürliche Entwässerung. Unterirdische Ausspülung, Erosion, Kolkung (auch unter Wehrkörpern usw.) Schichtenzusammensinken durch Unterwaschung wag- bis lotrechtstehender Schichtflächen (Schiller 1924); Nachsinken von Talflanken (Richthofen, Deecke). 2. künstliche Stoffentfernung:  $\alpha_1$ ) Setzung durch Eindeichung von Marschen und anderen Landstrichen (Trockenlegung); Abtrocknung von Moor oder Torf von

oben oder unten (Hebung, Zentralblatt 268); Setzung in Gebäuden (Muck); Senkung durch bloße (klare) Entwässerung (Abtrocknung) wasserführender oder -tragender Schichten oder Klüftungen; Wasserentziehung aus Brunnen, natürlichen oder künstlichen Teichen, Seen; Absinken des Grundwasserspiegels usw. Senkungen bei Bohrungen durch Sand-, Lehm- usw. Ausfließen (Schneidemühl 1893).  $\alpha_2$ ) Ober- und unterirdische Senkungen zufolge natürlicher oder künstlich hergestellter Hohlräume, also über (verborgene) klaffende Spalten, Lösungsräumen, Kohlen- und Erzabbau, Stollen und Tunnels usw., über Gänge grabender Tiere (z. B. Tubikolen), Wurmrohren; trotz Geröllpanzer wird Material entfernt, die Gerölle sinken ein (Passarge 1912); verfaulende Wurzeln. Findet die Senkung über vorstehende größere Hohlräume statt, so wird damit von innen betrachtet verengt auch eine Lockerung des Hangenden — bei großem Druck auch der Ulmen — stattfinden: Meist erst nach einer gewissen (bisher noch nicht bestimmten) Zeit wird bei nachgebender „Sicherheit“ die erste kleine bis größere Deckendurchbiegung, allfällig auch ein Hereindrängen der Seitenstöße sichtbar, dem je nach Material, Lagerung und Klüftung ein Hereinbrechen von festen Massen, verbunden mit Aufreißen latenter und sonstiger Klüfte, folgt. Bei weitergehender Bewegung bilden sich dann im nächsten Stadium nach oben parabolisch geformte Abbruchräume über den anfänglichen Hohlräumen,<sup>1)</sup> denen dann je nach Verspannung des Gebirges  $\pm$  Senkungen bis Einbrüche bis zur Tagesoberfläche folgen können: trichter-, trog-, grabenartige Pingen, Tagbrüche, Erdfälle, Tröge, Gräben, Dolinen, Versickerungstrichter. In unterirdischen Räumen (Bergbauen) nimmt die durchstreichende Luft in gewissen Zeiträumen (zuerst rascher und dann weniger rasch) bis zu einem bestimmten Grad Feuchtigkeit aus dem Gestein, allfällig auch der Zimmerung, dem Mauerwerk, Belegschaft usw. auf, so daß eine Art kapillar wirkender Abtrocknung ermöglicht würde. Ob dadurch allein ohne sonstige Einflüsse oder Änderungen ein Gesteinsnachgeben im Bau, allfällig bis zur Erdoberfläche in meßbaren Senkungen (bis Pingen) möglich, wurde bislang noch nicht einwurfsfrei festgestellt. (Versuche und Messungen der mit der Luft abgeschlossenen Feuchtigkeitsmengen und Abnahme der Gesteinsfeuchtigkeit (Bergfeuchte) wären erwünscht. „Tausende Bohrungen waren (angeblich) anscheinend ohne Einfluß.“ Aus dem obigerwähnten Niedergehen der Bergmassen, zuerst langsamer, aber später rascher und stärker, ersteht örtlich konzentrierter Gebirgsdruck, der auch den trocken oder mit Spülversatz eingebrachten „Bergeversatz“ zusammenpreßt, verdichtet. Senkungen unter Tags durch Herabdrücken von First (Kappen) und Ulmen und sonstigen Tunnelsicherungshölzern mit Gleitharnischen im abbildungsfähigen Material, unter Hereintreiben der unteren Teile der Stempel mit  $\pm$  Auftrieb in der Sohle [je nach Nachgiebigkeit und Gewicht (am Simplon selbst fester Gneis aufgepreßt und aufgeblättert)]. Niederziehung eines Braunkohlenflözes nach Eruption und Erkaltung eines Basaltschlotes (Rosental 1893).  $\beta$ ) Senkung durch chemische Ein-

<sup>1)</sup> Vgl. die einschlägigen Versuche: Bodensenkungen im Berg- und Tunnelbau-Wien 1919. (90 Bilder verschiedenen Verhaltens.)

flüsse: durch Lösung und Abfuhr leichter löslicher Gesteine, also z. B. Salz, Gips, Kalk (Zellenkalke, Rauchwacke mit Tonrückstand: Reis), Dolomit usw. Salinare Senkung (Spengler, Salzkammergut), atektonische Senkungen des Tertiärs zufolge Salzauslaugung (Dahlgrün 1923), Erdfälle, Tagbrüche. Lüneburg: Zechsteinsenkung; langsames Nachsinken von Schichtgestein durch Lösung von Schichten (Bebenfolge), Richthofen 129, Einfluß auf Außenformen (Kalksteinkugel auf Marmorplatte, Geröll-eindrücke). Nach- und Absinken des Geländes auch an Talhängen usw. durch Lösung (und mechanisch). Richthofen 122, 157, Deecke; Übergang zu den Gleitungen. Setzung durch Humusoxidation, durch Kohlen-erdbrände (auch Verfestigung), durch Umwandlung von Bestandteilen. Scheinbare Erdfälle können entstehen: 1. Durch Oberflächenwegspülung, 2. durch Bewegung der Gebirgsschichten, 3. hinter „Absatzflächen“ bei Gleitungen usw. — 5. Verdichtung durch Stoffzufuhr.  $\alpha$ ) Natürliche Dichtung (Selbstdichtung) durchlässiger Massen. Viele Wasserbetten und Wasseransammlungen sind (besonders im Fels) undicht, haben unterirdische Versickerungen, Abflüsse, Grundwässer (fast stehend) und Grundwasser „ströme“. (Grunewaldsee, Berlin; viele Alpenseen, Bäche). Die Selbstdichtung kann erfolgen: 1. durch Ein- und Anschwemmung dichtender Feinstoffe aus trüben oder schlammführenden Fließwässern und trübwerdenden Seen in die durchlassenden Zwischenräume (Poren); 2. durch einen genügenden Überzug mit einer dichtenden Haut auf der Wasserseite (für die Nachahmung dieser Vorgänge vgl. die Selbstdichtungsversuche der schweizerischen Wasserwirtschaft Nr. 1 bis 9). Stärkere Grundmoränen können dichten.  $\beta$ ) Künstliche Dichtung. Wiederholt wurden durchlässige Kanalteile tunlichst undurchlässig gemacht. Bei künstlich aufgeschlammten Dämmen (Panamakanal, Leinetal wurden Ton- und Lehmichtungen (auch Betonlagen) verwendet. Am Ems-Weserkanal wurden 4 m starke durchlässige Schichten und auf Datteln—Ham (Rhein-Hernekanal) Tone, die nach dem Handkugelverfahren geprüft wurden, verwendet: mit Motorwalzen, Böschungswalzen, Luftdruckstampfen. Künstlich aufgeschlammte Dammassen bedürfen i. d. R. nur teilweise Nachhilfe an besonderen Stellen. Amerika hat die Dichtung geschlammter Dämme untersucht und plant jetzt einen 60 m hohen Staudamm mit 400 m Basis.

B. Gleichgewichts- (isostatische) Senkungen. Aus den Schwere-messungen bezw. Unterschieden in der Erdkruste ergibt sich das Streben nach Schwereausgleich: sonach Senkung verbunden mit seitlichem Ausweichen im Untergrund nach weniger belasteten Stellen, was aber nur für Landstriche von mindest 100 km<sup>2</sup> gilt. (Kleinere Massen, z. B. Berge, sind nur elastisch eingesunken.) Das Sinken erfolgt bei, während und nach der Gebirgs- oder Schollenbildung und sehr allmählich. (Versuche von Schuh.)

C. Tektonische Senkungen: Zentripetale (epirogenetische) Senkungen oder Senkungsfelder größeren und kleineren Umfanges. [Felder, die hinabgedrückt (Sonder 232) werden und nach Entspannung wieder auflaufen, gehören zu den elastischen Bewegungen]; die Folge des aus der Versenkung etwa sich ergebenden Seitendruckes sind örtliche tektonische Bewegungen im Aufbiegungsraum (Soergel). Geosynklinalen

werden durch Sedimentanhäufung hinabgedrückt (Metamorphose). Flexuren, mechanisches, tektonisches, vulkanisches (magmatisches) Abbiegen von Schichten, Abreißen von Flexuren (Eggenburg, Wiener Becken, Tertiär). Setzungen mit vernarbten Trennungen oder Abreibungen. Einsinken von schwereren Falten und Deckgebirgen am Vorland, Rand in Salzmassen, Durchbiegungen und Aufbiegen an Rändern, Spalten, Schwachstellen; Durchspießung (Versuche Schuh). Senkungen von Schollen äußern sich auch als Verwerfungen (z. B. am östlichen Deister). Der Birikalk von Mjösen (Norw.) hat sich zwischen anderen festen Schichten beim Aufrichten in sich zusammengesetzt (Rothpletz, Ak. 1910). Mit der Gebirgsbildung sind auch Verdichtungen verbunden (schwere Lasten usw.); Stauchungen. Fazieswanderungen bei Senkungen (Schuh 145). Faltungsbewegung: Mulden eindrückend. Deckschollen aufchiebend: Mulden eindrückend, Randmulden oder Trogbildung. Verschiebungen in wag- oder lotrechter Richtung mit Rücken und Mulden dazwischen. Tektonische sekundäre Senkung mit Braunkohlenbildung (Fliegel): tektonische Schollenbewegung, schwache Faltung. Abreißen bei Salzspiegel und „Salzfang“ (Fulda). Tektonische Risse, Spalten, Staffelbrüche, Gräben, echte und unechte Einbrüche (Sonder 232). Sekundäre Folgen: Differenzialbewegungen innerhalb anderer Formen: Kleinfaltung, Kalkmassen sinken in weiche Mergel und quetschen selbe auseinander (Tofana, Antelao). Unter der 2000 m starken Fanes- und Sellagruppe erscheinen drei Stockwerke: Unten Schuppung (linsige Körper; Überschub), dann Faltung, Zusammenstau unter der Last und oben freie Faltung von losem Gefüge (Kober). Tauchdecken, unter hohem Druck, großer Last, tiefer Rindensenkung (penninische Decken).

*D. Vulkanische Senkungen.* Senkungen während und nach vulkanischen Ausbrüchen zufolge innerer Massenverluste (Auswürfe). Zusammenlagerung (anlässlich Schütterungen). Trichter- und muldenförmiges Einsinken; auch von vulkanischem (magmatischem) Material (insbesondere auch längs klaffenden Spalten); Niederziehen der aufgeschütteten (aufgeworfenen) Schichten gegen den Schlot oder Auswurfskanal (Reyer, Bücking; Sieberg: Am Aetna). Regionale Senkungen zufolge Magmaströmungen (Ampferer, Schuh, W. Penck). Senkung durch Aufschüttung (Last). Vulkanische Einbrüche, Hegau (Reck). — Bemerkung zu *A* bis *D*: Durch Sedimentation Massenumlagerung (einseitig, isostatisch; Sonder 230, 247; Tams).

**VI. Lockerung.** Im Gegensatz zur vorher gebrachten Verdichtung usw., die  $\pm$  einer Raumverminderung entspricht, steht die Raumvermehrung in Gesteins- und Gebirgsmassen, die aus inneren Vorgängen und äußeren Anlässen eintreten kann. *A.* Natürliche Auflockerung der Gesteine durch physikalische und chemische Kräfte (Verwitterung, Druck, Zug, Umwandlung, Zersetzung) und allfällige Fortschaffung. Tonreichere Böden lockern nicht nur durch H<sub>2</sub>O-Aufnahme ihr Gefüge, sondern lassen durch geeigneten Wechsel von Trockenheit, Nässe, Frost durch Kohärenzverschiebungen eine mehr oberflächliche (wagrechte) blättrige Zermürbung eintreten; im bindigen, verdichteten Einzelkornstrukturboden werden die Selbstlockerungsvorgänge oder der Eigenbewegung

durch mechanische Wurzeltätigkeit und starke Modifikation der  $H_2O$ -Verhältnisse verstärkt; aus der Kombination von Selbstlockerung und Wurzeltätigkeit wird einer dauernden (pflanzenschädlichen) Dichtverschlämmung des Bodens durch Niederschläge entgegengewirkt. Zerteilende Bodenbewegungen zerlockern, daher auch die Gebirgsbildungsbewegungen in allen Einzelheiten. *B.* Künstliche Auflockerung: Umarbeitung des Kulturbodens; Materialgewinnung in Fundamenten u. dgl., sowie zur Anschüttung; unterirdische Gewinnung. Kritischer Strömungsdruck verursacht Lockerung, bleibende Sandauflockerung. Erschütterungen haben auf kritische Gefälle keinen Einfluß. Weiteres bei „Volumänderungen“.

### VII. Zusammenziehungs- und Dehnungs- sowie Quellungsbewegung.

Nachdem solche mehrfach in den bereits vorgeführten Gruppen, insbesondere bei den Auftriebs-, Hebungs- sowie Senkungsvorgängen, wo die Wirkungen nach den Richtungen kleinerer Widerstände zur Geltung kommen, in den sich äußernden Hauptzügen besprochen erscheinen, sollen hier vorwiegend noch weniger oder gar nicht besprochene Vorkommnisse angeführt werden. *A.* Raumverminderung infolge: 1. Eigenschwere, 2. Außendruck, 3. Temperaturänderung, 4. Stoffentfernung:  $\alpha$ ) mechanisch:  $\alpha_1$ ) natürlich,  $\alpha_2$ ) künstlich;  $\beta$ ) chemisch. *B.* Ausdehnungsbewegungen infolge: 1. Temperaturabnahme: Frostwirkungen; „die Erde wächst“ [Högbohm 327; Spaltenfrost wird trotz großer Treibwirkung im kleinen, für große Verhältnisse (geologisch) meist überschätzt]; sortierende Bewegungen im Boden; Steinnetze, Übergänge (Högbohm 312, 320); Betonbewegungen (Zentralblatt 141 und „Verw.“). 2. Temperaturzunahme: Dehnung durch ein- oder allseitige Wärme („Wärme ist eine Art der Bewegung“); Eigenbewegung des Bodens (Berkmann 16); Ausdehnung — Zerlockerung — Hebung des Bodens (dreifach oder sechsfach); Quarzkörner durch Wärme bewegt: „tönender Sand“; Dehnungen in den Gesteinen: Türme-, Schornstein-, Mauer- usw. Neigungen durch einseitige Bestrahlung (tägliche Perioden, z. B. in Heidelberg, Wien, auch gemessen); Beobachtungen an der Wandrahmbrücke, an Talsperren, an Beton- und Asphaltbürgersteigen, Brücken usw.; Gebäude bewegen sich auf und ab. 3. Wasseraufnahme. 4. Einseitigen Drucks durch Zuströmen des gepreßten Materials bei Magma, Faltungen, Salzlagern usw. (Fließen, Abwandern, Strecken usw.). 5. Natürliches oder künstliches Zerfallen (Hohlraumzunahme), Zerbröckeln, Pulverzerfallen, Materialgewinnung; trockenes Kalklöschchen (Absonderung, Klüftung). *C.* Quellung: 1. Auch in längeren Zeiträumen praktisch kaum merklich, z. B. gewisse Anhydrite (Madritschjoch, anstehend: 82% Anhydrit + 17.7% Gips; Hammer, John); körnig- und blättrig-kristallisierte Anhydrite unverändert in alten Sinkwerken (Mayer 1913); in Stollenhalden; im Salzgebirge; Bosrucktunnel (Anhydrit gemischt mit Dolomit). Der Gips von Läuferlingen hat Anhydritkerne, ist also aus Anhydrit entstanden, weil aber massig, so ist keine Fältelung eingetreten (Heim); bei der Fältelung durch Schwellung: Schenkel verdickt, Umbiegstellen  $\pm$  aufgebrochen, verdünnt; die Fältchen nach Zahl und Größe von der Nachbarschaft unabhängig (Heim, Geol. d. Schw. II, 78). 2. Manche (reine oder reinere?) Anhydrite scheinen druckäußernde Volumsvergrößerungen

bezw. Verhinderung der Raumvergrößerung (oder Terzaghis elastische Kapillarwirkungen) anzudeuten. Im Hangenden größerer Gipsmassen zeigen die Buntsandsteine merkwürdige Störungen, auch Spalten mit von unten eingepreßtem Gips (im südlichen Harz). — Am Benkenpaß Fältelung aus dünnen Anhydritschichtchen (Heim). — Quelfaltung im Schlangen- und Gekrösegypts (Heim, E. Kaiser); Stauchung (Hirschwald); Reliktkristalle von Anhydrit im Gips von Val Canaria. — Knöllchen von Salzton bei Druckentlastung quellen schaligblättrig, zeigen sich salzig imprägniert; dunkle, glänzende Salzglanzschiefer deuten auf Druck (Überschiebung?). 3. Eisenkiesreiche kalkige Tone (Septarien- oder Rupeltone) knapp unter den Tagbausohlen in den Stettiner- Zementgruben geben, dem Regen und der Luft (O) ausgesetzt, in zwei Monaten buckelbildende Gypsrosetten in großen Kristallen: also chemische Umwandlung (Deecke 1919). 4. Dichter toniger Anhydrit quillt nach Mayer (vgl. oben) bei der Umwandlung rascher. 5. Trockene Mergel, Tone, standfest unter Dach, zerfallen bei Feuchtigkeit unter Ausscheiden von Kalkkrusten ( $H_2O +$  chemischer Vorgang; Deecke; Schlierwiderlager im Kohlenbahntunnel 50 Jahre alt bei Breitenschützing, Oberösterreich). 6. Volumvergrößerung von tonigem Material: 0.55 g Kaolin-kolloidton quillt in 24 Stunden auf 146  $cm^3$ , während Tonerde- bzw. Eisenhydroxydkolloid nur 80 bis 100  $cm^3$  (im  $H_2O$ ) erreichte; natürlicher Ton quillt weniger. 7. Schwellen von Stampfasphalt (H. Schmidt). 8. Gipsschwellen in Zementen; Längenänderungen im Mörtel und Beton (Zürich 1919); Messungen an der Luft und im  $H_2O$ . 9. Ein „Fest“punkt in Lehmboden (zweimal versetzt!) senkte sich periodisch durch Austrocknen und hob sich durch „Quellen des Bodens“: Sommersenkung 2 bis 4 mm gleich der Winterhebung (Holm: Niv. Versuchsstrecke). — Nach Stapff „blähte“ der zersetzte Glimmergneis im Gotthardtunnel linear 2.9%, woraus er eine Gebirgshebung von 49 m errechnete (!) Fugger und Kastner (1889) gingen beim Salzbergbau Dürrenberg (Hallein) noch viel weiter! Durch zirkulierende  $H_2O$  auf Anhydrit, der bei Fehlen von Salz, also nach der Entsalzung, in den  $H_2O$ -haltigen Gips übergeht, werden starke Faltungen und Stauchungen durch die Volumzunahme bewirkt (Andrée 1911). Übergänge zum Nichtquellenden. 10. Die mechanische (Kapillar-) Schwellung, die besonders bei der Berstungsfließung, d. h. den Rutschungen in tonigen Massen von Belang wird, ist bereits S. 73 erklärt (Terzaghi).

Die **Gesteinsquellung (Quellungsdruck)**, unter vielen Bezeichnungen (Quillen, Aufblähen, Volumsvergrößerung, Treiben usw.) bekannt, ist ein arg vernachlässigtes Kapitel der Gesteinskunde ober- und untertags und haben sich eigentlich nur Physiologen und Botaniker mehr damit beschäftigt, wodurch eine gewisse Einseitigkeit nicht zu vermeiden war. Sie zeigt sich im Bereich der Geologie vornehmlich in tonigen oder verwandten Massen, in Tongesteinen, wenn auch die übrigen Gesteine kleine Werte hiervon erreichen. Sie wird außerordentlich oft auch heute noch, selbst von Fachleuten gar nicht selten vollständig mit Gebirgsdruckerscheinungen verwechselt, wenn auch zugegeben ist, daß in manchen Fällen beide zusammenwirken können und daher eine Trennung anfänglich vielleicht nur schwer durchführbar erscheint, bei

größeren und andauernden Bewegungen aber die Schwellung nur eine untergeordnete Rolle spielt. Die vom Grad und Richtung des Gebirgsdruckes abhängige und nicht richtig eingeschätzte größere oder kleinere Zähigkeit (Duktilität) des Gesteins verführt zur Verwechslung. Bei offenen Erdarbeiten, in Ton-, Lehm-, Kaolin-Gruben, in unterirdischen Aushebungen dieser Materialien, aber auch in festeren Gesteinen — im Simplon zeigte auch der festeste Gneis unter dem Schweredruck großer Überlagerung ein „Auftreiben“ — macht sich nach kürzerer oder längerer Zeit das Bestreben des Herausdrängens in den freigemachten, entlasteten Raum bemerkbar. Da meist auf der Sohle ein niveauempfindliches Verfrachtgleis liegt, so ist meist zuerst ein betriebstörendes Heraufkommen der Sohle samt Gleis zu beobachten; das wird ohne weiteres vorwiegend als eine Volumzunahme des Materials durch Aufnahme von zufließendem Wasser oder von Feuchtigkeit aus der Luft, z. T. auch chemischen Vorgängen (Zersetzung von Schwefelkiesen, Neubildung von Gipsnadeln) u. dgl. von vielen beteiligten Seiten erklärt. Drängen dann z. B. im Stollenbau die Stempel in den Seitenstößen oder Ulmen, dann die Klapphölzer in den hergestellten Hohlraum, biegen und brechen beide usw., so ist diese angebliche „Volumvermehrung“ oder wie sie auch in geologischen, technischen usw. Veröffentlichungen benannt erscheint, „Blähung“ die angebliche Ursache dieser Tatsachen. Um die Zuverlässigkeit der angeführten Annahmen zu prüfen, hat Terzaghi (a, a, O, Seite 215) Probekörper verschiedener Tonsorten verschiedenen Wassergehaltes verfertigt und wochenlang in geschlossenen, mit dampfgesättigter Luft erfüllten Räumen bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Die Proben veränderten in der plastischen und halbfesten Konsistenzform weder Gewicht noch Rauminhalt und in der festen erwiesen sie sich trotz hygroskopischer Wasseraufnahme als raumbeständig; das Schwellen ist also nicht auf hygroskopische Wasseraufnahme zurückführbar. Das Schwellen erklärt sich vielmehr aus den im Porenwasser des Tons herrschenden Druckverhältnissen; darüber einiges noch später und seinoch vorausgeschickt, daß verschiedene Erscheinungen jahrhundertlang zusammengefaßt wurden. Schon sehr lange ist den Bergleuten bekannt, daß unter unseren Augen und in verhältnismäßig kurzer Zeit Umformungen in den Felsmassen statthaben. So erinnert Mathesius, daß Stollen mit der Zeit so zusammengewachsen seien, daß sie unwegsam wurden<sup>1)</sup>. Spätere Bergleute bestätigten diese Erfahrung. Vor mehr als einem Jahrhundert wurde gezeigt, daß nach Abbau der Kohle die Schiefersteine des Bodens und der Decke hereinwachsen<sup>2)</sup>. Charpentier beobachtete den auf die Bergwerkshalden gestürzten Anhydrit, wie er allmählich in Gips übergeht, doch werden an Kalksteinen, Schiefen, Kohle, Graphit und anderen Gesteinen<sup>3)</sup> plastische Formen getroffen, die durch keinerlei chemische Änderung verursacht werden. Kalksteine,

1) Mathesius, Prediger zu Joachimstal: „Sarepta“ oder Bergpredigten (1562), 4. Aufl. 1679, 3. u. 6. Predigt, S. 134, 241.

2) Greenough, Geol., übers. 1821, S. 57. — Brard, Ann. chim. Phys. 1828, Bd. 38, S. 166: Die Quellung (?) soll bis 50m unter die Sohle der Strecke merklich sein.

3) Hoffmann, Beitr. z. K. Deutschlands 1823 u. Pogg. Ann. 1825, III, S. 34. Hausmann, N. Jahrb. f. Min. 1847, S. 594. Naumann, Geologie 1850, II, S. 620.



Sandsteine, Opal, Chalzedon, Beryll, Asbest, Tremolit usw. seien im bergfeuchten Zustand weicher und milder als im trockenen; selbst der Granit soll leichter bearbeitbar sein. Wie zu erkennen, ist wohl das „Zuwachsen“ mehr dem Gebirgsdruck zuzuschreiben, während die Frage der Gesteinsumformungen auch heute noch wenig geklärt erscheint.

Schon bei der Definition der Quellung zeigen sich Verschiedenheiten in der Auffassung, auf die alle hier nicht eingegangen werden kann<sup>1</sup>). Nur sei zur Meidung von Mißverständnissen bemerkt, daß (in Abweichung des wissenschaftlichen Gebrauches) insbesondere bei den Bergleuten angeblich meist<sup>2</sup>) „nach dem bergmännischen Sprachgebrauch (?) von „blähendem Gebirge“ (zum Unterschied von druckhaftem Gebirge (?)) nur dann gesprochen wird, wenn ein allmählicher Druck in Form von Volumsvermehrung durch Einwirkung von Luftfeuchtigkeit oder H<sub>2</sub>O (wer kann das festsetzen?) sich geltend macht. Gebirgsarten, die besonders auf die Einwirkung von H<sub>2</sub>O reagieren, in trockenem Zustande aber meist eine normale Tragfähigkeit aufweisen, sind der Liegendletten in den meisten Braunkohlengruben NW Böhmens (Tertiär), der Phyllit in den alpinen Braunkohlengruben Seegraben (zersetzter Phyllit) und Hart bei Gloggnitz; der liegende Seifenschiefer in der Braunkohlengrube Fohnsdorf (vom Wodzicki-Schacht) usw.“<sup>4</sup> Wie der Verfasser sich beim wiederholten Befahren verschiedener Gruben (Essen, Häring, Dürnberg, Grünbach, Hart usw.) überzeugt hat, ist eine Unterscheidung zwischen „blähendem und druckhaftem Gebirge“ an Ort und Stelle weder bei den Beamten noch Arbeitern bekannt, meist wird alles mit „Blähen“ bezeichnet, also auch dort natürlich, wo nur Gebirgsdruck vorwaltet.

**VIII. Elastische Durchbiegung oder Biegung** zusammenhängender Erd- und Gesteinsmassen, lot- bis wagrecht; elastische Bodenein- und -durchbiegung; dynamisch, tektonisch, vulkanisch (magmatisch) z. T. schon früher bei Verdichtung usw. behandelt. Elastizität des Bodens ist Elastizität der Struktur oder des Gefüges und ist die elastische Dehnung des Gesteins von Feinbewegungen im Gefüge begleitet, besonders bei bindigen Böden. Unausgeglichene Reibungsspannungen, Anpassungsbewegungen der Körner bei Belastungsunterbrechungen dauern fort.

A. Infolge örtlicher Be- und Entlastung: Elastische Durchbiegung der Erdkruste (Stauweiher mit 934,000.000 m<sup>3</sup>, 70 m H<sub>2</sub>O. Tiefe durch Horizontalpendelbeobachtungen; Baschin 1914); bei schwereren Bauten sind durch Libellenfeinmessungen die elastischen Bodenbiegungen bestimmbar. Elastische Durchbiegung bei Deichen durch einseitigen (Sturm-) Wasserstau (auf der Gegenseite entsprechende elastische Hebung). Bei schüssel-, mulden- oder trogförmigen elastischen Einsenkungen über unterirdischen Abbauen ohne schon erfolgte Abreißung des Muldenkerns

<sup>1</sup>) Vgl. J. R. Katz. Die Gesetze der Quellung. I. Teil, 1916, S. 9 ff., vgl. auch Definitionen von H. de Vries, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie (1880); W. Pfeffer, Lehrbuch der Pflanzenphysiologie; V. Lehmann, Molekularphysik I; Artur Müller, Allgemeine Chemie der Kolloide 1907. Bd. VIII des Handbuches der angewandten physikalischen Chemie in Einzeldarstellungen. Seite 99 ff.; u. a.

<sup>2</sup>) Über Frostwirkung, Quellung (Quellungsdruck) usw. Technische Blätter; Teplitz-Schönan 1921.

tritt eine Art Dreh- oder Schängelbewegung auf; der sinkende Teil biegt sich wie ein in der Mitte beschwertes Brett durch und wölbt dabei den außer den Auflagpunkten hingenden Teil als Gegenwirkung nach oben (Pollack, Bodensenkung. K. Lehmann, Glückauf), z. T. ab, wodurch die vorher gebundene Spannung frei wird und die Expansivkraft nach der Richtung geringsten Widerstandes, also noch oben, strebt. Elastische Druckverteilung und Drucküberschreitung in Schüttungen, Strohschneider 1912, Terzaghi 232. Inselauftrieb, Aufpressung durch örtliche (seitliche) Belastung (vgl. Auftrieb). Bei Stollenfirten siehe Gasausbrüche, A. Becker. Durch- und Zurückbiegung durch (Inland)-Eisdecke; falsche (?) Isostasie. Gesteins- und Gebirgsschläge durch lot- bis wagrecht gerichteten (wie in Zerdrückungsmaschinen) oder vorherigen allseitigen Druck, nach der freien Seite oder schwächst widerstrebendsten in Tag- und unterirdischen Bauten: plötzliche mit Knistern bis Knall verbundene Schalenabtrennung nebst Wegschleudern im festen ungeklüfteten Gestein. (Ob bloßer Schwere- bzw. Gebirgsdruck, verborgene Temperaturspannungen, sonstige Energiereste usw. vorwalten, ist im Einzelfall zu untersuchen.) Den elastischen Entspannungen entsprechen nicht selten Schleuderbewegungen: z. B. Violinseiten, Bologneser Glastropfen u. dgl. *B.* Infolge ( $\pm$  wagrechter) Stauchungsbewegungen: klein und unmerklich, Sonder 224; Spannungs- und Entspannungsbewegungen, Sonder 238; Durchbiegen der Deckschollen und der Kruste (Schuh 8, 109, Sonder 240); elastische Hochdehnung durch Erosionsabtrag bei wagrechter Pressung. Reid erwähnt des (tektonischen) Zurückschnellens bei tektonischen Beben (elastische Schwingungen). „Senkungsfelder“ können einer Hebung entsprechen, indem (Sonder 232) die Flächen hinabgedrückt und nach der Entspannung auflaufen (echte und unechte Einbrüche).

**IX. (Elastische) Bodenschwingungen und -schwankungen,** Beben (Seismik), Grundursache: Elastizität; lot- bis wagrecht, sowie drehend, wellenartig; langsamst bis raschest, unmerklich bis merkbar und plötzlich (explosiv schleudernd), eng begrenzt und erdumspannend (Weltbeben);  $\pm$  mit anderen Bewegungen (z. B. Gleitungen) verbunden; Druck, Pressung, Zerrung, Zerreißung, Drehung, Hebung, Senkung sowohl durch Innen(Ursachen)- als Außen(Anlaß)kräfte natürlichen oder künstlichen Ursprunges oder Veranlassung, etwa auch vereint; freie, erzwungene und Verdrehungsschwingungen; Erscheinungen nach Vorläufer, Hauptphase, Nachläufer. Irdische (dynamische, tektonische, vulkanische [magmatische]) Schwingungen (in allen Aggregaten) und außertellurische; letztere, also nicht eigentliche makroseismische Erdbeben sind: *A.* die mikroseismische Unruhe, bei unregelmäßigen Perioden und Amplituden: Pulsatorische Oszillationen (Pendelunruhe), jährliche und tägliche Perioden, Bewegungen in der Lufthülle: Winde und Mitschwingen bei Barometerwellen; und *B.* Lotschwankungen bei Regelmäßigkeit (bradyseismische Bewegungen). Die Abweichungen der Lotlinie bestehen in halb- und ganztägigen Bewegungen der Sonnen- und Mond-Tagperiode und in Nullpunktbewegungen, doch sind sie keine Elastizitätsschwingungen. Die vulkanischen Beben sind auf Bewegungen

des Magmas und seiner Gase in den Schloten und Nestern rückführbar, beschränkt; auch tektonisch-vulkanisch. A. Natürliche Erschütterungen oder Stöße (Erdbeben), Bodenunruhen durch tektonische, vulkanische Dislokation, unterirdische Einstürze: tektonische, vulkanische und Einsturzbeben; Seebeben; Abreißen oder Abbrechen (in der Erdrinde) gibt Reibungsvibrationen oder Stöße, Brontidi (Geräusche), Donnern; Spuren fossiler Beben. Kryptovulkanische Beben: tektonisch-vulkanisch (unrein intrusiv oder unrein magmatisch; Sölch 125). Tektonische Erschütterung (Schuh 28, 65); Bruch- und Faltungsbeben; tektonische Vorgänge: bewegungsfördernd für Salzauftrieb, Anlässe für Rutsche, Stürze usw.; Bayern viele Einsturzbeben. — Laska: 1. Ausschwingungen, 2. Anschwingungen, 3. Ausbauchungen. Nebst den Dislokationen können natürliche Schütterungen entstehen: B. a) Aus örtlichen Anlässen (Nahwirkungen): durch langsame bis plötzliche Massenbewegung (natürliche Fallwerke: Wasser-, Bergfälle), Gewitter, durch Spannungsauslösungen: durch Spannungen im Gestein oder Gebirge zufolge aufgespeicherter thermischer, physikalischer, chemischer usw.  $\pm$  latenter Einflüsse: Gesteins- oder Gebirgsschläge zufolge dieser Dehnungsspannungen (oder auch  $\pm$  verbunden mit Auslösung des Gebirgsdruckes, also dynamischer Einflüsse); Reißen im Gletscher-, Inlandeis. b) Künstlichen Erschütterungen dienen als Anlässe: 1. Abbrechende, rascher gleitende, fallende oder stürzende Gegenstände, Blöcke, Schneerutsche, Muren, Lawinen, Rutsche, Stürze ober und unter  $H_2O$ ; Bergstürze geben auch Vibrationsrisse in Kalksteinen. 2. Wasserdruckentlastungen, Wasserentleerungen im Berginnern (Grenchenberg-Tunnelbeben; Quervain). 3. Sprengungen, Explosionen (Schießplatzerscheinungen; Hecker). Die Erschütterungen beim Sprengen machen auch Gase frei; bisweilen werden gewaltige Mengen (Salz, Kohlen) herausgeworfen (Krusch, Scherer 1911; Kaliwerk). 4. Stabile Maschinen: an der Maschine selbst, an der Umgebung, an den Bauten; Pendeln von parallel laufenden Wechselstrommaschinen; Eigenschwingungen; Ribbildungen. 5. Künstliche Fallwerke. 6. Verkehrsmittel: Menschen, Tiere, Straßen-, Bahnfuhrwerke; Luftfahrzeuge [Londoner Zentralbahn (Deutsche Bauz. 1901, 121; Zeitschr. f. Transp. W. 1901)]; Bergwerke. 7. Örtliche Einstürze bei ober- und unterirdischen Bauten und Bauen. 8. Örtliche Winde, Stürme (Mauer-, Schornstein- und Turmschwankungen); Schallwirkungen, Schwingen großer Glocken unmittelbar und mittelbar. 9. Örtliche Brandung. C. Aus fernen Anlässen: 10.  $\alpha$ ) Temperatur-Seiches von Luft,  $H_2O$ , Magma, Erdrinde (Temperaturschwankungen) über größere Gebiete (meteorologische Anlässe); Anziehung von Sonne und Mond usw. in verschiedenen Konstellationen (Erdzeiten zweierlei: a) oberer Teil der Kruste, b) ganzer Erdkörper), sowie hievon abhängig Gezeiten (Ebbe, Flut); astronomische Anlässe: Bodenunruhen, Pulsationen brachy-, tachyseismische. Erde durch Sonne nicht gleichmäßig erwärmt: täglich 1 bis 2 m tiefe, jährliche bis 20 m tiefe Variationen. Jahreswechsel der Hügelseite periodisch, unperiodisch, Faltung oder Absinkung. Wasserdruckschwankungen bei Ebbe-Flut, wodurch die Pegelhäuser Cranz, Brunhausen periodisch gehoben und gesenkt werden. Scheinbare Lotschwankungen (Pumpeneinwirkungen, Potsdamer-

pfeiler); berstendes Mauerwerk für Pegelhäuser (Swinemünde). — „Festpunkt“-änderungen tektonisch und nichttektonisch sowie noch unerklärte Schwingungen von Torfböden bei Verkehr von Eisenbahnzügen von 10 bis 80 *km* Geschwindigkeit. Wasserschwingungen wie I, b (Wirkungen); aufsteigende Druckluftblasen (in Röhren) verhindern oder schwächen durch ihre Elastizität die Fortpflanzung von Sturmwellen (Kalifornien Anwendung). — Scheinbare Schwankung: Die Lage der Scholle gegen das Lot (nicht das Lot) ändert sich: tägliche und jahreszeitliche Periode (Hebung). Wahre Lotbewegungen. Seismische Bodenunruhe.  $\beta$ ) Langperiodische Bewegung und Neigungsänderung bei hohem Seestand zufolge Springflut oder Sturm.  $\gamma$ ) Unregelmäßige Bewegung, Wellenperioden 45 Sekunden bis 3 Minuten; (unmittelbar oder mittelbar durch Frost).  $\delta$ ) 10'' bis 1' Wellenperiode; durch Reibung des Windes an der Erdoberfläche.  $\epsilon$ ) 4'' bis 10'' Wellenperiode, von den Brandungen an den Steilküsten Westeuropas herrührend.

**X. Gebirgsdruckbewegungen.** Die verschiedenen Bewegungen im Gestein und den Gebirgsmassen erscheinen als solche der Vergangenheit, deren Folgen  $\pm$  zu ersehen, sowie solche, die noch heute statthaben und die mit Bewegungen zusammenhängen, die  $\pm$  in Einzelheiten verfolgbar sind. Mineral-, Gesteinsfestigkeit und Gebirgsfestigkeit nebst Deformationen kommen dabei in Betracht. Die Herkunft jener erdumspannenden, gewaltigen Kräfte, welche, die Erdkruste beeinflussend, die mächtigen Ketten-, Schollen- und Rumpfschollengebirge (Faltung + Schollenbildung) tektonisch aufbauen, Hunderte von kilometerlangen Spalten und Spaltenzonen unter Erdröhnen und Schüttern aufreißen, ferner jener allmählich wieder das zerstörte Gleichgewicht in der Erdkruste anstrebenden (isostatischen) Kräfte, weiters die geringeren mit den Vulkanausbrüchen offensichtlich im Zusammenhang stehenden Kräfte sowie schließlich auch die  $\pm$  noch bescheidenere Größenordnung erreichende Gebirgsschwere ist noch nicht übereinstimmend erklärt. Vielseits werden die vorstehenden Kraftäußerungen immer mehr als allgemeine, bloß graduell verschiedene zentripetale Schwerkräftsausübungen und ihrer Umsetzungen bis zur zentrifugalen Richtung angesprochen.<sup>1)</sup> Immerhin kann die mittelbar umgesetzte Schwerewirkung, die „Gebirgsbildungskraft“ von der unmittelbaren Schwerewirkung unterschieden werden. Während nun auf die erste Gruppe meist nur aus den rückgelassenen Formen der Wirkungen oder (bei der Isostasie) auf Grund der ermittelten Schweremessungsunterschiede geschlossen werden kann, läßt sich die letzte Gruppe unmittelbar aus den bei künstlichen Herstellungen auftretenden Erscheinungen und zahlreichen Beispielen in der Natur erkennen. Vielfach sind die hier zu besprechenden Vorkommnisse  $\pm$  bereits mit den schon früher besprochenen Geschehnissen auf anderer üblicher Bezeichnung oder Grundlage angeführt, z. B. beim Auftrieb,

<sup>1)</sup> Lehmann K. läßt z. B. aus dem best durchforschten, genauest aufgenommenen und dargestellten, bezw. vielfach richtiggestellten und aufgefaßten rheinisch-westphälischen Steinkohlengebirge (Glückauf 1920) aus den Vorgängen geologischer Tröge: aus dem paläozoischen Längstrog (Karbonstrog), dem mesozoisch-känozoischen Quertrog (saxonischer Trog), aus den Wirkungen der Druck- und Zugkomponenten der Schwerkraft das Steinkohlengebirge entstehen.

bei Senkungen, bei elastischen Spannungen usw. *A.* Allgemeine Gebirgsbildungsdruck- und Zugbewegung, Dislokationsbewegungen (tekt., vulk., magm., isost.). Wag- bis lotrechte Verschiebungen, Änderungen in der Druck- und Zugverteilung.<sup>1)</sup> Werden die an (tektonischen) Erdbebenspalten und an Verwerfungen in Bergbauen angeblich vorkommenden tektonischen Bewegungen — letztere aus mehrerlei Gründen, insbesondere mangelnder Genauigkeit und mangelnder wiederholter Überprüfung nicht einwurfsfrei — sowie aus sogenanntem Präzisionsnivellement (?) zu entnehmenden Werte vorläufig noch außer Betracht gelassen, so sind eigentlich noch keine sicheren Messungen heutiger wagrechter Bewegungen vorhanden. Teller meinte zwar vom Karawankentunnel, daß wahre tektonische Bewegungen von SSW nach NNE bis heute (1911) kennbar sei, daß noch die Kräfte fortwirken, welche das Oberkarbon zu steilen Falten aufgestaut und nach N überschoben haben. E. Sueß bedauert, daß es unmöglich erscheint, die fragliche Ansicht Tellers zu überprüfen.<sup>2)</sup> *B.* Örtlicher Gebirgsdruck- und -zug; Massendruck; Gebirgsschwere (dynamischer Gebirgsdruck und -zug) aus der überliegenden Gebirgslast, also aus der unmittelbaren Schwere allein entstehend. Es bildet sich bei den meist üblichen Tiefen über dem Hohlraum bei selbst nur wenig bindiger Beschaffenheit des Gesteins vorwiegend nicht bloß eine im Lotrechtquerschnitt parabolische Abtrennungsform von gewisser Höhe<sup>3)</sup>, sondern außerdem außerhalb derselben unter der weiteren Gebirgslast rechts und links des Hohlräumes eine Zunahme der Pressung, die sich in Ulmen und Sohlen zur weiteren Äußerung ausbilden kann. Unterschied zwischen Gesteins- und Gebirgsfestigkeit meist wesentlich; Wasserdruck; seitliche Einpressungen, Eistauungsdruck, Salzdruck, Scherlinge, Stauchungen. Keine scharfe Grenze unterirdisch zwischen Gebirgs- und Gasdruck. Äußerung des Schweredruckes in nachgiebigen Massen. Werden künstliche Hohlräume nicht kräftig genug gegen den immer anfänglich und auf lange Zeit anscheinend sehr mäßigen, aber doch allmählich unaufhaltsam stärker werdenden Gebirgsdruck verübergehend meist durch provisorischen Einbau (auch ohne solchen) oder bleibend durch definitiven (meist aber doch zu schwachen) Ausbau zu sichern getrachtet oder nimmt der Gebirgsdruck übermäßiger als gedacht zu, so nimmt seine Äußerung: die Bewegung zu: in der Firste, in der Firste und den Seitenstößen, schließlich auch von der Sohle aufwärts zu, Erscheinungen, die mit dem Material und der Größe des Gebirgsdruckes im Zusammenhang stehen. Bei bestimmter Schichtung, Klüftung, einseitig größerer Nachgiebigkeit in den Ulmen usw. können auch einseitige Bewegungen vorherrschen. In Gruppe V. A. a. 2,  $\alpha_2$ , Seite 79, Senkung in unterirdischen Räumen

<sup>1)</sup> Als Kräfte des Erdinnern können gelten: Schwerkraft, ungleiche Dichten des Erdinnern, Erdwärme, Ausgleichsbewegungen, Wärmeabgabe und Zusammenziehung, Radioaktivität, Erdumdrehung, Verlegung der Erdachse und Pole. — Auf irgendwelche Einzelheiten der Bewegungen und deren Formen hier einzugehen erscheint unmöglich und muß auf die reiche Literatur hingewiesen werden.

<sup>2)</sup> Leider werden verschiedene Messungen in Bergbauen nicht weitergeführt und verlieren daher ganz ihren Wert.

<sup>3)</sup> Vgl. P. Bodensenkungen. Ztschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-V. 1919, S. 255 ff.

von innen betrachtet, ist das Hereindrängen bei festen felsigen (meist geschichteten oder geklüfteten) Massen, wo bei genügender Festigkeit der Sohle (oder nicht zu starkem Druck) kein Auftrieb stattfindet, betrachtet.

Besonders schön und deutlich ist aber das Zusammengehen und „Zusammenwachsen“ der Stollen und Auslaugräume im Hasel- und Leber-Gebirge, z. B. im Salzbergwerk am Dürnberg bei Hallein, zu beobachten, das seit Jahrhunderten im Betriebe steht. Dort wird auch den gewöhnlichen Touristen auf der üblichen Besuchsstrecke eine Stelle gezeigt, wo das über 2 m hohe trapezförmige unversichert anstehende jetzige Betriebsstollenprofil seitlich in der Ulme, ein ehemaliges

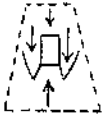


Bild 12.

ähnliches Stollenprofil (strichliert in Bild 12) von oben nach abwärts (3 Pfeile), von unten nach aufwärts (1 Pfeil) und seitlich hereingedrängte (plastische) Massen, dazwischen die voll ausgezogenen sich verlaufenden Trennungsflächen (Harnische) aufweist und wie das Bild 12 andeutet, auf einen kleinen rechteckigen (voll ausgezogenen) Hohlraum von

wenigen Dezimetern aus dem ursprünglichen Trapezprofil mit schmaler (nicht 1 m breiter) Firste und stark geneigten Wänden (Ulmen) zusammengedrückt worden ist. Im heutigen Stollen liegen rechts und links neben dem bedielten Karrenweg oder dem Rollbahngleis meist die Holzröhrenleitung für die abzuführende gesättigte Sole und die Eisenrohrleitung für das einzuleitende Süßwasser. Die Strecken sind größtenteils vollständig trocken, wohl zufolge des Schutzes durch eine starke Dolomitüberlagerung des Gebirges sowie den von Salzauslaugungen erübrigten Tonen älterer Zeit und sind streckenweise alle Arten Holzsicherungen, seltener Vermauerungen, letztere mehr gegen das Ausgehende der Stollen zu sehen. Die aus meist 20 cm starken entrindeten Rundholzsicherungen bestehen entweder als eingebühnte Kappen oder Kappen und einer Ulme oder beiden Ulmen mit Bretterverzug, dann mit zweiteilig gespalteten, also halbrunden Stempeln oder vollen Rundstempeln nicht selten Mann an Mann gestellt, doch ohne Sohl-schwellen. Die Stempel sind entweder auf kurze Pfostenstücke gestellt oder es läuft parallel zur Stollenachse zwischen zwei Stempeln je ein Holz unter denselben durch. Da die eintretenden Bewegungen nur sehr langsam (monate- und jahrelang) sich äußern, sind die Verpfählungen überall bloß eingelegt, nicht eingetrieben und auch keine Keile usw. verwendet. Man läßt es nirgends so weit kommen, daß durch den Druck z. B. die Stempel angebrochen werden, sondern wechselt sie nach einer gewissen unschädlichen Einbiegung aus. Am besten ist natürlich das Hereindrängen des Gebirges in völlig freistehenden ungebölzten und in bloß leicht verzogenen Strecken zu beobachten. Wo vollständiges Nachnehmen von Firste, Seitenstöße und Sohlen stattfindet, um das frühere Stollenprofil wieder herzustellen und wo die Nachnahme an die früheren „zusammengegangenen“ Stollenquerschnitte stößt, die ringsum im Profil eine Stufe oder einen ausminierten Absatz ergibt, ist das Herabdrücken der Firstkappen nebst den beiden Tragstempeln an der dort in der Firste sich ergebenden (First-)Stufe zu sehen; wo die Stempel  $\pm$  vom eindringenden Hasel- oder Leber-Gebirge umschlossen, sind auch deutlich die Gleit- oder Riefen-

spuren des hinter dem Stempel rascher abwärts wandernden Bergmaterials beim Wegnehmen des Stempels in gleicher Weise spiegelnd zu finden, wie dies bereits der Verfasser vom Jablunkauer- (2. Mosty-)Tunnel<sup>1)</sup> im weichen Schiefer in einer Skizze darstellte.<sup>2)</sup> Auch die besonders bei den Gebirgsschlagerscheinungen im festen (ungeklüfteten) Gestein auftretenden Schalenabtrennungen<sup>3)</sup> zeigen sich in ähnlicher immerhin aber doch etwas durch die Materialbeschaffenheit beeinflusster Form hauptsächlich in den Ulmen und nächst der Sohle. Während die Elastizität und Duktilität des festen Gesteins unter Druck je nach dem Gestein auf eine gewisse Fläche verteilend, das Abspringen (unter  $\pm$  Geräusch) in dünnen Rinden ziemlich parallel zu den Hohlraumflächen bedingt, läßt sich mehr plastisches Gestein, wie das Haselgebirge unter dem Schwerdruck verdichten, drängt mehr in der unteren Stollenwandhälfte sich von der Ulme ab und trennt (Bild 13) sich nach *a b* vom hereingepreßten, etwas zurückbleibenden keilartigen Schollenteil *a c* ab; ein Teil der Massen *d e* hebt sich bei *e* von der Fläche *f g* von der tiefergelegten, nachgenommenen Sohle *h i* hebelartig drehend nach einwärts aufwärts in unebener rauher Abhubfläche (nicht Verschliff!), Fläche ohne Riefen ab, etwa wie die beiden Pfeile zwischen *d f* und bei *e* andeuten; auch an der rechten Ulme (Bild 13) zeigen sich diese Vorgänge. Am deutlichsten sind die Bewegungen an den ganz ungebohrten Ulmen zu beobachten und sind dort auch zahlreiche die spitzen Teilwände *a b c* an beiden Stößen nicht selten zwei- oder dreimal schalenartig übereinander in die Strecke in kleineren oder größeren Stücken hereingefallen, ein gutes Bild der Lamellierung ohne Aneinanderreibung, sondern Klaffung. Unter der auftriebenden Sohle hingegen werden unter der Einwirkung der nach dem freien Stollenraum ausweichenden gequetschten Massen etwa nach der schematisch mit *k* und *l* Pfeilen angedeuteten Umkehrung der Bewegungen (von abwärts nach aufwärts) zahlreiche spiegelnde Trennungsf lächen sich zeigen.<sup>4)</sup>

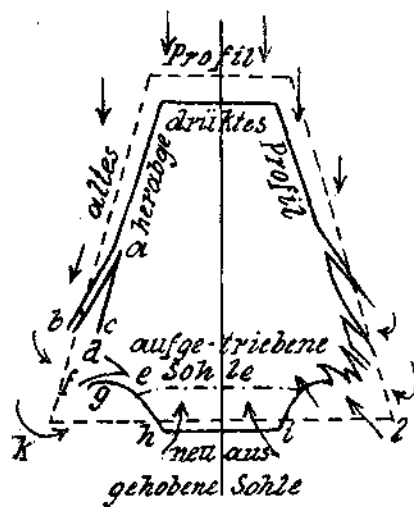


Bild 13.

<sup>1)</sup> Über Quellung oder „Blähen“. Vortrag; Verh. d. Geol. R. A. Wien 1916, S. 106. Die kennzeichnende Photographie des künstlich abgelösten glänzenden Harnisches erscheint demnächst a. p. O. Die Steinindustrie Berlin, 1925.

<sup>2)</sup> Erwähnt sei — daß mit Ausnahme des obersten Chefs der Salinenverwaltung in Hallein — alle Bediensteten (1922) das Hereindrängen und Zuwachsen nicht als Druck, sondern als Volumvermehrung („Blähung“) ansahen.

<sup>3)</sup> Vz. P. Über Gesteins- und Gebirgsschläge. Österr. Wochenschr. f. d. ö. Bau- dienst 1917, Taf. 23, die Phot. 1, 2, 3.

<sup>4)</sup> Verh. 1916, Abb. 1 und 2 sind mit  $R_1$  und  $R_2$  in der Sohle, die zahllosen Harnische mit Stempelbrüchen und Kappensenkungen bzw. Sohlenauftrieben ersichtlich.

**XI. Dampf- und Gasdruckbewegungen.** Die mit Dampf- und Gasausbrüchen allgemein in Beziehung tretenden Bodenbewegungserscheinungen lassen sich nach den Hauptursachen theoretisch etwa in drei Gruppen gliedern: *A.* Bewegungen hauptsächlich infolge der Spannkraft der Gase und Dämpfe. *B.* Meist zufolge von Schwere- (oder tektonischen?) Gebirgsdruck (Treiben, Auftrieb, Gesteinsschläge oder Überlastung, Wachsauftrieb usw.), wobei Gas oder Dampf vorwiegend nur als Begleiterscheinung zu betrachten. *C.* Verbindungen oder Übergänge von *A* und *B*. — Praktisch wird es aber oft schwer fallen ein Klassenschema einzuhalten, da mehr die Wirkungen zu beobachten, die inneren Ursachen hingegen oft schwer festzustellen sind, da der häufig gefährliche bis explosive Charakter genügendes Beobachten oder Betrachten der Vorgänge selbst meistens ausschließt und Rückschlüsse aus den oft sehr spät zu ermöglichenden Wirkungserhebungen zweifelhaft sein können. Weiters sind auch die mannigfachen Wirkungsformen und des Auftretens, wonach der Gasdruck in unterirdischen Bauen von oben bis unten, vom Feldort oder Abbau usw. kleinere bis größere Massen kaum merkbar bis plötzlich in Bewegung bringt, die auch den Erscheinungen des Gebirgsdruckes, Böschungsdruckes sowie ähnlichen Vorkommnissen vielfach gleich sind, so daß jede Unterteilung, wie auch bei andern Bewegungen einer gewissen Willkür unterliegt, demnach ein Übergreifen leicht eintritt. — Zu *A* können Äußerungen gestellt werden, die mit Gas- (Spannungen-) Ausbrüchen in Kohlen-, Salz-, Kalisalz- und anderen Berg- und Tunnelbauen, bei Bohrungen, bei Gasauftrieben (Inselbildung, Mudlumps, Gasschlammgesprudel, Wachsauftrieben usw.), bei vulkanischen Ausbrüchen und Auftreten von Magma, Lava, heißen Quellen, Dampf usw. verbunden sind. Gase sind ungesättigte oder „überhitzte“ Dämpfe, aus Flüssigkeiten mit sehr tiefen Siedepunkten entstehend. Erd- oder Naturgas, Holz-, Steinkohlen-, Sumpfgas usw. kommt häufig vor (Bosruck-, Karawankentunnel). In den Kohlenflözen (z. T. im Salzgebirge) erscheinen vorwiegend: Grubengas (Methan  $CH_4$ ) und Kohlensäure (leicht explodierbarer Kohlenstaub). Gasaustritte erscheinen vielfach an Brüchen. Gase sammeln sich in Antiklinalen, und sind dort gasreiche, wasserdurchtränkte Schichten vorhanden, so sind die Bedingungen für Schlammgesprudel oder -vulkane gegeben (Derbent). Die meisten gewöhnlichen und mit Bezug auf vulkanische Ereignisse kleineren Gasausbrüche treten in Kohlenruben auf und ist bekannt, daß mit Gebirgsschlägen oder Pfeilerbrüchen häufig große Gasmengen frei werden. Im Steinkohlenbergbau werden unter Gasausbruch Erscheinungen zusammengefaßt, die nach der Art des Auftretens voneinander abweichen. Eine Gruppe umschließt die sogenannten Bläser. Eine andere besonders in England zeigt Aufbersten des Liegenden längs des Kohlenstoßes und Austreten großer Gasmengen, vielfach mit  $H_2O$  vermischt aus der Spalte<sup>1)</sup> oder daß beim Zubruchegehen des Daches über Auskohlungen, Grubengas aus dem

<sup>1)</sup> Nach Schausten, Gasausbrüche usw. Zeitschr. f. d. B. H. u. S. W. im Pr. St. 1910, S. 1 ff.; ob diese Sohlenaufbrüche mit den Begleiterscheinungen nicht hauptsächlich „Auftrieb zufolge Gebirgsdruck“ darstellen, mag dahingestellt bleiben.



Hangenden in die Grubenräume gelangt. Die meisten solcher Gasausbrüche pressen oder schleudern mit den Gasen verschiedene Mengen  $\pm$  zerstäubter Kohle in die Baue. Der Gasdruck in der Kohle kann auf 20 bis 40 Atmosphären und darüber steigen. — Das Grubengas verbrennt zu Kohlensäure und  $H_2O$ :  $2 CH_4 + 4 O_2$  gibt  $2 CO_2 + 4 H_2O$ . Nach einer „Schlagwetterverbrennung“ enthält danach die Grubenatmosphäre vor allem  $CO_2$ ,  $H_2O$  Dampf und  $N$ ; nach Abkühlung und Dampfkondensation verschwindet zwei Drittel des Gasvolums: deshalb werden bei einer Schlagwetterexplosion immer zwei kurz aufeinander folgende Schläge gehört, wovon der erste von der zufolge Erwärmung eintretenden Ausdehnung der Gase herkommt, der zweite von der zufolge Dampfkondensation sich vollziehenden Volumenverminderung. Die Heftigkeit der Explosion ist vom Mischungsverhältnis Gas, Luft bestimmt. Gewöhnlich ist das Gas innig in der Kohle eingeschlossen: beim Fortschreiten des Abbaues erzeugt der Gasaustritt ein kochendes oder „krebendes“ Geräusch. Die Barometer- und Methangehaltskurven laufen ziemlich parallel und erlauben eine Reihe von Schlüssen. Kohlensäuregase werden häufiger in Braunkohlengruben gefunden. Nach A. Becker (1907) haben mindest bei einem Teil der Gasausbrüche die Gebirgsdrücke zufolge Abbau stellenweise eine örtliche Erhöhung der in der anstehenden Kohle und darin enthaltenen Gasen herrschenden Spannung bedingt, die sich dann im Gasausbruch ausgleicht. — Vor den Gasausbrüchen werden Knalle oft mehrere und längere Zeit hindurch gehört: wohl Spannungsauslösungen durch Bruch. Bei den Gasausbrüchen wird dem Gebirgsdruck und den Gebirgsschlägen Augenmerk zu widmen sein. In einem Falle (Ost Waldenburg) war vor Ort einer Strecke von 2 m Höhe und Breite das feste Gebirge 7 m weit wie ein Pfropfen zurück in die Strecke gedrückt. — H. Potonié beschrieb eine im Öglsee durch Gasdruck entstandene Insel (1911). Der seit Menschengedenken erloschene Bandaisan (Japan) hatte am 15. Juli 1888 eine furchtbare Dampfexplosion, die Gipfel und Nordseite wegsprengte und einen 383 ha großen Krater schuf.

**XII. Springbewegung, „Gebirgsschläge“.**<sup>1)</sup> Die hierher gehörigen schon einige Male gestreift Gesteinsspringbewegungen in Steinbruchtag- und Bergbauen sowie Tunnelbauten und anderen Anlässen (z. B. „knallende“ Bordsteine bei Senkungen) sind zwar schon längst bekannt<sup>2)</sup>, doch ist noch nicht in allen Fällen über Ursache und Anlaß Übereinstimmung der Ansichten der Fachleute gewonnen, obwohl bei gründ-

<sup>1)</sup> Über Gesteins- oder Gebirgsschläge. Von V. P.: Öst. Wochenschr. f. d. öf. Baudienst, 1917, Heft 11—14 mit Literatur. Steinbruch und Sandgrube 1925, Heft 1—4 (Halle). — Von den zahlreichen Bezeichnungen, z. T. auch Unterscheidungen, seien noch hervorgehoben: K. A. Weithofer, Jahrb. d. Geol. R. A. 1914, S. 99, begründet die Bezeichnung „Gebirgsschläge“; andere sind: Springende Felsen und Steine, schlagendes oder brechendes Gebirge, Gebirgsstoß oder -schlag, Knallgebirge, Pfeilerschüsse und -brüche, Bergschüsse, Explosionen, Kohlenstoßexplosionen, Brennerscheinungen, Gesteinsschläge, Detonationen, Absprengungen, Sprengschalen; englisch: bumps oder goths (auch bowk, grump, burst, pluck, airblast, quakes); französisch: bendons, autoklases usw.

<sup>2)</sup> Z. B. Bergschlag im 1000jährigen Erzbergbau Goslar 1795.

licher Untersuchung — wenn dies möglich — viele Vorkommnisse heute kaum mehr eine wesentlich verschiedene Auslegung erfahren können. Kennzeichnend erscheint, daß bei Untersuchungen „spröder“ und „harter“ Gesteine in den Festigkeits- oder Zerdrückungsmaschinen lebhaftere Detonationen verwandter Art stattfanden, während weichere: Sandsteine, oolitisch-erdige Kalke lautlos zerbarsten. Unter „schlagendem“ Gebirge ist das selbsttätige Lostrennen und Lossprengen von dünnen Schalen oder Platten kompakter Gesteine in Steinbrüchen über tags und unterirdisch hergestellten Hohlräumen, selten nahe der Erdoberfläche (vgl. Schiller: Knallschiefer; Geologische Rundschau, 1924) verstanden; solche Erscheinungen treten auch als Pressungsfolgen bei Pflasterungen u. dgl., sowie ungleichmäßigen stärkeren Erwärmungen vor; die „Erdwürfe“ Livlands sind eine Frosterscheinung. Vielfältig werden Geräusche vom feinsten Knistern bis zum schußartigen Knalle und Doppelknalle beobachtet.

Tagbauten. W. H. Niles beobachtete in einem kluffreien, homogenen Gneis eines Steinbruches bei Monson (Massachusetts), wo große Werkstücke gewonnen werden, kleine lange „Miniatur-Antiklinalen“, die mitunter im First plötzlich unter Knall aufbrachen, wobei Staub und Steine aufwärts geschleudert wurden. Ein andermal wurde eine kreisförmige Gesteinsmasse 30' Durchmesser 1' dick aus dem Boden herausgeworfen, wobei die Stücke einen 3' hohen Hügel gaben; es wurde Ausdehnung des Gesteins verzeichnet durch eine gegenseitige Verschiebung beider Hälften der Bohrlöcher, die zum Abtrennen eines größeren Blockes in einer Reihe angelegt waren. Hankar-Urban erwähnt aus den Porphyr-Pflastersteinbrüchen von Quenast (Belgien) hierher gehörige Erscheinungen und fallen meist die Spannungsauslösungen mit der Explosion der Sprengladungen zusammen. Die Bendons werden an den treppenförmig übereinanderliegenden Gewinnstellen seit mehr als einem langen Menschenalter beobachtet. F. Delhaye (1908) schildert ausführlich die Bewegungen in den verschiedenen Kalken von Carrara und teilt auch E. Sueß seine Meinung mit.

Berg- und Tunnelbau. Bechtle berichtet über die „Brennerscheinungen“ „infolge vorhandener Spannungen“ im Gestein, der Kehrtunnel der Gotthardbahn (Schweiz. Bauz. 1890, XVI), denen dann viele Arbeiten bis in die Neuzeit folgen.

Folgerung für die Gebirgsschlagentstehung.<sup>1)</sup> Aus der gesamten Übersicht aller bisheriger Erscheinungen, mögen auch die Anschauungen der Forscher  $\pm$  (theoretisch) begründet oder nicht begründet sein, geht hervor, daß eine allgemein gültige Erklärung für die vorgeführten Ereignisse nicht aufstellbar ist, sondern daß, wenigstens noch vorläufig, für sich genau und erschöpfend, einwurfsfrei tunlichst messend untersucht werden muß. Was Terzaghi betreffs vorwaltend unzulänglicher Beschreibungen anführt, gilt auch für alle hier einzureihenden Beobachtungen und Betriebe.

1) Vz. P. Steinbruch und Sandgrube 1925.

### Schlußbemerkung.

Aus sämtlichen hier aus Raummangel nicht vorgeführten Beispielen geht hervor, daß fast überall physikalische, geologische, petrographische, mineralogische wirkliche Aufnahmen und auch Versuche zur möglichst einwandfreien Beantwortung der Ursachenfrage sowie der Anlässe fehlen. Erst, wenn wenigstens mehrere deutliche Vorkommnisse nicht bloß individuell gefühlsmäßig wie bisher, sondern zweifelsfrei physikalisch und zur Überprüfung noch nach anderen Verfahren festgelegt sind, wird es durch moderne ziffernmäßige und besonders auch durch viel deutlichere graphische Vergleiche möglich sein, ein begründetes besseres, der Wahrheit näher kommendes Urteil zu schaffen.

Aus diesem Grunde veröffentlicht der Verfasser unter einem gleichzeitig in der Zeitschrift für Praktische Geologie einen einschlägigen aber kurzen Aufsatz: „Über die Unzulänglichkeit der Untersuchungen über die Beweglichkeit bindiger und nicht-bindiger Massen; verbesserte Verfahren“, belegt mit einem älteren besonders wichtigen Beispiel der „Basalterden“ auf der Bahn Bebra—Hanau und Treisa—Malsfeld (Vogelsberg!), in welchem ganz besonders beweglichen, „gleitsüchtigem“, elektrolytreichem Gelände die jetzt im Studium stehende Rheinkanalparalleltrasse zu liegen kommen soll, sowie eine größere und ausführlichere sowie ergänzende Arbeit in den: Abhandlungen zur praktischen Geologie und Bergwirtschaftslehre; herausgegeben von Prof. Dr. Berg, Berlin, Geologische Landesanstalt. Obwohl schon die (landwirtschaftlich-forstliche) Bodenkunde, weil ihr vielleicht durch die etwas zu stiefmütterliche Behandlung in der Gesteinslehre und Geologie allgemach nicht genug geschah, sich selbständig abtrennte, hängt sie z. B. in Deutschland doch sehr und mit Recht auch mit den Geologischen Landesanstalten in gemeinsamer Arbeit zusammen, wie die geologischen Spezialkarten, die darauf bezüglichen mechanischen und chemischen Analysen, Bodentiefenbezeichnungen und Erläuterungen täglich mehr erweisen, was für beide Teile nur von Vorteil sein kann. Ähnliche Beziehungen bestehen auch zum Bergbau, wo z. B., um wenigstens anzudeuten, die Tektonik, Verwerfungen, neuestens auch die Salzhorste in der Tiefe durch eine Signatur usw. zum Ausdruck kommen und Schnitte (Profile) dargestellt erscheinen, in denen nur mitunter allzu schematisch Wirkliches (Gemessenes) vom bloß Vermuteten nicht ersichtlich ist. Im südlichen Deutschland wurden auch Durchlässigkeitskarten sowie wenigstens anderes noch hergestellt. Wesentlich weiteres aber existiert nicht, die sonstige Technik kommt weder in den Karten, noch in den Erläuterungen (höchstens Stein-, Schotter- und Sandgewinnungsstellen) zum genügenden Ausdruck, obschon manches schon seit langem vorliegt, wenn vielleicht auch nur in der zum Teil allerdings öfter nicht ganz entsprechenden technischen Literatur, die merkwürdigerweise sehr selten benutzt erscheint. Es ist aber, sehr zu bedauern, daß die vorstehenden bodenkundlichen und bergbaulichen Arbeiten der Landesanstalten nur einseitig und nicht allgemein benutzbar erscheinen, obschon vielfältig durch gewisse einfache Zugabe von  $\pm$  verstecktem, durch entsprechende Ergänzungsarbeiten (z. B. bei den unzureichenden und unvergleichbaren Schlämmanalysen), durch genügende, aber deutliche Hinweise u. dgl. m. volkswirtschaftlich Bedeutendes zu leisten wäre.



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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt](#)

Jahr/Year: 1925

Band/Volume: [75](#)

Autor(en)/Author(s): Pollack Vinzenz

Artikel/Article: [Versuch einer Übersicht der Massen- oder Bodenbewegungen  
45-95](#)