

Zur Frage der Entstehung des sogenannten mexikanischen Zentralplateaus.

Von

Emil Böse.

Mit Taf. XI, XII und 6 Textfiguren.

Einleitung.

In meiner ersten Arbeit über den Aufbau des mexikanischen Gebirges¹ habe ich mich bemüht nachzuweisen, daß das sogen. mexikanische Zentralplateau (mesa central) nicht ein Horst sei, wie FELIX und LENK meinten, sondern daß es sich erst lange nachdem das mexikanische Faltengebirge entstanden war, durch Ausfüllung der höheren Täler mit Laven, Tuffen und Alluvionen gebildet habe, also sozusagen sekundärer Natur sei.

Meine Auseinandersetzungen haben die Herren FELIX und LENK nicht überzeugt², wie aus einer von ihnen publizierten polemischen Schrift hervorgeht. Ich habe auf jene Angriffe seinerzeit nicht geantwortet, weil ich immer noch hoffte, daß das von AGUILERA, ORDONNEZ und mir aufgenommene Querprofil von Acapulco nach Veracruz publiziert würde, wodurch mir gestattet worden wäre, meine Anschauung durch neue Beweise zu stützen, und weil ich außerdem eine Polemik, in welcher man nur die bekannten Tatsachen neuen Deutungen

¹ Boletín del Instituto Geológico de México. No. 13. — Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 1901. p. 173—210 (im Auszug).

² FELIX und LENK, Bemerkungen zur Topographie und Geologie von Mexiko. Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 1902. p. 426—460.

unterwirft, für unfruchtbar halte; es liegt mir ja keineswegs daran, nachzuweisen, daß ich recht und die Herren FELIX und LENK unrecht hatten, sondern einzig und allein daran, zu zeigen, welches die Entstehung des mexikanischen Zentralplateaus ist. Heute, da ich neun Jahre hindurch Gelegenheit hatte, zahlreiche Punkte sowohl des Zentralplateaus, wie auch der beiderseits es begrenzenden Gebirge genauer kennen zu lernen, bin ich imstande, eine Reihe von Beobachtungen beizubringen, welche Licht auf die Mesa Central werfen.

Bei der Abfassung meiner ersten Arbeiten konnte ich mich nur auf die Tektonik der Gebirgszüge innerhalb des Zentralplateaus sowie derjenigen, welche diese seitlich begrenzen, stützen; es fehlte durchaus die wirkliche Kenntnis der Schichten, welche den Untergrund des Zentralplateaus selbst zusammensetzen. Zwar bewiesen zahlreiche Bohrungen im Tal von Mexiko, daß Tuffe und Alluvionen in große Tiefen hinabreichen, aber nirgends fand sich ein klarer Querschnitt, der bis auf das gefaltete Gebirge hinabgereicht hätte.

Nun lernte ich einige Jahre später die Barranca de San Pablo bei Tulancingo kennen und beschrieb ihren Aufbau bei Gelegenheit der Untersuchung einiger Eisenlagerstätten¹, doch war ein Hinweis auf die Wichtigkeit dieses Aufschlusses für die Erkenntnis der Entstehung des Zentralplateaus in jener Arbeit der Natur der Sache nach nicht am Platze. Neuerdings konnte ich bei zwei weiteren Gelegenheiten den Aufbau jener Schlucht im Detail untersuchen, und bin nun imstande, positiv nachzuweisen, in welcher Weise sich hier das sogen. Zentralplateau gebildet hat.

Die Barranca de San Pablo bei Tulancingo.

Ein typisches Beispiel für die Entstehung der „Mesa Central“.

Die Barranca de San Pablo durchschneidet die weite Ebene zwischen der Sierra de Pachuca und dem Gebirge, welches das sogen. Zentralplateau im Osten begrenzt, meist als Sierra Madre Oriental bezeichnet. Wir befinden uns hier also im Bereiche des Zentralplateaus, und die weite Ebene

¹ Boletín del Instituto Geológico de México. No. 16 (p. 15–30 dieser Arbeit ist von mir geschrieben, der Rest von VILLARELLO).

mit den relativ wenig hervorragenden Gebirgen im Osten und Westen bietet tatsächlich den typischen Anblick der Mesa Central, von der sie weder geographisch noch geologisch abzutrennen ist. Diese Ebene, welche gemeinlich als Valle de Tulancingo bezeichnet wird, erstreckt sich in ihrer Längsrichtung im allgemeinen von SSO. nach NNW., was ungefähr dem Streichen der Faltungen der Sierra Madre Oriental in diesem Landesteil entspricht. Die Gebirge, welche die Ebene zu beiden Seiten begleiten, setzen sich zum großen Teil aus Eruptivgesteinen (Rhyolith, Andesit und Basalt) zusammen, doch finden sich auch vereinzelte Aufschlüsse von Kreideschichten, und weiter gegen Osten, bei Huauchinango und Huayacocotla, treffen wir sogar oberen Jura und Lias¹.

Diese weite Ebene wird nun in ihrer Längsrichtung von der Barranca de San Pablo, auch Barranca de Tulancingo genannt, durchschnitten. Diese letztere beginnt in der Nähe von Tulancingo bei Hueyapan, hält zuerst eine fast ostwest-

¹ Die Existenz des Lias, welche von POMPECKJ bezweifelt zu werden scheint, ist ganz unbedingt sicher, wenigstens in dieser Gegend; die Schichten sind von typischen Arietiten erfüllt, welche allerdings z. T. verdrückt sind. Immerhin haben sich verschiedene Exemplare gefunden, welche deutlich den Kiel mit den beiden Furchen wie auch die Lobenlinie zeigen; neuerdings gefundene Stücke wurden von Dr. BURCKHARDT und mir untersucht, und es besteht nicht der geringste Zweifel daran, daß sie zu *Arietites* gehören. Ich benütze übrigens diese Gelegenheit, um einen Irrtum in meiner ersten Notiz über Lias in Mexiko (Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 1898. p. 170) zu berichtigen. Ich führte dort als Liaslokalität „Jalpan im Staate Querétaro“ an, auf Grund einer Notiz bei AGUILERA, Bosquejo geológico de Mexico (Bol. d. Inst. Geol. de México. No. 4—6), der von dort einen *Aegoceras* erhalten hatte. Das Exemplar war mir bis vor kurzem nicht zu Gesicht gekommen, da bei den verschiedenen Umzügen des Instituto Geológico, welche kurz nach meiner Ankunft im Lande begannen, und bei dem provisorischen Quartier, welches das Institut einige Jahre lang innehatte, ein großer Teil der Sammlung in Kisten verpackt blieb und erst im letzten Winter ausgepackt wurde. Dabei fand sich nun mit der Etikette „*Aegoceras (Microderoceras)*, Jalpan, Querétaro“ ein Ammonit, welcher sicherlich kein *Aegoceras*, sondern ein *Aspidoceras* aus der Gruppe des *perarmatum* ist. Wenn es sich hier nicht um eine Verwechslung bei der Verpackung handelt, so gehört das Vorkommen bei Jalpan dem oberen Jura (Oxford?) an; jedenfalls ist also dieses Vorkommen höchst zweifelhaft und man kann einstweilen nicht nachweisen, ob dort Lias tatsächlich vorhanden ist.

liche Richtung inne und biegt bei Tulancingo scharf nach Norden ein, geht im Gebiet der Hacienda de Apulco in O.—W.-Richtung über, um bei der Einmündung der bekannten Barranca de Regla, deren großartige Basaltsäulen bereits von HUMBOLDT geschildert und abgebildet wurden, eine fast nord-nordwestliche Richtung anzunehmen, welche sie beibehält, bis sie in den See von Meztitlan einmündet.

Schon im Gebiete der Hacienda de Apulco erreicht die Barranca eine Tiefe von ca. 400 m, weiterhin nach Norden schneidet sie bis zu 700 m tief ein. Wenn man sich in der Ebene, etwas von der Barranca entfernt, umschaut, so gewahrt man nichts von einem Einschnitt, was sich durch die geringe Breite und die außerordentlich steilen Abfälle der Schlucht erklärt. Unser Bild Taf. XI Fig. 1 zeigt uns eine Nebenschlucht, die Barranca de las Granadas, der Charakter ist genau derselbe wie derjenige der Hauptschlucht.

Den obersten Rand der Barranca bilden stets Basalttuffe mit auflagernden Alluvionen; in der Barranca de las Granadas und im oberen Teil der Hauptschlucht ist in diese ein kleiner Basaltstrom eingeschaltet, der aber landschaftlich kaum stärker hervortritt; vielmehr bilden diese oberen Tuffe überall eine ganz steile, meist senkrechte Wand. In den Tuffen finden sich spärliche Knochen von Elefanten, außerdem ist mir ein bei Los Magueyes am Rande der Hauptschlucht gefundener Backenzahn bekannt geworden, der ebenso wie die Knochen wohl zu *Elephas imperator* gehören dürfte. Diese Schichten gehören jedenfalls dem Quartär an. Unter diesen Tuffen und Alluvionen, die z. T. nach unten in Breccien übergehen, liegt ein mächtiger Basaltstrom, welcher eine wenige Meter mächtige, häufig durch kieselsäurehaltige Wässer in Halbopal umgewandelte Bank von Basalttuff und Breccie bedeckt. Diese enthält an zahlreichen Stellen ziemlich reiche Eisenlager und ist geologisch dadurch interessant, daß sie Reste von Wirbeltieren einschließt. Einige in der Mine „Transvaal“ gefundene Fragmente von Backenzähnen gehören wahrscheinlich zu *Mastodon Shepardi* LEIDY, andere zu *Equus* (vielleicht zu *E. excelsus* LEIDY). Diese Funde zeigen uns, daß wir es hier bereits mit Schichten zu tun haben, welche den Übergang vom Quartär zum Pliocän bilden.

An den mächtigen, oft ganz unzugänglichen Wänden der Barranca und ihren Nebenschluchten sehen wir, daß unter eisenhaltigen, mit Kieselsäure imprägnierten Breccien und Tuffen eine Reihe von Basaltströmen folgt, die durch ihren Gehalt an Labradorit sich von den oberen typischen Basalten unterscheiden. Ich konnte an mehreren Stellen 6—7 verschiedene Ströme unterscheiden, welche durch Tuff- und Breccienlagen voneinander getrennt werden. An anderen Stellen scheinen die Tuffe und Breccien ganz oder fast ganz zu fehlen oder so wenig mächtig zu werden, dass die Reihe der tieferen Basaltströme als eine einheitliche Masse erscheint. An einer Stelle am Arroyo de las Flores ließ sich die zwischen dem

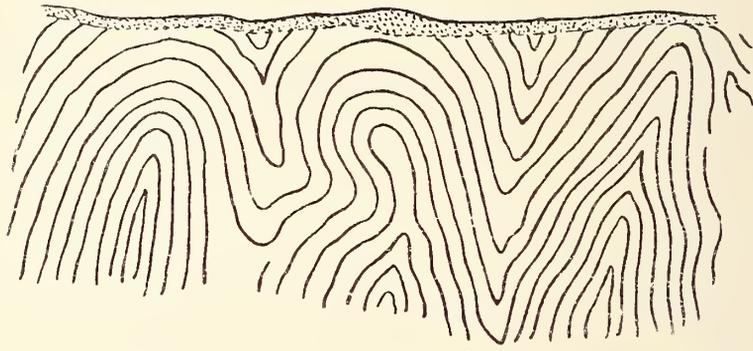


Fig. 1. Gefalteter Kreidekalk bei dem Rancho de San Pablo im Grunde der Barranca de San Pablo.

untersten und dem nächsthöheren Basaltstrom liegende Breccie genauer studieren. Bemerkenswerterweise handelt es sich hier um eine Ablagerung, welche zahlreiche Rhyolithfragmente enthält, auch ist sie streckenweise ganz mit Kieselsäure imprägniert, anscheinend ist es eine Breccie, welche sich aus den nahe bei der Hacienda de Vaquerias anstehenden Rhyolithen bildete; diese treten hier nur an dieser einzigen Stelle in der Nähe der Barranca auf und gehen bis an die Oberfläche der Ebene, wo sie einen ganz flachen Hügel bilden.

Der unterste Basaltstrom ruht auf einer etwa 100—150 m mächtigen Schicht von Breccien und Konglomeraten, die z. T. aus Schiefer- und Kalkfragmenten bestehen, aber auch aufgearbeitete vulkanische Tuffe und Breccien enthalten. Diese Schichten ruhen, wie man an mehreren Stellen sieht, teils auf Kalken der mittleren Kreide (in der Nähe des Rancho

de San Pablo und vielen anderen Stellen der Barranca) teils auf Tonschiefern, welche in dieser Gegend die mittlere Kreide unterlagern und vielleicht der unteren Kreide angehören. Diese marinen Ablagerungen zeigen eine erodierte Oberfläche,

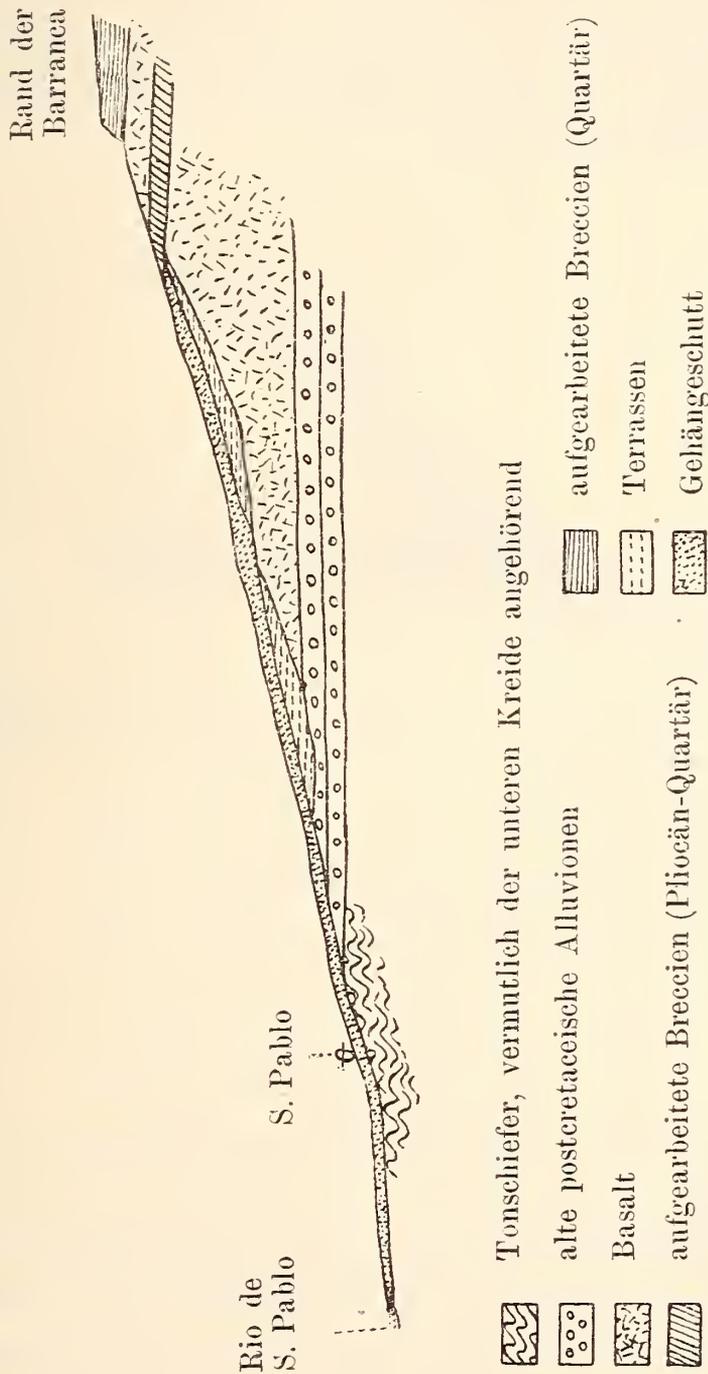


Fig. 2. Rechtes Ufer der Barranca de San Pablo. 1 : 20 000.

in welche sich die erwähnten unteren Alluvionen legen. Sowohl die Kalke wie die Schiefer sind stark gefaltet (siehe Fig. 1, 2, 3) und streichen im allgemeinen N. 25—30° W., also ganz der Längsrichtung der Ebene entsprechend. Die Aufschlüsse in den marinen Schichten sind schon zwischen San

Pablo und dem Arroyo de las Flores recht bedeutend, wahrscheinlich sind sie im nördlichen Teil der Barranca noch größer und die marinen Schichten bilden eine zusammenhängende Masse, doch ist jener Abschnitt geologisch noch nicht untersucht worden. Die Barranca de San Pablo mündet übrigens in den See von Meztitlan, der keinen sichtbaren Abfluß hat, und in historischer Zeit durch einen Bergsturz abgedämmt worden sein soll.

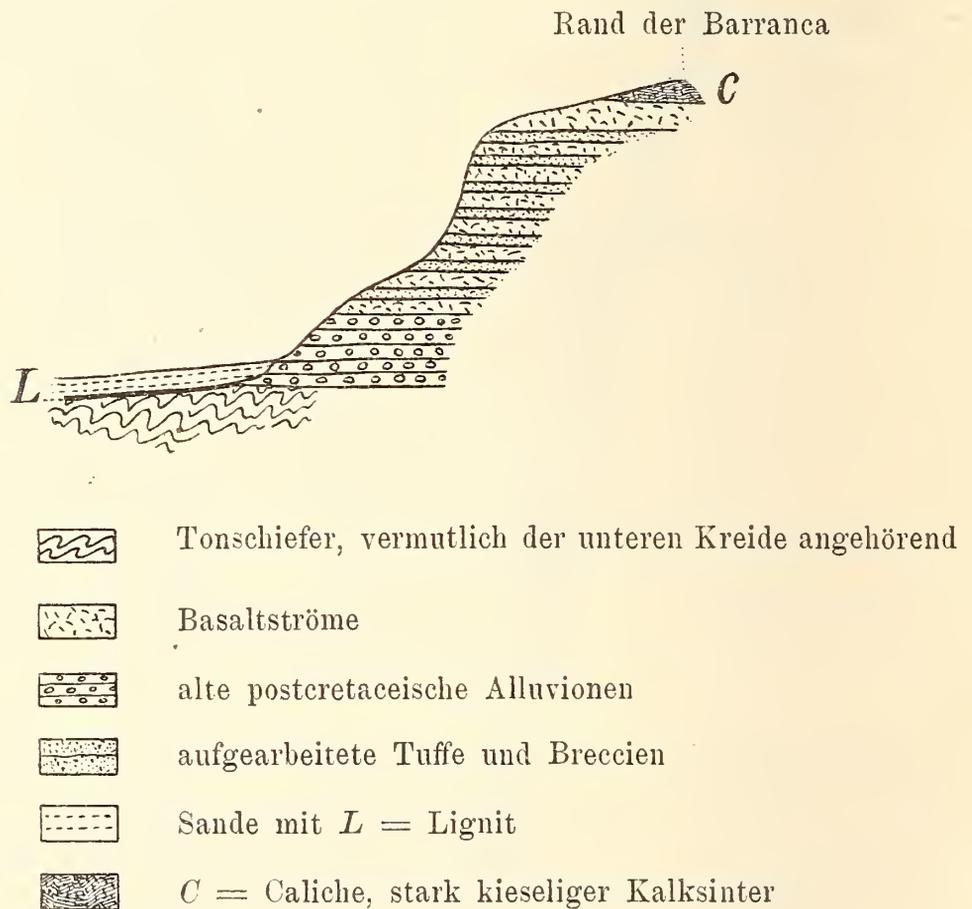


Fig. 3. Rechte Seite des Arroyo de las Flores.

Daß die Oberfläche des durch die jüngeren Basaltströme bedeckten Gebietes äußerst stark gegliedert war, beweist ein Teil der Barranca an der Grenze zwischen der Hacienda de Apulco und der Hacienda de la Luz, den ich erst neuerdings eingehender kennen lernte. Diese Stelle liegt zwischen dem Arroyo de Palmillas und der Seitenschlucht Barranca de las Granadas. Zwischen dem Arroyo de Palmillas und dem Arroyo del Cajon ist ein Normalprofil der Barranca in geradezu unübertrefflicher Weise aufgeschlossen. Eine mäch-

tige Wand, oder besser gesagt eine Reihe von Wandstufen, deren Gesamtheit eine Höhe von ca. 400 m hat, weist uns das folgende Profil auf. Zu oberst finden wir ca. 100 m mächtige geschichtete Tuffe, Breccien, Konglomerate und Alluvionen, dann folgt ein 4 m mächtiger Basaltstrom, unter diesem finden wir Tuffe und dann noch weitere vier ziemlich wenig mächtige Basaltströme, zwischen denen mehr oder weniger bedeutende, z. T. stark mit Kieselsäure imprägnierte,

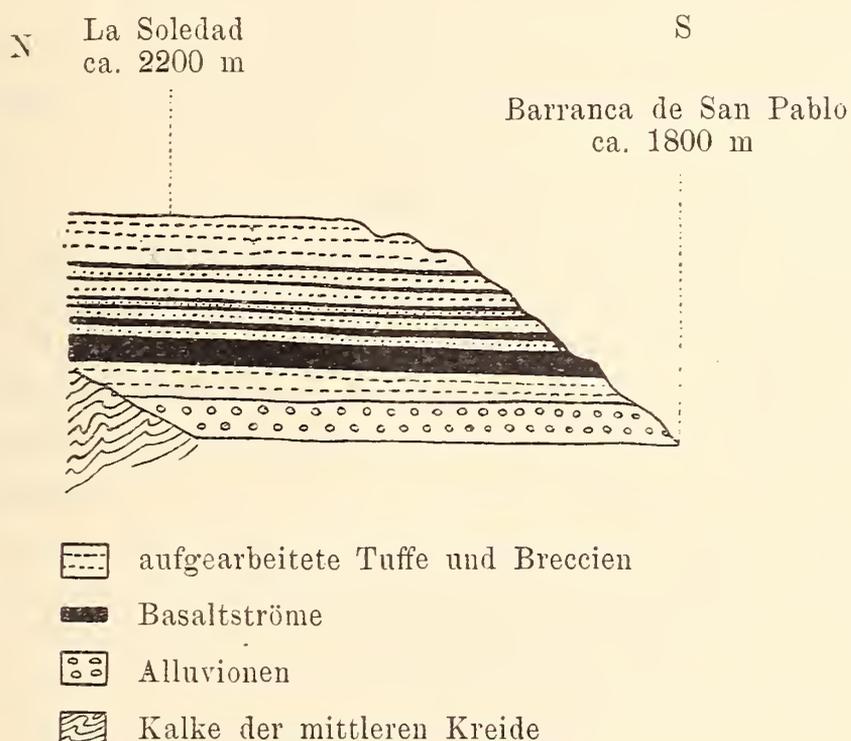


Fig. 4. Normalprofil durch die Barranca de San Pablo, am Arroyo del Cajon, Hda. de Apulco. 1:20 000.

aufgearbeitete Tuffmassen lagern, dann folgt nach abwärts eine etwas bedeutendere Tuff- und Breccienschicht und darunter ein recht mächtiger Basaltstrom. Von der Hangendseite des obersten bis zur Basis des untersten Basaltstromes ist ein Abstand von ca. 200 m vorhanden. Unter dem letzten Basaltstrom finden wir sehr mächtige Tuffe und unter diesen alte Alluvionen. Diese unteren Absätze liegen diskordant auf N. 25 W. streichenden Kalken der mittleren Kreide auf, die sehr energisch gefaltet sind. Auf den Kalken liegt ein einige Meter mächtiger, durch Kalk zu einer einheitlichen Masse zementierter Abhangsschotter, der somit den Kalk von

den Alluvionen trennt, und dort, wo er mit Basalt in Berührung kommt, durch Einwirkung der Wärme rot gebrannt ist. Diese Schotterschicht ist in das Profil ihrer geringen Mächtigkeit wegen nicht eingetragen worden.

Das vorstehende Profil würde wohl nahezu vollständig unzugänglich sein, wenn man nicht auf der rechten Seite des Arroyo del Cajon einen teilweise ziemlich abschüssigen Steig angelegt hätte, um das Profil für eine Röhrenleitung aufnehmen zu können, deren Wasser Turbinen zur Erzeugung von Elektrizität bewegen soll. Auf dem Steige sind nun allerdings die Aufschlüsse bei weitem nicht so gut, wie auf der gegenüberliegenden Wand, aber immerhin lassen sich alle Basaltströme auch hier nachweisen, so daß das oben gegebene Profil vollkommen sichergestellt ist.

Eine besondere Eigentümlichkeit dieser Gegend ist nun, daß sich die Kreidekalke in riesigen Massen zu recht bedeutenden Bergen erheben, die z. T. bis zu 250—300 m über die heutige Talsohle emporragen und deren Gipfel von Basaltströmen und Tuffen bedeckt sind (vergl. Taf. XII). Unser Panorama, welches von der Los Chilitos genannten Stelle gegen W. hin aufgenommen wurde, zeigt uns diese von Tuff- und Basaltmassen bedeckten Kreideberge sowie den Rand der Ebene des Tals von Tulancingo. Der fast in der Mitte der Photographie liegende Cerro del Yolo besteht aus Kreidekalken, an dieser Stelle sind bis zur Barranca hin die auflagernden Lavaströme und Tuffdecken von der Erosion bereits abgetragen worden, weiter gegen den Punkt hin, von wo die Photographie aufgenommen wurde, existiert die Bedeckung noch z. T. Jenseits der Schlucht ragen die Kalke hoch hinauf und die Decke junger Eruptivgesteine ist verhältnismäßig schwach. Nach O. und W. senken sich die Kalke zu Tal, während sie gegen NNW. und SSO. offenbar unter der Decke der Eruptivmassen weiterstreichen. An einer Stelle zwischen Iglesia vieja (an der Einmündung des Arroyo del Cajon) und Las Palmas beobachtete ich einen interessanten Aufschluß, der in Taf. XI Fig. 2 wiedergegeben ist. Man sieht hier, daß sich der Basaltstrom auf eine erodierte Oberfläche legte, auch ist hier recht gut die Faltung der Kreidekalke zu beobachten.

Aus Taf. XII und Taf. XI Fig. 2 geht deutlich hervor, daß an dieser Stelle ein ziemlich bedeutender Gebirgszug quer über die heutige Barranca zog; dieser Bergrücken besteht aus energisch gefalteten Kreidekalken. Ebensolche Kalke, sowie die unter ihnen liegenden Schiefer sind an zahlreichen Stellen der Barranca aufgeschlossen, woraus hervorgeht, daß zu der Zeit vor den großen Eruptivergüssen im heutigen Tal von Tulancingo ein kompliziert gebautes Faltengebirge bestand, welches z. T. von der Erosion schon ziemlich ausgearbeitet war, wie die in Fig. 1, 2, 3, 4, Taf. XII und Taf. XI Fig. 2 dargestellten Aufschlüsse beweisen. Dieses Gebirge wurde in ziemlich später Zeit (wohl Pliocän—Quartär) durch Alluvionen, Basaltströme und Tuffmassen, welche zum größten Teil den Vulkanen bei Las Lajas zwischen Tulancingo und Pachuca entstammen, so vollständig zugedeckt, daß sich an seiner Stelle eine Ebene bildete, welche einen Teil der sogen. Mesa Central ausmacht. Dieser Teil der Mesa Central steht in enger Verbindung mit den Ebenen von Apam, Tlaxcala und Puebla, deren Untergrund also vermutlich dem des Tals von Tulancingo ähnlich sein wird.

Soweit wir die Barranca bisher kennen, sind keine marinen Schichten vorhanden, welche jünger als die mittlere Kreide sind; auf der erodierten Oberfläche liegen Seeablagerungen, welche vermutlich bereits dem Tertiär angehören, doch lassen sich erst die oberen, zwischen und über Basaltströmen liegenden Schichten auf Grund der Fossilfunde mit einiger Sicherheit als Pliocän—Quartär bestimmen. Sicher ist, daß über jener erodierten Oberfläche sich nur noch terrestre bzw. lacustre Bildungen finden. Im allgemeinen scheint der obere Teil ziemlich jung zu sein, d. h. die Lavaergüsse folgten so schnell aufeinander, daß sie der Erosion nicht gestattet, einen größeren Einfluß auf die Gestaltung des Geländes auszuüben. Erst in den höchsten Schichten gelang es mir an einigen Stellen, die erodierende Wirkung des Wassers nachzuweisen. Im Bette des Arroyo de Apulco el Viejo (Hacienda de Apulco), und zwar abwärts der Apulco el Viejo genannten Stelle, findet sich in einer Talweitung ein vorspringender Berg, der auf seiner Ostseite aus Basalt, auf der Westseite aber aus Bimsstein besteht. Der Bimsstein hat ein durchaus frisches

Aussehen, die einzelnen Stücke sind nicht abgerieben; der Lavastrom setzt nicht auf die andere Talseite fort (Fig. 5), und daraus darf man wohl schließen, daß jener Basaltstrom an dieser Stelle Wasser, und zwar vermutlich einen kleinen See oder einen größeren Bach antraf, wodurch sich jene Bimssteinlager, die übrigens eine ganz beschränkte Ausdehnung haben, bildeten. Es war hier somit im Quartär bereits das Tal des Arroyo de Apulco el Viejo vorhanden. Eine ähnliche Stelle scheint auch in der Umgegend der Eisenhütte (Ferreria de Apulco) vorhanden zu sein.

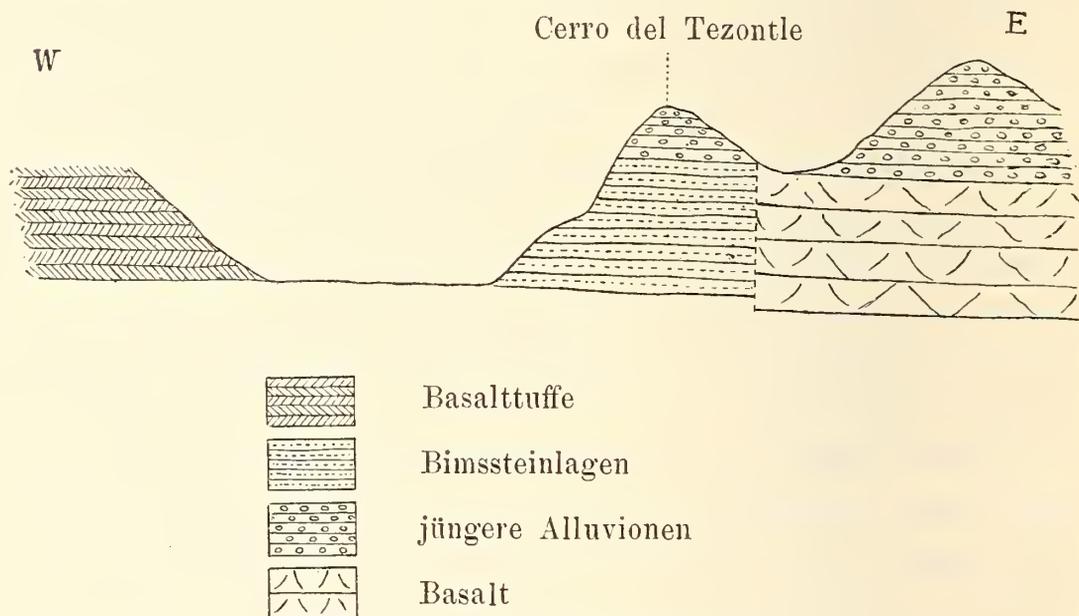


Fig. 5. Cerro del Tezontle.

Die in der Barranca aufgeschlossenen Lavaströme und Tuffmassen haben außer einer großen Gesamtmächtigkeit auch eine riesige Längserstreckung; schon bei der Hacienda de Vaquerias befinden wir uns ca. 30 km (in der Luftlinie) vom Ausgangspunkt der Lava entfernt, und sicherlich lassen sich die Basaltströme noch weitere 30 km nach Norden verfolgen, so daß diese Ströme eine Gesamtlänge von mindestens 60 km aufweisen.

Fassen wir nunmehr zusammen, was uns die Barranca de San Pablo lehrt. Diese ist in eine Ebene eingeschnitten, welche einen Teil der sogen. Mesa Central bildet. Der durch die Barranca aufgeschlossene Untergrund der Mesa Central zeigt

uns ein älteres, bereits stark erodiertes Faltengebirge, dessen Schichten nicht jünger als die mittlere Kreide sind. Über dieses Gebirge legten sich junge Tuffschichten und Basaltströme, die eine Gesamtmächtigkeit von über 400 m erreichen; sie bedeckten das vorher bestehende z. T. recht bedeutende Gebirge vollständig, und zwar sowohl Täler wie Bergketten, und schufen so die Ebene des heutigen Valle de Tulancingo.

Damit ist der positive Beweis dafür erbracht, daß die Mesa Central keinen Horst darstellt, sondern daß sie durch die sekundäre Ausfüllung der höchsten Täler eines mächtigen Faltengebirges entstanden ist.

Die Entstehung der Mesa Central.

Nachdem im vorhergehenden im Detail gezeigt worden ist, wie an einer bestimmten Stelle die Mesa Central entstanden ist, möchte ich im folgenden noch einige weitere Punkte berühren, welche auf die Entstehung der Mesa Central Licht werfen.

FELIX und LENK hatten in ihren ersten Abhandlungen angenommen, daß die Mesa Central einen Horst darstelle, und in ihrer oben zitierten polemischen Schrift (p. 431) sagen sie, daß dem Hochland auch nach meinen Untersuchungen zum mindesten der Charakter eines Faltenhorstes zukomme. Damit geben die beiden Forscher implicite die Unrichtigkeit ihrer früheren Anschauung zu. Horst und Faltenhorst haben nämlich absolut nichts weiter miteinander zu tun, als daß sie einen ähnlichen Wortklang haben. SUESS sagt im ersten Bande seines „Antlitz der Erde“ p. 166: „Nähern sich die äußeren Umrisse zweier Senkungsfelder einander und bleibt zwischen beiden ein trennender Rücken, von welchem nach beiden Seiten die Senkungen mehr oder minder treppenförmig abfallen, so bezeichnen wir diesen Rücken als einen Horst.“ HEIM und MARGERIE¹ sagen dagegen über den Fal-

¹ MARGERIE et HEIM, Les dislocations de l'écorce terrestre. Zürich 1888. p. 86.

tungshorst folgendes: „Zusammensetzung der Faltung mit gleichzeitiger lokaler Überhöhung. Die lokale Vertikalbewegung innerhalb einer Zone des Horizontalschubes kann auch relativ nach oben gerichtet sein (Horst, breite Gewölbe etc.). Dies führt zu entgegengesetzten Wirkungen als diejenigen, welche wir soeben besprochen haben (Doppelfalte), wie dies die Fig. 110 zeigt, welche im Querschnitt darstellt einen Faltungshorst. Beispiele Gotthardmassiv, Finsteraarmassiv.“ Die von MARGERIE und HEIM gegebene Figur läßt keinen Zweifel daran, daß Faltungshorste nur in energisch gefalteten Gebirgen vorhanden sein können. Daraus sehen wir, daß es sich hierbei um zwei ganz verschiedene Dinge handelt, da Horste nach SUESS infolge von Dislokationen durch Senkung, Faltungshorste dagegen offenbar, um SUESS' Ausdruck zu benutzen, infolge von Dislokation durch tangentielle Bewegung entstanden sind. Daß FELIX und LENK mit ihren Worten also implicite zugeben, daß das mexikanische Hochland kein Horst, sondern ein Faltengebirge ist, genügt mir übrigens vollständig, damit fallen ohne weiteres alle übrigen von den genannten Forschern in ihrer polemischen Schrift beigebrachten Gründe; es sei denn, daß FELIX und LENK nun behaupten wollten, daß die Treppenbrüche zu beiden Seiten des Hochlandes jünger als die Faltungen seien, wofür sie dann allerdings die nötigen Beweise beizubringen hätten.

Die sogen. Mesa Central ist kein Hochplateau im geologischen Sinne, das ist die Anschauung, welche von mir aufgestellt und vertreten worden ist, und diese scheint allmählich auch von anderen Geologen angenommen zu werden. ROTHPLETZ¹ hat die Mesa Central in wenigen Worten vortrefflich gezeichnet, er sagt: „Man hat diese zwei Gebirgszüge als die Sierra Madre Occidental und Oriental bezeichnet und den zwischen ihnen liegenden und gegen Norden immer breiter werdenden Streifen als die Mesa Central besonders ausgezeichnet. Das hat jedoch zu der irrigen Vorstellung geführt, als ob zwischen jenen beiden Gebirgen wirklich eine starke Ebene liege, die von Norden, wo sie sich nur einige

¹ ROTHPLETZ, Eine Fahrt zum Geologenkongreß in Mexiko. III. Beil. z. Allgem. Zeitung. Jahrg. 1906. No. 266. p. 313.

hundert Meter über den Meeresspiegel erhebt, gegen Süden langsam bis zu Höhen von 2200 m ansteige. Dementsprechend sollten auch die Kreideschichten, die in den beiderseitigen Gebirgen stark gefaltet sind, in der Mesa horizontal liegen, etwa wie die Juraablagerungen in Franken und Schwaben. Das ist aber gar nicht der Fall, und die falsche Vorstellung findet zunächst ihre Erklärung in dem allerdings merkwürdigen Umstande, daß die Randketten des mexikanischen Hochlandes von tiefen Längs- und Quertälern durchfurcht sind, in denen die stark erodierenden Gewässer allen Gesteinsschutt leicht in das so viel tiefer gelegene Küstenland und das Meer abführen. Dadurch erhalten diese Randteile eine tiefe Furchung und dazwischen aufragende hohe und steile Bergrücken. Im Innern der Mesa hingegen fehlen solche Abfuhrwege meist ganz, die Wasser sammeln sich zwischen den einzelnen Gebirgsketten, welche auch hier überall vorhanden sind, füllen weite Senken mit ihrem Wasser und setzen darin allen Erosionsschutt, den sie von den Höhen herabbringen, wieder ab. Diese Schuttlagen wachsen langsam in die Höhe und verhüllen die Berge immer mehr und mehr, so daß heute viele derselben nur noch mit ihren Gipfeln und den höchsten Teilen ihrer Kämme heraussehen. Die Mesa Central ist also eine begrabene Gebirgslandschaft, deren vollständige Einebnung allerdings noch lang nicht vollendet ist. An manchen Orten, wie z. B. in der Umgebung der Stadt Mexiko, hat sie infolge von gewaltigen vulkanischen Aufschüttungen wieder einen Gebirgscharakter erlangt, der jedoch von dem eines Kettengebirges recht verschieden ist, und der sich übriges z. T. auch auf die randlichen Ketten ausgedehnt hat. Insbesondere die Sierra Occidental ist dadurch nachträglich sehr bedeutend überhöht worden.“ Diese Worte geben ein vortreffliches, durchaus richtiges Bild der Mesa Central, besonders wenn man den nördlichen Teil derselben ins Auge faßt, wo die Ausfüllung der Täler hauptsächlich durch Erosionsschutt geschah, während im Süden — und das ist die einzige Abweichung — hauptsächlich Lava- und Tuffmassen die Täler ausfüllten. Man muß es stets wieder betonen, daß die sogen. Mesa Central keine Hochebene ist, sondern eine große Reihe ausgefüllter Täler von oft recht verschiedener Höhenlage.

Auch v. ZAHN¹ gibt eine recht anschauliche Schilderung des wirklichen Charakters der Mesa Central; er sagt: „Das Gebirgsland von Mexiko, wozu eben weitaus der größte Teil gehört, ist eine Fortsetzung der westlichen Gebirgszone von Nordamerika.

Als ein gefaltetes Gebiet also hat man sich Mexiko vorzustellen, und zwar bildet der Süden, um den es sich ja hier besonders handelt, anscheinend ein einheitliches, symmetrisch gebautes Faltengebirge; erst im Norden tritt eine Teilung im geologischen Sinne ein.

Wenn dem so ist, dann müssen zwei Eigentümlichkeiten erklärt werden; das ist einmal die sogen. Mesa Central, das innere Plateau, das eine viel weiter nach Süden liegende orographische Teilung in zwei Gebirge bewirkt, und dann die besonders auf den Karten — man vergleiche dazu die Darstellung des Landes in STIELER'S Handatlas — hervortretenden Steilabfälle nach Osten, Süden und teilweise nach Westen.

Von der Mesa Central sagt BURCKHARDT an einer Stelle: „Le nom ‚Mesa‘ ne parait guère bien choisi pour cette partie du pays“. Wenn dies hier besonders von der Gegend zwischen Salinas und Parras bemerkt wird, so gilt es doch für das ganze Land. Es handelt sich eben gar nicht um eine zentrale „Mesa“, sondern um einzelne Hochebenen, an deren Horizont aber fast nirgends die begrenzenden Bergketten fehlen und die so den Eindruck ausgefüllter Täler machen. Das sind sie auch in Wirklichkeit. Das Gebirge mit seinen Tälern war vorhanden, durch pliocäne und quartäre Alluvionen und in bedeutendem Maße durch Eruptivgesteine und vulkanische Sande sind diese aufgefüllt worden, so daß der Talboden zur Hochebene verbreitert und die Randketten bis auf mehr oder weniger geringe Reste eingehüllt worden sind. Die starke eruptive Tätigkeit hat daneben noch durch die Bildung von einzelnen Vulkanen und vulkanischen Bergzügen das ursprüngliche Bild gestört.

Der Steilabfall aber ist in dem Maße, wie ihn unsere Karten darstellen, gar nicht vorhanden. Der regelmäßige

¹ G. v. ZAHN, Der Isthmus von Tehuantepec. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin. 1907. No. 5. p. 326 ff.

Abfall am Rand der Gebirge ist an beiden Seiten durch das Hinzutreten von Absenkungen, in Form von Treppenbrüchen, in seinem Charakter verstärkt worden. Nirgends aber scheint ein einmaliger Steilabfall, wie man ihn bei fast allen Profilen durch Mexiko gezeichnet findet, vorhanden zu sein. Der Abfall tritt dadurch noch stärker hervor, daß die Täler des Innern aufgefüllt sind, daß der sogen. Rand durch aufgesetzte Vulkane erhöht worden ist und daß die Erosion auf den regenreichen Außenseiten tief eingeschnittene, weit eingreifende Täler gebildet hat. Auf ihrem Boden steht man allerdings vor einer Art Steilabfall, nach dessen Überwindung man, z. B. im Fall des so oft angeführten Tales, in dem die Bahn von Vera Cruz über Orizaba nach Puebla und Mexiko führt, auf eine Hochebene gelangt. Verschafft man sich aber von einem der Ränder des Tales einen Überblick, so sieht man, wie das Land ganz allmählich abfällt und wie noch weit über den vermeintlichen Abfall hinaus nach Osten eine Bergkette nach der anderen am Horizont aufsteigt, deren letzte erst am Rio Atoyac, 76 km westlich von Vera Cruz, den Ablagerungen der atlantischen Küstenebene Platz macht. Dasselbe Bild gewährt der Abstieg von San Luis Potosí nach Tampico“.

Diese Äußerungen der beiden zitierten Autoren scheinen mir von um so größerer Wichtigkeit, weil sie aus eigener Anschauung sprechen und einen großen Teil der sogen. Mesa Central, sowie die Abhänge des Gebirges bei Orizaba, San Luis Potosí—Tampico, Saltillo—Monterrey etc. kennen gelernt haben. Allein in den hier wiedergegebenen Stellen ist eines nicht hervorgehoben, was allerdings bisher überhaupt nicht genügend betont worden ist, nämlich, daß die aufgefüllten Täler, welche die sogen. Mesa Central zusammensetzen, in den allermeisten Fällen keine Erosionstäler sind, sondern eine tektonische Anlage haben, was schon daraus hervorgeht, daß ihre Längsrichtung im allgemeinen dem Streichen der Schichten entspricht. Häufig kann man sogar nachweisen, daß diese Täler Synklinalen entsprechen, worauf z. B. BURCKHARDT¹ bei Gelegenheit der Beschreibung des Tales von Mazapil hinweist. BURCKHARDT (loc. cit. p. 1) kommt auch zu dem Resultat,

¹ BURCKHARDT, Géologie de la Sierra de Mazapil et Rosa. Livret-guide des excurs. du Xme Congr. Géol. Intern. H. XXVI. Mexiko 1906. p. 29.

daß der Ausdruck Mesa auf die Gegend zwischen Salinas im Süden, Parras im Norden, der Sierra Madre Oriental und der Sierra Madre Occidental im Osten und Westen, nicht paßt, da es sich keineswegs um ein gleichförmiges Plateau handle.

Ein weiteres Beispiel für ein tektonisches aufgefülltes Tal bietet auch die weite Ebene zwischen der Sierra de Parras und der Sierra de la Paila; beide Gebirge entsprechen Antiklinalen und das dazwischen liegende Gebiet einer Synklinale.

BURCKHARDT sowie der Verf.¹ haben bereits darauf hingewiesen, daß in der Gegend zwischen Parras und Mazapil die Schichten im allgemeinen O.—W. streichen oder doch nur ein wenig gegen NW. abweichen; die von uns publizierten Karten lassen dies auf den ersten Blick erkennen. Ebenso ist die Längsrichtung der weiten Ebenen der sogen. Mesa Central in diesem Teil des Landes O.—W. bis OSO.—WNW., und zwar sowohl bei Mazapil—Camacho wie im südlichen Teil des Bolson de Mapimí. Dies ist ein weiterer überzeugender Beweis dafür, daß die ausgefüllten Täler, welche die sogen. Mesa Central zusammensetzen, tektonischer Anlage sind, und daß die Ebene, d. h. die Ausfüllung, eine ganz sekundäre Erscheinung ist.

Auch die ganz verschiedene Durchschnittshöhe der einzelnen Täler, welche in ihrer Gesamtheit als Mesa Central bezeichnet werden, spricht dagegen, daß es sich hier um ein einheitlich gebautes Plateau handelt. Der Unterschied in der Höhe der Täler von Toluca, Mexiko und Puebla ist bereits von FELIX und LENK hervorgehoben worden. Noch auffallender ist jedoch, was wir beobachten, wenn wir auf einer der beiden Hauptbahnen von der Stadt Mexiko aus nach Norden fahren. Beide Linien führen uns zu Anfang durch recht gebirgiges Land vulkanischer Natur zu den Ebenen von Querétaro, die typische Ausfüllungstäler darstellen und eine Durchschnittshöhe von 1700—1800 m haben. Von hier ab steigt das Terrain auf dem Wege der Zentralbahn zu dem weiteren Ausfüllungstal von Aguascalientes (Höhe ca. 1900 m). Weiter nach Norden überquert die Bahn das aus alten Schiefen,

¹ BURCKHARDT, loc. cit. p. 1. — BÖSE, Excursion dans les environs de Parras. Livret-guide des excurs. du Xme Congr. Géol. Intern. H. XXIII. Mexiko 1906. p. 9.

mariner Trias und jungen Eruptivgesteinen bestehende über 2500 m hohe Gebirge von Zacatecas, um sich in das Auffüllungstal von Fresnillo (ca. 2000 m) hinabzusenken. Die Bahn folgt dann solchen aufgefüllten Tälern bis zur amerikanischen Grenze, nur daß diese Ebenen von recht verschiedener Höhe sind, z. B. bei Torreon ca. 1100 m, bei Jimenez ca. 1400 m, bei Ortiz ca. 1150 m, bei Chihuahua ca. 1500 m, bei Gallegos ca. 1200 m, bei Samalayuca in der Nähe von El Poso ca. 1300 m. Im großen und ganzen ähnlich, doch im Detail recht verschieden, ist das Gebiet, welches die Nationalbahn durchquert, wie jeder sehen kann, der das Profil der Bahnlinie mit demjenigen der Zentralbahn vergleicht. Es handelt sich also bei der sogen. Mesa Central keineswegs um ein gleichförmig nach Norden abfallendes Hochplateau, wie HUMBOLDT es sich vermutlich vorstellte, sondern um einen riesigen Komplex ganz verschiedenartiger Täler, die auch in Beziehung auf ihre Höhenlage außerordentlich variieren. Auch dieser Umstand deutet darauf hin, daß es sich nicht um eine gleichartig gebaute Hochebene, sondern um eine Menge bis zu verschiedener Höhe aufgefüllte Täler größtenteils tektonischer Anlage handelt.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der, daß alle aus der Mesa Central hervorragenden Gebirge stark gefaltete Sedimentärschichten aufweisen. Ich zitiere hier: im Süden die oben geschilderten Kreidekalke der Barranca de San Pablo, in der Mitte das erstaunlich kompliziert gebaute Gebirge von Zacatecas, welches von BURCKHARDT und SCALIA beschrieben wurde, im Norden die von BURCKHARDT und mir geschilderten tektonisch äußerst verwickelten Gebirge von Mazapil, Concepción del Oro und Parras, ferner noch weiter im Norden das stark gefaltete Gebiet von Esperanzas, dessen Schilderung wir AGUILERA und LUDLOW verdanken. Ich weise hier nur auf diejenigen Gebiete hin, welche bereits genauer untersucht und im Livret-guide des X. internationalen Geologenkongresses beschrieben worden und also allgemein bekannt sind; ich könnte die Beispiele noch ganz bedeutend vermehren, müßte dann aber an dieser Stelle Detailschilderungen einfügen. Die angezogenen Beispiele genügen vollständig um zu beweisen, daß die im Gebiete der Mesa Central auftretenden Gebirge

sedimentärer Natur alle einen äußerst komplizierten Bau besitzen, und daß die Schichten überall stark gefaltet sind.

Wie steht es nun aber mit den treppenförmig absinkenden Rändern der Mesa Central? Seit der Abfassung meiner ersten Arbeit über die Tektonik der Mesa Central, welche sich eigentlich nur auf das Profil zwischen Esperanza und Orizaba stützen konnte, habe ich die Randgebirge an verschiedenen Stellen durchquert und dabei mein Augenmerk ganz besonders auf den tektonischen Bau der Ketten gerichtet. Im allgemeinen muß ich bemerken, daß die Randgebirge gewöhnlich viel höher als die sogen. Mesa Central sind, das ist z. B. nahezu auf der ganzen atlantischen Seite der Fall, ausgenommen da, wo, wie bei Esperanza, mächtige Quertäler diese Gebirge durchbrechen und so am Rande der sogen. Mesa Central ihren Ursprung nehmen; solche Täler werden bei San Luis Potosí und Saltillo von den Eisenbahnen benutzt, um einen Ausweg nach der Küste zu finden.

Auf der Strecke San Luis Potosí—Tampico braucht die Bahn einen ganzen Tag (12 Stunden), um vom Rand der Ebene, der sogen. Mesa Central, zur Küste zu gelangen; das spricht doch nicht gerade für einen Steilabsturz. Im ganzen darf man wohl sagen, daß auch hier wie bei Orizaba das Gebirge stufenweise gegen die Küste sich hinabsenkt, teilweise infolge von Faltung, teilweise aber auch infolge von Brüchen. Ein genaues Profil durch diesen Abhang hat bisher nicht aufgenommen werden können, aber man vergleiche die von mir gegebenen Einzelprofile¹ und man wird nicht daran zweifeln, daß dieses Randgebirge ein echtes Faltengebirge ist und mit dem Rand eines Horstes nicht die geringste Ähnlichkeit hat.

Noch entscheidender ist die Tektonik zwischen Saltillo und Monterrey². Hier finden wir gegen Osten ein mächtiges, aus Kalken der mittleren Kreide aufgebautes Gebirge, welches mit einer riesigen Verwerfung gegen die Mesa Central hin

¹ BÖSE, De San Luis Potosi à Tampico. Livret-guide des excurs. du Xme. Congr. Géol. Intern. Heft XXX. Mexiko 1906. p. 4, 6, 7, 11 und 13.

² BÖSE, Excursions dans les environs de Monterrey et Saltillo. Livret-guide des excurs. du Xme. Congr. Géol. Intern. H. XXIX. Mexiko 1906.

abbricht. Das könnte also der Bruch sein, der den Horst von der seitlichen Einbruchszone trennt; jedoch gerade die Mesa ist der abgesunkene Teil, sie wird nämlich von Senonschichten gebildet, und es ist also auch hier kein Horst vorhanden.

Wieder anders ist das Profil zwischen Monterrey und Reata; hier existiert auf dem ganzen Abfall auch nicht eine einzige Verwerfung von Bedeutung, sondern nur Falten, welche die Kreideschichten bis zur Ebene von Reata und

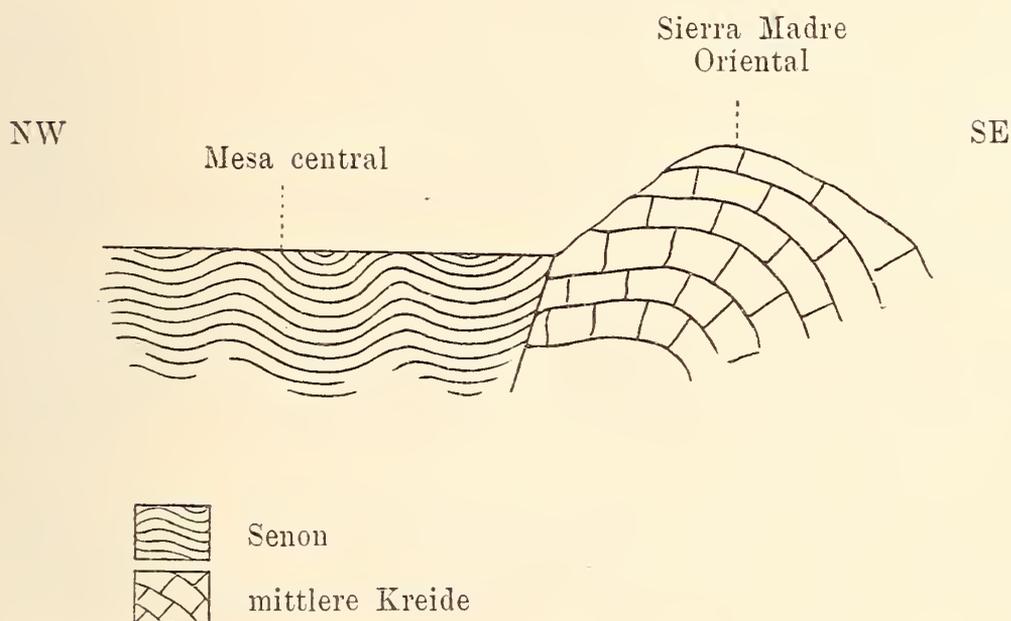


Fig. 6. Schematisches Profil aus der Gegend von Saltillo.

Monclova sozusagen hinaufbiegen. Vergleicht man diese eben kurz beschriebenen Profile mit demjenigen von Orizaba, so gelangt man zu der Erkenntnis, daß nirgends von einem Horste die Rede sein kann, daß keine gleichartige Tektonik in den Randgebirgen vorhanden ist, daß kein gewaltiger Längsbruch die Mesa Central vom Randgebirge trennt.

Die Westseite von Mexiko ist noch recht wenig bekannt, und in manchen Teilen verhindert auch wohl die mächtige Decke junger Eruptivgesteine die Einsicht in den tektonischen Aufbau des Gebirges. Immerhin besitzen wir auch hier bereits eine Einzeldarstellung, welche uns zeigt, daß der Bau dieser Gebirge nahe an der Mesa Central durchaus nicht von dem abweicht, welchen die Erhöhungen der Mesa Central

selbst aufweisen; ich meine die Arbeit von P. WAITZ¹ über Parral, dessen Detailprofile uns in trefflicher Weise den komplizierten Faltenbau jenes bereits zum Ostabfall der Sierra Madre Occidental gehörigen Gebiets zur Anschauung bringen.

Fassen wir nun kurz zusammen, was uns die neueren Beobachtungen über die Mesa Central lehren, so gelangen wir zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Barranca de San Pablo bei Tulancingo, welche Aufschlüsse über den Untergrund der sogen. Mesa Central gibt, beweist uns, daß an jener Stelle alte Täler, die im gefalteten Gebirge lagen, von Basaltströmen, Tuffschichten und Alluvionen ausgefüllt wurden, und daß die nachträglichen Anhäufungen so bedeutend waren, daß sie auch ganze Bergzüge, welche die alten Täler voneinander trennten, zu bedecken vermochten.

2. Die Mesa Central setzt sich aus einer großen Anzahl durch Bergketten voneinander geschiedenen Ebenen verschiedener Höhe zusammen, die ausgefüllte Täler darstellen.

3. Diese Täler sind zum großen Teil tektonischer Anlage, z. T. von kompliziertem Bau, z. T. einfache Synklinalen, und ihre Längserstreckung entspricht zumeist dem lokalen Streichen der Sedimentärschichten.

4. Alle bisherigen Untersuchungen derjenigen Gegenden, wo die Randgebirge an das sogen. Zentralplateau stoßen, haben ergeben, daß nirgends eine mächtige Bruchzone nachzuweisen ist, welche die Mesa Central von den Randgebirgen trennt, sondern daß diese genau den gleichen tektonischen Typus wie das sogen. Zentralplateau besitzen.

5. Die Mesa Central ist kein Horst, sondern der zentrale Teil eines mächtigen Faltengebirges, und ihre Ebenen sind eine Folge sekundärer Ausfüllung von Tälern durch Eruptivgesteine und Erosionsschutt.

¹ P. WAITZ, Esquisse géologique et pétrographique des environs de Parral. Livret-guide des excurs. du Xme. Congr. Géol. Intern. Heft XXI. Mexiko 1906.

Es wäre nun von großem Interesse zeigen zu können, wie die Gebirge der Mesa Central nach Süden in diejenigen von Oaxaca übergehen, doch sind unsere Kenntnisse dieses Landteils noch zu beschränkt, als daß man heute schon allgemeine Folgerungen ziehen könnte; auch das von FELIX und LENK¹ publizierte Profil genügt hierfür nicht, da es kein Detailprofil ist. Ich werde in nächster Zeit Gelegenheit haben, einen Streifen Landes zwischen Oaxaca und der pacifischen Küste im Verein mit Dr. P. WAITZ im Maßstabe 1:20 000 zu kartieren; vielleicht wird hierbei sich herausstellen, in welchem Verhältnis das südliche Gebirgsland zur sogen. Mesa Central steht.

¹ Herr LENK hat auf der letzten Seite seiner oben zitierten polemischen Schrift geglaubt, sich gegen einen Angriff von mir verteidigen zu müssen, den ich in einem Aufsatz über den Iztaccihuatl auf ihn gemacht haben soll, und zwar bezieht er den von mir gebrauchten Ausdruck „wissenschaftliche Laien“ auf sich. Ich bedaure das aufrichtig, denn, wie weit ich auch in meiner Auffassung der Tektonik Mexikos von derjenigen des genannten Forschers abweichen mag, würde es mir doch niemals in den Sinn gekommen sein, ihn als „wissenschaftlichen Laien“ zu bezeichnen. In Beziehung auf den Iztaccihuatl teile ich ganz seine Auffassung und habe bereits in dem erwähnten Aufsatz angeführt, daß wir ihm die Entdeckung des Gletschers Ayoloco verdanken. Jener Aufsatz über den Iztaccihuatl bestand ursprünglich aus zwei Teilen, einem touristischen und einem geologischen, die beide an die Zeitschrift des D. u. Ö. Alpenvereins eingeschickt wurden. Die Redaktion meinte jedoch, daß der geologische Teil zu wissenschaftlich für die Zeitschrift sei und wünschte den touristischen Teil allein zu publizieren. Wäre der wissenschaftliche Teil zugleich erschienen, so hätte sich sofort ergeben, daß der Ausdruck „wissenschaftliche Laien“ nur auf verschiedene amerikanische Schriftsteller, worunter auch PACKARD, gemünzt sein konnte, die einige recht phantastische Anschauungen über die Vergletscherung und Kraterbildung am Iztaccihuatl publiziert haben. Bei der Abtrennung des touristischen Teils merzte ich alle Bemerkungen aus, welche auf den zweiten nicht publizierten Teil Bezug hatten, leider ist mir dabei der in der vorliegenden Form allerdings unverständliche Ausdruck „wissenschaftliche Laien“ entgangen. Ich begreife übrigens nicht, wie Herr LENK den Ausdruck auf sich beziehen konnte, die Art und Weise, in welcher ich seinen, zusammen mit Herrn Dr. TOPF gemachten Besteigungsversuch erwähne, konnte dazu keinerlei Anlaß bieten.

Über rezente und fossile subaquatische Rutschungen und deren lithologische Bedeutung.

Von

Dr. Arnold Heim,

Privatdozent an der Universität und am eidgen. Polytechnikum Zürich.

Mit Taf. XIII und 3 Textfiguren.

Inhalt.

	Seite
I. Einleitung	136
II. Rezente subaquatische Rutschungen	137
1. Die sublacustren Rutschungen von Zug	137
2. Uferrutschungen in Horgen am Zürichsee	139
3. Uferrutschungen an den übrigen Schweizer Seen	141
4. Submarine Rutschung und Subsolvfluktion	141
III. Fossile subaquatische Rutschungen	144
1. Die miocäne, sublacustre Rutschung von Öhningen	144
2. Submarine Verrutschung des eocänen Nummulitenkalkes von Loch-Amden	147
3. Wildflysch, durch submarine Rutschung zerknittert?	148
IV. Die lithologische Bedeutung subaquatischer Rutschungen	150
1. Fältelung und Zerknitterung	151
2. Breccienbildung	153
3. Überzählige Schichtung im Aufschüttungsgebiet	154
4. Unterzählige Schichtung im Abrutschgebiet	154
5. Überlagerung von älteren auf jüngeren Schichten	155
6. Fazieswechsel und abnorme Faziesfolge	156
7. Vernichtung des Benthos	156
V. Schlußbemerkungen	157

I. Einleitung.

Während die Geologen und Geographen den festländischen Denudationsvorgängen die größte Aufmerksamkeit zuwenden und eine ungeheure Literatur über alle Arten der subaerischen

Verwitterung und des Transportes besteht, sucht man in den wichtigsten Lehr- und Handbüchern über Morphologie und allgemeine Geologie meist vergeblich nach Angaben über sublacustre oder submarine Denudation. Die Frage, ob am Grunde großer Seen oder am Meeresgrund überhaupt Denudationen vorkommen, wird gar nicht einmal aufgeworfen.

Ich bin überzeugt, daß Denudationen am Grunde großer stehender Gewässer weitverbreitet sind und sich in mannigfaltiger Weise kundgeben.

Ich gedenke in späteren Arbeiten auf die verschiedenen Arten subaquatischer Denudation einzutreten und will an dieser Stelle nur eine Art herausgreifen: Die Erscheinung der subaquatischen Rutschung und Subsolifluktion.

II. Rezente subaquatische Rutschungen.

Um die fossilen subaquatischen Bodenbewegungen und Folgeerscheinungen zu verstehen, müssen wir auch hier im Sinne der ontologischen Methode zuerst die rezenten subaquatischen Bodenbewegungen betrachten. Leider liegen aber noch wenige genaue Untersuchungen vor.

1. Die sublacustren Rutschungen von Zug.

Wohl das schönste Beispiel sind die Rutschungen von Zug (Zentralschweiz), die nach der Katastrophe vom 5. Juli 1887 in geologischer Hinsicht genau von meinem Vater studiert worden sind¹. Da die wertvollen Untersuchungen leider in keiner geologischen Fachschrift veröffentlicht wurden, sollen einige der wichtigsten Resultate im folgenden wiedergegeben werden.

Schon im Jahre 1435, am 4. März, sind plötzlich 26 Häuser der „niedereren Gasse“ in der Altstadt Zug mit 60 Menschen in den See versunken.

Nachdem 1593 der Seestand durch Abgrabung bei Cham tiefer gelegt worden war, versanken am 7. März 1894 weitere 9 Firsten.

¹ ALBERT HEIM, R. MOSER, BÜRKL-ZIEGLER etc.: Die Katastrophe von Zug, 5. Juli 1887. (Mit 5 Tafeln). Gutachten der Experten, herausgegeben auf Veranlassung der Behörden von Zug. Verlag HOFER und BURGER. Zürich 1888.

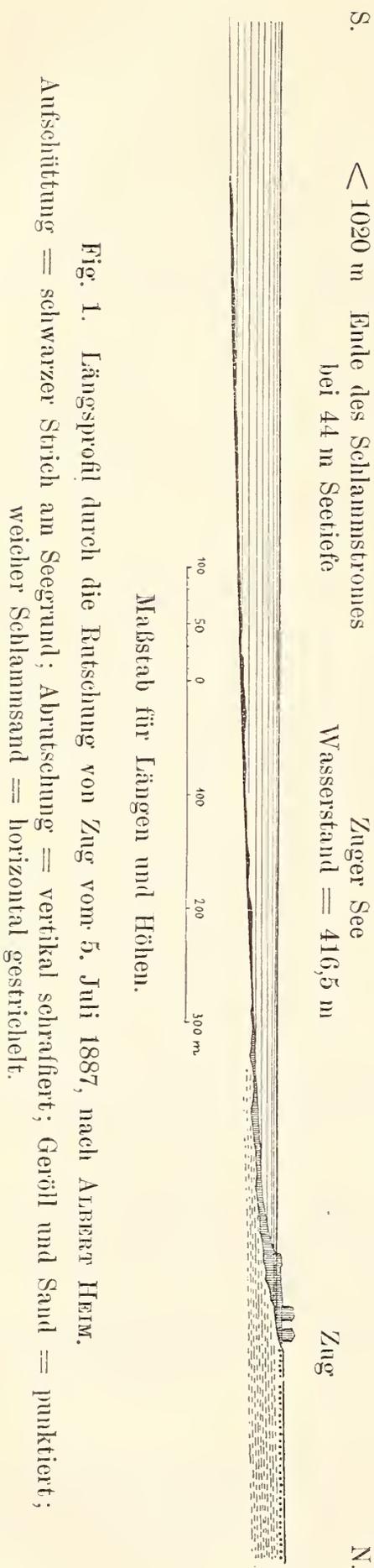


Fig. 1. Längsprofil durch die Rutschung von Zug vom 5. Juli 1887, nach ALBERT HEIM.

Aufsichtung = schwarzer Strich am Seegrund; Abrutschung = vertikal schraffiert; Geröll und Sand = punktiert; weicher Schlamm = horizontal gestrichelt.

In drei aufeinanderfolgenden plötzlichen Absenkungen erfolgte die Katastrophe vom 5. Juli 1887, wobei über 20 Häuser versanken und 650 Menschen obdachlos wurden.

Die genauesten Vermessungen und Auslotungen des Seegrundes (1 : 2500) ergaben vereint mit der geologischen Untersuchung die folgenden, allgemein geologisch verwertbaren Resultate:

Der Grund von Zug besteht aus einem sandigen Schlamm, einer Anschwemmung der Lorze in den alten höher stehenden und weiter ausgedehnten Zuger See. Der Abrutsch erfolgte in Form einer Nische und der Schlamm ergoß sich in breitem Strom weit in den flachen See hinaus (vergl. l. c. Taf. I und II). „300 m weit vom Abrißrand hinaus bis 23 m Seetiefe läuft der Graben eben mit dem alten Seegrund aus, und von hier an auswärts bis zu ca. 1020 m und 45 m Seetiefe folgt eine 150—250 m breite schlammstromförmige Erhöhung von 1—4 m“ (l. c. p. 24—25).

Die Denudation erfolgte wie auf dem Festlande rückwärts schreitend. „Der Schlamm floß als Strom ab und entleerte sich in gebogener Linie gegen den flacheren Seegrund hin, während gleichzeitig das Ausfließen des Schlammgrundes nun rasch rückwärts griff, da rückwärts nun eine zu steile Böschung entstanden war“ (l. c. p. 26).

„Der Schlammstrom geht im Seegrunde, in seiner Mittellinie gemessen, 1020 m weit vom Einsturzrande am Ufer hinaus in den See bis an eine Stelle, wo er 45 m Tiefe hat. Er erreicht im Mittel 200—250 m Breite bei 0,5—3 m, ausnahmsweise 4 m Dicke. Die mittlere Böschung der Abrutschung unter der Seefläche, vom Abrißrande bis an das Ende des Schlammstromes gemessen, beträgt nur 4,4 ‰“ (vergl. Fig. 1).

„Was uns an der ganzen Erscheinung beim Blick auf ein Längsprofil der Abrutschung im höchsten Grade in Erstaunen setzt, das ist eben diese geringe Neigung auf welcher sich die Abrutschung vollzogen hat, und die Distanz, bis zu welcher sie gegangen ist. Nichts von gewaltigem Abgrunde, unergründlicher Tiefe oder dergleichen. Vielmehr drängt sich die Frage auf: Wo ist denn ein Ufer flach genug, damit eine derartige Bewegung nicht eintreten könnte? Schlamm- sand, wenn er einmal sich zu bewegen beginnt, löst sich eben völlig in Brei auf; die Reibung im Wasser ist eine viel geringere als in der Luft und das Wasser trägt einen bedeutenden Gewichtsteil des Schlamm-sandes“ (l. c. p. 27).

Ähnliche subaquatische Rutschungen wie bei Zug hat NATHORST¹ aus Schweden beschrieben, auf die ich hier nicht weiter eintreten kann. Dagegen soll noch ein weiterer Fall vom Zürichsee kurz besprochen werden.

2. Uferrutschungen in Horgen am Zürichsee von 1875.

Auch in Horgen hat mein Vater die geologische Untersuchung vorgenommen. Indem ich auf die Arbeit der Experten² verweise, gebe ich in folgendem nur einige der vergleichend lithologisch wichtigsten Zitate.

Die Auslösung zu den Ufereinbrüchen war durch Überlastung in Form von künstlicher Aufschüttung bedingt. Die eigentliche Ursache lag jedoch in der unterseeischen Schlamm-

¹ A. G. NATHORST, Om jordskredet vid Zug den 5. Juli 1887 samt meddelanden om några jordskred inom Sverige. Ymer 1890.

² ALBERT HEIM, CULMANN, GRÄNICHER, HELLWAG, LANG: Bericht und Expertengutachten über die im Februar und September 1875 in Horgen vorgekommenen Rutschungen. (Mit 3 Tafeln). Zürich 1876.

ablagerung an übersteilem Gehänge: „Es war nicht nur die Bodenerhöhung vom 9. Februar tiefer abwärts geglitten, sondern der alte Seeabhang hatte sich gänzlich verändert, der ganze Abhang hatte eine Abrutschung erlitten. Da diese bis an den Boden des Sees, nämlich bis in 450 m Achsabstand und 125 m Seetiefe geht, so müssen wir erstaunt fragen, wohin denn das Abgerutschte gelangt ist. Ganz draußen am flachen Seeboden schien eine Erhöhung von 1—3 m bemerkt werden zu können. Hier hatte sich das Abrutschmaterial gleichförmig verbreitet und, mit Wasser gemischt, im Wasser teilweise suspendiert, in größerer Entfernung erst niedergeschlagen, welcher Vorgang durch die große und stufenförmige Abrutschungsfläche bedeutend begünstigt wurde. Es hatte sich in einer Schichte verbreitet, deren Dicke zu einem großen Teil innerhalb der Versuchsfehler bei Tiefenmessungen liegt und sich somit einer genauen Kontrolle entzieht.“

„Bei den Rutschungen im Frühsommer hat also die Böschung zugenommen; die Ursache der Rutschung ist in einer übermaximal steilen Böschung unten, da wo der Abtrag am stärksten war, zu suchen. Dort unten begann der Schlamm, der auf dem Gehänge ruhte, abzufließen, und das Abrutschen verlängerte sich rückwärts nach oben; die oben sichtbare Versenkung war diesmal eine sekundäre Folge der übersteilen Böschung unten“ (l. c. p. 9).

Auf der anderen Seite des Zürichsees kamen einzelne Pfähle, die vom Schlamm mitgerissen wurden, mit trübem Wasser an die Oberfläche. Es scheint also, daß außer den sonstigen Analogien mit subaërischen Rutschungen und Bergstürzen auch darin eine Analogie bestehe, daß die bewegte Masse über die größte Wassertiefe hinauseilt und auf dem entgegengesetzten Gehänge wieder aufwärts brandet.

Eine weitere wichtige Veränderung soll der Seegrund in der Uferzone weiter südöstlich erlitten haben, ohne daß dort das Ufer selbst angegriffen wurde:

„Wir kommen somit zu dem Schlusse, daß seit Aufnahme der Seekurven der Karte bis heute das ganze Seegehänge von Horgen bis nach Käpfnach (1,5 km) eine wesentliche Veränderung erlitten habe, derart, daß die Schuttmasse, welche den Abhang bedeckt hatte, abgerutscht ist und den Fels ent-

blöbt hat, so wie dies schon früher einst am rechten Seeufer geschehen sein mußte“ (l. c. p. 11).

Die sublacustre Rutschung hat partienweise den Felsgrund entblöbt. Wenn wieder Schlamm auf jenem unterseeischen Molasse-Felsgehänge abgelagert wird, so wird wieder eine gleiche Rutschung entstehen. Anhaltende Aufschüttung von Schutt auf gesteigerter subaquatischer Maximalböschung führt zu periodischen subaquatischen Rutschungen.

3. Uferrutschungen an den übrigen Schweizer Seen.

Die Uferrutschungen sind eine sehr verbreitete Erscheinung, wengleich die beiden näher besprochenen Fälle von Zug und Horgen die instruktivsten sind. Uferrutschungen sind bekannt von vielen Stellen am Zürichsee, Thuner See, Bieler See, Lungernsee, Langensee etc. und besonders am Genfer See (Léman). Die Rutschungen und Quai-Einbrüche von Montreux-Veytaux hat besonders SCHARDT¹ untersucht und seine Resultate in leicht zugänglichen Zeitschriften veröffentlicht, so daß ich hier von einer näheren Beschreibung dieser Fälle absehen kann.

Wir sehen, daß in der allgemeinen Erscheinung der Vergänglichkeit der Seen infolge von Aufschüttung den subaquatischen Rutschungen eine besondere Bedeutung zugeschrieben werden muß. Bei gleichbleibenden Bedingungen können ganze Seen durch periodische Rutschungen vom Rande gegen die Mitte zugeschüttet werden.

4. Submarine Rutschung und Subsolifluktion.

Übertragen wir die überraschenden Ergebnisse der Rutschung von Zug und Horgen auf die Randgebiete der Meere. Es besteht zur Bildung großer submariner Rutschungen kein prinzipieller Unterschied gegenüber den Seen. Wo Schlamm

¹ H. SCHARDT, L'effondrement du Quai du Trait de Baye à Montreux survenu le 19 Mai 1891. Bull. Soc. Vaudoise des ingénieurs et des architectes 1893; — Notice sur l'effondrement du Quai du Trait de Baye etc. Bull. Soc. Vaudoise des Sc. nat. 28. No. 109. 1892.

bei einigermaßen geneigtem Meeresgrund abgelagert wird, da sind die Möglichkeiten zur Bodenbewegung gegeben, sei es in mehr oder wenig plötzlichen rückwärts nachgreifenden Rutschungen, sei es in Form unmerklich langsamer, stetig fließender Grundbewegung.

J. GUNNAR ANDERSSON¹ hat die subaerische fließende Bewegung wasserdurchtränkter Gehänge auf dem Festland als Solifluktion benannt. Zum Unterschied der „subaerischen Solifluktion“ können wir von einer subaquatischen resp. submarinen oder sublacustren Solifluktion sprechen oder noch einfacher das Wort „Untergrundfließen“ übersetzen durch „Subsolifluktion“².

Uferrutschungen am Rande von Seen sind eine sehr häufige Erscheinung. Ebenso häufig oder häufiger mögen sich sublacustre Bodenbewegungen außerhalb des Ufersaumes vollziehen und entgehen dann der Beobachtung oder Würdigung. Wir haben keinen Grund, nicht auch die gleichen Erscheinungen in viel größerem Maßstabe für die submarine, von Schlammabsatz genährten Gehänge, und im besonderen für die Zone der „großen Deklinität“ (E. HULL³) anzunehmen, wo der Kontinentalsockel oft mit erstaunlich steiler Böschung zur Tiefsee absinkt. In dieser Zone findet in der Regel besonders reichliche Ablagerung terrigener Sedimente, wie Blauschlamm, Grünschlamm und -sand statt, und das gleiche war auch in früheren Perioden der Erdgeschichte der Fall.

Noch einen weiteren Schluß lassen uns die Untersuchungen der Rutschung von Zug ziehen. Der erste, kleinere Rutsch von Zug um 3^h 35^{min} am 5. VII. 1887 reicht bis etwa 500 m in den See hinauf und bewegte sich auf einer mittleren Böschung von 6 ‰; der zweite reicht bis 1020 m und hat nur 4,4 ‰ Böschung. Wir finden also für subaquatische Bodenbewegungen das gleiche Gesetz wie für subaerische Rutschungen und Bergstürze: Je größer die bewegte Masse, um so geringer ist die mittlere Böschung.

¹ J. GUNNAR ANDERSSON, Solifluction, a component of subaërial Denudation. Journ. of Geol. 14. No. 2. Chicago 1906.

² Die Vorsilbe „sub“ soll „unter“ Wasser andeuten.

³ EDWARD HULL. Sub-Oceanic Terraces and River-Valleys. Victoria Institute. 1899. p. 8.

Betrachten wir den so häufigen Fall der submarinen Kontinentalböschung von — 200 auf — 5000 m, so würde schon bei Annahme von 4,4 % Böschung wie bei der kleinen Rutschung von Zug sich eine Horizontalbewegung der rutschenden Schlammmasse von 110 km ergeben. Größere Massen werden vereint mit dem größeren spezifischen Gewicht des Salzwassers sich aber noch viel weiter in das offene Meer hinaus bewegen können. Aber es fragt sich allerdings noch, ob in großen Tiefen durch den hohen Wasserdruck die Bewegung nicht erschwert werde.

In schlimmster Weise haben sich submarine Rutschungen bei den Kabellegungen dokumentiert. PENCK¹ schreibt darüber: „Wir kennen auf der Erdoberfläche untermeerische Abfälle von außerordentlicher Steilheit am Außensaume der Festländer; Kabel, die an ihnen herabgelegt worden sind, zerreißen häufig, und zwar, wie wiederholt schon gesagt, infolge von Rutschungen.“

Mein Vater erzählt mir von einem ausgedehnten Ufereinbruch in Odessa aus der Mitte der 1890er Jahre, dessen frische Spuren er 1897 bei Anlaß des Geologenkongresses besichtigte. Mehrere Gebäude in der Hafenregion versanken in das Schwarze Meer; wer weiß, wie weit die bewegte Masse am Meeresgrund geglitten, und von wie weit her die Abrutschung rückwärts gegriffen hat. Es war eine ähnliche Erscheinung wie die Rutschung von Zug, nur in viel größerem Maßstabe.

Daß bisher über marine Subsolvifikation keine Spezialuntersuchungen vorliegen, hängt mit der Schwierigkeit, ja oft Unmöglichkeit einer diesbezüglichen Beobachtung zusammen. Man müsste, wie am Zuger See, Meeresgrundkarten in 1 : 2500 mit Meterkurven aufnehmen und solche an kritischen Stellen nach Ablauf von Jahren und Jahrzehnten erneuern und die Karten morphologisch vergleichen.

Dagegen stehen wir hier vor einer Erscheinung, die sich leichter und sicherer aus den Sedimentgesteinen vergangener Zeiten ermitteln läßt.

¹ A. PENCK, Die Entstehung der Alpen, Vortrag. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde. Berlin 1908. p. 16.

III. Fossile subaquatische Rutschungen.

1. Die miocäne sublacustre Rutschung von Öhningen.

Als zu Ende der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts der geologische Sammler und Händler SCHENK von Ramsen im Kanton Schaffhausen in den berühmten Steinbrüchen von Öhningen¹ die fossilführenden Schichten wieder aufdeckte, fand er innerhalb der Gruppe der feinschichtigen insektenführenden Mergel einen auffallend gefältelten Komplex, der nach der einen Seite bald verschwand und zwischen normalen, horizontal liegenden gleichartigen Schichten oben und unten eingeschaltet war. SCHENK brachte zahlreiche gefaltete Stücke in die geologische Sammlung des eidgenössischen Polytechnikums. Mein Vater machte mich dort auf diese Faltungsstücke aufmerksam, und ihm verdanke ich auch die obige Mitteilung.

Das sogen. Öhninger Gestein ist bekanntlich ein weißer bis gelblicher, toniger Süßwasserkalk, der in feinen Schichten ruhig abgelagert wurde. Die prächtige Öhninger Fauna stammt vorherrschend aus einer an der Basis der Gruben liegenden dünnen Schicht, während die lithologisch gleichartigen hangenden Schichten petrefaktenleer sind. Als mein Vater und ich im Herbst 1907 die drei längst verlassenenen Steinbrüche besuchten, war nicht mehr viel zu sehen; in dem obersten Hauptbruch war die petrefaktenreiche Basisschicht zugedeckt und auch nichts mehr von gefältelten Schichten zu finden. Es lohnt sich kaum mehr, an die klassische Stätte zu wandern.

Die beigegebenen Photographien (Fig. 2 und Taf. XIII) habe ich nach durchsägten, geschliffenen und dann leicht mit Salzsäure geätzten Faltungsstücken in annähernd natürlicher Größe aufgenommen.

Bei Textfig. 2 ist die Konkordanz von einem Schichtchen zum anliegenden selbst bei den feinsten Knickungen sehr deutlich; die Parallelität verliert sich erst allmählich nach mehrfachem Schichtwechsel. In der Mitte unten hebt sich ein homogener, nicht gefalteter Mergelkern deutlich von den

¹ Die verlassenenen Steinbrüche liegen etwa $\frac{3}{4}$ Stunden nördlich oberhalb der Dampfschiffstation Wangen am Untersee (Bodensee). Auf Dufourblatt IV (1:100 000 geol. von A. GUTZWILLER) sollten die Petrefaktenfundstellen * etwas weiter nördlich eingezeichnet sein.

umgebenden Fältelungen ab; es scheint eine primär in sich selbst ungeschichtete Masse zu sein, die, ohne gefältelt zu werden, plastisch in die Kernteile der umhüllenden Fältchen eindrang.

Auf Taf. XIII¹ ist die Faltung so schön geschwungen, daß man unwillkürlich an Dislokation denken möchte; auch hier überrascht innerhalb der gefalteten Partie die Konkordanz

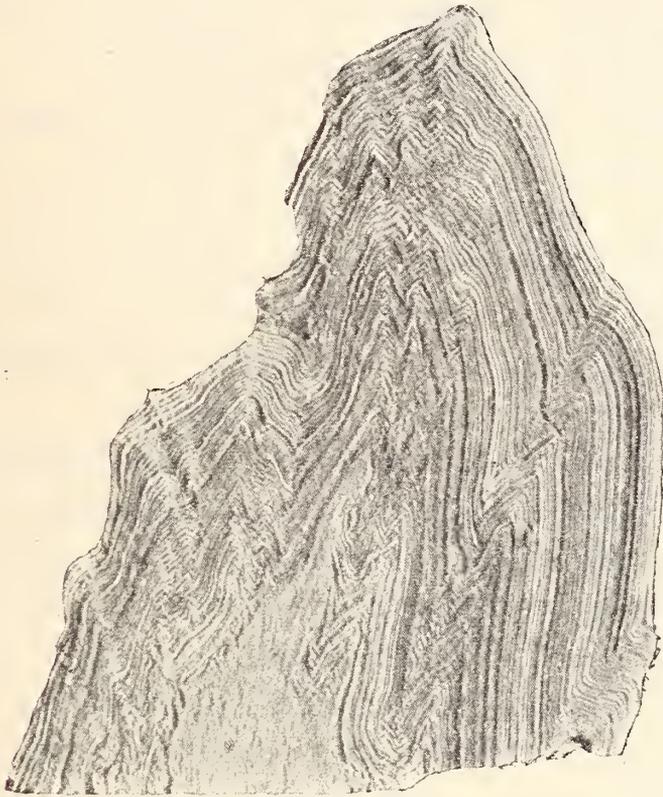


Fig. 2. Fältelung durch sublacustre Rutschung im miocänen Mergel von Öhningen. Nat. Größe.

jedes einzelnen Schichtchens am andern. Allein an der Basis stoßen die Fältchen insgesamt diskordant ab, und man erkennt deutlich die Folgen der gleitenden Bewegung zwischen dem gefalteten und ungefalteten Teil. Vergrößern wir das Bild in Gedanken, so glauben wir eine große, in sich gefaltete Überfaltungsdecke mit einseitig überliegenden Sekundärfalten auf jüngerer Unterlage überschoben zu sehen. Als wäre hier die Drusbergdecke in der Zentralschweiz oder im Kiental abgebildet! In der Tat handelt es sich im kleinen um einen

¹ Die Originale zu den Photographien befinden sich in der geol. Sammlung des eidgen. Polytechnikums in Zürich.

Vorgang der Überschiebung, zwar unter geringeren Druckverhältnissen, aber dafür in noch weichem Zustand des Gesteines. Die Verdickung der Gewölbe- und Muldenumbiegungen und die Verdünnung der Schenkel sind deutlich, ja man sieht hier und da auch das eine oder andere feine Schichtchen in den reduzierten Schenkelpartien auskeilen und an den Umbiegungsstellen wieder einsetzen.

Die wunderschöne Fältelung ist überraschend. Wie unterscheidet sie sich von Fältelung durch Dislokation oder Fältelung durch Aufquellung (Anhydrit in Gips)?

Von einer Aufquellung ist die Fältelung auf den ersten Blick unterscheidbar. Die feinsten Schichtchen innerhalb der gefalteten Masse sind parallel miteinander gefaltet und nicht die Schenkel, sondern die Umbiegungsstellen verdickt. Jede Fältelung durch Aufquellung ist außerdem im gegebenen Falle ausgeschlossen, da keine quellbare Substanz, keine Spur von Gips vorliegt.

Dagegen scheint die Form der Fältelung ununterscheidbar zu sein von echter Fältelung durch Dislokation. Läge nur ein kleines Bruchstück vor und wäre nicht bekannt, woher das Bruchstück stammt, so würde wohl jedermann die Fältelung auf Dislokation zurückführen.

Nun ist aber in unserem Falle Dislokation vollkommen ausgeschlossen. Die gefältelten Schichten liegen in Öhningen über und unter ungestörten, horizontalen, an Ort und Stelle ruhig abgesetzten Schichten. Weder seitliche Stauung noch die Annahme einer Zerknitterung durch vulkanische Vorgänge läßt sich hier mit den Tatsachen vereinen.

Da die Sedimentation in gleicher Weise wie unterhalb der gefältelten Lage darüber fortsetzt, kann es sich auch nicht um eine Rutschung über Wasser handeln. Es bleibt allein die Erkenntnis übrig, daß

die Fältelungen der Öhninger Schichten durch sublacustre Rutschung entstanden sind.

Vor der Verfestigung ist der feine, dem Ufer naheliegende Seeschlamm in Rutschung geraten. Auf ungestörte Schichten ist eine wenig mächtige, gewissermaßen als Brei, jedoch in zähem Zusammenhange rutschende und in Wülsten sich anhäufende Rutschmasse aufgelagert und diese durch kontinuier-

lich fortgesetzte Sedimentation wieder horizontal bedeckt worden. Die ursprünglich feinste Schichtung hat die schönen Fältelungen begünstigt und sichtbar gemacht.

Die Analogie mit der sublacustren Rutschung von Zug springt in die Augen. Auch bei Öhningen handelt es sich um eine wenig mächtige überzählige Auflagerung und offenbar um sehr geringe Böschung. Ist der Zuger See einmal aufgefüllt, sind die Sedimente diagenetisch verfestigt und schneidet sich ein Fluß quer durch das Gebiet des früheren sublacustren Schlammstromes, so wird vielleicht eine ähnliche gefältelte Masse zwischen ungestörten Schichten sichtbar werden¹.

2. Submarine Verrutschung des eocänen Nummulitenkalkes von Loch-Amden.

Seitdem ich 1905 und 1906 die Flyschgegend des Fliegenspitz 1706 m nordwestlich des Leistkamm bei Amden in der Churfirstengruppe (Ostschweiz) untersucht und kartiert² hatte, war mir die unregelmäßige Lage des Nummulitenkalkes bei Loch südwestlich des Fliegenspitz ein Rätsel, und je mehr ich mich in jenes kleine Gebiet vertiefte, um so rätselhafter erschien mir jener Nummulitenkalk.

Da liegen bei Loch auf Flysch bergsturzartig aufragende scharfeckige Felsen; doch sie scheinen an jener Stelle eine zusammenhängende, vielleicht 20 m mächtige Bank zu bilden, die jedoch nördlich streicht statt nordöstlich, und östlich einfällt. Gegen den Fliegenspitz löst sich die Masse in ein Blockwerk auf, wo im Gegenteil die anstehende Lage zu dem

¹ K. ENDRISS (Geologie des Randecker Maars etc. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 41. 1889. p. 100—101) gibt interessante Abbildungen und Beschreibungen von durch Rutschung erzeugten Fältelungen im obermiocänen Mergel des Randecker Maars in der Rauhen Alb. Da jedoch nicht bestimmt werden kann, ob die Rutschung subaquatisch oder supraterran vor sich gegangen ist, soll diese Arbeit nicht weiter als Vergleich herangezogen werden. Die sekundäre Verkieselung lehrt, daß die Rutschung in der Miocänzeit vor sich gegangen ist. Handstücke befinden sich in der geol. Samml. des eidgen. Polyt. Zürich.

² ARNOLD HEIM und J. OBERHOLZER, Geologische Karte der Gebirge am Walensee 1 : 25 000, publiziert von der Schweiz. geol. Kommission. 1907. Separat bei FRANCKE, Bern.

unten liegenden Blockwerk erwartet werden sollte. Auf der Nord- und Ostseite des Fliegenspitz sehen wir die normal, fast horizontal liegenden Flyschmergel vom Hangenden und Liegenden der Nummulitenkalke ohne merkbare Diskontinuität normal aufeinander liegen und nur an einer Stelle fand ich dazwischen noch einen blockartigen Fels von etwa 10 m Länge und 5 m Dicke aus gleichem Nummulitenkalk.

Die Annahme einer rezenten Rutschung kann die sonderbare Anordnung und Verteilung der Felsen nicht allein erklären; auch wenn tatsächlich die Felsen in Rutschung wären, so müßte man ein Anstehendes vom Verrutschten unterscheiden können. Und nirgends liegt gerade der Flysch so ruhig, wie auf dem Fliegenspitz als Hangendes des Nummulitenkalkes.

Als mir dann plötzlich der Gedanke an eine submarine Rutschung einfiel (eventuell lokal kombiniert mit rezenter Bodenbewegung), da schien mir das die richtige Lösung zu sein. Es fehlt jeder Anhaltspunkt für eine Emersionsphase nach Ablagerung des Nummulitenkalkes und so bleibt nichts anderes übrig als die Annahme, daß

der Nummulitenkalk von Loch nach seiner Bildung und submarinen Diagenese auf der schlammigen Unterlage verrutscht und in Blöcke zerfallen sei.

3. Wildflysch, durch submarine Rutschung zerknittert?

Seit den Untersuchungen KAUFMANN'S¹ kennt man im Flysch der nördlichen Schweizer Alpen von verschiedenen Orten sonderbare Zerknitterungen, die von Dislokation unabhängig zu sein scheinen. Dieser zerknitterte Flysch ist besonders auffällig in der Gegend von Habkern und findet sich in gleicher Weise wieder in Amden und im autochthonen Glarnerland². Auch die obersten flyschartigen Kreidebildungen sind oft in ähnlicher Weise zerknittert. In beiden

¹ F. J. KAUFMANN, Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz. Liefg. 24. 1886. p. 553.

² Nach brieflichen Mitteilungen von Herrn Profektor J. OBERHOLZER in Glarus.

Fällen enthalten diese Schichten häufig kleinere und größere exotische Einschlüsse. KAUFMANN hat mit Recht dieses verwildert aussehende Gestein „Wildflysch“ benannt und schreibt darüber (l. c. p. 553): „Die Schichten sind häufig und in merkwürdiger Weise gefaltet, geknickt und zerrissen, die Sandsteine quer gespalten, die Stücke auseinandergezerrt, gerieben und mehr oder weniger vom Schiefer umwickelt.“ „Die Ursache dieser extremen Lagerungsveränderungen kann nicht bloß in dem allgemeinen Dislokationsdrucke gesucht werden; denn sowie man in den Querprofilen aus dem Wildflysch (schwarzen Schiefer) herauskommt, pflegen sofort wieder einfachere Verhältnisse aufzutreten. Es scheint, daß dieser Wildschiefer aus irgend einer chemischen Qualität eine unwiderstehliche Kraft erlangt habe, sein Volumen zu vergrößern und sich sonach unter wurmähnlichen Windungen Platz zu verschaffen.“

So sehr ich die reinen Beobachtungen des objektiven und sorgfältigsten Forschers bestätigen kann, um so weniger kann ich mit seiner chemischen Erklärung einverstanden sein. Die Zerknitterung hat keineswegs Ähnlichkeit mit Quellungserscheinungen und ist nicht an Gips gebunden. Daß aber die Zerknitterung in vielen Fällen von der Dislokation unabhängig scheint, ist auch mir an vielen Stellen im Gebiete von Einsiedeln und Amden bis Wildhaus aufgefallen. Plötzlich steht man vor völlig zerrütteten und gewundenen Schichten, die beiderseitig von regelmäßigen Schichten begleitet werden. Ich fand sie im Obersenonmergel im Bach bei Schwarzenegg—Amden¹, hier sogar mit Fältelungen von vertikaler Achsenlage in Schichten, die als feiner Schlamm abgesetzt worden sein mußten und in unweit davon entfernter nördlicher Zone nicht vorhanden sind. Die Fazies scheint nach Süden tiefer bathyal zu werden und der Schlamm auf einer geneigten Fläche, vielleicht der Zone der „großen Deklinität“, abgelagert worden zu sein. Aber auch höher oben im eocänen Flysch finden sich vielfach die gleichen Zerknitterungen wieder.

Handelt es sich vielleicht auch hier um Fältelung und Zerknitterung durch submarine Rutschung? Ich mag die

¹ Vergl. Walenseekarte 1 : 25 000.

Frage deshalb noch nicht ohne Vorbehalt zu beantworten, weil die genannten Zerknitterungen eine so häufige und verbreitete Erscheinung sind, daß man ebenso viele und in solcher Häufigkeit erstaunliche submarine Rutschungen oder langsame Subsolvfluktionen annehmen müßte. Keineswegs sind alle Fältelungen im Flysch auf submarine Bodenbewegungen zurückzuführen, die meisten sind durch Dislokation bedingt. Aber vielleicht wird man einmal mit größerer Bestimmtheit die Fältelungen durch submarine Bodenbewegung abtrennen können von denen, die durch Dislokation entstanden sind.

Die Vergesellschaftung des zerknitterten Wildflyschs mit exotischen Einschlüssen wäre durch Rutschung leicht verständlich, es wäre sogar denkbar, daß gerade durch den Absatz exotischer Blöcke und Schuttmassen da und dort die Überlastung zur Rutschbewegung vorgezeichnet war. Sind denn vielleicht gar alle exotischen Blöcke durch submarine Fernrutschungen so weit in das Flyschmeer hinausgelangt? Nach den auf p. 143 angegebenen Zahlen von über 100 km wäre diese Auffassung zulässig. Allein wir finden exotische Blöcke keineswegs nur in solchen „sonderbar gestörten“ Schichten, sondern durch den ganzen Flysch hindurch, selbst in Nummulitengrünsand¹, und ebenso häufig in vollständig unverrutschten Schichten. Auch die gesamte Verbreitung im großen wie im einzelnen läßt sich keineswegs durch submarine Rutschung erklären, obwohl es wahrscheinlich ist, daß zahlreiche exotische Blöcke nach ihrer Ankunft auf dem Meeresgrund noch mehr oder weniger weit samt dem umhüllenden Schlamm verrutscht sind.

IV. Die vergleichend lithologische Bedeutung subaquatischer Rutschungen.

In welchen Hapterscheinungen äußern sich die mehr oder weniger akuten subaquatischen Rutschungen und die mehr langsam stetig vor sich gehenden Subsolvfluktionen, und

¹ Vergl. ARNOLD HEIM, Über das Profil von Seewen-Schwyz und den Fund von Habkerngranit im Nummulitengrünsand. Vierteljahrsschr. d. nat. Ges. Zürich 1908. p. 377—386. Taf. I.

welches sind die Erkennungszeichen solcher Bewegungen in den Sedimentgesteinen?

Wir haben kennen gelernt:

1. Fältelung, Zerknitterung und Zerreißung

eines je nach Betrag und Ort der bewegten Masse mehr oder weniger mächtigen Schichtkomplexes, zwischen ungestörten Schichten oben und unten. Die Form der Krümmungen läßt sich im Handstück von Dislokationsfltelung nicht unterscheiden. Innerhalb feinsten Schichtchen ist konkordante Biegung vorhanden, während die Faltung innerhalb kleinerer oder größerer Komplexe diskordant¹ sein kann und sich vom Liegenden und Hangenden durch Diskordanz scharf abhebt.

Ob auch „Hakenwurf“, d. h. bloße Flexuren vorkommen, werden spätere Beobachtungen zeigen.

Allgemein können wir folgende Gruppen der Bildung echter Fältelung unterscheiden:

1. durch Dislokation (oder Eruption): Ursache in der Tiefe;
2. durch chemisch-physikalische Vorgänge (z. B. Gips, Gefrieren von Wasser);
3. durch oberflächliche Erdbewegung²: Ursache an der Oberfläche (z. B. Solifluktion).

Zu dieser 3. Gruppe gehören die subaerialen und subaquatischen Solifluktionen. Es kann aber auch ein Eisberg den Grund aufschrfen und eine fltelnde Schlammmasse vor sich herschieben, oder ein von einem kalbenden Eisberg niederstrzender Fels den Schlamm seitlich in Form von Fältelung auspressen usw.

¹ Die gleiche Erscheinung ist in Faltengebirgen häufig, wenn härtere Gesteine von mächtigen plastischen Bildungen getrennt werden. Eines der schönsten Beispiele bietet die Sichelkammgruppe am Walensee; vergl. ARNOLD HEIM, Das Walenseetal. Ber. des oberrhein. geol. Ver. 1907. Taf. VIII.

² Scheinbare Fältelungen entstehen durch Wind (Dnen) oder durch Wasserbewegung (Ripple-marks). Irrtümlich wird die Entstehung der Ripple-marks auf wechselnde Wasserbewegung zurückgeführt (noch in CHAMBERLIN and SALYSBURY, 1906) und aus der Tiefe des Wellenganges auf die Tiefe der Ripple-mark-Bildung geschlossen. Die schönsten Rippel der flachen Ksten (Bretagne, Mt. St. Michel etc.) entstehen aber unter einseitiger Strömung, ebenso wie die „Wind-Ripples“.

So schön aber durch subaquatische Rutschung in gewissen Fällen Fältelung hervorgegangen ist, so wäre es doch verkehrt, die Fältelung als notwendige Folgeerscheinung jeder subaquatischen Rutschung aufzufassen. Die Bildung schöner Faltung ist auch hier wie beim Dislokationsschub begünstigt durch primär ausgesprochene Schichtung mit Wechsel von relativ festem und plastischem Material und hängt, abgesehen von der Art der Bewegung, noch ab von der Zähigkeit des Sedimentmaterials.

1. Eine kompakte, über Schlamm liegende Felsmasse (verkitteter Schotter, Nummulitenkalke etc.) löst sich in Blöcke auf und es entsteht eine grobe oder feine Breccie.

2. Eine nicht verkittete Schottermasse wird zu Geröll und an sekundärer Lagerstätte als Konglomerat aufgehäuft.

3. Eine halbverkittete, zähe, geschichtete Masse wirft sich in Wülste, und mit innerer fältelnder Bewegung wälzt sich die Masse langsam abwärts. Und wie bei den großen Überfaltungsdecken wird man in der Stirnregion der sich bewegenden Masse die stärksten Wülste, die schönsten Falten und Fältelungen antreffen¹.

¹ A. PENCK (l. c. 1908) hat die frühere und mehrfach zurückgewiesene Abrutschungstheorie von SCHARDT in neuem Gewande vorgetragen und glaubt die großen alpinen Überschiebungen und Überfaltungen auf ein allgemeines Abgleiten zurückführen zu können. Dabei sollte die Annahme eines sehr großen seitlichen Zusammenschubes der Erdrinde unnötig sein. Wer die Tatsachen der Tektonik und Stratigraphie der Alpen studiert, kann dieser Auffassung nicht zustimmen. Man denke an die großen Faziesdifferenzen von einer Decke zur anderen und erinnere sich, daß da, wo nicht die Erosion die verbindenden Stücke zwischen Wurzel- und Stirnregion entfernt oder eine höhere Decke die tiefere zerrissen hat, überall der Zusammenhang der Decken bewahrt geblieben ist. Es gilt dies für die größten ostalpinen Decken (Rhätikon-Bormio), wie für die helvetischen (Glarnerland, Westschweiz-Wildhorn etc.) und ebenso für die allergrößte skandinavisch-kaledonische Überschiebung (120 km). Die nicht immer vorhandene Absenkung war nicht die Ursache der Bewegung, sondern sie „erleichterte nur den Nachschub und unterstützte nur die weite Wanderung“ (ARNOLD HEIM; Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 1905. p. 109). In diesem Sinne erblicke ich zwischen der durch Dislokation bedingten Bildung alpiner Überfaltungsdecken und der durch bloße Schwerkraft hervorgerufenen Überschiebung und Abgleitung der subaerischen und subaquatischen Rutschungen einen genetisch prinzipiellen Unterschied.

4. Eine noch nicht verfestigte lose Schlamm- und Sandmasse aber kann fließen, ohne sich zu fälteln; sie löst sich bei rutschender Bewegung in einen Brei oder gar in eine Suspension auf (allgemeine Wassertrübung) und der Wiederabsatz erfolgt in einer feinen, weit verbreiteten Schicht ohne Fältelung, als wäre es nur die Fortsetzung des früheren Absatzes. Der Unterschied gegenüber normaler Sedimentation besteht dann jedoch darin, daß die neue Ablagerung aus wieder aufgearbeitetem älteren Sediment von mehr küstennahem Faziescharakter besteht. In einer Schichtfolge wird es oft unmöglich sein, eine derartig abnorme Sedimentation mit überzähliger Schichtung zu erkennen.

2. Breccienbildung.

Der Nummulitenkalk von Loch ist durch submarine Rutschung in eckige Blöcke zerfallen, und ebenso ist es den Quaimauern bei den Abrutschungen von Zug, Horgen und Montreux ergangen. Es entsteht mehr oder weniger weit vom Ufer weg eine Blockanhäufung ohne Rundung der Kanten und Ecken. Häufig wird in der Natur der Fall vorkommen, wo über einer schlammigen Schicht eine subaquatisch-diagenetisch sich rasch verfestigende Kalkschicht gebildet wird. Ich denke an die vielen zoogenen Bildungen, Austern-, Nerineen-, Korallen-, Foraminiferen-, Crinoiden-, Oolithen-, Lithothamnienbänke usw. Eine derartige Kruste wird sich leicht durch beginnende Bewegung der weichen Unterlage in scharfeckige Trümmer auflösen und später wird die in die Tiefe fern vom Ufer abgerutschte Masse zur Breccie. So sind wohl zahlreiche der sogen. „Brandungsbreccien“ entstanden und so werden viele der im Schichtenverband so verbreiteten und vielfach so rätselhaften marinen Breccien verständlich.

Auch Konglomerate und brecciöse Konglomerate können weit vom Ufer abgelagert werden, indem die wenig verfestigten litoralen Geröllmassen dem offenen Wasser zurutschen (Zug, Horgen).

Wichtig ist, daß die Größe der durch subaquatische Rutschung entstandenen und mehr oder weniger transportierten Blöcke fast unbegrenzt sein kann.

3. Überzählige Schichtung im Aufschüttungsgebiet¹.

Die beiden Fälle von Zug und Öhningen stimmen überraschend darin überein, daß im Ablagerungsgebiet einer rutschenden Masse ein Schichtkomplex mehr als normal abgelagert wird. Wiederholt sich die gleiche Erscheinung wie bei Zug, so entsteht mehrfach wiederholt überzählige Ablagerung. Die Kontinuität des Ablagerungsvorganges bleibt bestehen, während die Schichten in Diskontinuität aufeinander zu liegen kommen.

4. Unterzählige Schichtung im Abrutschgebiet².

Wo sich die rutschende oder langsam fließende Bodenmasse löst, entsteht ein Zuwenig in der Schichtfolge. Bei rascher Rutschung entsteht Diskontinuität der Ablagerung. Geht die Subsolifluktion so langsam von statten, daß in der Zeiteinheit mehr abgelagert wird als wegrutscht, so findet ausnahmsweise gleichzeitig Denudation und Auflagerung statt und die Kontinuität der Ablagerung kann bewahrt bleiben.

Der Fall der unterzähligen Schichtung durch subaquatische Rutschung ist im allgemeinen mehr an die Nähe des Ufers gebunden, während überzählige Schichtung, selbst in Form von dünnsten Schichtchen, von einigen Zentimetern oder darunter nach dem p. 143 gesagten bis weit in die pelagische, bathyale und abyssale Region sich flächenartig ausbreiten kann. Es ist ein spezieller Fall der allgemeinen Tendenz der Ablagerungsvermehrung von der Küste nach der „Deklinität“ und dem unmittelbaren Fuß des Kontinentalsockels.

¹ J. WALTHER hat in seinem hervorragenden Werke „Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft“ (Jena. III. Teil. 1893/94. p. 549) besonders die regionalen Unterschiede von Denudation und Auflagerung geschildert. Wir werden unten einen Fall besprechen, wo gleichzeitig Denudation und Auflagerung stattfindet.

² Während überzählige Schichtung, soweit ich bis jetzt übersehen kann, auf subaquatische Rutschungen beschränkt bleibt, ist unterzählige Schichtung weit verbreitet und kann die verschiedensten Ursachen haben, auf die ich in einer späteren Arbeit einzutreten gedenke.

5. Überlagerung von älteren auf jüngere Schichten.

Es ist eine feststehende Tatsache, daß die dünne abgerutschte Schlammdecke am Zuger See aus älteren und nur zu verschwindend kleinem Teil aus nahezu gleichaltem Sedimentmaterial wie das Liegende besteht. Wohl mehr als 99% der Schlammmasse ist ursprünglich in den vorhistorisch weiter ausgedehnten und höher reichenden See abgelagert worden.

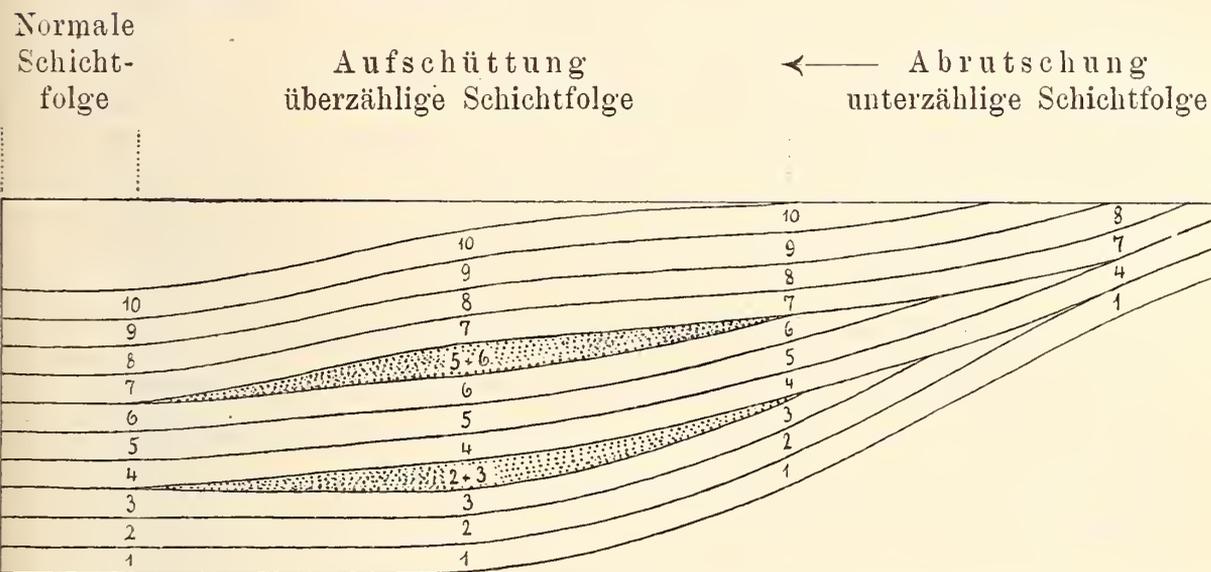


Fig. 3. Schema der Schichtfolge nach subaquatischen Rutschungen und gleichförmiger Sedimentation.

Betrachten wir zunächst nur den Fall der letzten Haupt-rutschung, so finden wir an Stelle des Ablagerungsgebietes zeitlich die folgende Reihenfolge der Sedimente:

$$1 - 2 - 3 - 4 - 3 (+ 4) - 5 - 6 - 7 \text{ etc.}$$

Nehmen wir noch den älteren Rutsch in Betracht, so finden wir das Profil:

$$1 - 2 - 3 - 2 (+ 3) - 4 - 3 (+ 4) - 5 - 6 - 7,$$

wobei 4 die in der Zwischenzeit der beiden Rutschungen abgelagerte Schicht bedeutet.

Die überzählige Schicht ist im Vergleich zum Liegenden um so älter, je tiefer der Rutsch im Denudationsgebiet hinabreicht und je geringer die Menge der dortigen Ablagerung in den vorhergehenden Zeiten war.

Im Denudationsgebiet findet umgekehrt in der Regel eine Auslassung von Schichten statt, so daß wir im einfachsten Falle die Schichtfolge:

$$1 - 2 - 5 - 6 - 7$$

erhalten.

Das Schema Fig. 3 p. 155 macht eine weitere Diskussion überflüssig; es stellt den einfachsten Fall einer gleichförmigen und stetigen Sedimentation mit zweimal wiederholter subaquatischer Rutschung dar.

Während man gewöhnt ist, jede Überlagerung einer älteren auf einer jüngeren Schicht als sicheres Anzeichen einer Dislokation zu betrachten, haben wir nun in der Erscheinung der subaquatischen Rutschung einen Fall kennen gelernt, wo ältere selbst marine Sedimentgesteine durch subaquatischen Absatz auf jüngere zu liegen kommen.

6. Fazieswechsel und abnormale Faziesfolge.

Bei Zug sind außer Seeschlamm auch Geröll und größere Blocktrümmer weit in den See hinausgerutscht und an Stellen gelangt, wo sie ohne Rutschung nicht hätten abgelagert werden können. Inmitten der Seeschlammablagerung sind litorale und terrestrische Bildungen eingeschaltet.

Bei größeren submarinen Rutschungen in der Zone der „Deklinität“ können entsprechend neritische und litorale Bildungen bis in die pelagische Region verfrachtet werden und bilden dort unvermittelte Einschaltungen in bathyalen und abyssalen Sedimenten. Findet man eine solche unvermittelte Gerölllage oder eine „Strandbreccie“ in einer marinen Schichtfolge, so wird sie allgemein ohne Bedenken als Beweis für Schwankungen des Meeresspiegels oder orogenetische Bewegungen hingestellt!

7. Vernichtung des Benthos.

Wenn die Subsolifluktion nicht unmerklich langsam vor sich geht, sondern sich eine Rutschung ähnlich derjenigen von Zug vollzieht, so wird (ebenso wie bei einem Bergsturz) sowohl im Abrutschgebiet als auch im Aufschüttungsgebiet die sessile Flora und Fauna vernichtet, und je nach der Geschwindigkeit der Grundbewegung auch vagiles Benthos

begraben. Schließlich kann sogar Nekton durch plötzliche Wassertrübung zugrunde gehen.

Unter der aufgeschütteten Masse liegen die Versteinerungen, und zwar nicht nur die ausgewachsenen, sondern alle Altersstadien beisammen, insofern sie überhaupt erhalten bleiben. Und über der aufgegossenen Schicht folgt eine von sessilem Benthos freie, an niedergefallenem Plankton relativ reicher erscheinende Schicht, bis allmählich — gleichbleibende Sedimentation vorausgesetzt — die frühere Zusammensetzung der Organismen durch Einwanderung wieder hergestellt ist.

V. Schlussbemerkungen.

Fast alle der vorangehenden Ableitungen stützen sich auf direkte Beobachtung und ganz besonders auf die Rutschung bei Zug. Fältelung, Überlagerung von älterem auf jüngerem, überzählige Schichtfolge, abnormale Fazies sind von Zug oder Öhningen direkt oder indirekt im kleinen beobachtet. Es sind allgemein verbreitete Erscheinungen in schlammiger Uferzone der Seen.

Ob aber die subaquatische Rutschung mit ihren Begleiterscheinungen auch im großen und besonders auf geneigtem Meeresgrund häufig vorkommt, weiß ich nicht. Aber es wäre höchst sonderbar, wenn unter genau gleichen Bedingungen nicht auch am Meeresgrund die Rutschung des Festen weit verbreitet wäre und ihr nicht eine Bedeutung für die Ozeanographie und vergleichende Lithologie der marinen Sedimentgesteine eingeräumt werden müßte. Manche der „submerged valleys“ sind vielleicht Abrutschungsnischen und die Rutschung selbst die Folge von Überlastung durch den früher oder jetzt sedimentführenden Fluß, entsprechend den bekannten Delta-stirnrutschungen an den Seen (Kander-Thuner See, Gruonbach bei Flüelen-Vierwaldstätter See). Allein alle diese Fragen stehen noch offen und harren auf neue Beobachtungen, denen jedoch fast unüberwindliche Schwierigkeiten im Wege stehen.

Mögen die gegebenen bescheidenen Bruchstücke einmal aufgelesen und nachgeprüft werden.

Zürich, Juli 1908.

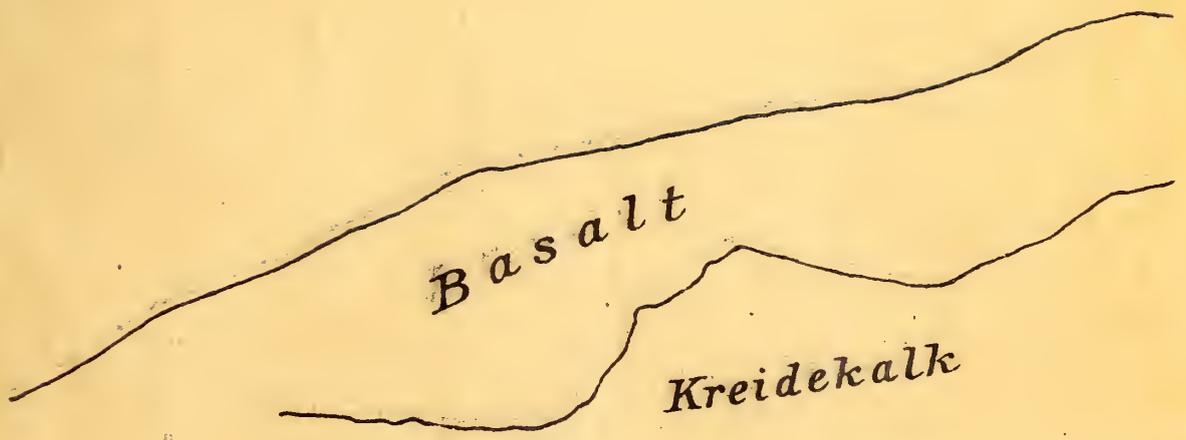


1.



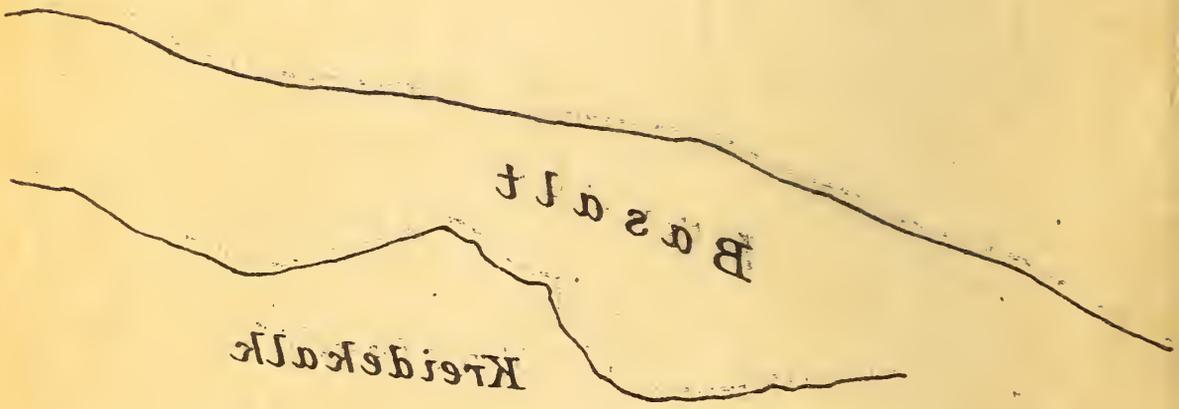
2

Lichtdruck der Hofkunstanstalt von Martin Rommel & Co., Stuttgart.



Basalt

Kreidekalk



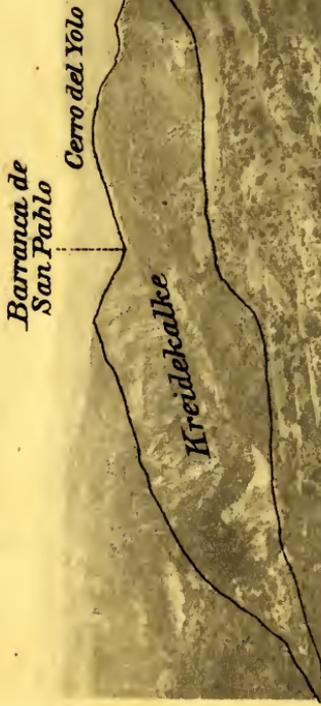


1.



2.

Lichtdruck der Hofkunstanstalt von Martin Rommel & Co., Stuttgart.



Lichtdruck der Hofkunstanstalt von Martin Rommel & Co., Stuttgart.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: [1908_2](#)

Autor(en)/Author(s): Böse Emil

Artikel/Article: [Zur Frage der Entstehung des sogenannten mexikanischen Zentralplateaus. 114-157](#)