

SEPARAT-ABDRUCK

AUS DEM

NEUEN JAHRBUCH

FÜR MINERALOGIE, GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE.

Jahrg. 1908. Bd. II.

(S. 136--157 und Taf. XIII.)

Über rezente und fossile subaquatische Rutschungen und deren lithologische Bedeutung.

Von

Dr. Arnold Heim,

Privatdozent an der Universität und am eidgen. Polytechnikum Zürich.

Mit 1 Tafel und 3 Textfiguren.



Stuttgart.

E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Nägele).

1908.

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 Subsoliifikation	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, BÜRKLII-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.

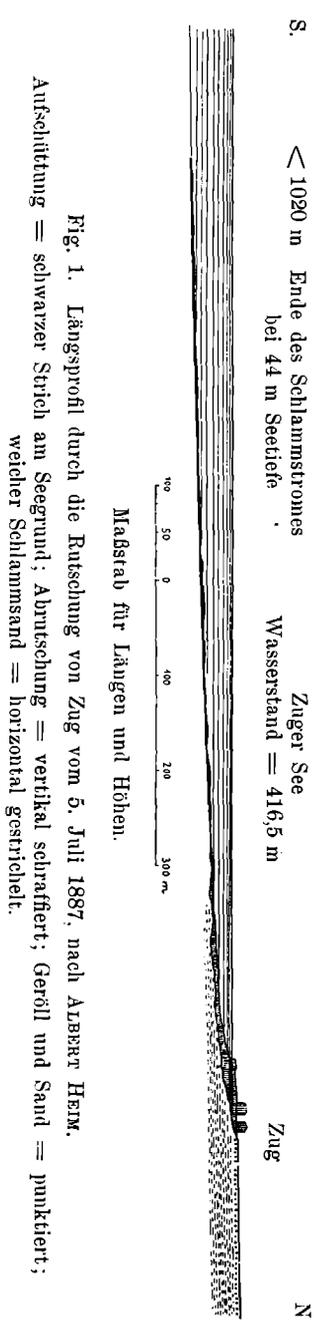


Fig. 1. Längsprofil durch die Rutschung von Zug vom 5. Juli 1887, nach ALBERT HEIM.

Aufschnittung = schwarzer Strich am Seegrund; Abrutschung = vertikal schraffiert; Geröll und Sand = punktiert; weicher Schlamm sand = 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 See Grunde, 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-

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

Die sublacustre Rutschung hat partienweise den Felsgrund entblößt. 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, wemgleich 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 wasserdurchränkter 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.

Uferutschungen 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 Ufer-einbruch 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 Subsollifluktion 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 gefalteten 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 gefalteten 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

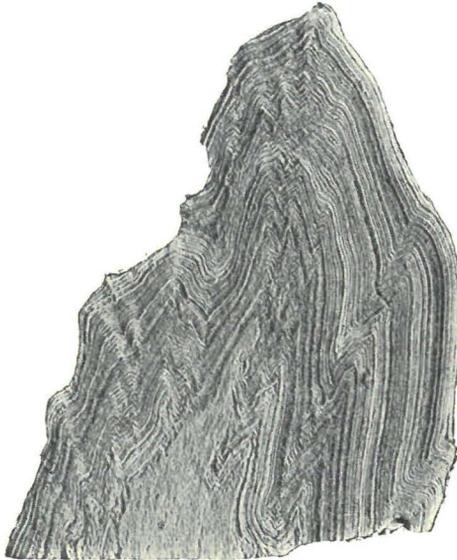


Fig. 2. Fältelung durch sublacustre Rutschung im miocänen Mergel von Öhningen. Nat. Größe.

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 Öhnungen 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 Prorektor 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 Subsolifluktionen 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 Subsolifluktionen, 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 spttere 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 über- raschend 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 wieder- holt 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 Boden- masse löst, entsteht ein Zuwenig in der Schichtfolge. Bei rascher Rutschung entsteht Diskontinuität der Ablagerung. Geht die Subsolfuktion 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 Ten- denz der Ablagerungsvermehrung von der Küste nach der „Deklivität“ und dem unmittelbaren Fuß des Kontinental- sockels.

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.

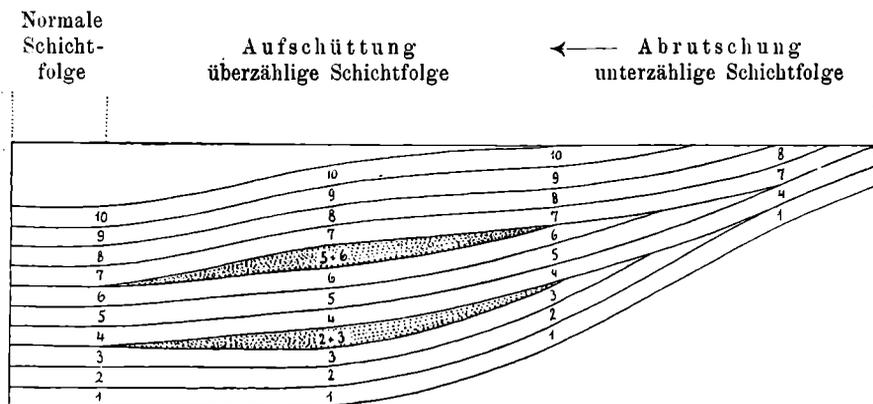


Fig. 3. Schema der Schichtfolge nach subaquatischen Rutschungen und gleichförmiger Sedimentation.

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 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 Subsolvifikation 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.

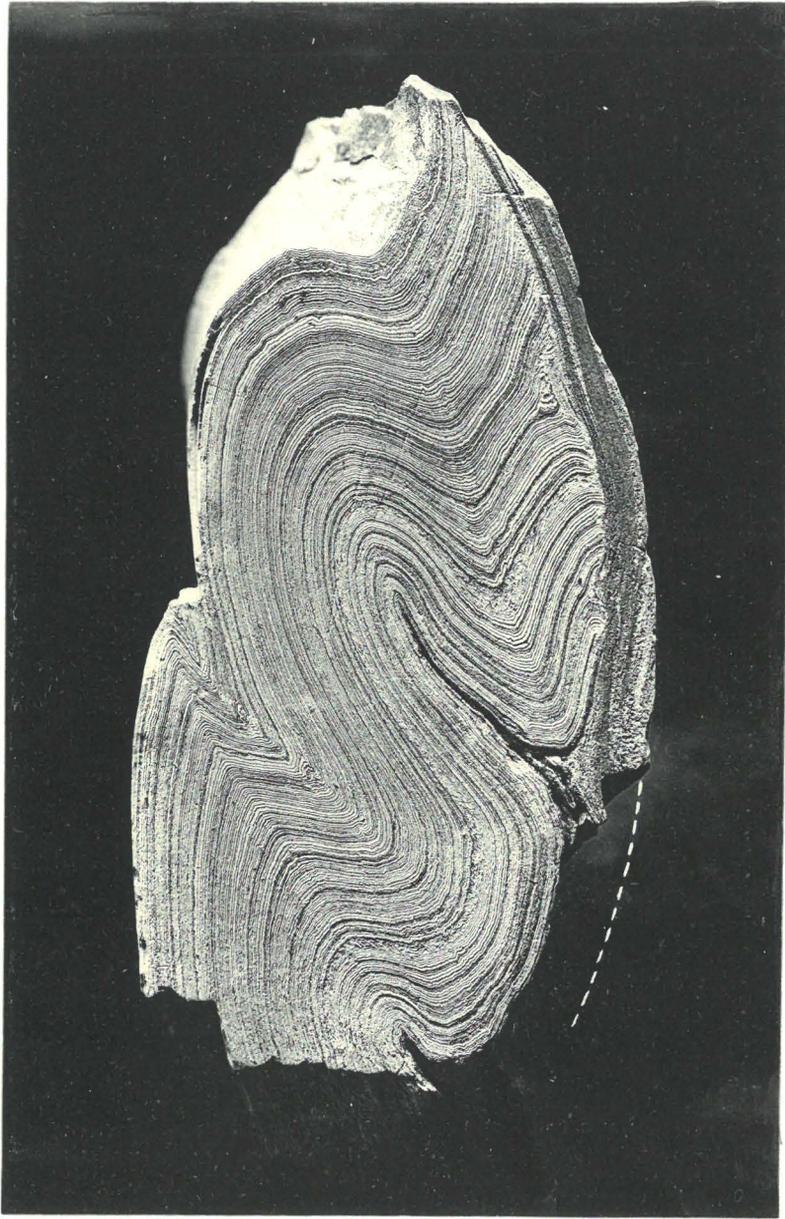
V. Schlussbemerkungen.

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 Deltastrirnutschungen 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.



Durch subaquatische Rutschung gefalteter miocäner Mergel von Öhningen.
($\frac{3}{4}$ nat. Größe.)
Phot. Dr. A. Heim.