Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.a

Bewegungen in losen Massen.

Von E. Reyer.

Inhalt: I. Schlammströme. — II. Rutschungen. — III. Böschung und Abklüftung — IV. Druckdifferenzen, Störungen des Gleichgewichtes; Undulatorische Bewegungen, welche heteromesischen Wechsel verursachen. (Versunkene Wälder u. a.)

I. Schlammströme.

Unter den Massenbewegungen, welche wir an der Erdoberfläche beobachten, nehmen eine hervorragende Stellung die Schlammströme ein. Wenn die Giessbäche im Frühjahre anschwellen, so trägt die stark bewegte Fluth massenhaft Schlamm und Grus mit sich; hierdurch wird das Wasser mitunter geradezu in einen Brei verwandelt; es entsteht ein Schlammstrom [1]). Es kommt aber auch oft vor, dass mehr minder steil gelagerte lose Massen von Regen und Quellen durchweicht werden und in Folge dieser Auflockerung in's Fliessen kommen. Diess ereignet sich unter andern in Moorgebieten. Als Beispiel führe ich einen Moorstrom von Belfast (Irland) an, welcher seinerzeit von Hunter beobachtet wurde [2]). Der Autor berichtet: Nach anhaltenden Regengüssen bemerkte man, wie das Moor sich an einer Stelle in der Mitte hob. Nachdem die Masse bis zu einer Höhe von etwa 10 Meter angeschwollen war, barst sie und mit Brausen brach ein Schlammstrom hervor, welcher langsam im Sinne der Neigung sich fortwälzte. Der Strom wanderte mit einer Breite von 50 bis 100 Meter dem Flussthale zu. Je nach der Neigung des Bodens rückte er mit wechselnder Schnelligkeit vor. Bald war seine Bewegung wenig bemerkbar, bald eilte er wie eine Stromschnelle vorwärts. Nach einigen Tagen und nach Durchmessung einer Strecke von etwa einem halben Kilometer langte er im Flussbett an. Noch durch etwa eine Woche erfolgten Nachschübe, dann kam die Bewegung in's Stocken. An Stelle der anfänglichen Auftreibung sah man nun eine runde, mit trübem Wasser gefüllte Einsenkung im Moor-Lande.

Wie die Moore, so verhalten sich auch andere lose Massen, welche in geneigter Lage von Gewässern durchtränkt werden. Sand, Mergel,

[1]) Vergl. Saussure: Voy. §. 485.

[2]) Hunter: Mag. of nat. hist. 1836; Lyell: Princ. 1. Aufl. II. 193; Hoff: Nat. Veränderungen 1834. III. 30 f.; Henz: Erdbau 1856.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Lehm, Tuff und Mischungen dieser Stoffe sind derartigen Bewegungen unterworfen.

Das Gebiet der Schlammquellen (Salsen) im Apennin liefert in jedem Frühjahre kleinere oder grössere Beispiele[1]); auch Vulkane senden Schlammströme aus, wenn die, eine Eruption begleitenden Gewitterregen besonders reichlich niederstürzen und die Tuffmassen der Gehänge tief durchweichen[2]).

Abgesehen von der Entstehungsursache und dem Material sind die erwähnten Stromarten in ihrer Wirkung ziemlich übereinstimmend. Die Wucht des Stromes ist unwiderstehlich. Wälder und Strassen werden auf dem Rücken der Schlammströme getragen[3]), mächtige Steinblöcke und zertrümmerte Häuser werden mitgewälzt und oft weit transportirt.

Die Schlammströme verhalten sich in dieser Beziehung also nicht etwa so wie fliessendes Wasser, sondern viel eher wie Gletscher oder Lavaströme. Dies erklärt sich, wenn wir berücksichtigen, dass der Schlamm eben zum grossen Theile aus steinigen Partikeln und nur zum kleineren Theil aus Wasser besteht. Die sich bewegende Masse hat demnach ein mindestens doppelt so grosses specifisches Gewicht, als das Wasser. Die Steine schwimmen also wirklich nahezu; der geringe Betrag, um welchen sie doch noch schwerer sind als der Schlamm, wird reichlich aufgewogen durch den mächtigen Impuls, den sie fortwährend durch den schweren gleitenden und rollenden Schlamm erhalten.

Die relative Verschiebung der Theile wird natürlich so erfolgen, wie bei allen Strömen, Gletschern und Lavaergüssen: die mittleren Partieen legen den grössten Weg zurück; an den Flanken und am Grunde bewegen sich die Theile der grösseren Reibung entsprechend langsamer. Tritt keine starke rollende Bewegung und keine Einstülpung der Oberfläche auf, so können auf ihr leicht Wälder, Hütten und Strassen — allerdings in Trümmer aufgelöst — weitergeflösst werden.

II. Rutschungen.[4])

Den Schlammströmen verwandt und oft mit ihnen verbunden sind die Rutschungen. Meist sind es hier zusammenhängende Schutt- oder Felsmassen, welche auf einer schiefen Ebene vorwärts gleiten[5]).

---

[1]) Vergl. T. Fuchs: Sitzber. Akad. Wien 1877.

[2]) Pompeji wurde durch einen solchen Tuffstrom begraben. Vergl. auch Wolff: Ueber Schlammströme von Ecuador. Jahrb. Min. u. Geol. 1878.

[3]) Gibb's Modell eines Moorstromes (1861), welches im geol. Museum von London aufgestellt ist, zeigt die Trümmer einer Landstrasse, welche über das Moor führte. Der Weg wurde zerrissen, verschoben und verschleppt, versank jedoch nirgends im Strome.

[4]) Ein Lehrgedicht vom Jahre 1606 beschreibt die Bergschlipfe recht gut und sucht die Ursache derselben in der Zerstörung durch die Gewässer und im Erdbeben (Räbmann: Ein lustig-ernsthaft Gespräch zweier Bergen. 1606).

Struve (Physiognomik der Erde, 1802) bezeichnet als Ursache die Erweichung gewisser Schichten durch das Grundwasser. Ebel: Schweizer Reise 1804, p. 332. Viele Beispiele bringen: Klöden (Erdkunde); Henz: Erdbau 1856; Bischof: Geol. 1866. p. 472, 548. Balzer: Jahrb. f. Mineral. 1875; Goudard: Proc. Civil. Engin. 1875, p 223; Tiefenbacher: Erdrutschungen 1880.

[5]) Sind diese Massen stark mit Detritus vermischt und ist dieser durchtränkt, so kann das Gleiten ins Rollen und Strömen übergehen; aus den Rutschungen entstehen dann Trümmer- und Schlammströme.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.a

Manche Gegenden sind derartigen Katastrophen besonders ausgesetzt; dort werden die Ansiedlungen und Weganlagen fortwährend gefährdet und von Zeit zu Zeit partiell zerstört. Ein hartnäckiger Kampf zwischen Kultur und Natur entsteht und nicht selten muss die erstere weichen. Ein grosser geologisch-historischer Blick über die Eigenschaften und Geschicke der bezüglichen Gegend wird entscheiden müssen, ob das letztere gerathen sei oder nicht.[1])

Als Typus führe ich hier die Bergschlipfe an, welche seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts fast jährlich das Nollathal (Schweiz) verheerten. Escher berichtet diessbezüglich[2]):

Vordem war das Thal reich an Wiesen; ein unschädlicher Bergbach floss durch dasselbe gleichförmig dem Rhein zu. Da trat der erste Bergschlipf ein und seitdem wiederholte sich das Ereigniss fast jährlich (am gewaltigsten im Jahre 1807).

Sitz und Ursache der Erscheinung liegen im Thalschlusse, wo der Bach vom Hochgebirge herabkommt. Dort stehen lockere, plattige, schieferige und sandige Gesteine an, deren Schichten gegen das Thal einschiessen. Sie werden überlagert von mächtigen Schuttmassen. Da diese aus eben demselben lockeren schieferigen Material bestehen, verrutschen sie, besonders nach anhaltenden Regengüssen, leicht. Man sieht da und dort grosse Wiesenstrecken sammt den darauf stehenden Häusern sich von dem üppig begrasten Gebirgsabhange losreissen und langsam mehrere Klafter weit herabgleiten.[3]) Durch dieses Sinken und Herabrutschen ganzer Strecken Landes entstehen Spalten und Abrisse in der ehedem gleichförmigen, nun aber zerstört aussehenden Oberfläche und man sieht wohl, dass noch grössere Zerstörungen bevorstehen, denn in den zahlreichen Rissen und Einsenkungen, insbesondere in den von Pflanzenwuchs entblössten Stellen sickert das Wasser ein, durchweicht den Grund und veranlasst bei nächster Gelegenheit neue Schlipfe. Diese aber schütten die Trümmermassen ins Thal und die nachschiebenden Bäche breiten den Schutt haushoch über den ehemals üppig übergrünten Thalboden. Bereits ist der am Ausgange des Thales liegende Ort Thusis gefährdet. Der Rhein wird durch die zugeführten Schuttmassen nach Sils hinübergedrängt, wo er all die schönen flachen Gründe verwüstet; ja einmal wurde er durch die aus dem Nollathal herausgeschobenen Schuttmassen ganz abgesperrt. Damals stauten sich die Gewässer des Rhein hinter diesem Schuttdamme und bildeten endlich einen See, welcher das ganze Land 10 Meter hoch bedeckte; unterhalb des Dammes aber lag das Flussbett trocken.

So berichtet Escher.

---

[1]) Hoff (Natürl. Veränderungen III, p. 19) führt Fälle auf, in welchen gefährdete Ortschaften verlassen werden mussten. Strassen und Eisenbahnen vermeiden womöglich alle hohen rutschgefährlichen Gehänge, da die Anlage von tragsicheren Widerlagern zu kostspielig ist.

[2]) Escher: Ueber Bergschlipfe. (Abgedruckt in Leonhard's Taschenbuch 1821, p 631.)

[3]) Da die Häuser aus Holz gebaut sind, vertragen sie die Verschiebungen, ohne einzustürzen.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.a

In diesem Falle waren es Detritusmassen, welche längs des Gehänges abrutschten. In gleicher Weise können aber auch feste Massen Bewegungen ausführen. Ursache ist in ein und dem anderen Falle entweder die Durchwässerung des Bodens[1]), eine Erschütterung oder eine Verletzung der natürlichen Böschung, durch welche das Gleichgewicht des ganzen Gehänges gestört wird. Diese Gleichgewichts-Verhältnisse und deren Störungen sollen im Folgenden betrachtet werden.

III. Die natürliche Böschung und Abklüftung.

Wenn man einen Haufen glatter Kugeln auf eine glatte Ebene schüttet, verschieben sie sich, bis alle in einer Ebene liegen. Nehmen wir statt der Kugeln Polyeder, so bleiben sie gehäuft. Auch wenn wir die Oberfläche der Kugeln und die Unterlage rauh, buckelig oder zackig machen, kann eine Häufung platzgreifen. Je nach der Gestalt der einzelnen Bestandtheile und je nach der ihrer Oberflächenbeschaffenheit wird die Böschung des Haufens sich ändern. Beide Factoren bestimmen den Grad der Verschiebbarkeit, oder die Reibung der betreffenden Masse.

Ferner wird die Böschung bedingt durch die Gravitation, durch das Eigengewicht der Bestandtheile:

Die Böschung eines Kugelhaufens kann sich bei geringer Reibung erhalten, wenn die Kugeln aus leichtem Material bestehen, er rutscht und fliesst aber auseinander, wenn unter übrigens gleichen Verhältnissen schweres Material angewendet wird. Wie sehr durch all' diese Momente der Neigungswinkel modificirt wird, zeigen die folgenden Daten:

Billardkugeln können wir in der bekannten Pyramidenform aufhäufen, wenn die Unterlage nicht zu glatt ist. Schotter verträgt einen Aufschüttungswinkel von 40, ja 45°, lockere Erde und Sand nehmen eine Neigung von 25 bis 40° an. Fein gepulverte Substanzen vertragen oft nur 20 bis 10° Neigung[2]).

In den vorliegenden Fällen wird die Böschung bestimmt durch die erwähnten Momente: durch Schwere, Form und Oberfläche der Bestandtheile. Häufig tritt noch als wesentliches Moment der innere Zusammenhalt (die Häsion[3]) hinzu.

Trockene Erde, deren Böschungswinkel nur durch Form, Oberfläche und Schwere der Theilchen bestimmt wird, ändert ihre Böschung, sobald

---

[1]) In letzterem Falle wird meist eine wasserführende Schichte, auf welcher die festen Massen liegen, Ursache der Bewegung.

[2]) Fein gepulverte Kohle zerfliesst, wenn man sie noch so vorsichtig häuft, fast nach Art einer Flüssigkeit.

[3]) Ich vermeide die Unterscheidung zwischen Adhäsion und Cohäsion, welche ich in vielen Fällen als illusorische Spitzfindigkeit betrachte. Man denke daran, dass reine Oberflächen äusserst selten in Contact kommen, indem ja unter normalen Verhältnissen jeder Körper von absorbirten und an einer Oberfläche condensirten Gasen begleitet, oft auch von einem Flüssigkeitshäufchen umgeben ist. Ueberdiess spielt die Verkittung oft eine Rolle. In all' diesen Fällen wird es schwer, oft unmöglich, zu entscheiden, was getrennt wurde und welchen Namen man dieser Trennung geben soll.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.a

wir sie durchfeuchten. Die Häsion verwandelt den losen Haufen in einen compacten Körper. Wir können diese Masse nun senkrecht aufthürmen. Die Höhe, bis zu welcher man die Substanz so gestalten kann, hängt ab von der Grösse der Häsion [1]). Betrachten wir derartige Massen, welche in Folge der Durchfeuchtung eine senkrechte Häufung vertragen, so finden wir, dass die steile Böschung nicht in allen Fällen bestehen bleibt; nach einiger Zeit entstehen in dem gethürmten Material Risse, es rutschen Prismen ab und es hinterbleibt schliesslich ein Kern, dessen Böschung wenig abweicht von der natürlichen Böschung, welche die Substanz bei loser, trockener Aufschüttung annimmt. Wir sehen, dass hier die durch die Flüssigkeit bedingte Häsion mit der Zeit durch die Wirkung der Gravitation aufgehoben wird.

Das folgende fundamentale Experiment erklärt den Vorgang: Wenn man die ebene Fläche einer Wagschale auf eine Wasserfläche legt und dann in die andere Wagschale Gewichte legt, löst sich der Zusammenhang [2]) ziemlich plötzlich, aber erst nachdem man eine beträchtliche Summe von Gewichten eingesetzt hat.

Man sollte nun glauben, dass die angewendeten Gewichte direct die Häsion (in diesem Falle die Cohäsion) messen. Das ist aber unrichtig: Auch ein minimales Gewicht bewirkt das Abreissen der Wagschale, wenn man es lange Zeit wirken lässt. Die Häsion, welche der momentan wirkenden Kraft mächtigen Widerstand entgegensetzt, erliegt einer ganz geringen Kraft, wenn diese chronisch wirkt.

Dasselbe tritt wie gesagt auch in der feucht aufgethürmten Sandmasse ein. Auch sie zeigt zwar Anfangs eine starke Häsion, doch wird der innere Zusammenhang durch die Wirkung der Schwere mit der Zeit gelockert und endlich gelöst und es stellt sich der natürliche, von der Häsion unabhängige Böschungswinkel her. Diess gilt nachweislich in manchen Fällen. Es kommt aber auch vor, dass eine offenbar durch die Häsion bedingte steile Wand im Laufe der Zeit ihren Böschungswinkel nicht ändert. Die Lehmmassen der Ziegeleien, die gegen die Flüsse steil abstürzenden Lössmassen, die Trachyttuffe von Neapel bewahren ihre steile Gestalt durch alle Zeiten und lösen sich neue Massen ab, so ist der neue Absturz wieder steil und weicht wesentlich ab von dem Winkel, welchen dasselbe lose gehäufte Material annimmt. Die Ursache dieser durch Häsion bedingten bleibenden Aenderung des Böschungswinkels scheint mir in Folgendem zu liegen:

Alle Gesteine und Erden sind in der Natur von Feuchtigkeit durchtränkt; das Wasser löst alle Substanzen und sättigt sich schliesslich mit ihnen. Wird nun ein Theil des Lösungsmittels entzogen oder die Temperatur oder der Druck in der Masse vermindert, so scheidet sich ein Theil der gelösten Stoffe ab und bildet einen Kitt. Der Praktiker weiss sehr wohl, dass viele lose feuchte Substanzen mit der

---

[1]) Rebhann: Ingenieurwiss. II. 1870, führt den Namen Cohäsionshöhe ein. Ich verweise den Leser auf diese eingehende Arbeit.

[2]) Stefan: Sitzungsber. Akad. Wien 1874, Bd. 69, pag. 713. In diesem Falle trennt man nur scheinbar die Metallfläche von der Wasserfläche. In der That bleibt Wasser an der Wagschale haften, man zerreisst nur das Wasser, überwindet also nicht die Adhäsion, sondern die Cohäsion.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Zeit hart und steinig werden; das geschieht eben in Folge der Ausscheidungen.

Es ist nun wohl begreiflich, dass der hierdurch bedingte Zusammenhalt den Böschungswinkel der Materialien dauernd beeinflusst. Solche Massen sind eben nicht mehr lose, sondern sie sind zum Theil wenigstens cementirt, stellen mithin einen Uebergang zu den eigentlichen Gesteinen dar[1]).

Nun sind wir vorbereitet, das Auftreten der Böschungen in der Natur zu beurtheilen. Unser Hauptresultat ist: In allen losen Substanzen bildet sich ein von der Form, Oberfläche und Schwere der Partikel abhängiger Böschungswinkel. Ist die Masse durchtränkt von einer lösenden Feuchtigkeit, so kann der Böschungswinkel in Folge der eintretenden Häsion und Verkittung dauernd verändert (und zwar regelmässig vergrössert) werden.

Wir gehen nun zu der folgenden praktischen Frage über: Was geschieht, wenn eine natürlich abgeböschte Masse (durch Erosion oder Menschenhand) im Gehänge oder am Fusse angegänzt wird?

Da die Ueberwindung der Häsion durch die Schwere immer längere Dauer beansprucht, entstehen nach einiger Zeit Bruchflächen, welche der natürlichen Böschung sich annähern, sofern dies nicht durch eingetretene Verkittung verhindert wird. Die Verkittung hat regelmässig eine Vergrösserung des Böschungswinkels zur Folge. Da nun dieser Faktor innerhalb weiter Grenzen schwankt, ist man begreiflicher Weise auf die Beobachtung an Ort und Stelle angewiesen. Man wird eben zusehen, welchen Winkel dasselbe Material an benachbarten Stellen, wo durch natürliche oder künstliche Unterwühlung die maximale Böschung erzeugt worden ist, annimmt. Dieser Winkel wird sich dann wohl auch an der frisch angegänzten, abgegrabenen oder unterwühlten Stelle mit der Zeit herstellen. Man berechnet demnach den Druck des „gefährlichen" Prisma, bez. der Schichte, welche der Abrutschung preisgegeben ist, und errichtet die Schutzbauten so stark, dass sie dem nach erfolgter Ablösung zu erwartenden Drucke widerstehen können. Bei zu unternehmenden Bauten wird man natürlich in Gebieten, wo hohe Lehnen mit der natürlichen Maximal-Böschung niedergehen, überhaupt jede Verletzung der Flanken oder des Fusses vermeiden, da man widrigenfalls kostspielige Schutzbauten errichten muss.

Diese einfachen Verhältnisse und Regeln sind jedem Ingenieur geläufig. Verwickelt wird die Sache aber durch das schon mehrfach betonte Moment der wechselnden Durchtränkung. Wir haben gesehen, wie dieselbe, wenn sie mässig ist, eine ephemere Häsionshöhe bedingt, ja wie die Lösungen unter Umständen eine dauernde Verkittung loser Massen und mithin eine steile Böschung schaffen und gestatten. Entgegengesetzt wirkt aber wie bekannt ein Wasserüberschuss. Durch ihn

---

[1]) In diesem Falle kann man nicht nur sagen, der natürliche Böschungswinkel sei durch die Durchtränkuug modificirt, es liegt vielmehr jetzt wirklich ein anderer Körper vor uns, dem dieser steile Böschungswinkel ebenso natürlich zukommt, wie dem losen trockenen Material der viel geringere Winkel eigen ist.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.a

wird die Böschung allemal verringert, ja manche Körper (Schlamm, mergeliger Thon) saufen sich leicht so an, dass sie sich dann nahezu wie Flüssigkeiten verhalten[1]). So kommt es, dass vordem feste Massen in Folge der Durchtränkung entschieden hydrostatisch wirken. Da nun eine solche Eventualität riesige Schutzbauten fordern würde, zieht man es in der Praxis vor, das Eintreten des Falles überhaupt unmöglich zu machen.

Bereits Escher gibt in der oben angeführten Schrift als wirksame vorbeugende Mittel an: 1) Bepflanzung der Gehänge, damit eine feste Decke entsteht, welche gegen Einsickern und Unterwaschung schützt; 2) Ableitung der Sickerwasser und Quellen (Pflasterung der Gehänge, Anlage von Canälen und Trockenröhren). Hierdurch werden lose Gebiete, und einzelne wasserführende Schichten, auf welchen mit Vorliebe Rutschungen sich abspielen, unschädlich gemacht.

In der Praxis wird die Lösung dieser Frage allerdings mitunter schwierig und oft genug muss man sich gestehen, dass eben unter der Voraussetzung aussergewöhnlicher Durchwässerung die getroffenen Massregeln nicht genügen werden. Hier werden nun die Praktiker sehr verschieden entscheiden. Die Einen werden billig bauen und riskiren, die Anderen werden kostspielige Bauten anlegen, um selbst die entfernte Möglichkeit eines Unfalles zu vermeiden. Capital und persönlicher bez. Volkscharakter bestimmen diese heikle Entscheidung. Die schwierigsten Fragen dieser Art eröffnen sich wohl im flachen Lande. Hier bestehen oft weite undulirte Strecken aus losem Material, welches unter normalen Verhältnissen als verlässlich und stabil bezeichnet werden muss. In sehr nassen Zeiten tritt aber streckenweise eine so gründliche Auflockerung ein, dass das Terrain an die Grenze der Stabilität kommt. Verletzt man ein so gelockertes Gebiet durch einen Einschnitt, so entstehen Rutschungen, ja Strömungen der Erdoberfläche, deren Tragweite gar nicht abgesehen werden kann[2]).

Auch hier liegt ein Fall vor, in welchem die Entscheidung, ob man den Einschnitt riskiren oder die ganze Strecke umlegen soll, verschieden ausfallen wird, je nach Erfahrung und Charakter des Ingenieurs etc.[3])

---

[1]) Das specifische Gewicht solcher Massen ist oft doppelt so gross, als das des Wassers.

[2]) Auf einer englischen Strecke kam in Folge eines Einschnittes etwa $^1/_4$ Quadratmeile in Bewegung.

[3]) Vgl. die folgenden Werke: Eytelwein: Wasserbau. Hagen: Wasserbau. Henz: Erdbau 1868. Rebhann: Ingenieurwiss. 1870. II. Holzhey: Erddruck 1871. Winkler: Erddruck 1872.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

IV. Innere Druckdifferenzen, Störungen des Gleichgewichtes; undulatorische Bewegungen, welche heteromesischen Wechsel veranlassen.

Der Baumeister, welcher Fundirungen durchführt, verfügt über ein reiches Material von Erfahrungen betreffs der Bodenbeschaffenheit, er kennt den inneren, mechanischen Charakter des Erdbodens. Bei ihm müssen wir uns vorerst unterrichten. Dann werden wir die grösseren Phaenomene dieser Art besprechen.

Wir beginnen die Betrachtung mit einem einfachen Falle: Wenn man einen schweren Körper auf ein loses Terrain legt, tritt Verdichtung des Bodens ein; doch greift diese nicht weit um sich, wirkt auch nicht nach allen Seiten gleichmässig und endlos fort, wie in Flüssigkeiten; es wird durch ihn nur eine verdichtete Sphäre (mit vergrösserter innerer Reibung) geschaffen und hiermit ist die Wirkung des Druckes in gewissen Fällen erschöpft. (Wirkung des Druckes auf trockenen Sand, Kies etc.) Nicht alle losen Materialien verhalten sich aber so; die Mehrzahl neigt vielmehr zu Verschiebungen, welche insbesondere bei Gegenwart von Wasser einen hohen Grad erreichen können. So sehen wir, wenn wir den erwähnten schweren Block auf feuchten Sand setzen, eine geringe Einsenkung desselben erfolgen. Rings um den Block aber wird ein der verdrängten Masse entsprechender kleiner Wall aufgetrieben. Feuchter Lehm quillt unter denselben Verhältnissen viel stärker; doch greift die Schwellung auch in diesem Falle nicht weit um sich. Die Kraft erschöpft sich, indem sie in kleinem Umkreise eine Verdichtung und Materialverdrängung bewirkt. Lässt man den Block auf Lehmbrei oder Schlamm wirken, so tritt ringsum ein Aufquellen ein, welches weithin reicht[1]). Ein solches Material vermittelt eben den Uebergang zu den reinen Flüssigkeiten, was sich u. a. auch in dem vorgeführten Falle offenbart.

Eine zweite Gruppe von Erscheinungen tritt uns entgegen, wenn wir die Fundirungen ins Auge fassen. In ein und dem anderen Falle aber werden die Erscheinungen durch die Verschiebbarkeit der Theilchen bedingt, worüber ich hier noch Einiges bemerken muss. Wir haben gesehen, dass die Reibung von der Gestalt und Oberfläche der einzelnen Partikel, von deren Schwere und von der Durchtränkung abhängt. Ausserdem ist die Verschiebbarkeit abhängig von dem erwähnten Erddrucke. Das Mass dieses letzteren Factors wird aber seinerseits wieder bedingt durch den Böschungswinkel der losen Massen[2]).

Die vorgeführten Momente bestimmen die Stabilität der Fundirung bez. Pilotirung.

Das Fundament drückt auf die Basis und erzeugt in den unterlagernden Theilen das Bestreben, seitlich auszuweichen und aufzuquellen.

---

[1]) Hagen: Wasserbau 1870. I. 2. p. 14.

[2]) Wenn wir einen Graben ausheben, sucht das Erdreich beiderseits die natürliche Böschung herzustellen. Die abrutschenden Prismen bestimmen den Erddruck.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.a

Je tiefer nun aber das Fundament niedergeht, desto grösser ist der Druck der überlastenden Erdmassen. Dieser erschwert die Verschiebbarkeit der unterlagernden Partien und so kommt es, dass fast in jedem losen Material eine Tiefe erreicht werden kann, in welcher ein Rammklotz oder eine Mauer fest steht.

Um den Rammklotz erzeugt sich regelmässig die erwähnte Verdichtungssphäre; diese lockert sich jedoch bei anhaltender Belastung allmälig auf, so dass der Klotz nach einiger Zeit den Schlägen (bez. der Last) wieder nachgiebt. Besonders in Lehm, Schlamm, Moor u. s. f. hält die Senkung lange an.

Die Praktiker haben für verschiedenes Material erfahrungsgemäss gewisse Werthe der Tragfähigkeit festgestellt. So z. B. verträgt ein $^1/_3$ Meter dicker Pfahl in festem kiesigem Grund eine dauernde Belastung von 50 Tonnen, ohne merklich zu sinken. In weichem Boden gibt das Rammen, so oft man damit einige Zeit aussetzt, immer wieder einige Millimeter aus, ja in schlammigen und moorigen Böden dringt der Klotz bei 20 Schlägen wohl noch um 2 bis 3 Centimeter ein (Niederlande). Trotzdem kann man in letzterem Falle dem Klotze eine definitive Belastung von 5—10 Tonnen aufbürden, ohne eine Senkung des ganzen Gebäudes befürchten zu müssen. (Hagen, I. 2. p. 180.)

Diese Erfahrungen zeigen, dass selbst leicht verschiebbare Massen einen nicht unbeträchtlichen einseitigen Druck vertragen, ohne merkliche Bewegungen auszuführen. Allerdings setzt dies voraus, dass die Lage der Massentheile nicht in Folge von Erschütterung, Durchrieselung oder Wechsel des Grundwasserstandes geändert wird[1]). Greift einer dieser Factoren ein, so tritt natürlich leicht in Folge der Umlagerung der Theile eine Senkung der Fundamente, ja eine Massenbewegung im ganzen Komplex ein.

Die bisher betrachteten Fälle behandeln die Gleichgewichtsverhältnisse bei Belastung loser Massen. In eine zweite Gruppe ordne ich die Erscheinungen, welche eintreten, wenn man in losem Material Hohlräume erzeugt (Entlastung). Die Einstürze habe ich in einem besonderen Aufsatze behandelt[2]); hier bespreche ich nur die Aushebung von Material (Anlage von Einschnitten, Canälen). In diesem Falle wirkt der durch die abgleitenden Prismen dargestellte Erddruck, welchem man durch Stützung begegnen muss. Durch diesen Druck wird ferner die Basis des Grabens afficirt und es tritt nun dasselbe Verhältniss ein, welches wir oben besprochen: Die Belastung verursacht eine Auftreibung des Bodens, deren Betrag abhängt von der Verschiebbarkeit der Theilchen und dem Maasse des Druckes. In Schlamm oder Torf werden die durch Aushebung entlasteten Partien stark aufgetrieben; mitunter werden die Canäle durch Aufquellen des Bodens schon nach wenigen Jahren ausgefüllt. Bei starkem Erddrucke können auch viel festere Massen (z. B. Thon und Schieferthon, ja Thonschiefer) zum Auf-

---

[1]) Wo Erschütterungen herrschen oder der Wasserstand wechselt, da ändert sich auch das Gleichgewicht. Man setzt deshalb eine Fundirung nicht gerne in den Horizont mit wechselndem Grundwasserstand.

[2]) Reyer: Oesterr. Z. Berg. Hütt. 1881.

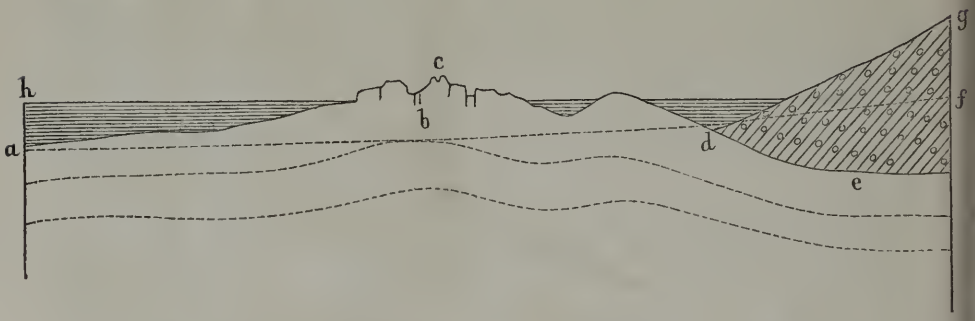
Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

quellen gezwungen werden. Stollen und Tunnels, welche man in derartigem Gebirg einbringt, wachsen nicht selten mit der Zeit in Folge des Aufquellens zu. Hier genügt die Wölbung des Stollens nicht, man muss denselben auch nach unten mit einem Gewölbe schliessen; nur die ovale Ausmauerung des ganzen Raumes gewährt dauernden Schutz.

Der Erddruck ist in so leicht verschiebbarem Material mitunter ausserordentlich gross; die Verschiebungen spielen sich nicht selten rasch ab. Je durchwässerter der Boden ist, desto mehr nimmt der Druck einen hydrostatischen Charakter an[1]).

Nachdem wir diese einfachen Folgen der Belastung beziehungsweise Entlastung besprochen, können wir zu complicirteren Gleichgewichtsstörungen übergehen.

Ich erinnere an jene Aufquellungen, welche wir eben als Folge von Belastung beziehungsweise Entlastung kennen gelernt: Wenn man auf schlammigem oder moorigem Boden einen Damm aufschüttet, tritt die Verdrängung und Senkung oft sehr langsam ein; insbesondere die oberflächlich ausgetrockneten und erhärteten Moore sind in dieser Beziehung heimtückisch, indem die verhängnissvollen Bewegungen oft erst nach Wochen oder Monaten sich einstellen und dann ununterbrochen wohl jahrelang anhalten, bis das feste Aufschüttungs-Material den festen Untergrund des Moores erreicht hat. In diesem Falle tritt dann schliesslich eine weithin reichende wellige Auftreibung des verdrängten Landes ein, etwa in der Weise, wie es die beistehende Figur darstellt[2]).



Derartige Niveau-Aenderungen können natürlich besonders leicht constatirt werden, wenn das Gebiet von seichtem Wasser bedeckt ist, wenn

[1]) Im sogenannten „schwimmenden Gebirge" (durchwässerten Schlamm, Moor, Sand) ist das Bauen von Schächten und Stollen schwierig und gefährlich. Die Holzzimmerung wird gemeiniglich schon bei einer Drucktiefe von 20 bis 30 Meter zertrümmert, was um so leichter geschieht, als sich oft grosse Massenbewegungen und Verschiebungen des ganzen Terrains einstellen. Karst: Arch. 1854, p. 162. Hartmann: Kohlenbergbau 1862, 382. Lottner: Bergbaukunde 1869. I. 363.

[2]) Ein Damm der Bahn Nantes-Brest, welcher auf schlammigem Boden aufgeschüttet wurde, senkte sich mit der Zeit. Die Auftreibung wirkte auf eine Entfernung von 50 Meter und erreichte eine relative Höhe von 10 Meter. Man vermeidet dergleichen Ereignisse, indem man den Boden entweder pilotirt oder gleich Anfangs das Material in die weiche Masse versenkt, bis es auf dem festen Untergrund aufruht. Immer ist es besser sich von vornherein sicherzustellen, als nachträglich zu repariren, vergl. Henz: Erdbau.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.a

z. B. die Aufschüttung den Schlamm eines Seeufers verdrängt. Da sieht man den Boden in nächster Nähe der Schuttmassen etwas deprimirt, weiterhin aber gewahrt man einen langen Schlammbuckel, welcher parallel dem Ufer als Inselrücken aus dem Wasser auftaucht. Die beistehende Figur stellt einen derartigen Fall im Profil dar: *abdf* war die ehemalige Oberfläche des Schlammes, *hf* ist der Wasserspiegel. Nun wurde ein Damm (*g*) aufgeschüttet. Dieser senkte sich in den Schlamm ein (*def*) und es wurde eine der verdrängten Schlammmasse *def* entsprechende Masse *abcd* aufgetrieben [1]).

Es spielen sich in all' diesen Fällen, wie man sieht, jene verwickelten Hebungs- und Senkungs-Vorgänge ab, deren Ergebniss man als Faltung bezeichnet.

Derartige Faltungen beobachtet man in losen Sedimenten verschiedener Formationen häufig [2]).

Da sieht man die losen Schichten gestaut und geknickt, die eingeschalteten Bänke in einzelne Schollen zerbrochen und in die umliegenden Massen wie in einen Teig eingeknetet u. s. f. Mallet, Fuchs, Karrer, Credner, Lossen, Van der Bröck bilden solche Verhältnisse ab [3]). Fuchs erklärt dieselben durch die Annahme, dass die Schwere in den Detritusmassen gleitende und rollende Bewegungen bewirkt. Credner ist der Ansicht, dass viele dieser Faltungen durch das Gleiten der Gletscher über die losen Sedimentmassen bewirkt worden seien. Ich bezweifle nicht, dass in einzelnen Fällen die letztere Erklärung zutrifft, möchte aber doch meinen, dass weitaus die meisten derartigen Vorkommnisse nicht durch äusserliches mechanisches Eingreifen, sondern durch mannigfaltige innere Gleichgewichts-Aenderungen in den Sedimenten verursacht worden seien. Ich hebe die folgenden Fälle hervor:

1. Wenn lose Massen von Gletschern, Lavaströmen, Sedimenten oder anderen Lasten überlagert werden, weichen sie aus und werfen Falten.

2. Wenn sie einseitig entlastet, unterwühlt oder durch Erosion angegänzt werden, tritt eine faltige Massenbewegung ein.

3. Wenn lose Sedimente auf einer schiefen Ebene aufgelagert sind, tritt mit der Zeit ein Abgleiten und Falten ein; wenn sie in eine Mulde eingelagert sind, stauen sie sich in der Mulde faltig zusammen.

---

[1]) Volger erwähnt einen derartigen Fall: Während das Ufer eines Sees bei Güstrow (Meklenburg) um 15 Meter sank, stieg in der Mitte des Sees eine Insel auf (Volger, Erde und Ewigkeit 1857, pag. 428, vergl. Ueber eine aufgetauchte Insel: Pog. Bd. 52, 1841, pag. 191). Wolf berichtet von einer gegen das Meer sich absenkenden Thonlage, welche sich an einer Stelle 20 Meter hoch aufthürmte (Z. geol. Ges. 1872, pag. 53).

[2]) Ich sehe hier von den Regionen mit typischer Gebirgsbildung ganz ab. Sie sollen in einer besonderen Arbeit behandelt werden. Ich löse den Process der Gebirgsbildung in folgende Momente auf: Verwerfung, einseitige Hebung, faltiges Abgleiten und Stauen.

[3]) Mallet: J. geol. soc. Dublin 1851, pag. 121; T. Fuchs: Jahrb. geol. Reichsanstalt. 1872, pag. 301 und Tafel 12; Karrer: Abhandl. d. Reichs-Anstalt, 1877; Credner: Z. geol. Gesell. 1880, pag. 76 f.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

4. Wenn einzelne Partien der losen Massen (z. B. einzelne Schichten, Linsen etc.) local durch Compression, chemische Processe, Auslaugung etc. auf ein geringeres Volumen gebracht werden[1]), treten leicht neue Gleichgewichtslagen in den hangenden Massen ein.

5. Wenn einzelne Partien durch Stoffaufnahme schwellen, können sie Massenbewegungen veranlassen.

6. Wenn in losen Massen, in welchen trotz ungleichmässiger oder geneigter Lagerung Gleichgewicht herrscht, der Stand der Durchwässerung sich ändert, erleidet das Gleichgewicht nothwendig tiefgreifende Wandlungen. Endlich kann.

7. durch Erschütterung ein labiles Gleichgewicht gestört und eine Massenbewegung eingeleitet werden.

Unter diesen Fällen bedarf der Punkt 6 einer näheren Ausführung. Es sind hier folgende zwei Fälle zu unterscheiden:

a) Wenn das Meer oder Grundwasser steigt[2]) und lose Massen durchtränkt, können diese schichtweise so aufgelockert werden, dass sie ein Gleiten und faltiges Rollen der überlagernden Massen bedingen.

b) Wenn das Meer oder Grundwasser fällt (oder das Land sich hebt), so werden die Sedimente, welche bisher in Wasser suspendirt waren, einen vermehrten Druck ausüben und Abrutschungen, Stauungen und Faltungen erleiden.

Wenn wir uns nun in der Natur umsehen, finden wir begreiflicher Weise in den Alluvialgebieten, insbesondere in den Deltas viele Erscheinungen, welche unter die vorgeführten Punkte fallen[3]). Die Schwankungen des Meeres und Grundwassers und die fortwährende Häufung frischer Alluvialmassen über den alten bedingt oft wellige Hebungen und Senkungen, welche einander zum Theile compensiren.

Diese Vorgänge werden häufig begleitet von Erdbeben, welche im Wesentlichen als tektonische Beben bezeichnet werden müssen, wenn sie auch nicht gerade die Kundgebungen einer typischen gebirgsbildenden Bewegung sind.

Seit dem Anfange unseres Jahrhunderts sind insbesondere im Indus- und Mississippi-Delta mehrfach einschlägige Beobachtungen gemacht worden. De la Beche, Lyell u. a. Forscher berichten, wie in den besagten Gebieten oft plötzlich unter Beben des Bodens Senkungen (zum Theile auch Hebungen) platzgreifen; in die muldige flache Senkung

---

[1]) De Stefani meint, dass manche Senkungen der italischen Küstenstriche auf das Oxydiren der organischen Substanzen (Vermodern der Torflager) oder auf die Auslaugung der Kalksubstanz oder endlich auf einfaches Compactwerden (Zusammensitzen) zurückzuführen sein dürften. (Mem. comit. geol. 1877, pag. 85.)

[2]) Oder wenn das Land sich senkt. Vergl. Suess: Verhandl. d. Reichs-Anst. 1880, pag. 173.

[3]) Siehe meine Abhandlung über die Geschicke der Alluvialgebiete. Geograf. Gesell. Berlin 1881.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

tritt dann je nach Umständen See- oder Flusswasser ein und der neugebildete See (beziehungsweise die Lagune) bleibt dann bestehen, bis er durch marine, fluviatile oder brackische Sedimente ausgefüllt ist [1]).

Diese Processe wiederholen sich nun im Laufe der Zeit an verschiedenen Orten: Hier gehen die Bewegungen langsam und anhaltend, dort gehen sie ruckweise vor sich. Hier hält die Senkung an; das Süss- oder Salzwasser bleibt durch lange Zeit in der Mulde stehen und setzt Sedimente ab. Dort gehen die Senkungen ruckweise vor sich: die Seebecken versumpfen und verlanden und Wälder gedeihen auf dem neu aufgeschütteten Boden; dann tritt wieder eine Senkung, Seebildung und Sedimentirung ein u. s. f.

So kommt es, dass die Alluvialgebilde insbesondere dort, wo sie an das Meer grenzen, eine grosse Mannigfaltigkeit von vicarirenden heteromesischen und heteropischen Formationen aufweisen.

Schotter, Sand und Schlamm, Moore, Wälder (Torf und Kohle), Süss-, See- und brackische Sedimente wechsellagern miteinander. Das Delta des Po, des Mississippi u. a. Flüsse weisen derartige Verhältnisse auf. Auch rechne ich hierher jene Fälle von meerbedeckten Wäldern, welche in jeder Geologie angeführt werden [2]).

Endlich glaube ich, dass gewisse heteromesische Combinationen, welche man in verschiedenen Systemen antrifft, unter denselben Gesichtspunkt fallen. Vor allem verweise ich auf die Wechsellagerung von Kohlenflötzen mit marinen Bildungen [3]). Da sieht man bald ein mächtiges Flötz, bald eine Reihenfolge kleiner Flötze, welche durch marine Einlagerungen von einander getrennt sind; an anderen Stellen ist die marine Formation zu einer continuirlichen Entwickelung gelangt und nur einzelne lacustre Lager treten dazwischen [4]).

---

[1]) Ueber die Massenbewegungen und Erdbeben von Kutsch (Indus) berichten: De la Beche: Theoret. Geol. übers. Hartmann 1836, pag. 75; Lyell: Principles 7. Aufl., pag. 438. Q. J. geol. soc. 1846 und N. Jahrb. Mineral. 1848, pag. 77; neuerdings Bartle: Journ. Roy. Geogr. Soc. London 1870, pag. 181.

Hebungen, Senkungen und Beben im Mississippi-Delta behandeln: Sillimans J. 1829 (Spaltbildung parallel dem Alleghany-Gebirg); Lyell: in Brit. Assoc. Rep. 1846; Athenaeum 1846. Zweite Reise nach Amerika, übers. von Dieffenbach, II., 178, 228. Vergl. I. Reise 328.

[2]) Die versunkenen Wälder von Scandinavien, England, Frankreich, Spanien, Italien halten sich an die Detritusmassen, welche von den Thälern in die See hinausreichen.

Correa de Serra: Phil. Trans. 1799, pag. 145 beschreibt die submarinen Wälder von Lincolnshire und schliesst auf eine Senkung jener Landschaften.

Link: (Urwelt und Alterthum 1822, II., 109) über gesunkene Küstenstriche von Holland vergl. Beaumont: Leçons geol. pratique.

De la Beche: Cornwall 1839, pag. 417 f. und Theoret. Geol. pag. 390.

Lyell: Zweite Reise nach Amerika, übers. von Dieffenbach, 1851, 321.

Smith: Q. J. geol. soc. 1847, pag. 237 über versunkene Wälder an der französischen Küste.

Jamieson: Q j. geol. soc. 21, pag. 186.

[3]) Schmick, welcher mehrere werthvolle Beiträge zur kosmischen Geologie geliefert hat, dürfte wohl irren, wenn er die eben erwähnten Erscheinungen auch mit kosmischen Einflüssen in Zusammenhang bringt. (Schmick: Schwankungen 1872, pag. 22). Gewisse Wechsellagerungen mächtiger terrestrer und mariner Sedimente mögen allerdings durch Oscillationen des Seespiegels bedingt sein.

[4]) Vergl. Naumann: Geologie 1850, II., 495, 578.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.a

Besonders auffallend ist die Erscheinung, dass mitunter mehrere tausend Meter mächtige Ablagerungen in allen Horizonten Einschaltungen von Seichtwasser-Formationen enthalten [1]). Ich denke, dass sich eben auch hier ruckweise Senkungen in Folge von Massenbewegungen abgespielt haben.

Ich schliesse hiermit diese Skizze, welche verbunden mit der Studie über die Bewegung im Festen als Einleitung in die Lehre von der Gebirgsbildung dienen soll.

---

[1]) Kohlenformation von Nova Scozia. J. Hall; Pal. III. Introd.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt

Jahr/Year: 1881

Band/Volume: 031

Autor(en)/Author(s): Reyer Eduard

Artikel/Article: Bewegungen in losen Massen. 431-444