

Beiträge zur Kenntniss der Bodenbewegungen.¹⁾

Von Vincenz C. Pollack, Ingenieur der Arlbergbahn.

Mit einer Tafel (Nr. XIV).

Gegenstand nachfolgender Betrachtungen sollen die zunächst der Oberfläche unseres Planeten stattfindenden, durch die Wirkungen der Schwerkraft veranlassten Bewegungen von Gebirgsmassen sein; weder jene tiefer begründeten, mit der Gebirgsbildung im Zusammenhang stehenden Dislocationerscheinungen, noch gewisse andere Bewegungen, z. B. alle durch Gletscherthätigkeit oder durch eigentliche Murgänge verursachten und dergl., als vielmehr jene kleineren Verschiebungen im oberflächlichen Terrain, welche vieler Orten mehr oder weniger geneigte Gehänge mit steter Umbildung oder Formänderung umfassen, fallen in den Rahmen der vorliegenden Abhandlung.

Dass im Vorzuführenden als belegende Beispiele mehrfach auf Ereignisse gegriffen wurde, die bei Bahnbauten vorgekommen sind, hat seinen Grund hauptsächlich darin, dass hier eher als anderswo durch Aufschlüsse des Innern von bewegten Gebirgstheilen die obwaltenden Verhältnisse klargelegt wurden.

Bei allen Bodenbewegungen lässt sich mit Rücksicht auf den Zeitpunkt der Entstehung von älteren und jüngeren sprechen. Von den ersteren sind manche noch nicht zur Ruhe gelangt: Ich erwähne beispielsweise der abgeklüfteten Dachsteinkalkpartien der Tofanawände in Ampezzo²⁾, die auf der mergeligen Unterlage allmähig thalwärts wandern und die Zukunft der Häusergruppen am rechten Boita-Ufer bedrohen.

Die bedeutenden Abrutschungen der den Cassianer und Wengener Mergeln angehörigen Gehänge derselben Localität dürfen auch hieher gezählt werden.

¹⁾ Die vor der Drucklegung der vorliegenden Arbeit von A. Heim erschienene Abhandlung: „Ueber Bergstürze, Zürich 1882. Wurster & Cie.“ nöthigte zu theilweisen Kürzungen, um Wiederholungen nach Thunlichkeit zu vermeiden, umso mehr da mir auch mittlerweile die bisher unbekannt gebliebene, noch ältere Arbeit von Dr. A. Baltzer: „Ueber Bergstürze in den Alpen“ im Jahrbuch des schweiz. Alpen-Clubs, X. Jahrg., 1875 durch die Freundlichkeit des Verfassers zukam, die theilweise denselben Gegenstand abhandelt.

²⁾ E. v. Mojsisovics, Dolomitriffe Südtirols.

Bereits zur Ruhe gekommen, aber bei oft nur geringfügiger Veranlassung neuerdings in Bewegung gerathend, sind z. B. die Krusten der Eocänhügel der Karpathen zwischen Lupkow und Palota.

Den Charakter vollkommener Ruhe endlich haben angenommen: die ehemaligen Terrainverschiebungen an den Abhängen der Hügel in der Umgebung Wiens¹⁾ und längs der Trace der Kaiser Franz Josef-Hochquellenleitung²⁾ und der vorglaciale Flimser Bergsturz (Graubünden), der das Rheinthal zwischen den Flimser Maiensässen, Bonaduz und Reichenau mit Schuttmassen in einer Höhe bis zu 600 Meter verlegte³⁾.

Bekanntlich wurde der vornehmlich bei Faltungen und Verwerfungen angewandte Terminus: Gleit- oder Rutschfläche (auch Trennungsfläche), seitdem den oberflächlichen Terrainverschiebungen mehr Aufmerksamkeit geschenkt wurde, auf jede Fläche ausgedehnt, auf der eine nachweisbare Verschiebung eingetreten. Bei oberflächlicher Bodenbewegung kann jedoch — abstrahirt von der allen Bewegungen gemeinsamen Grundursache der Schwerkraft — eine Fläche als Ursache derselben fungiren oder aber als Schlussresultat entstehen, wodurch wir sofort zu einer Unterscheidung kommen und erstere — als eine Fläche, auf der etwas in's Rutschen geräth — als eigentliche Rutschfläche, letztere Trennungsfläche unter Beibehaltung des bereits eingebürgerten Ausdruckes⁴⁾ und unter Rücksichtnahme des häufigen Nebeneinanderbestehens beider Arten als secundäre Rutschfläche bezeichnen wollen.

Durch die Frage nach den Bewegungsursachen bilden sich zwei Gruppen von Erscheinungen, deren erste die durch innere Ursachen veranlassten begreift, während die zweite die durch äussere Vorgänge begründeten umfasst.

Zur Besprechung der ersten Gruppe übergehend, lassen sich die Beobachtungen unter zwei Abtheilungen summiren:

1. Bewegungen von Gebirgsmassen auf einer oder mehreren Gleitflächen, welche bereits vorhanden oder doch vorbereitet waren;
2. Bewegungen, wobei während oder unmittelbar vor denselben Trennungsflächen ohne ausgesprochenen Gleitflächencharakter (secundäre Rutschflächen) entstehen.

1. Bewegungen auf vorhandenen Flächen.

Nachdem alle in den Gebirgsmassen gebildeten Flächen von bedeutenderer Erstreckung — geringe Ausdehnung veranlasst nur allmähliche Abbröcklungen oder Abstürze einzelner Trümmer oder Blöcke u. dergl. — durch Hinzutreten gewisser Bedingungen zu eigentlichen Terrainauslösungen Anlass geben können, so functioniren auch demnach

¹⁾ Th. Fuchs, Ueber eigentümliche Störungen in den Tertiärbildungen des Wiener Beckens und über eine selbstständige Bewegung loser Terrainmassen. Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst., Wien 1872.

²⁾ F. Karrer, Abhandlungen d. k. k. geol. Reichsanst., IX. Bd., 1877.

³⁾ A. Heim, Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung etc. 1878.

⁴⁾ A. Heim bezeichnet zum Theil diese „weniger wichtigen Rutschflächen“ als „Verschiebungsspalten“, sobald sie die seitliche Abgrenzung zwischen bewegtem und feststehendem Boden bilden.

Schicht-, Absonderungs- und Bruchflächen und Combinationen aus diesen als Gleitflächen. Die Beschaffenheit des Gesteins und der Zustand, sowie die Lage der Flächen ist hiebei von wesentlichem Einfluss.

Schichtflächen.

Die Trennung und nachfolgende Verschiebung von Massen auf solchen Flächen zählt zu den gewöhnlichsten und häufigst auftretenden Bewegungsvorkommnissen.

Bei mehr erweichlichem oder auflöslichem Gesteine wird durch Einwirkung von Wasser eine feuchte, seifig glatte Oberflächenbildung Schichtklüfte zu Gleitflächen machen.

Was die vorwaltend zur Einflussnahme kommende sogenannte Durch- oder Undurchlässigkeit von Gebirgsgliedern betrifft, so ist hiemit die Vorstellung eines relativen Begriffes verbunden. Dem bisher üblichen, wenn auch nicht ganz correcten Sprachgebrauch entsprechend, werden Schichten, die ein geringeres Wasserdurchlassvermögen aufweisen, als ihre Ueberlagerungen, als undurchlässig — besser weniger durchlässig — bezeichnet. Es kann demzufolge ein lockerer Lehm gegenüber einem Liegendthon als durchlässig, einem Hangendschotter als undurchlässig auftreten, und wird die aus dem verschiedenen Grad der Durchdringlichkeit resultirende Differenz der Wasserquanten im ersteren Fall auf dem Thon, im zweiten auf dem Lehm zur Ansammlung und nach Umständen zum Abfluss gelangen.

Betreffs der oben erwähnten seifig schlüpfrigen Flächen bei erweichlichen Gebirgsarten sei bemerkt, dass diese in verschiedener Weise zur Geltung gelangen, und zwar nicht bloß als Oberfläche einer mehr oder minder thonigen Masse, sondern auch als solcher von oft nur mit geringer Einlagerung oder Einschlämmung thoniger Massen überzogenen Schichten, die vermöge ihrer sonstigen Beschaffenheit bei ihrer directen Berührung eine sehr bedeutende Adhäsion und Reibung an den Contactstellen aufweisen, daher unter gleichen Neigungsverhältnissen weniger zu Absatzungen geneigt erscheinen. Dort, wo eine Schichtfläche durch zusetzendes Wasser allmählig zur massenverrückenden Gleitfläche wird, bewirkt die Bildung der seifig schlammigen Zwischenlage von oft kaum wahrnehmbarer Stärke einerseits eine schärfere Trennung zwischen Liegend- und Hangendschichte, anderseits eine bedeutende Verminderung der Reibung, und wird der Hangendtheil, dem Gesetze der Schwere folgend, sobald diese die Hemmnisse überwiegt, in der Fallrichtung der geneigten Schichten in's Rutschen gerathen.

Die die Bewegung verursachende Schichte braucht dem früher Gesagten zufolge eigentlich nicht förmlich undurchlässig zu sein, wie manchmal angenommen wird, sondern nur einen gewissen Grad von Aufweichbarkeit zu besitzen, damit Sickerwasser allmählig ein Schlüpfrigmachen ihrer Oberfläche hervorzubringen vermag oder aber dieselbe auf eine geringere oder grössere Tiefe in einen mehr nachgiebigen Körper verwandelt und sodann zu Trennungen in ihm Anlass gibt, auf welchen Fall noch später an anderer Stelle zurückgekommen wird. Sei beispielsweise unter einer leicht durchlassenden Lage ein kurzklüftiger (bröcklicher) Schieferthon, so wird das eindringende Wasser durch die unzähligen Klüfte in letzterem fast ebenso versickern, wie

in der darüber liegenden Schichte, und dennoch tritt in vielen Fällen eine Schlüpfrigmachung ein.

Verhältnissmässig weniger durchlässige Schichten auf vollkommen durchlässigen, z. B. auf lockerem Sand, neigen zu Abgleitungen, wenn die Hangendmasse bei erweichlicher Beschaffenheit die rauhe Oberfläche der von Wasser durchzogenen Sandlage glättet, wodurch ein dem bereits Erwähnten analoger Zustand geschaffen wird.

Eine so wichtige Rolle das Wasser durch Reibungsverminderung bei aufweichbaren Gebirgsarten spielt, so gering wird dessen Bedeutung in dieser Richtung auf Schichtflächen bei gegen Wasser indifferentem Gesteine, daher auch Schichtauslösungen auf ganz oder fast trockenen Flächen eintreten; hingegen kann dasselbe hier allmähig in seiner zersetzenden Eigenschaft wirken: indem durch Lockerung oder theilweise Wegführung einzelner Strecken die aufgelagerten zum Niedergang gebracht werden, sobald die Tektonik des Gebirges dies begünstigt. Gleichen Effect erzielt die mit der mechanischen Gebirgsbildung im Zusammenhang stehende innere Zertrümmerung oder Zerrüttung einzelner oder mehrerer Schichten.

Ich beschränke mich bei der grossen Zahl von hieher gehörigen, in der geologischen und technischen Literatur niedergelegten Fällen auf ein Beispiel, auf das ich später wieder zurückkomme.

In Fig. 1, Taf. XIV¹⁾, ist ein entsprechender Berghang aus der Gegend der Wasserscheide bei Mehbürg in Siebenbürgen mittelst Horizontalcurven in Verticalabständen von Meter zu Meter zur Darstellung gebracht, wobei die schwarzen Linien der Terrainoberfläche, die rothen einer wenig durchlässigen, unter gelbem Lehm liegenden Tegelschichte somit der Rutschfläche angehören. Zusickernde Tagewässer veranlassten die ungleichförmige, thalab gerichtete, langsame Bewegung der Lehmlage auf letzterer.

Der Curvenplan gibt zwar nicht die gebildeten, zahllosen klaffenden und geschlossenen Spalten, dafür aber ein genaues und übersichtliches, charakteristisches Bild der entstehenden, oft ganz sonderbar aussehenden äusseren Formen und die Mächtigkeit der bewegten Masse an jedem Punkt.

A b s o n d e r u n g s f l ä c h e n .

Wenn auch im Allgemeinen alle Absonderungsformen in gleicher Weise wie Schichtungsklüfte zu Bewegungsursachen werden können, so prädestinirt die Natur doch vor Allem die plattenförmige, polyedrische und säulenförmige Absonderung hiezu.

Als Beispiele wären zu nennen die häufig senkrechte Zerklüftung von Kalk, Dolomit und Porphyrmassen, die säulenförmige Absonderung der Basalte und Trachyte.

Beim Bau der Semmeringbahn war man an der Weinzettelwand gezwungen, die ursprünglich gedachte Offenführung der Trace in eine unterirdische zu verwandeln, um den bedrohlichen Eventualitäten der häufigen Ablösungen aus dem Wege zu gehen.

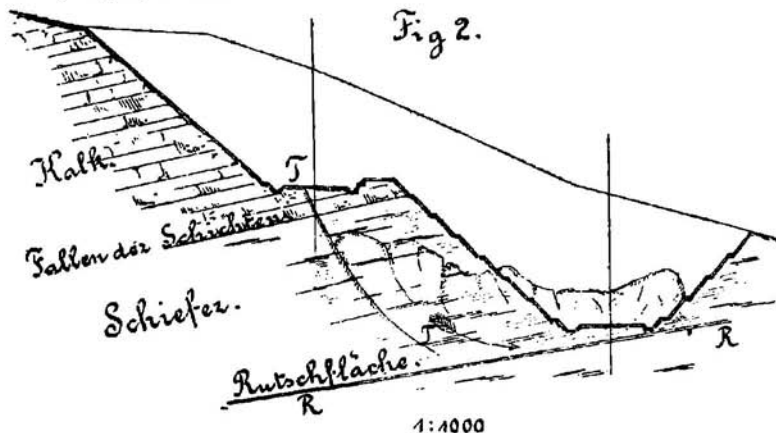
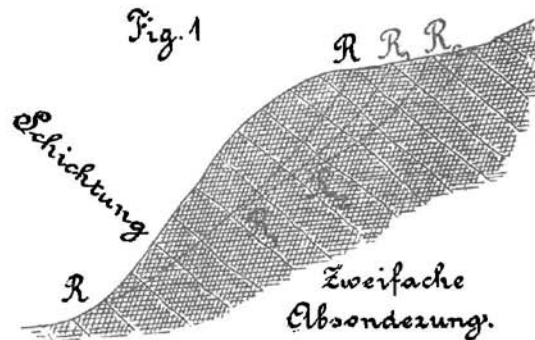
¹⁾ Gerstel, Rutschungen im Lehmgebirge. Allgemeine Bauzeitung, Jahrg. 1874.

Ein Theil der Ruine Runkelstein bei Bozen fiel den Folgen der verticalen Spaltungen im Porphy, auf dem die Ruine steht, zum Opfer.

Die periodisch wiederkehrenden Abstürze von der Calanda bei Felsberg in Graubündten haben in der fast 165 Meter mächtigen, vertical zerklüfteten Dolomitmasse mit rechtsinnigem Fallen ihren Grund¹⁾. Hier trennen Schicht- und Ablösungsflächen gemeinsam grössere Massen ab.

Bei kurzklüftigem Gesteine von mehr nachgiebiger Bestandmasse — wie z. B. an den Schieferthonen und Mergeln der Bahnstrecke Palota-Lupkow beobachtet wurde — bildet sich die Rutschfläche *RR*, Fig. 1 in einer concaven Form aus, die von der Richtung der Absonderungen abweichend auftritt, obwohl die einzelnen kleinen Flächenelemente derselben thätigen Antheil nehmend die Gleitfläche zusammensetzen, durch die abgehende Masse aber eine Abreibung oder Ausfüllung der Unebenheiten bedingt war.

Die beiden übereinander liegenden Einschnitte, Fig. 2, am Nir-



gelsberg²⁾ gehören dem Buntsandstein an und lag der obere vorwiegend im Kalk, der untere in den rothen Schiefen mit Thoneinlagen von wenigen Centimetern Stärke. Der untere Einschnitt war fast voll-

¹⁾ In den eingangs erwähnten Abhandlungen von Dr. A. Baltzer und A. Heim.

²⁾ Bolte: Die Rutschungen an der Bebra-Hanauer Eisenbahn. Zeitschrift für Bauwesen von Erbkam 1871.

ständig, der obere auf durchschnittlich $2\frac{1}{2}$ Meter über der Sohle ausgehoben, als sich an der bergseitigen Dossirung des untern und in der Sohle des obern Einschnittes im Kalk feine Risse zeigten und nach kurzer Zeit ein grosser Theil der Böschung auf *TT* zur Ablösung kam.

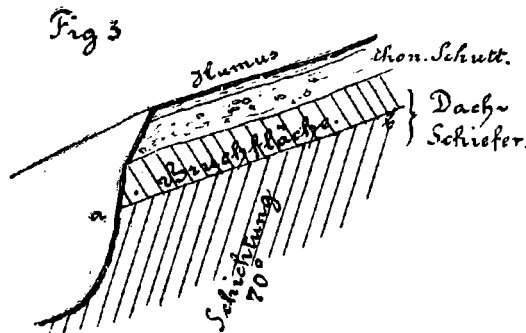
Bruchflächen.

Die je nach localen Verhältnissen mehr oder minder zahlreich auftretenden kleineren und grösseren Bruchflächen werden, sobald Gleichgewichtsstörungen eintreten, ebenso wie Schicht- und Absonderungsklüfte functioniren, und zwar um so leichter, da dieselben häufig entweder mit einem feinen Zerreibungsproduct (Thon) oder Einschlammungen bedeckt erscheinen und überdies auf den Flächen Wasseransammlungen und damit im Zusammenhang stehende Zersetzung des Gesteins nicht zu den Seltenheiten zählen.

Als Bruchflächen kämen zu erörtern:

1. Grosse, primäre Verwerfungen, welche mit der Gebirgsbildung im Zusammenhange stehen.

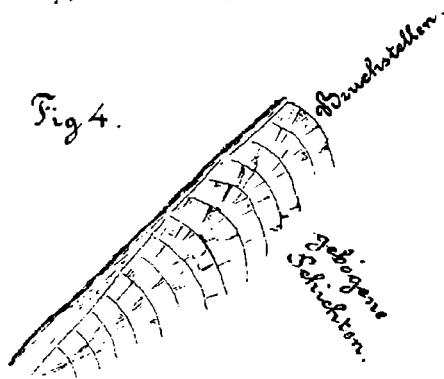
Für diesen Fall steht das folgende Exempel aus einem Schieferbruch zu Gebote. Beistehende Fig. 3 veranschaulicht eine als Rutschfläche functionirende Bruchfläche



functionirende Bruchfläche *ab* aus dem devonischen Schiefer Mährens, die ohne weitere Erklärung verständlich erscheint.

2. Gesprungene Falten und überhaupt alle Brüche, welche indirect durch die Gebirgsbildung bedingt sind.

Hat bei Faltungen ein Brechen ohne nachherige, den frühern Zusammenhang ersetzende Secretion stattgefunden und liegen diese in ähnlicher Weise, wie Fig. 4 andeutet, so wird eine kleinere oder grössere Anzahl solcher Brüche in ihrer Zusammenwirkung ein Ablösen ermöglichen.



Bei manchen Gebirgsarten, z. B. Thon-, Mergel-Schiefern und Schieferthonen tritt nebst einer sehr verworrenen Lagerung eine förmliche Zerrüttung des Gesteines auf; zahlreiche kleine Brüche durchsetzen die wirre

Masse, so dass kleinere und grössere Theile zur Abtrennung gelangen können.

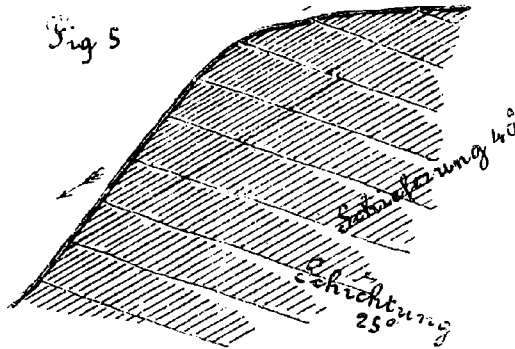
In den Böschungen der Mergelschiefer-Einschnitte der Strecke Lupkow-Palota, wo starke Faltungen mit klaffenden Brüchen in den

eingelagerten Sandsteinen vorkamen, rutschten ganze Nester aus, da der ganzen gefalteten Masse jeder Zusammenhang fehlte.

Ein hieher gehöriges Beispiel sind die Absetzungen im Voreinschnitt und Tunnel am Unterstein auf der Gisela-Bahn¹⁾. Die durchbrochene Gebirgsnase besteht aus widersinnig verflächenden krystallinischen Schiefeln, und zwar vorherrschend Talkschiefer mit theilweisen Uebergängen in Thonschiefer mit „Trennungsfächen, welche in einer Schichte seltener durch mehrere Schichtungsglieder hindurchgreifen“²⁾ und welche ebene Flächen bildeten. Durch Ursachen, auf die noch später zurückgekommen wird, erfolgte ein successives Abtrennen der einzelnen Schichten nach diesen Trennungsfächen, welcher Vorgang langsam von unten nach oben weitergriff, so den ganzen Gebirgsthail lockerte und zum Niedersturz brachte.

Es soll noch einer Ablösungsform gedacht werden, die sich wohl am besten hier anreicht: es ist dies die transversale Schieferung.

In den Schiefergebirgen Nordost-Mährens und Schlesiens zeigen sich z. B. die Schieferungsflächen zu Thal geneigt (Fig. 5) und werden zu Rutschlassen, wenn das Aneinanderhaften vieler solcher zusammenhängender Flächen aufgehoben und dadurch die bereits bei den Schichtklüften erwähnten Bedingungen der Gleichgewichtsstörung gegeben sind.



Auf der St. Gotthard-Bahnstrecke Varenzo-Prato im Tessin-Thal tritt auf der linken

Thalseite neben der Parallelstructur des Gneisses noch eine thalwärts fallende, falsche Schieferung auf, der zufolge am Monte Piottino zeitweise Auslösungen vorkommen³⁾. Man ist deshalb beim Bahnbau der bedrohten Stelle ausgewichen.

3. Alte Gleitflächen, auf welchen in früherer Zeit eine Bewegung statthatte.

Es begreift dieser Abschnitt sämtliche vorweg behandelten, sowie auch die erst im Nachfolgenden zu erörternden Flächen in sich, sobald einmal eine Verschiebung der Massen stattgefunden hat, mit andern Worten: anscheinend neu auftretende Bruchflächen sind häufig nichts anderes als ältere Rutschflächen.

Die durch Erosion der Gewässer der Thalwege an den Gehängen zur Folge gebabten zahlreichen Brüche, Schichtauslösungen u. s. w. bedürfen oft nur des geringsten Anlasses, um neuerdings nach längerer

¹⁾ C. J. Wagner: Die geologischen Verhältnisse des Tunnels am Unterstein. Jahrbuch der k. k. geol. R.-A. 1879, pag. 493.

²⁾ Die gleiche Abhandlung pag. 521.

³⁾ W. Hellwag: Die Bahnaxe und das Längenprofil der Gotthardbahn. Zürich 1876.

oder kürzerer Pause in Action zu treten. In einem solchen Zustande befinden sich z. B. die schon eingangs erwähnten älteren Rutschungen längs der Bahnstrecke Lupkow-Palota.

2. Bewegungen ohne eigentliche Rutschflächen.

Während die unter 1. behandelten Flächen als ausschlaggebende Ursachen von Verschiebungen functioniren, sind die hier zu erörternden als Resultate von solchen, also als Wirkungen zu betrachten, mithin als eigentliche Bruch- und secundäre Rutschflächen.

Gewisse Gesteinsarten sind von solcher Beschaffenheit, dass sie von Wasser mehr oder minder durchzogen, allmähig das Vermögen verlieren, in der vorhandenen äusseren Form ihr neues Eigengewicht zu tragen und durch ein breiiges Fliesen der sich bildenden Schlamm-masse einen neuen Gleichgewichtszustand anstreben. Solche recente Schlammströme unterscheiden sich äusserlich durch den Mangel der Vegetation auf ihrer fortwährend wechselnden Oberfläche von den meist bewachsenen, wandernden Gehängschollen, die man bisher auch als Schlammströme bezeichnete.

Ohne oberflächliche bemerkbare Ursache entsteht an einem Gehänge eine Auftreibung oder Aufwulstung durch allmähig vor sich gehende Durchfeuchtung von einem vorher nicht an dieser Stelle aufgetretenen Wasserfaden, der etwa durch Verschlammung oder Einsturz seines früheren unterirdischen Laufes gezwungen war, sich diesen neuen Weg zu suchen, und erhält die Masse endlich einen solchen Grad von Durchnässung, dass ein Abfliessen derselben stattfinden muss.

Denselben Vorgang rufen auch am Tag laufende Gewässer hervor, sobald die Gesteinsbeschaffenheit eine diesfallsige Begünstigung bietet.

Das Verhalten einer Gebirgsart gegen Wasser ist für die Möglichkeit einer Schlammstrombildung Ausschlag gebend. Manche Gesteine erhalten erst durch mechanische Mengung mit anderen die Fähigkeit des Ausfliessens. Schutt, Schotter und mancher Sand zum Exempel werden erst durch thonige Beisätze zu diesen Arten gezählt werden dürfen.

Die Schutt-Bewegung bei Bilten, Canton Glarus, im Jahre 1868 z. B. zählt hieher. Durch eingedrungenes Schmelzwasser einer Lawine wurden die losen Massen eines ausgefüllten Thälchens so durchtränkt, dass sie endlich als Brei abwärtsflossen und über eine 100 Meter hohe Nagelfuhwand in's Thal stürzten.

Manchmal spielen nach begonnenen Bewegungen ausser den inneren Quellen auch noch oberflächlich erodirende und überströmende Wasser eine hervorragende Rolle, indem sie die mannigfach zerrissenen und getrennten Massen mit einem Ueberschuss an Feuchtigkeit versehen, wodurch Schlamm-massen entstehen, die sodann mit mehr oder minder grosser Geschwindigkeit thalab gerissen werden. Bei plötzlichen Wasseransammlungen finden Murgänge der verheerendsten Art statt, und wird z. B. durch den Schlammstrom am linken Ufer der Gader unterhalb St. Leonhard (Enneberg) zeitweilig ein völliges

Absperren des Thales und dadurch ein Aufstau des Baches und Geschiebes und endlich wieder ein Durchriss des ersteren bewirkt, was sich sehr gut an den Schotterterrassen, die daselbst in fortwährender Bildung und Denudation begriffen sind, ersehen lässt.

Der oberhalb Contrin im Buchensteinerthale die ganze Thalbreite ausfüllende Schlammstrom wird von einem Wildbach nicht nur seitlich angenagt, sondern auch zum Theil überfluthet und war im Mai 1880 beim Besuche desselben durch den Verfasser auf grosse Strecken zufolge totaler Erweichung gar nicht betretbar.

Die Wirkung des Wassers auf einzelne Felsarten zeigt sich im Laufe grosser Zeiträume in Folge der ihm innewohnenden absorbirenden, auflösenden und auslaugenden Kraft auch noch auf eine andere, als die vorhin genannte Weise, indem Bestandtheile durch das eindringende Tagwasser gelöst und abgeführt werden, wodurch nebst einer Volumsverminderung unter gewissen Voraussetzungen einerseits eine theilweise Cohärenzaufhebung im Gesteine, andererseits eine Formänderung eintreten muss.

War die vorherige Neigung des Terrains seinem Gleichgewicht entsprechend, so wird hernach, wenn eine geringere Cohäsion und Reibung zwischen den einzelnen Theilchen der Massen eintritt, der Ruhe- oder Gleichgewichtswinkel ein kleinerer werden, das heisst eine von der jeweiligen Beschaffenheitsänderung der Gesteinsmasse bedingte Böschungsverflachung vor sich gehen müssen. Die Wirkung dieser Vorgangswise wird durch chemische Processe, durch die Agentien der Verwitterung, unter Umständen gewiss auch durch ehemalige Dislocationerscheinungen noch weiter potenziert, und so macht sich eine zwar langsame aber stetig fortschreitende Veränderung mit nachfolgender Bewegung in den Massen bemerkbar; ausserdem können noch mehr oder weniger die in den vorhergehenden Abschnitten angeführten Erscheinungen hinzutreten und die Charakteristik solcher langsam wandernder Gehänge vervollständigen.

Eine eigentliche Gleitfläche existirt nach dem Gesagten ursprünglich nicht, obgleich hier analog anderen Bewegungsarten einzelne kleinere und grössere Massen in Folge Trennung von der Unterlage und gegenseitigen Aneinanderreibung bei ihrer meist mehr oder weniger thonigen oder mergeligen Beschaffenheit schalenartige, glänzende Spiegel aufweisen, an deren Weiterausbildung, z. B. Glättung, sodann innere Wasserkräftigen Antheil nehmen. Einzelne oder mehrere solcher zu einem zusammenhängenden Ganzen vereinigte, bereits in der Einleitung als secundär bezeichnete Rutschflächen — besser Trennungs- und Frictionsflächen — bilden sodann in einer nachfolgenden Periode als vorhandene Absitzflächen die Grundlage neuer oder, richtiger gesagt, fortgesetzter Bewegungen.

Die Tuffsandsteine und Mergel der Gegend von St. Cassian unterliegen einer Zersetzung, deren Product eine viel geringere Maximalböschung als die vorhandene Oberfläche verträgt, daher auch die Thälwände daselbst in Bewegung geriethen¹⁾. Die durch die erste Bewegung

¹⁾ E. v. Mojsisovics. Dolomitriffe Südtirols, pag. 242.

entstandenen Trennungsf lächen, sowie die fortschreitende Zersetzung functioniren nun weiter.

Die zunächst der Lupkower Wasserscheide in den Karpathen vorkommenden Schieferletten und Thone der Amphisylen-schiefer haben seit ihrer Entblö s s u n g in allm ä l i g e m Abrutschen ihren Gleichgewichtswinkel zu erreichen gesucht. Es zeigte sich in einem Schacht unter einer 2 bis 3 Meter starken Lehmlage der gewöhnliche dort vorkommende Schiefer, der plötzlich im fünften Tiefenmeter auf einer Humuslage, in welcher Birkenst ä m m e n lagen, aufhörte; darunter befand sich sodann erst — wenigstens anscheinend — der unbewegt gebliebene Schiefer ¹⁾.

Geh ä n g b e w e g u n g e n in solchem Gesteine erstrecken sich zumeist auf eine in den wenigsten Fällen bekannte, leicht bestimmbare oder voraussichtliche Tiefe, während sich mit Gleitfl ä c h e n verbundene Störungen meist auf eine gewisse leichter constatirbare Grenze, nämlich bis auf die tiefstliegende oder tiefstmögliche Rutschfl ä c h e beschränken ²⁾.

Unwillkürlich kommt man in die Lage, sich zu fragen, worin denn eigentlich bei fast gleichen oder ähnlichen Gesteinsarten in diesem Falle früher oder jetzt Bewegung eingetreten und in jenem von einer solchen überhaupt keine Spur sich zeigt? Der petrographisch ziemlich ähnliche Charakter der wandernden und mit geringer Verfl ä c h u n g ausgestatteten H ä n g e bei Ampezzo, Alpe Prelongei, Corvara etc. — den Wengener Schichten angehörig — und theilweise der unter 35 bis 45 Grad Böschungswinkel aus dem Thal aufsteigenden zumeist ruhigen Lehnen der Partnach-Schiefer in Vorarlberg lässt sich nicht verkennen, und doch ist im ersteren Falle ein stetes Fortschreiten und im letzteren im grossen Ganzen eine ungestörte Ruhe bemerkbar. Die mehr oder weniger mergelig thonig gewordenen Verwitterungsproducte der ersteren Localität lagern auf ihrem verhältnissmässig gering durchlässigen Muttergestein, und kommt daher ein Theil der Atmosphä r w ä s s e r auf diesem zum Abfluss, wodurch weitere Glättungen der alten secundären Rutschungen stattfinden, die ein Absinken befördern.

Die steilen H ä n g e des zweiten Vorkommens bergen unmittelbar unter einer schützenden Rasendecke die bereits fast zu lockerem Lehm gewordenen Zersetzungsproducte der Mergelschiefer; jene gehen jedoch nach unten in einer Tiefe von 3—7 Meter in die griffelartig bröckeligen, jedoch im Uebrigen noch ziemlich unzersetzt gebliebenen, zum Theil etwas zusammengekitteten Schieferfragmente über, zwischen denen zahlreiche Hohlräume vorhanden, und die ausserdem an ihren Oberflächen nicht so weit angegriffen sind, dass eine Schlüpfrigmachung oder Erweichung eingetreten, somit ein Abrutschen des Hangenden oder der Masse selbst hiedurch bedingt wäre. Hie und da in diesen Landstrichen auftretende, bereits bewachsene oder jüngere Schlammströme in beschränkten Dimensionen finden in den obersten thonigen Schichten durch ausbrechende W ä s s e r ihre Entstehung.

¹⁾ Confr. des Verfassers Abhandlung: Die Rutschungen auf der Theilstrecke Mezö-Laborez -- Lupkow, pag. 204, in Tiefenbacher's: Rutschungen etc. Wien 1880.

²⁾ Entwässerungen in solchem Terrain, soweit sie nicht cohäsionsfördernd wirken, sind nutzlos, da nicht das Wasser, sondern die eigenthümliche Beschaffenheit des Gesteins Bewegungsursache ist.

Hiemit wären die durch innere Ursachen bedingten Gleichgewichtsstörungen zum Schlusse gebracht. Die Behandlung der zweiten Gruppe, welche die äusseren Bewegungsursachen umfasst — wobei selbstredend das Zugesein der berührten inneren Ursachen nicht ausgeschlossen ist, sondern z meist die Bewegung fördert — gliedert sich in:

Herbeiführung von Bewegungen durch:

1. Entfernung stützender Massen.
2. Vergrösserung der Belastung.
3. Aussergewöhnliche Ursachen.

Den Erörterungen hierüber wird sich sodann die Besprechung einiger ungewöhnlicher Erscheinungen, sowie der Folgen oberflächlicher Bodenbewegungen anschliessen.

1. Herbeiführung von Bodenbewegungen durch Entfernung stützender Massen.

Wenn Flächen im Innern der Gebirge dem Thale flacher zufallen, als die äussere Begrenzung des Hanges, so treten die in der ersten Gruppe besprochenen Erscheinungen ein. Anders verhält sich die Sache, wenn diese Rutschflächen nicht mehr im Thale ausstreichen, mithin die einzelnen Tafeln oder Rutschkörper gestützt erscheinen; hier bedarf es in der Regel noch anderer, als der bereits erwähnten Verhältnisse, um Gleichgewichtsänderungen herbeizuführen. Wie leicht ersichtlich, wirkt die Stützung bei plastischen Massen nicht über ein gewisses Mass hinaus, welches eine Function der Ductilität derselben ist. Z. B. im Thal fussende Lehmschichten reichen bis zu bestimmter Höhe ungestört am Hang hinauf, während andere Theile von oben bereits darüber hinweggleiten.

Bei wenig plastischen Gebirgsmassen wirkt jedoch die Stützung in mehr oder minder ausgezeichnetem Masse, so dass durch theilweise Entfernung der Stützen Gehängbewegungen eintreten.

Als der mächtigste äussere Motor wirkt die Erosion.

Bekannt sind die Vorgänge, die bei den fliessenden Gewässern durch Sohlenvertiefungen und Unterwaschungen der Uferborde Deformationen in letzteren erzeugen: Begrenzte Massen auf zu Thal geneigter Fläche verlieren ihre Stütze oder die Uferhänge erlangen eine Höhe und Steilheit, welche die Cohärenz des Gesteines überwiegen, und es entstehen Absinkungen und Brüche. Durch die erste Abtrennung (z. B. nach *RR*, Fig. 1) verlieren die dahinter liegenden Gebirgtheile ihr Widerlager und folgen gewöhnlich noch weitere Terrainstücke der begonnenen Bewegung ($R_1 R_1$ und $R_2 R_2$, Fig. 1).

Einen grösseren Complex von zum Theil hieher gehörigen Bewegungen durch Erosionswirkung umfasst der Landstrich zwischen Homonna und Lupkow. Stundenweit zeigen dort die Gehänge der Haupt- und Nebenthäler die mehr oder minder schon äusserlich erkennbaren Spuren bereits temporär zur Ruhe gekommener oder noch nachweisbarer Bewegung, so dass der Beobachter förmlich zur Ansicht hingedrängt wird, in solchem Gebirge die Bewegungen als Regel und unverändert ruhig gebliebene Stellen als Ausnahmen anzusehen.

Böschungsanlage derart gelockert, dass nach einem Jahre ein Absturz des oberen Theiles von 2—300 Cubikmeter nach *KR* eintrat und noch weitere Risse sich im stehengebliebenen Gebirge zeigten.

Schliesslich wäre noch der Absatzungen an See-Ufern nach Abfluss des Wassers zu gedenken. Durch Tieferlegung des Wasserspiegels am Bieler See ereignete sich im Jahre 1874 bei Bipschal am westlichen Ufer zwischen Neuveville und Douanne ein Absturz, der 50 Ar Weinberge und ein Haus zerstörte. Die Erosionen an den Ufern des Murtenner See's unterhalb des Dorfes Vallmond werden auch erst seit dem Fallen des Seespiegels um 1·5 Meter beobachtet¹⁾.

2. Herbeiführung von Bodenbewegungen durch grössere Belastung.

Im Vorhergehenden war die Beanspruchung des Terrains eine derartige, dass entweder die Reibung in den Kluftflächen oder die Cohäsion des Materials durch die eigene Last, also durch Zug überwogen wird und ein Abreissen erfolgt. Dieselben Resultate ergeben sich auch bei der Inanspruchnahme von Terrain durch Druck.

So werden wenig cohärente Massen durch Belastung auf eine von dessen Grösse abhängige Tiefe anfänglich zusammengedrückt, und der dadurch entstehende Körper von grösserer Dichte und Schwere durch Zunahme der Belastung vom unterlagernden Massiv in einer mehr oder weniger glatt werdenden Fläche abgeschoben.

Abgesehen von Gesteinen, die schon überhaupt durch ihre Beschaffenheit einer Uebertragung schwer Stand halten, wie z. B. einzelne Schichten, die durch vorgeschrittenen Verwitterungs- und Zersetzungsprocess gelockert zwischen festeren lagern, loser Sand oder rolliger Schutt werden andere, z. B. manche Thone, erst durch fortschreitende und in immer grössere Tiefen eindringende Durchnässung zu einer nachgiebigen Masse, die unter einer natürlichen oder künstlichen Belastung auszuweichen trachten wird. Bergstürze, Schuttmassen oder künstliche Erdwerke, die auf solche nachgiebige Massen gerathen, ergeben Beispiele von Verdrückungen.

Ende December 1879 stürzte am Vitznauerstock am Vierwaldstättersee von einer steilen Kalkwand eine abgeklüftete Partie auf eine sumpfige, thonreiche Schuttterrasse, dieselbe zum Abrutschen bringend. Im Weiteren stürzte sodann die Masse über eine kleine Wand in das Gerinne des Vitznauerbaches, dessen gestaute Gewässer die Massen als Murgang bis in den See brachten.

Die Bewegungen in den Gehängen ob Brienz, Canton Graubünden, die im Jahre 1878 bemerkbar wurden, dürften auch hieher zu zählen sein. Die weiche Bündtnerschiefer-Unterlage wich unter der Last der aufgelagerten Dolomite²⁾. Im gewissen Sinne gehört die Schluserscheinung beim Elmer Bergsturz hieher, nämlich das Abgleiten der bereits abgebrochenen und in die Thalsole gerathenen Massen

¹⁾ Bull. de la société Voudoise 1880, XVII.

²⁾ A. Heim: Ueber Bergstürze. Zürich 1882.

sammt der Ackerkrume des Thales. Ebenso ist das Abgleiten von Deltas der zunehmenden Last durch neu aufgebraachte Massen zuzuschreiben.

Bei Herstellung von Anschüttungen — die immer eine ungleichförmige Belastung der Unterlage bewirken — auf der Theilstrecke Lupkow-Palota der ersten ungar.-galiz. Eisenbahn wich die oberste Terrainlage, nämlich lockerer Lehm, bis zu zwei Meter Stärke auf der unter diesem liegenden Tegelschichte aus. Nach Abhebung des Lehms und Fundirung der Anschüttung in den Tegel rutschte dieser wieder vom unterlagernden Schiefer ab; hiebei waren häufig keine strengen Schichtenunterscheidungen möglich, sondern ein allmäliger Uebergang einer Gesteinsart in die andere.

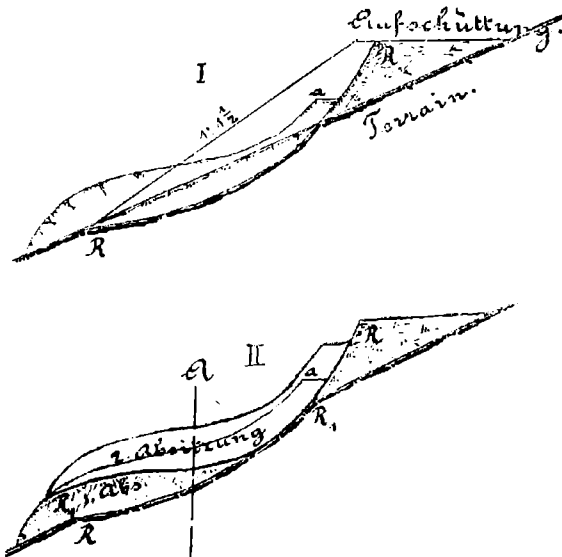
Conform dem Auftreten mehrerer Gleitflächen im ersten Abschnitt ergeben sich auch hier nicht bloß einzelne, sondern manchmal mehrere durch variablen Druck successive hervorgerufene Trennungen übereinander in Verticaldistanzen von wenigen Centimetern bis zu mehreren Metern.

Auf der gleichen Theilstrecke wie früher war durch eine Anschüttung wenig tragfähiges Terrain in's Aufrollen gerathen. Die durch Wochen in der immer wieder entstehenden Lücke aufgebraachten neuen Schüttungsmassen nahmen stets wieder die anfängliche Bewegung an.

Die in der nun sistirten Anschüttung vorgenommene Abteufung eines Sondirschachtes ergab eine ganze Reihe übereinander liegender Spiegel in den anstehend gewesenen Lehm Massen. Der in Fig. 7 I schematisch dargestellte Absitzung folgte der in II veranschaulichte Process: Durch abermalige Aufbringung einer Last schob sich ein Theil der bewegten Masse in einer neu entstehenden Trennungsfläche über das weiter unten oder tiefer liegende, zum Theil vielleicht schon langsamer im Fortschreiten begriffene Fragment. Durch fortgesetzte Nachschüttung wiederholt sich der Vorgang mehrmals und die Abteufung eines Schachtes in A Fig. 7 II erschliesst sodann die besprochenen Flächen.

Nach der Absitzung eines Damms im Hainbachthal ¹⁾ wurde eine Gleitfläche 2 Meter tief in der auf dem Schiefer — der obersten

Fig 7



¹⁾ Bolte: Rutschungen an der Behra-Hanauer Eisenbahn.

Abtheilung der Buntsandsteinformation angehörig — liegenden zusammengedrückten, weichen Thonmasse und eine zweite auf dem Schiefer selbst in einer Tiefe von 3—4 Meter constatirt.

Solche meist den weniger cohärenten Gesteinsarten in ausgezeichnetem Masse eigenthümlichen Verhältnisse erhalten durch die bei aufgeschütteten Erdwerken vorkommenden Absetzungen eine weitere lehrreiche Illustration: Besteht das Schüttmateriale aus nachgiebigem oder wenigstens oberflächlich erweichbarem Gestein, wie z. B. Schieferthon, einzelne Mergel, so wird durch eindringende Tagwässer die ohnehin geringe „Häsion“¹⁾ und Reibung der einzelnen Theilchen noch geringer und veranlasst bei einer nicht flach genug angelegten Böschung Abtrennungen, indem die tiefer liegenden Massen durch die über ihnen befindlichen anfänglich zusammengepresst, bei zunehmender Belastung oder aber fortschreitender Durchfeuchtung aus dem herzustellenden Erdkörper herausgedrückt werden, wodurch die hangenden Massen ihres Lagers beraubt, der Bewegung folgend, zum Abbruche gelangen. Bei zunehmender Durchfeuchtung wird ein dem schon früher erwähnten analoges Ausfliessen die Schuttmassen zum Theil in Brei verwandeln.

Die Abminderung der Cohäsion der Gesteinsarten als integrierender Factor für die Neigung derselben zu Bewegungen ist von mancherlei Umständen abhängig, vor Allem vom Verhalten des Gesteins im Ganzen oder seiner Fragmente gegen die Atmosphärien oder von hinzukommenden Beimengungen, wie Aehnliches bereits bei den Schlammströmen besprochen wurde. An und für sich zu Bewegungen wenig geneigter Granitgrus, Schutt u. s. w. wird durch nur geringe thonige Beisätze, die die Oberflächen der einzelnen Theilchen oder Trümmer bei gleichzeitiger Nässe schlüpfrig machen, zu leicht beweglichem Gebirge.

Wenn dennoch natürliche Schuttanhäufungen oder künstliche Anschüttungen z. B. von einzelnen Mergelarten ohne eintretende Absetzungen unter Neigungswinkeln gegen den Horizont bestehen, wo andere Arten bereits in Bewegung gerathen, so liegt dies häufig darin, weil die Masse noch früher einen gewissen Grad der Ruhe und Consolidirung erreicht hat, bevor die auflösende Kraft der Tagwässer auf die einzelnen Bruchstückchen eine solche war, dass die Oberfläche erweicht und die Reibung geringer wurde, die mittlerweile vor sich gegangene Setzung oder Sackung sammt der damit verbundenen bedeutenden Festlagerung lässt die geringere Reibung nicht mehr zur Aeuserung gelangen.

Regengüsse von längerer oder kürzerer Dauer oder innere Quellungen wirken nicht selten als lastvergrößernd²⁾ und dadurch bodenbewegend.

3. Bodenbewegungen durch besondere Ursachen.

Hieher wären zu zählen vor Allem die Erdbeben. So wird der gewaltige Bergsturz an der Südseite des Dobratsch am 25. Jänner 1348,

¹⁾ Confr. E. Reyer: Bewegungen in losen Massen. Jahrbuch der k. k. geol. Reichs-Anstalt. Jahrgang 1881.

²⁾ Confr. z. B. C. Scheidtenberger: Schluchtübersetzung bei Ober-Lesecca auf der Karstbahn. Zeitschrift des österr. Ing.- und Arch.-V. Jg. 1873.

der theilweise Einsturz der Lomnitzer-Spitze in den Karpathen, die vielen Bergstürze in Calabrien 1783 u. s. w. ¹⁾ den gleichzeitig aufgetretenen Erdbeben zugeschrieben.

Einer weiteren Ursache: der inneren Spannungen im Gebirge erwähnen Baltzer und Heim, doch fehlen bisher noch diesbezügliche sichere Beobachtungen.

Inwieweit endlich mit der Gebirgsbildung im Zusammenhang stehende Dislocationserscheinungen und der dadurch hervorgebrachten Aufrichtung und Entblössung von Gebirgsmassen Bewegungen erzeugten, liegt ausser dem Umfange dieser Schrift.

Aussergewöhnliche Erscheinungen.

Abtrennung von Fragmenten aus dem Liegenden.

Jede noch unvollendete Thalbildung weist Bewegungen in den Gehängen auf, während fertige Thäler nicht selten Erscheinungen zeigen, die auf früher stattgehabte Verschiebungen bis zur Gleichgewichtslage deuten. Die von Th. Fuchs ²⁾ in der Umgebung von Wien gemachten Beobachtungen in bereits ruhigem Terrain werfen, mit den in Rede stehenden Vorkommnissen verglichen, mancherlei Streiflichter auf dieselben, d. h. die dort in vielen Beispielen angeführten Erscheinungen entsprechen in ihrem Wesen den noch jetzt allenthalben auftretenden Störungen in der oberen Erdkruste. Es hat sich in vielen diesen Fällen die Bewegung des verschobenen Terrains auch auf eine gewisse Tiefe in die unterlagernde, wasserführende Schichte erstreckt und zeigt den zum Theil erweichten Tegel in langen, mannigfach gekrümmten, zungenförmigen Fortsätzen in die bewegten Massen hinein.

Aehnliche Abtrennungen von Fragmenten aus dem Liegenden wurden in den abrutschenden Bodentheilen beim Bau der Kronstadt-Tomöser Eisenbahn beobachtet, und zwar wie aus der beigegebenen

Fig 8

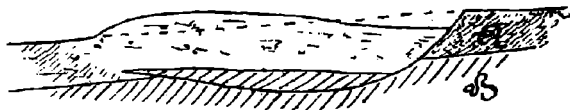


Fig. 8 ersichtlich, hat die aus gelbem Lehm mit Sandeinlagerungen bestehende Schichte A die Liegendschichte B von blauem Thon mit zum Ausweichen gebracht. Auch C. J. Wagner ³⁾ erwähnt des Mitreissens von

krystallinischem Schiefer am Untergrund und seitlich von abgehenden Geschiebemassen und Schlammströmen.

Der gleitende Berghang, Fig. 3, Taf. XIV, von gleichen Gesteinsarten und in gleicher Darstellung wie Fig. 1, Taf. XIV, zeigt in *AB* eine auffallende und von der eben citirten Figur abweichende Ausbildung

¹⁾ Dr. Rud. Hoernes: Die Veränderungen der Gebirge und ihre Beobachtung. Jahrbuch des österr. Touristen-Clubs. XII.

²⁾ Am bereits citirten Orte.

³⁾ Am bereits citirten Orte, pag. 510.

der Tegeloberfläche, die in der Thatsache motivirt liegt, dass die wasserführende Schichte im Terrainabschnitt *AB* selbst bis auf eine gewisse Tiefe in plattenförmige Abschälungen getrennt der thalwärtigen Bewegung der auflagernden ziemlich mächtigen Masse gefolgt ist, sei nun diese Sonderung in ähnlicher Art, wie in Fig. 8, durch förmliches Mitreissen des Liegenden oder durch einseitigen Druck begründet, der sehr wohl gedacht werden kann, wenn jene Fälle in Berücksichtigung gezogen werden, welche eine zuweilen einseitige Lastvergrößerung auf die Unterlage bewirken können. Abreissen einzelner Bodentheile im Hangenden, Eindringen und Versacken von Wasser in den Rissen, theilweise Vollaugung der Auflagerung mit Feuchtigkeit und hiedurch nach längerer Zeit verursachte weitere Erweichung des bisher unbewegt gewesenen Liegenden, die neuerliche Trennungen ermöglicht.

Theilweise Auftreibungen des Terrains.

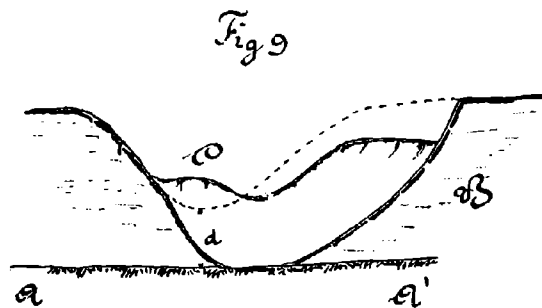
Schon bei Fig. 8 ist im untern Theil der abgetrennten Masse nebst der thalseitigen Verschiebung eine kleine Hebung über das frühere Terrainsniveau zwar wenig, aber doch bemerkbar; nicht zu selten ergeben sich jedoch ähnliche Bewegungen in grösserem Masse.

Bei näherer Betrachtung der Fig. 1, Taf. XIV ist in die Augen fallend, dass die unterirdischen Mulden *CD* u. *EF* der Tegelfläche durch Hügelbildungen an der Terrainoberfläche bedeckt erscheinen, und können diese dadurch erklärt werden, dass die beiderseits einer solchen Mulde befindlichen Massen derselben zustreben und durch den resultirenden Druck ein Stauen oder Heben der in der Mulde liegenden tieferen Theile veranlassen.

Dieser Auftrieb hat sich auch bei Erd- und Tunnel-Bauten gezeigt. Auf einer wenig durchlässigen Lage *AA'*, Fig. 9, auf der die eingedrunge- nen Niederschläge grösstentheils zum Abflusse gelangen, sei die erweichbare Masse *B* aufgelagert. Durch äussere in der Vertiefung *C* oder innere in

B befindliche Wässer — eventuell von *AA'* aufsteigend — werden die von letzterer Fläche aufwärts liegenden Massen durchfeuchtet und mit Wasser schliesslich derart durchzogen, dass sie dadurch nachgiebig geworden, dem Druck des bergseitigen Hanges ausweichend, in *C* empordrängen, sobald die geringe Stärke *d* dem Schube des nachdrängenden Körpers nicht Stand halten kann.

Der Vorgang, der hier auf einer Rutschfläche zwischen verschiedenen Straten zum Ausdruck gelangt, tritt aber auch ohne eine solche ein und ist weder ausgesprochene Schichtung noch Verschiedenheit in der Gebirgsart eine nothwendige Bedingung, sondern es können in einer ganz homogenen Masse durch ihre „Maximalböschung“ über-



schreitende Gehänge oder durch Böschungsdruck Abrisse oder Trennungen erwachsen, wodurch sodann bei Hinzukommen von mehr oder weniger plastischer Sohle ein Aufsteigen dieser hervorgebracht werden kann. Ehemalige Gleitflächen primären oder secundären Charakters oder kaum merkbare Einschlüsse in einer sonst vollständig gleichartigen Gebirgsmasse — Trennungen erleichternd — zählen zu den häufigeren Bewegungsfaktoren.

Aus der reichen Auswahl von Beispielen solcher Erscheinungen sei nur jener Ereignisse erwähnt, die sich an der Küste von Manabí¹⁾ in den Jahren 1870 und 1871 zutragen.

Die Gehänge der Wüste bestehen aus einem dem Tertiärsystem angehörenden Complex von losen Sanden, wechsellagernd mit sandigen Thonen, wobei die Schichten mit 20 bis 25° gegen das Meer einfallen und waren die Spuren älterer Senkungen und Abrutschungen nicht zu verkennen. Die im Monat Juli 1870 begonnene Bewegung des Küstenlandstrichs gegen das Meer nahm im darauffolgenden Jahre im gleichen Monate grössere Dimensionen an, so dass eine Strecke von fast 0·9 Kilometer Länge sich bergab verschob und das Seegestade durch den gewaltigen Druck der bis auf etwa 100 Meter Höhe hinaufreichenden abgetrennten Masse bis zu 30 Meter emporgetrieben wurde, wobei nicht blos die Durchnässung der Straten im Meere und, in Folge des durchlässigen Sandes und des herstenden Thones bis in's festere Land hinein, sondern auch reichliche Regengüsse eine Beschleunigung des Processes veranlassen mochten. Hiebei wurden die auf den Tertiärschichten liegenden recenten Bildungen mit horizontaler Schichtenlage mitgehoben und ist die ganze Hebung wohl weniger einem eigentlichen Hinweggleiten der bewegten Masse unter den recenten Ablagerungen, als vielmehr zum grossen Theile einem Zusammendrücken und dadurch bedingtem Aufstau der widerstehenden Massen zuzuschreiben.

Die Bewegung war theilweise eine langsame, gleitende und eine plötzliche, bei welcher letzterer die losen, nun mittlerweile mit Wasser gesättigten Sande durch den immer grösser werdenden Druck, ähnlich den im Berg- und Tunnel-Bau angefahrenen Triebssanden, plötzlich Luft bekamen und eine vehementer Bewegung oder Hebung veranlassten.

Bei Kenntniss der petrographischen Beschaffenheit einer Gebirgsart und dem Vorhandensein einer Rutschfläche lässt sich ein solcher Auftrieb mit ziemlicher Sicherheit prognosticiren; so war z. B. im Bahneinschnitt, Fig. 2, Taf. XIV, zwischen Kilometer 33·9 und 33·96 an der Mehburger Wasserscheide²⁾ ein Aufwulsten in der Sohle als höchst wahrscheinlich vorauszusehen, indem durch den Aushub in der nur in sehr labilem Gleichgewichte befindlichen Lehmmasse die Stärke des beweglichen Bodens über der — in gleicher Weise wie in Fig. 1, Taf. XIV angedeuteten — Tegelfläche in der Einschnittssohle auf die Hälfte des früheren Bestandes herabsank und ausserdem die Wasserführung in der unterirdischen Mulde daselbst, sowie unzweifelhaft aus

¹⁾ Th. Wolf in Quito: Ueber die Bodenbewegungen an der Küste von Manabí Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, XXVII. Bd. 1875.

²⁾ Gerstel: Rutschungen etc. 1874.

dem Bache *cd* zusickerndes Wasser die Bedingungen für ein Sohlenaufquetschen gaben.

In dem schon mehrmals citirten Doppelsechnitt am Nirelsberg (Fig. 2) verursachte die Bewegung des abgetrennten Böschungskörpers ein Auftreiben der unteren Einschnittssohle um $2\frac{1}{2}$ Meter. Wie aus der betreffenden Figur ersichtlich, nahm an der Bewegung eine ungefähr 1:4 aufsteigende Schichtfläche besonderen Antheil; es zeigt sich mithin, dass Trennungsflächen keineswegs blos zu Thal geneigt sein müssen, um Bewegungen zu ermöglichen.

Auf der gleichen Bahnlinie zeigte sich im Einschnitte am Binz eine ähnlich aufsteigende Rutschfläche. Bei rascherer Bewegung werden solche aufsteigende Flächen ein förmliches Herausschleudern der abgetrennten Massen verursachen können.

Wie übrigens auch aus der schematischen Fig. 9 ersichtlich, muss die Abrissfläche in ihrem Endverlaufe gegen den tiefsten Terrainpunkt zu ein Stück von aufsteigender Richtung zeigen, wodurch eben ein Aufsteigen resultirt.

Gewisse nachgiebige Gesteinsarten zeigen manchmal in Folge ihrer elastischen Eigenschaften keine förmlichen zusammenhängenden Trennungsflächen, sondern nur ein dem Ausquetschen oder Auswalzen ähnliches Verhalten gegen Druck. Lyell schildert die Nachgiebigkeit der Schieferthone der englischen Kohlenlager unweit Newcastle, wodurch die abgebauten Kohlenstrecken sich sehr langsam, oft erst nach vielen Monaten von der sich aufwölbenden Stollensohle wieder schliessen, eine Wirkung, die noch 50 Meter tiefer bemerkbar ist.

Im Sohlstollen des Lupkower Tunnels — lockerer Schieferletten — war weder das fortwährende Auftreiben der Sohle, noch ein mehrmaliges Schliessen desselben zu verhindern.

Das Ausquetschen einzelner Schichten, wie z. B. von weichen Braunkohlen im Einschnitt am Ziegenberge¹⁾, von altem Seeschlamm unter der Station Horgen am Züricher See, wo sich der Seeboden 1 bis 2 Meter erhöhte, sind Ergebnisse von ähnlichen Ursachen.

Nachgiebigkeit des Materials gegen Druck ist also die allen angeführten Beispielen gemeinsame Hauptbedingung für das Eintreten des besprochenen Phänomens.

Es erübrigt noch, einer eigenthümlichen Erscheinung zu gedenken, die A. Lorenz²⁾ erwähnt: Unter einer festen Erdkruste sammeln sich von den Gehängen herabquellende Schlamm Massen und verursachen eine Auftreibung der Thalbecken. Die Hebung dieser Thalbecken ist eine constante, unmerkliche und wird eine senkrecht aufsteigende, so lange die umliegenden Hügel gleichmässig ihr Materiale hinabführen, eine seitliche, wenn blos eine Seite der Hügel in Bewegung ist, endlich eine ungleichförmige, wellenartige, sobald die feste Erdkruste von verschiedener Stärke ist.

Folgen oberflächlicher Bodenbewegungen.

Tritt ursächlich einer vorgebildeten Rutsch- oder sich erst bildenden Trennungsfläche allein oder durch Hinzukommen äusserer Umstände

¹⁾ Zeitschrift für Bauwesen. Jahrgg. 1871.

²⁾ Lorenz: Entwässerungen im Rutschterrain. 1875.

eine Gleichgewichtsstörung in einer Gebirgsmasse ein, so resultiren die Erscheinungen der Rutschungen, Bergstürze und Schlammströme, sowie Combinationen daraus ¹⁾ und findet entweder nur eine theilweise Abtrennung statt, so dass an einzelnen meist unteren Stellen noch ein gewisser Zusammenhang besteht oder aber eine vollständige, demnach die Trennungsfläche nach allen Seiten begrenzt ist. Die Motion kann alle Phasen einer kaum merkbaren ruhigen bis zur vehementen plötzlichen durchmachen. Die Art der Masse im Zusammenhalt mit Form und Lage der Trennungsflächen hat auf die Art der Bewegung bestimmenden Einfluss.

Die möglichen Fälle der Bewegung sind: Gleiten, Fliessen und Rollen, von denen die beiden ersten näher betrachtet werden sollen. Beim Gleiten bewegt sich die Unterfläche der abgelösten Masse längs oder an der Oberfläche des unverrückt gebliebenen Liegenden, und zwar derart, dass im Wesentlichen die tiefsten Theile der Scholle zuerst das Thal erreichen, dem die obersten Theile folgen. Das Fliessen behält im Allgemeinen den eben ausgesprochenen Charakter bei, doch wird unter Umständen, z. B. durch stärkeren Wasserzufluss, der oberste Theil der Masse über den unteren hinweg voraus der Niederung zueilen.

Partielle Formen des Gleitens bei mehr plastischen Massen sind Falten, Ueberschiebungen und Ueberwerfungen.

Faltung tritt ein, wenn z. B. durch einen Abriss eine geneigte zusammenhängende Decke in ihrem oberen Theil eine raschere Bewegung annimmt als im unteren, sich aufzuwellen beginnt, bei zunehmender Bewegung und genügendem Zusammenhang nach abwärts überschiebt und schliesslich das obere Ende der abgerissenen Schichte durch die eigene Schwere herabgeschoben wird und nach abwärts zu liegen kommt. Am schönsten zeigt sich diese Erscheinung an abschälenden Rasendecken, die durch ihr Wurzelgeflecht einen zähen Zusammenhang besitzen. Es ergibt sich also bei einem solchen Uebersturz, dass ursprünglich höhere oder obere Theile des Losgelösten voraus eilend oder stürzend — selbst fliegend — das Thal erreichen, somit ein förmliches Umkehren der Masse statt hat.

Doch nicht blos plastische, sondern auch unnachgiebige Gebirgsarten zeigen Ueberstürzungen, jedoch auf Grund anderer Ursachen.

Wir sehen nämlich in Sand- und Lehmgruben, sowie Steinbrüchen diese Bewegungen auf künstliche Art hervorgerufen. In ersteren werden behufs leichterer Gewinnung durch Untergrabung des Fusses der steilen Wand („Unterschrämmen, Unterkrampen“) grössere Schollen zum Abbruch gebracht und ist hiemit ein Ueberkippen nach der freien Seite des in Trümmern zerfallenden Bruchstückes häufig verknüpft. In Steinbrüchen, wo einzelne Schichten, die bereits ihrer stützenden unteren Enden beraubt wurden, zum Theil noch an ihrer Lagerfläche hängen bleiben, wird beim endlichen Niedersinken der anklebenden

¹⁾ A. Heim's Eintheilungsprincip der Bergstürze im weitesten Sinne nach Fels und Nichtfels dürften die Geologen schwerlich acceptiren und nur die weitere Theilung nach Art der Bewegung in Rutsch, (Schliff), Sturz (Fall) und Strom dürfte sich Eingang verschaffen.

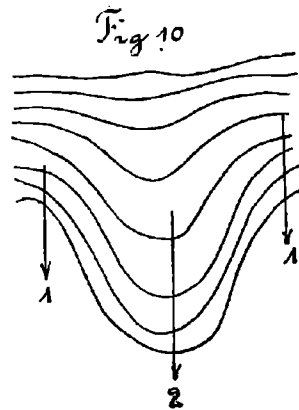
Schichtentheile ein blosses Abrutschen erfolgen oder aber — besonders bei steilerer Schichtstellung — kann ein Ueberschlagen der oberen Platten stattfinden, so dass dieselben über die tiefst liegenden Theile hinwegstürzen.

Eine theoretische Betrachtung der auftretenden Kräfte führt auf die Möglichkeit einer solchen Ueberwerfung: Nach abwärts in der Richtung der Trennungsfläche wirkt die Schwerkraftscomponente, deren Angriffspunkt der Schwerpunkt der abgehenden Masse oberhalb derselben liegt. Entgegen wirkt nach der Trennung die Reibung, die in der Trennungsfläche zur Aeusserung kommt; es entsteht mithin ein Kräftepaar, das ein Drehen um die untere ideale Kante der Masse anstrebt. Je stärker, dicker der auf der Abrissfläche vorhandene Körper, d. h. je weiter der Schwerpunkt von dieser entfernt und je grösser die Reibung — durch auftretende Unebenheiten, die eventuell erst abgehobelt werden müssten — desto eher kann ein Umsturz erfolgen. Die Lage der Trennungsfläche wirkt insoferne mit, als grössere Steilheit die Schwerkraftscomponente vergrössert, mithin nach dem Gesagten die Prämissen für einen Uebersturz vermehrt.

Charakteristisch ausgezeichnete Formen weist das schon früher einmal besprochene in Rutschung befindliche Gehänge Fig. 1, Taf. XIV auf. Indem die Oberflächenlinien in den mannigfachsten Krümmungen und in sehr ungleicher Entfernung von einander ein sehr wulstiges, von kleinen Hügeln, Mulden, Vorköpfen, steileren und sehr flachen Partien formirtes welliges Terrain markiren, kurz sogenannte „unruhige“ Linien darstellen, zeichnen sich die Rutschflächenlinien in ihrem gleichmässigen Verlaufe durch ihre grosse Ruhe gegenüber den ersteren aus.

Die Ursache des diesartigen Nebeneinanderbestehens beider liegt in der früheren und bereits beendeten oder noch vorwaltenden Bewegung des auf der Rutschfläche thalab gleitenden Massivs, wobei natürlich nicht in allen Theilen desselben ein gleichmässiges, sondern durch verschiedene Nebenumstände verändertes Vorrücken bedingt ist, wodurch zahlreiche Risse entstehen.

Unter den auftretenden Formen der Terrainoberfläche ist es vor Allem eine in Fig. 10 mit Horizontalcurven schematisch fixirte, welche einiges Licht auf die Entstehungsweise solcher Gebilde wirft, die auch bei in Bewegung gerathenen künstlichen Erdkörpern auftritt: Entweder haben sich die Theile, die bei 1, 1 lagen, rascher vorgeschoben als 2, daher in 1, 1 die Lücken entstanden — wobei 2 selbstverständlich auch unbewegt geblieben sein kann, oder es hat der umgekehrte Vorgang stattgefunden. Es leuchtet ein, dass diese Form nicht an das Bestehen einer schon vorgebildeten Rutschfläche gebunden ist, sondern überall dort zum Vorschein kommen wird, wo weiche plastische Massen in ungleich fortschreitende Bewegung gerathen.



Nicht selten liegt unter einer solchen vorspringenden Form im Plan der unterirdischen Horizontalkurven eine entgegengesetzte Bildung, nämlich eine Einmündung, wie z. B. in *CD* und *EF* in Fig. 1, Taf. XIV ersichtlich ist, und wurde jene bereits an früherer Stelle als das Resultat von Terrainaufreibungen gedacht, während sie nach dem eben Gesagten auch bloß eine Folge der thalab schreitenden ungleichförmigen Bewegung sein kann. Es ergibt sich hieraus vor Allem, dass weder unter solchen äusserlichen Ueberhöhungen noch Einmündungen correspondirend gleiche innere vorhanden sein müssen.

Ein Profil in 2 zeigt eine mehr oder minder ausgesprochene Convexität, die in den meisten Fällen auf die Eruirung von bewegten Stellen in sonst ruhigen Gehängen führen kann. Eine kurze Ueberlegung zeigt dies: Die Gehängslinie von Schutthalden — sei der Schutt von festerer oder weicherer Beschaffenheit — weist im Allgemeinen eine schwachconcave Form auf: oben steiler, nach unten zu etwas flacher. Finden sich daher in einem solchen Gehängabschnitt im Verlauf der Linie Unregelmässigkeiten, so liegt ihnen entweder ein aus dem Hang hervorstehender festerer Kern — sei es an ursprünglicher Lagerstätte oder ein Bruchfragment — zu Grunde oder fehlt diese feste innere Veranlassung, so kann nur durch Verschiebung von Theilen in der regelmässig angelegten Gehängsmasse die Ursache liegen. Welcher Art sodann diese Bewegung war, dürfte unter Berücksichtigung der localen Verhältnisse nicht schwer zu bestimmen sein.

Es ist bekannt, dass in den Niederungen nachweisbare Aenderungen in der Lage und Richtung der fliessenden Gewässer eingetreten sind, wo doch die Uferwände und die daran anschliessenden Gelände bis zu den eigentlichen Thalhängen gegenüber den Lehnen noch unfertiger Thäler relativ fast im Zustande der Ruhe sich befinden; um wie viel mehr ist anzunehmen, dass erodirende Wässer in plastischen, leicht beweglichen Hügelmassen durch ungleiches Nachsinken der Seitenwände, grössere Verschiebungen, und dergl. gewissen Veränderungen unterliegen, so dass jetzige Bette als Resultate von Verdrängungen von den ursprünglichen Gerinnen erscheinen werden. Die inneren Wässer einer durchdringlichen Felsart vertheilen sich weder gleichmässig über die Oberfläche der gering durchlässigen Schichten, noch kommen sie immer an den tiefsten Punkten derselben zur Sammlung und zum Abfluss, sondern wie beobachtet wurde, mitunter auch an mehr erhöhten Stellen, was in dem Wechsel der Lage des verschieblichen Hangenden grösstentheils liegen wird, indem die Massen die Wasserläufe immer wieder verlegen und auf andere Bahnen drängen.

Sohin darf es nicht Wunder nehmen, wenn auf einer undurchlässigen Schichte ausgesprochene unterirdische Wasserläufe oder doch Thalwege, trocken oder zeitweise wasserführend, die unzweifelhaft in vielen Fällen in solchem Terrain ehemals noch offene oberirdische Sammeladern waren, in ihrer örtlichen Situirung von den jetzigen oberirdischen bedeutend abweichen, ja es kann hieraus, sobald einmal weitere Untersuchungen zu Gebote stehen, auf etwa stattgehabte Störungen im Terrain im Sinne der entwickelten Folgerungen rückgeschlossen werden.

Auf der Wasserscheide zu Mehburg, Fig. 2, Taf. XIV, tritt solch ein markanter Fall vor's Auge, indem die Lage des unterirdischen Thalweges *a b* keineswegs mit dem Bachlauf *c d* sammt Seitenzuflüssen an der Terrainoberfläche correspondirt.

Das Erkennen früherer Bodenbewegungen ist von eminent praktischer Wichtigkeit. Selten steht zur Lösung dieser Aufgabe mehr als nur die unerschlossene Oberfläche zu Gebote und erstreckt sich die Frage durchweg auch noch auf die muthmassliche Tiefe der bewegten Rinde, die Ursachen der früheren Verschiebungen, sowie des eventuellen Ruhestandes und dergl. und kann natürlich in solchen Fällen nur die mit der Oberflächengestaltung in Beziehung gebrachte vorausgehende Erfahrung, das heisst der Vergleich mit anderen constatirbaren Bewegungsfällen Anhaltspunkte liefern. Bewegtes Terrain im Bild plastisch darzustellen wären wohl Curvenpläne ähnlich den vorgeführten berufen, sobald das nöthige Materiale hiezu vorhanden, was jedoch selten der Fall sein wird. Die meisten geologischen Specialkarten schenken leider bisher diesem Theil der Tektonik der Gehänge nur wenig Aufmerksamkeit: ausser hie und da angedeuteter Bergstürze findet man wenig diesbezüglich eingetragen, was wohl bis nun ausser ihrem Zweck lag, auch zum Theil am Kartenmassstab scheiterte u. dgl., obschon diese in erster Linie berufen wären, im Vorhinein auf vorgekommene oder vorhandene Bewegungen hinzuweisen. Während man schon seit Jahrzehnten geologische Arbeiten für landwirthschaftliche Bodenkarten verwertete, existiren für bauliche Zwecke nur unzusammenhängende Fragmente von Publicationen, z. B. von Theilen der Arlbergbahn und Gotthardbahn auf Grund von besonderen Aufnahmen.

Es genügt z. B. nicht zu wissen, dass im Allgemeinen geneigte Terrainpartien, die aus mehr oder weniger thonigen Massen bestehen, in sich leicht alte Bewegungen bergen; ebenso steht der praktischen Verwerthung häufig die Gepflogenheit, nur das „anstehende“ Gestein, ohne Rücksicht auf die mehr oder minder starke Ueberlagerung oder Bedeckung durch andere meist verwitterte Materien, anzudeuten, im Wege. Es ist nicht gleichgiltig, ob ein Bauwerk z. B. in festem Partnach-Schiefer oder aber in dessen letzten Verwitterungsproducten aufgeführt wird und unterscheidet man auf den Karten die grösseren, allerdings schon topographisch hervorgehobenen Schuttmassen von Kalken, Dolomiten, so sollte sich dies auch auf andere Verwitterungsproducte von oft ganz bedeutender Mächtigkeit erstrecken.

Es ist hier vielleicht der Ort, auf eine Unzukömmlichkeit aufmerksam zu machen, die sich in manche Schriften eingeschlichen hat, betreffs des Verlaufes von Abbruchflächen. Dieselben nähern sich in ihrem unteren Ende, auch wenn ihr oberstes Ausgehendes vertikal oder gar überhängend erscheint, immer dem verloren gegangenen Stützpunkt oder dem untern Anfangspunkt der Bewegung. Es ist daher unrichtig, zu Tage tretende Bruchflächen mit gleicher Neigung als an der Oberfläche in die Tiefe fortgesetzt zu denken.

Von weiterem technisch-praktischem Werthe ist die Mächtigkeit der bewegten Massen. Eine Rutschung von geringer Dimension, z. B. Rasenabschürfungen, zeitweise Schlammstromausbrüche von geringerer Masse können für Bau-Anlagen unter Verhältnissen ebenso wenig nen-

nenswerthe Erschwernisse bilden, als eine grosse in Bewegung gewesene und nun temporär zur Ruhe gekommene Masse, wenn sie nur in einer Weise beansprucht wird, die keine Störung hervorbringt.

Zum Schlusse sei noch der Mittel erwähnt, deren sich die Natur bedient, um in Bewegung gekommene Massen wieder in's Gleichgewicht zu bringen; sie bestehen in:

a) dem vollständigen Absturz oder Abquellen in den Thalboden, bis eine Verflachung erreicht wird, die der Gebirgsart zusagt. Erodirende Gewässer am Gehängfusse verhindern dies letztere, indem sie die Massen weiterführen und an anderer Stelle ablagern;

b) der Entfernung oder dem Wegbleiben einzelner oder aller Veranlassungen, z. B. Natürliche Entwässerungen: Im Kaizd-bachthal (Siebenbürgen), dessen Hänge zum grössten Theile rutschen, findet sich eine lange Strecke, wo gegenwärtig der Bach nicht in den tiefsten Punkten des Thales, sondern höher oben in der sanft ansteigenden Lehne eingeschnitten läuft. Die Bewegungen reichen alle nur bis an den bergseitigen Rand des Bachbettes und es ist die lange Stelle unterhalb in vollkommener Ruhe, weil der Bachlauf, die durchlässigen Schichten bis unter die wasserführende Rutschfläche durchschneidend, alle bergseitigen Sickerwässer auffängt, daher die unterhalb liegende Gleitfläche entwässert¹⁾.

Jeder Regenfall führt thonigen Flächen bewegungsfördernde Wassermengen zu, daher bei oder nach nasser Witterung Hänge abwärts gleiten, bei Trockenheit wieder stillstehen. Ich nenne als Beispiel die schon einmal berührten Bewegungen bei Brienz, die diese Verhältnisse zeigen²⁾.

Hierher gehört auch die Abscheidung der Wässer bei Schlammströmen. So erreichen viele kleinere Schlammströme an den steilen Hängen des Klosterthales, Wallgaves u. s. w. in Vorarlberg nicht die Thalsohle, indem das die Bewegung erzeugende Wasser durch die eingetretene Abtrennung der Massen geringere Ablaufhindernisse als vordem findet, von denselben rascher sich absondert und diese dadurch zur Ruhe kommen. Ein solcher Schlammstrom bedeckt sich bald wieder mit Vegetation und lässt hernach nur mehr seine äussere Form auf eine früher stattgehabte Bewegung schliessen.

Verdrängung der Wässer, die die Glättung der Rutschflächen hervorbringen durch die Bewegung selbst oder was zum Theil dasselbe, Verquetschung des Schmiermittels durch die eingetretene Bewegung.

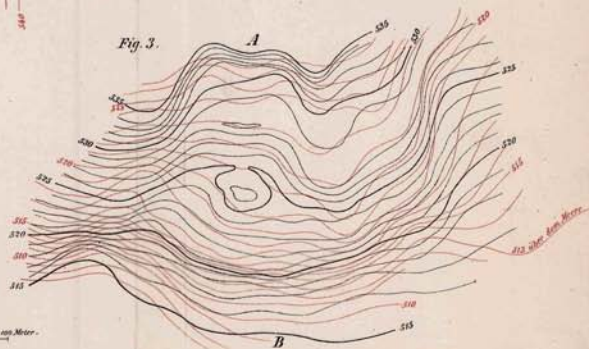
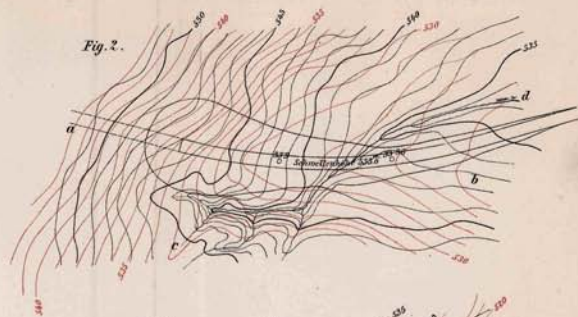
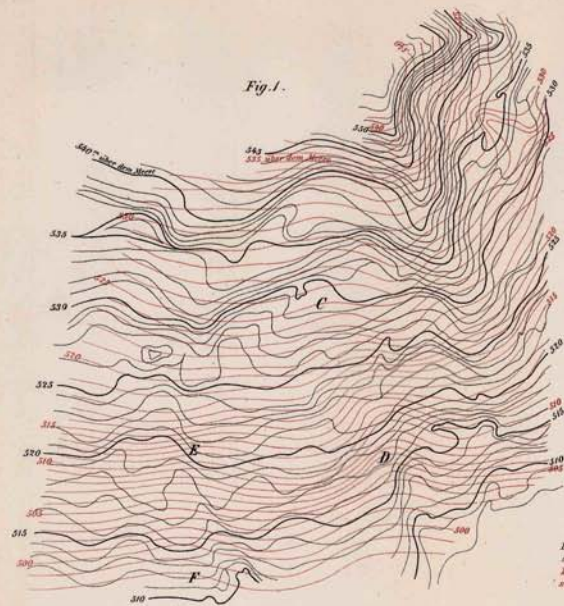
In den unterirdischen Tegelmulden, Fig. 1—3, Taf. XIV, sollte sich ausnahmslos, da sie die tiefsten Punkte der wassersammelnden Schichte bilden, Wasser finden, was nicht der Fall war, ein Umstand, der in der Ablenkung durch Rutschmassen seine Erklärung finden dürfte.

c) Hindernissen gegen die Wirkungen, also nach Umständen in einer Stützung der in Bewegung gerathenen Gebirgsteile.

So erwähnt Lorenz der Verschlammung und Auffüllung von Bachbetten mit Schuttmassen im Alt-, Kockel- und Homorod-Thale, womit einerseits an diesen Stellen ein Aufhören der Erosion, andererseits eine gewisse Stützung der in Bewegung gewesenen Gehängmassen verbunden ist.

¹⁾ A. Lorenz, Entwässerungen u. s. w.

²⁾ A. Heim, Bergstürze.



Die schwarzen Schichtlinien beziehen sich auf die Oberfläche des Berrains.
Die roten Schichtlinien beziehen sich auf die Oberfläche des Tegel.

Mafstab 1:2000.
0 10 20 30 40 50 m. Meer.