
SITZUNGSBERICHTE

1909.

IV.

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Gesamtsitzung vom 21. Januar.

Mittheilung vom 7. Januar.

**Die Annahme der submarinen Erhebung des
Alpenzuges und über Versuche, Vorstellungen
über submarine Gebirgsbewegung zu erlangen.**

Von Prof. Dr. A. TORNQUIST

in Königsberg i. Pr.

Die Annahme der submarinen Erhebung des Alpenzuges und über Versuche, Vorstellungen über submarine Gebirgsbewegung zu erlangen.

Von Prof. Dr. A. TORNQUIST
in Königsberg i. Pr.

(Vorgelegt von Hrn. BRANCA.)

Man ist neuerdings dazu übergegangen, das Zustandekommen einer Anzahl von Eigentümlichkeiten der Lagerung von Schichtgesteinen, bei denen früher an Vorgänge über dem Wasserspiegel gedacht worden war, an den Boden des damaligen Meeres zu verlegen. Der Ausfall gewisser Horizonte in sonst gleichartigen Sedimentserien bedarf in vielen Fällen nicht der Annahme einer durch Trockenlegung bzw. Hebung des Ablagerungsbodens über das Meeresniveau verhinderten Bildung des Sedimentes oder gar einer Wiederabtragung desselben. Eine gelegentliche Unterbrechung der Sedimentation kann auch bei persistierender Wasserbedeckung durch Vorgänge in der Nähe des Meeresbodens eintreten. So vermutet POMPECKJ¹, daß das Fehlen des jüngeren Callovien am Keilberg bei Regenstauf vielleicht auf eine stärkere Strömung zurückzuführen ist, »welche während des jüngeren Callovien hier den Absatz von Sedimenten verhinderte, ähnlich wie das heute im Kanal La Manche der Fall ist«. UHLIG² hält sogar eine submarine Fortführung feiner Sedimentmassen durch bewegte grobe Geschiebe für möglich. VON KOENEN³ nimmt für die Erklärung des gelegentlichen Fehlens von Horizonten in dem englischen und norddeutschen Jura küstennahe Abspülungen unter Mitwirkung von Meeresströmungen an. R. ANDRÉE⁴ hat diese und ähnliche Angaben zusammengestellt und auf die große Wahrscheinlichkeit derartiger Annahmen hingewiesen, nach-

¹ J. F. POMPECKJ, Die Jura-Ablagerungen zwischen Regensburg und Regenstauf. Geogn. Jahreshfte XIV, 1901, S. 200.

² V. UHLIG, Bemerkung im Neuen Jahrb. f. Min. 1907, I, S. 278.

³ A. VON KOENEN, Über scheinbare und wirkliche Transgressionen. Nachr. der Ges. d. Wiss., Göttingen 1906, S. 482.

⁴ B. ANDRÉE, Über stetige und unterbrochene Meeressedimentation usw. Neues Jahrb. f. Min. u. Geol. B. B. XXV, 1908, S. 407.

dem die neueren Tiefseeuntersuchungen ergeben haben, daß in Tiefen unterhalb 200 m bis hinab zu 900 m und vielleicht noch tiefer lokal Verhältnisse gegeben sein können, unter denen nicht allein eine Sedimentation verhindert, sondern auch, vorwiegend in den geringeren Tiefen, bereits abgelagerte, noch nicht verhärtete Sedimente wieder fortgeschafft werden können.

Wenn bei diesen Dingen unsere Anschauung immer mehr auf Vorgänge am Boden der Meere hingezogen wird, so scheint es nun, daß wir es auch bei tektonischen Vorgängen, welche sich in dem Aufbau unserer Hochgebirgszüge offenbart haben, ebenfalls in weitgehendem Maße mit submarinen Vorgängen und zwar nicht selten mit solchen in großen Meerestiefen, zu tun haben. Zum weiteren Verständnis des Schrumpfungsvorganges unseres Alpenzuges scheint mir z. B. die Annahme einer nicht unbedeutenden submarinen Gebirgsbildung unerläßlich.

Leider fehlt es uns heute noch zu sehr an Anschauung darüber, in welcher Weise sich Verschiebungen fester Gesteinsplatten in losen Sedimenten unter Meerwasserbedeckung oder wie sich die Sedimente selbst, solange sie in nicht erhärtetem Zustande sind, bei der Faltung verhalten. Eine größere Serie von Versuchen, welche ich zur Feststellung einer Anzahl von Anschauungszahlen in Angriff genommen habe, scheint mir zur Zeit und vielleicht für lange Zeit der einzige Weg zu sein, um die notwendige Anschauung für Vorgänge zu schaffen, deren direkte Beobachtung am Meeresgrunde selbst unmöglich ist.

Ich habe die Hoffnung, daß eine Erweiterung unserer Erfahrung über die Einwirkung von gebirgsbildenden Bewegungen auf nicht oder nur zum Teil erhärtete Sedimentschichten und die Art der Bewegung fester Gesteinsschollen in solchen Sedimenten, manche jener noch recht rätselhaft erscheinenden Feststellungen in dem Aufbau der großen Schrumpfungszüge — wie es auch die Alpen sind — unserem Verständnis erheblich näher bringen werden. Ich denke hierbei speziell an den Aufschub der alpinen Gesteinsdecken auf tertiäre Sedimentlagen, auf ihr Eindringen in die letzteren und auf die vielen Eigentümlichkeiten, welche wir in diesen tertiären Sedimenten in offenbar nahem, kausalem Zusammenhang mit den beginnenden Bewegungen der festen Gesteinsdecken selbst beobachten und deren Entstehung in die Zeit des Absatzes der tertiären Sedimente fällt.

Im Laufe der im nachfolgenden beschriebenen ersten Versuchsreihe haben sich aber auch schon die interessantesten Anwendungen der gewonnenen Erfahrungen auf die Erklärung anderer geologischer Erscheinungen ergeben, so daß wir hoffen können, nach mehr als einer Seite eine Förderung unserer geologischen Vorstellungen zu erlangen.

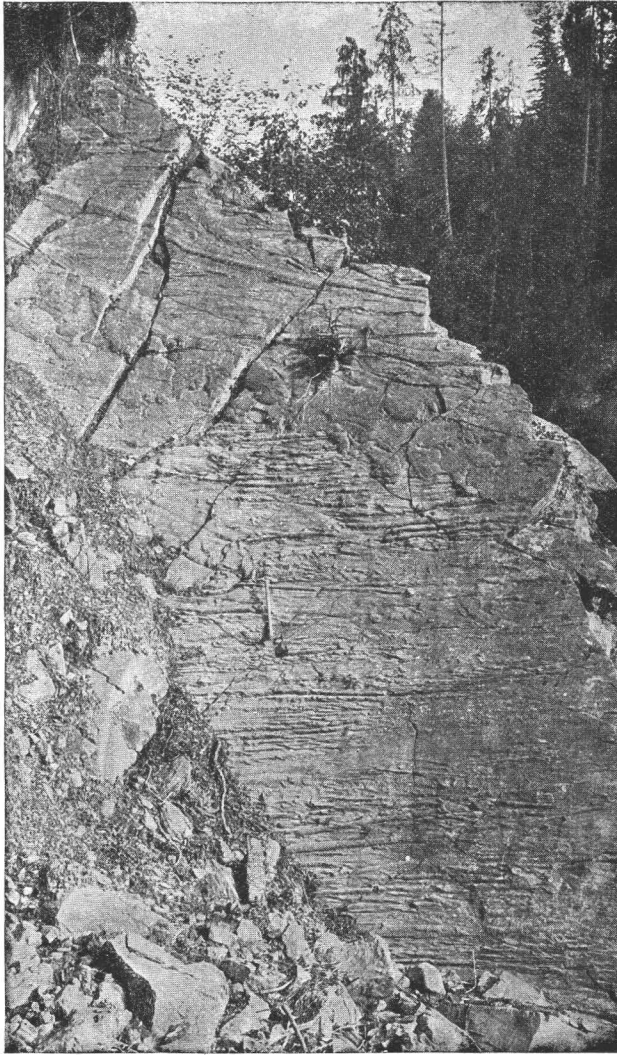
Ich gehe zunächst auf diejenigen Beobachtungen in unserem Alpengebirge ein, welche mich vor allem dazu geführt haben, an eine submarine Gebirgsbildungsphase im Beginn der Schrumpfung zu denken. Sodann werde ich die Resultate der ersten Versuchsreihe geben, welche ich unter der eifrigen Mitarbeit meiner Assistenten, der HH. Dr. W. KLIEN und cand. geol. R. JONAS, nach sehr zeitraubenden Vorarbeiten an einem besonders für diese Arbeiten konstruierten, großen Apparat erlangt habe.

1. Subaquare Faltung der Molasse.

Sobald wir unsere Beobachtung einmal speziell auf hier in Betracht kommende Erscheinungen lenken, so können wir wenigstens an bestimmten tertiären Schichten des nördlichen Alpenrandes direkt Erscheinungen wahrnehmen, welche beweisen, daß diese Sedimente jedenfalls noch zum großen Teil zur Zeit ihrer Auffaltung in unverhärtetem Zustande und wohl noch unter Wasserbedeckung gewesen sein müssen. Die eigentümlichen Wülste, welche die sandigen Molasseschichten häufig zeigen, glaube ich darauf zurückführen zu müssen, daß diese Schichten in noch weichem Zustande aufgerichtet worden sind, so daß sie dann während der Erlangung ihrer steilen Stellung in der Richtung des Einfallens der Schichtflächen zusammengerutscht sind, wodurch horizontale Wülste entstanden, in der Art, wie es die umstehende Fig. 1 zeigt. Für diese Deutung spricht in diesem Falle der fast genau horizontale Verlauf der Wülste und ihre Gestalt. Diese letztere ist nicht walzenförmig oder tutenförmig, sondern sackförmig. Der Wulst ist in seiner unteren Hälfte gebläht und dick, während die obere Hälfte nahezu eben und schräg zur normalen Schichtfläche verläuft. Diese Wülste stellen sich dort ein, wo gröberes Sediment an feinere Sedimentlagen stößt, und der Sand ist in diesem Falle in der ganzen Schicht, d. h. unter diesen Wülsten, vollständig umgelagert, so daß sich die Figuren nicht in das Innere der Sedimentbank hinein verfolgen lassen. Auf Wellenfurchen oder Fältelungen sind diese Wülste nicht zu beziehen. Mit ihnen sind die Fließfiguren, welche die obere Hälfte der abgebildeten Molassesandsteinplatte zeigt, natürlich nicht zu verwechseln; es läßt sich hier erkennen, daß diese letztere aber durch die Wulstung überarbeitet worden sind, so daß die Fließfiguren des Sandes die ältere Bildung aus der Zeit der Ablagerung, die Wülste aber eine jüngere Bildung aus der Zeit der Aufrichtung sein müssen.

Aus dieser Erscheinung ergibt sich direkt, daß die Molasseschichten von der Auffaltung begriffen worden sind, bevor sie erhärtet waren und daß die Aufrichtung der mächtigen Schichtenfolge ganz kurz

Fig. 1.



Oberfläche einer steilgestellten Molasseschicht im
Schmidlebach bei Egg im Bregenzer Wald.

nach ihrer Ablagerung erfolgt sein muß, so daß die Aufrichtung der Molasseschichten wohl noch während ihrer Wasserbedeckung als ein submariner oder subaquarer¹ Schichtenschub erfolgt ist.

¹ Während für Vorgänge auf dem Meeresgrund der Ausdruck »submarin« längst eingebürgert ist, muß in diesem Falle für Vorgänge in der Tiefe eines ausgesüßten Beckens, wie es dasjenige der Süßwassermolasse war, wohl der Ausdruck »sublakuster« am besten zur Anwendung kommen. Um einen formell richtigen Ausdruck für den allgemeineren Sinn eines Vorganges unter Wasserbedeckung (sei es unter Meeresbedeckung oder am Boden eines Sees) zu erhalten, wandte ich mich um

2. Submarine Faltung der Flyschzone.

Eine submarine Faltung dürften aber auch die Flyschschichten erfahren haben, wenn ich auch solche deutlichen Anzeichen für ihre Aufrichtung in noch weichem, unverhärtetem Zustande, wie es die Wülste der Molassesandsteine sind, für sie momentan aus eigener Beobachtung nicht beibringen kann. Vielleicht werden sich aber nun später auch an bestimmten, vor allem sandigen Flyschgesteinen ähnliche Beobachtungen machen lassen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß auf sie ein Teil jener von TH. FUCHS¹ als »auf mechanischem Wege erzeugte Skulpturen« angesehenen Schichtbildungen zurückzuführen sind. FUCHS nennt Wülste von mannigfacher Form, beulenförmige Klumpen, kuchenförmige Flatschen mit überwölbten Rändern (!), oder dicke, in die Länge gestreckte Wülste mit keulenförmig angeschwollenem Ende, auch regellos-wirr durcheinandergekräuselte Wülste, alles Erscheinungen, welche den oben mitgeteilten Molassewülsten ähnlich sein mögen. Da aber die Stellung der Achsen dieser Wülste, d. h. der zu fordernde, annähernd horizontale Verlauf derselben in der aufgerichteten Schichtfläche nicht angegeben wird, so ist eine den Molasseschichten analoge Deutung momentan nicht mit Bestimmtheit vorzunehmen.

Es sind aber andere Beobachtungen, aus welchen sich die Annahme einer submarinen Auffaltung der Flyschzone ergibt. Die Flyschschichten sind als Ablagerungen der tieferen See aufzufassen. Wir suchen vergeblich in ihnen nach Kreuzschichtung, nach Fährten kontinentaler Tiere, nach Anhäufung von Pflanzenresten, also Erscheinungen litoraler Ablagerungen. Dagegen läßt ihre enge stratigraphische Verbindung mit den Seewenmergeln trotz des ungeheueren petrographischen Wechsels an der Grenze beider Ablagerungen nur die Annahme zu, daß sich der Flysch in annähernd der gleichen Tiefe, wie der plänerartige Seewenmergel bildete, für welchen wir analog der norddeutschen Kreide jetzt allgemein beträchtliche Tiefen von etwa 800 m annehmen müssen.

Trotz seines Charakters als Sediment der tiefen See besteht der Flysch aber aus Sedimenten, welche deutlich erkennen lassen, daß sie wegen ihrer wenig abgerollten Bestandteile nur einen geringen Transport erfahren haben. Ebenfalls sprechen der schnelle Wechsel in der

Rat an Hrn. Prof. WÜNSCH hier. Derselbe hatte die Freundlichkeit, mir mitzuteilen, daß die besten und richtigsten Ausdrücke subaquat und subaquar seien. Ich spreche daher in Zukunft von subaquaren Vorgängen. Unter Sedimenten aus subaquaren Bestandteilen sind dann im folgenden solche verstanden, welche nicht nur unter Wasserbedeckung gebildet, sondern auch von subaquaren Höhen subaquar abgespült wurden.

¹ TH. FUCHS, Studien über Fukoiden und Hieroglyphen. Denkschr. der k. Akad. d. Wiss. Wien 62. 1895. S. 369.

Korngröße und der Beschaffenheit der einzelnen Flyschschichten entschieden gegen einen weiten Transport.

Ganz sonderbare Gesteine finden wir zum Teil im Flysch; ich¹ habe erst kürzlich solche absonderlichen Sedimente beschrieben, welche im frischen Bruch vollständig kristallinisch wie Granit aussehen, während die angewitterten Stellen zeigen, daß sie der Hauptsache nach aus ganz wenig gerundeten Kalkbrocken bestehen, zwischen denen isolierte Feldspat-, Quarz- und Hornblendestücke eingelagert sind; diese kristallinen Brocken sind kaum abgerollt, sondern kantig, scharf und eckig. Es ist ein Gesteinsgrus, ähnlich einem Granitgrus, wie er sich unter anderem im Rotliegenden der Mittelvogesen oder als »regenerierter Granit« nach der Bezeichnung SEDERHOLMS in den Kavelischen Schiefeln Finnlands vorfindet. Solche Gesteine sind wohl stets wenig weit transportierter Schutt.

3. Der submarine Beginn der alpinen Schrumpfung.

Die Bestandteile des Flysch lassen sich allermeist sehr bestimmt auf die durch den Beginn der Alpenbewegung bloßgelegten, verschiedenartigen älteren Sedimente und Schichtbedeckungen zurückführen. Den grauen, in seiner primären Beschaffenheit kalkigen Flysch habe ich beispielsweise direkt als umgelagerten Seewenmergel angesprochen. Der Grund der Bildung des plötzlich einsetzenden starken Sedimentwechsels auf der Grenze zwischen Flysch und Kreide kann aber nur mit ebenso plötzlich einsetzenden, außerordentlich starken Bodenbewegungen desjenigen Gebietes in Zusammenhang gebracht werden, aus welchem die Flyschsedimente stammen. Solche Bodenbewegungen können nur die ersten Erhebungen des alpinen Rückens abgegeben haben. So stehen die Bildung des Flysch und die erste Phase der Alpenhebung in allerengstem Zusammenhang. Diejenigen Gebiete, in denen der Schutt nicht sofort in dem Maße hineingetragen wurde, konnten daneben das normale Sediment, den Nummulitenkalk, erhalten. Dort, wo der Nummulitenkalk mit dem Flysch wechsellagert, erkennen wir das eozäne Alter des Flysch (des sogenannten älteren Flysch); andererseits erscheint es aber möglich, daß die Flyschbildung noch im unteren Oligozän andauerte und in dieser Zeit eine allgemeinere wurde (jüngerer Flysch).

Der Flysch ist nun keineswegs auf die den eigentlichen Kalkalpen vorgelagerte Flyschzone beschränkt, sondern er findet sich ebenfalls noch inmitten der Kalkalpen, und zwar in normaler Überlagerung

¹ A. TORNQVIST, Die Allgäu-Vorarlberger Flyschzone und ihre Beziehung zu den ostalpinen Deckenschüben. Neues Jahrb. für Min. Geol. 1908 I, S. 86.

auf den Decken. Daraus erhellt, in Verbindung mit der Feststellung, daß die Bildung des Flysch den Beginn der Alpenaufrichtung voraussetzt, daß sehr beträchtliche Teile des Alpenzuges, und zwar vor allem auch solche, in denen die Serie der mesozoischen Kalke und Mergel entwickelt waren, aufgerichtet wurden, als soeben noch Flyschsedimente auf ihnen abgelagert worden waren. Die erste Aufrichtung kann demnach nur vom Meeresboden des Flyschmeeres aus, also submarin, erfolgt sein. Es ergibt sich hieraus die Vorstellung, daß die Flyschschichten der Kalkalpen nur älterer Flysch sind, welcher zur Eozänzeit aus zentraler gelegenen Gebieten dorthin gelangte, daß dann aber durch das submarine Emporsteigen dieser Region in ihr aus einer Sedimentationszeit eine submarine Erosionszeit hervorging, so daß sich in dem weiter randlich gelegenen Gebiet die Ablagerung des jüngeren Flysch aus den Gesteinen der Kalkalpendecken und ihrer Bedeckungen bildeten, so wie ich es für die Bildung der Ablagerungen des Allgäuer Flyschzuges in der oben zitierten Arbeit ausgeführt habe.

Erkennen wir demnach in den Alpen deutlich, daß das Emporsteigen des alpinen Zuges synchron ist mit der Ablagerung der mächtigen Flyschserie, so gelangen wir zu der Überzeugung, daß keine Vorstellung für das Zustandekommen der heutigen Schichtlagerungen in den Nordalpen wesentlicher ist als die, daß zwei ganz wesentlich verschiedene Schollen durch die gebirgsbildende Bewegung miteinander in die mannigfachste Berührung gekommen sind: die im ganzen felsige, feste mesozoische Sedimentdecke und die noch nahezu unerhärteten Flyschsedimente. Diese Berührung beider geschah dabei zunächst submarin.

Bei der Bewegung von derartig verschiedenen Schollen gegeneinander¹ muß es natürlich zu recht verwickelten Durchdringungen und Überschiebungen gekommen sein. Isolierte Blöcke und Schollen der festen Decke in dem damals weichen Flyschsediment, welche eine deutliche Umlagerung von Flyschschichten oder aber eine vollständige tektonische Selbständigkeit bewahrt haben, sind das auffallendste Resultat, welches sich unserer Beobachtung heute zeigt.

Es ist ohne Zweifel, daß die Erkenntnis von der prinzipiell verschiedenen Beschaffenheit der mesozoischen Gesteine und des Eozäns und Oligozäns und die weitere Erkenntnis, daß der erste Kontakt beider durch eine submarine Bewegung zustande kam, uns den Schlüssel zur

¹ Und zwar entweder in der von SCHARDT, LUGEON, STEINMANN, ROTHPLETZ u. a. verfochtenen Weise der weither erfolgten Deckenschübe oder in der neuerdings von ROLLIER geäußerten, vielleicht wahrscheinlicheren Weise, daß die Decken aus der Unterlage der Zonen, in denen sie auftreten, stammen.

Lösung manchen schwierigen Problems in der alpinen Tektonik geben werden.

Wir können den Flysch noch nicht ganz verlassen, sondern müssen noch darauf eingehen, daß seine Bestandteile nach Erkenntnis des Obigen nun im allgemeinen nicht als eine Ablagerung von kontinentalen Trümmerprodukten aufgefaßt werden dürfen, sondern daß

4. der Flysch zum großen Teil eine Ablagerung submariner Trümmernmassen

sein dürfte. Erfolgte die erste starke Aufrichtung und der gleichzeitige Beginn des Aufsteigens der Kalkalpenzüge im Eozän, und zwar submarin, so mußte auch die Umlagerung der in ihnen befindlichen jüngsten Ablagerungen und der durch die Bewegung geschaffenen Trümmer, ja auch die Abrutschungen von Gesteinsmassen submarin erfolgen, und alles dieses hat dann die Sedimente des Flysch zusammengesetzt. So erkläre ich mir den kalkigen Chondritenflysch als auf steilgestellten submarinen Flanken durch Wasserbewegung abgespülten und neu abgelagerten Seewenmergel, so sehe ich die Granitblöcke, die kristallinen Konglomerate des Flysch als die neugeschwemmten, auf den Decken ursprünglich befundenen jüngsten Bedeckungen an.

Nun wird der Widerspruch klar, welcher sich beim Flysch aus seiner Bildung als ein Sediment von größerer Meerestiefe einerseits und der äußerst geringen Abrollung seiner Bestandteile andererseits ergibt.

Bei einer submarinen Zertrümmerung der Gesteine und ihrer Wiederablagerung wird eine sehr nennenswerte Abrollung kaum eintreten können; die Bewegung der Trümmerprodukte ist unter Berücksichtigung des Auftriebes der bewegten Massen eine sehr gemäßigte. Ganze Schichten können auch aus Geröllen von weichen Tonschiefern (vgl. meine Arbeit S. 87) und Mergelbrocken aufgebaut werden, deren Transport über dem Meeresspiegel in dem Maße schwer denkbar ist. Kein Wunder, daß wir im Flysch eine Anzahl von Gesteinen sehen, deren Natur uns auf den ersten Blick als sehr rätselhaft erscheint.

5. Flysch und die unterkarbone Grauwacke.

Es liegt nun nahe, zu fragen: kennen wir denn aus anderen Formationen nicht ähnliche Sedimente, welche aus submarinen Trümmern bestehen? Ich möchte da nur auf die unterkarbonen Grauwacken hinweisen, deren Merkmal in gleicher Weise die sehr geringe Rundung ihrer Bestandteile und der starke Gesteinswechsel sind. Diese Grauwacken sehen, wie ich aus meinen früheren Untersuchungen im Unter-

karbon des Elsaß in Erinnerung habe, in ihrer ganzen eigenartigen Gesteinsfolge dem tertiären Flysch nicht wenig ähnlich, auch dort offenbar, wo sie, wie am Niederrhein, keine Eruptivdecken in sich aufgenommen haben. Die Besprechung der ziemlich reichen Literatur über die Deutung der karbonischen Grauwacken als Tiefseesediment würde uns hier zu weit führen; es unterliegt kaum einem Zweifel, daß die unterkarbonischen Grauwacken gewissermaßen der Flysch der intrakarbonischen Gebirgserhebungen sind und daß für sie alles das gilt, was ich im vorstehenden für den alpinen Flysch ausgeführt habe. Die Grauwacke ist zu gutem Teil wie der Flysch ein Tiefseeegrus von Trümmern submariner Gebirgserhebungen.

Aus dem Atlantischen Ozean hat E. PHILIPPI¹ neuerdings Tiefseesande beschrieben, deren Ursprung ein ähnlicher wäre wie der des Flysch und der karbonischen Grauwacken. Auf diese ausführlichen, äußerst wichtigen Mitteilungen kann ich hier nur kurz hinweisen. PHILIPPIS Tiefseesande sollen Trümmerprodukte der sogenannten atlantischen Schwelle sein, welche PHILIPPI als ein Hochgebirge in statu nascendi auffaßt, in welchem »die submarinen Erhebungen ihre heutige Höhenlage erst in jüngster Zeit erhalten haben«. In dem Gebiete der atlantischen Schwelle mögen sich zur Zeit ähnliche Vorgänge abspielen wie zur Eozänzeit innerhalb des alpinen Zuges. Häufige Seebeben sind die augenfälligste Äußerung in dem submarinen atlantischen Schrumpfungszuge.

PHILIPPI hebt schon hervor, in eine wie innige Berührung diese Deutung der atlantischen Schwelle mit der in extensu zuerst von É. HAUG vorgetragenen und längst allgemein anerkannten Theorie der Geosynclinalen gelangt.

6. Die Geosynclinalen HAUGS.

Dieser Theorie HAUGS liegt die Beobachtung zugrunde, daß sich die langen Züge der Hochgebirge stets gerade dort erhoben haben, wo eine lange Zeit mariner Sedimentation vorausgegangen ist. Zwischen sogenannten »aires continentales«, Gebieten ohne diese vorausgegangene marine Sedimentation, ist die Faltung in den Geosynclinalen eingetreten. Trotzdem sich hieraus gewissermaßen schon ein submarines Herausheben der großen Schrumpfungsgebirge ergibt, hat HAUG an ein solches in seiner den Geosynclinalen gewidmeten grundlegenden Arbeit²

¹ E. PHILIPPI, Über das Problem der Schichtung und über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. Zeitschrift d. D. Geol. Ges. LX, 1908, S. 346.

² ÉMILE HAUG, Les géosynclinaux et les aires continentales etc. Bull. soc. géol. de France XXVIII, 1900, S. 617.

doch nicht gedacht. Erst neuerdings¹ hat er auch dieser Vorstellung Raum gegeben, indem er schreibt: » Une grande dépression transversale aux plis sépare aujourd'hui le Nouveau-Monde de l'Ancien et constitue pour toutes les zones de plissement qui la traversent une aire d'ennoyage. Cette dépression est devenue un géosynclinal et déjà son axe de symétrie est marqué par une ride médiane, vrai géanticlinal, que l'on retrouve dans l'histoire de plusieurs chaînes de montagnes. « Dagegen haben die Amerikaner seit JAMES HALL wiederholt die Ansicht ausgesprochen, daß das Aufsteigen des Gebirges aus der Tiefe der Ozeane nach den Rändern der Kontinente zu gewissermaßen in fortschreitender paralleler Faltung erfolge, wobei speziell natürlich die jungen Falten der pazifischen Küste Nordamerikas ins Auge gefaßt wurden. Nach ihnen findet die Sedi- mentierung vornehmlich an der Grenze zwischen Ozean und Kontinent statt, was zur Ausbildung von Geosynclinalen führt; aus diesen selbst heraus fand dann aber wieder das Aufsteigen der Hochgebirge statt, und zwar bis auf den kontinentalen Rand hinauf. So groß auch schließlich der Unterschied doch noch ist zwischen der Annahme der in der Nähe der Kontinentalränder beginnenden Bildung der Hochgebirge von JAMES HALL und derjenigen von E. HAUG, welcher den Beginn des Aufstieges in der Mitte der Ozeane bzw. der Geosynclinalen annimmt, so wichtig ist in diesem Fall doch die Ansicht der Amerikaner, welche zum erstenmal das submarine Entstehen der Hochgebirgszüge betont haben.

7. Versuche über subaquare Bewegung fester Gesteins- schollen in unverhärtetem Sediment.

Durch die Erkenntnis, daß die ersten Phasen der Alpenhebung submarin erfolgt sein müssen, dürfte der Schlüssel zum Verständnis so mancher überaus schwieriger Probleme der Alpentektonik gefunden werden. Leider können wir uns aber heute ein nur wenig klares Bild von derartigen Vorgängen machen. Um aber wenigstens eine Vorstellung von gewissen Vorgängen zu erlangen, bin ich dazu übergegangen, eine größere Serie von Versuchen vorzunehmen, um festzustellen, in welcher Weise sich unter Wasserbedeckung (subaquar) bzw. unter Meerwasserbedeckung (submarin) die Einwirkung fester Gesteins- schollen auf lose Sedimente äußert.

Es kommt bei der Alpenfaltung vor allem in Betracht, daß Decken aus vorwiegend felsigen Kalken, in denen einzelne mächtige tonige Sedimentstufen eingelagert sind, und einzelne Gesteinsblöcke auf, über und in noch unverhärtete Sedimente (Flysch) hin- und hinein-

¹ ÉMILE HAUG, *Traité de géologie I*, Paris 1907.

geschoben werden; ferner, daß eben erst abgelagerte Sedimente durch Aufrichtung wiederum abgeschwemmt werden. Die Wechselwirkung zwischen den mesozoischen Kalksteinen und den unverhärteten Sedimenten des Flysch kann nur derart sein, daß Decken der ersteren über letztere hinweg geschoben werden, daß ebensolche Decken in letztere schief hineingeschoben oder aber, daß Schichtstücke oder große Blöcke in die Sedimente hineingespült werden und in ihnen vertikal untersinken.

Hiernach habe ich vorläufig folgende Versuche begonnen:

Alle fürs erste zur Feststellung der Art und Weise subaquarer Gebirgsbewegungen und ihrer Begleiterscheinungen in Betracht kommenden Beobachtungen sind folgende:

A. Eindringen von festen Körpern (Gesteinsplatten) in Sediment.

1. Einsinken loser Blöcke und Schichtplatten in Sediment (ohne oder unter Erschütterungen).
2. Schiefes Hineinstoßen von Schichtteilen in Sediment (ohne oder unter Erschütterungen).
3. Horizontaler Schub von Gesteinsplatten über Sedimente (ohne oder unter Erschütterungen).

B. Auffaltung unverfestigter Sedimente.

Ich habe nun zuerst mit meinen Assistenten nur Versuche gemacht über das vertikale Eindringen von festen Körpern in Sand unter Wasserbedeckung. Weitere Versuche, die alle zu dem Punkt A. 1. gehören würden, müßten sich auf die gleichen Beobachtungen beim Eindringen in Ton und in Kalkschlamm beziehen. Da die in den Sand gebrachten Körper ungeheuer winzig im Verhältnis zu den wirklichen Verhältnissen sind, so wurde auch ein feiner Meeressand genommen, dessen Korngröße = $\frac{1}{8}$ mm ist und dessen Körner recht scharf, eckig und fast nicht gerundet waren.

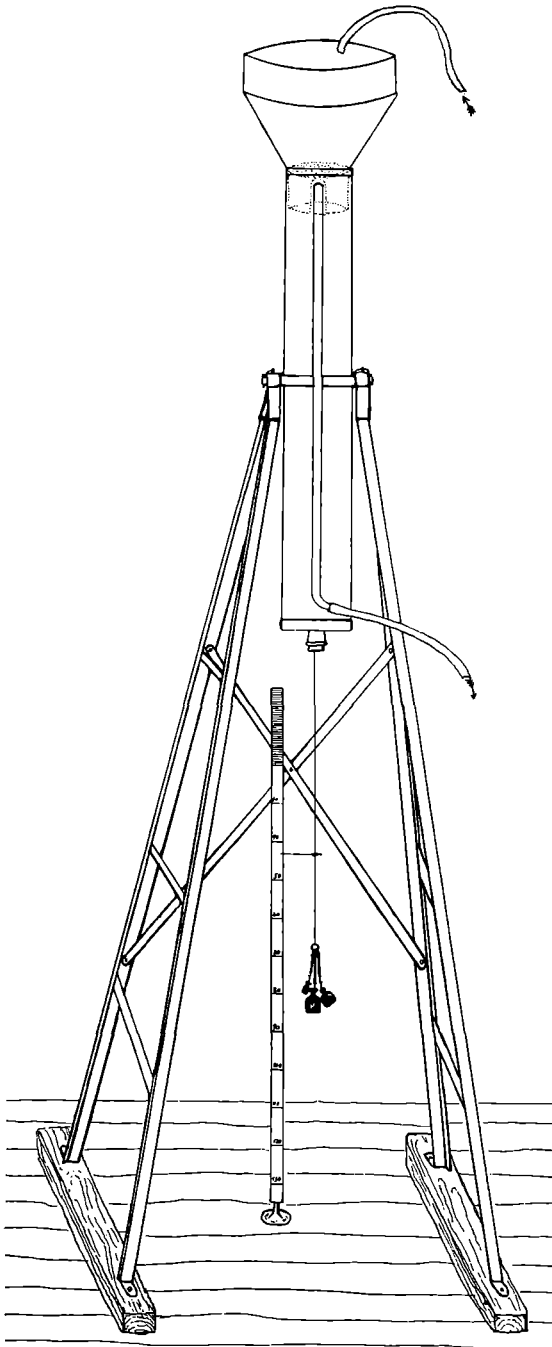
Um die endgültigen Versuche durchzuführen, wurde nach längeren Vorversuchen nach meinen Angaben und genauen Zeichnungen des Hrn. cand. R. JONAS der umstehende Apparat angefertigt, welcher in einer sehr bequemen Anordnung alle für die Versuche notwendigen Bedingungen in sich vereinigt. Auf einem eisernen Gestell ruht, ein wenig über dem Schwerpunkt in drehbarer Achse aufgehängt, ein 18 cm im Durchmesser messender Blechzylinder, welcher das Sediment aufnimmt. Die Drehung des Zylinders ist angebracht, um das Sediment durch Umkippen des Gefäßes leicht wieder herausschütten zu können. An der Unterseite des Zylinders befindet sich ein Gummipfropfen; der in das Sediment eindringende Körper wird nicht von

oben belastet, sondern, was bequemer ist, Stahldraht gezogen. Dieser Draht läuft

von unten an einem dünnen Pfropfen hindurch, ohne daß auch nur die geringste Wassermenge austritt, und trägt unten dünne Ketten, in deren Glieder Gewichte gehängt werden können. Über den Gewichten ist am Draht ein Zeiger angebracht, welcher an einer festen Skala entlangläuft und die Ablesung der Tiefe des Einsinkens des festen Körpers in das Sediment ermöglicht.

Die Beschickung des Zylinders mit Sediment erfolgt in der Weise, daß der Tubus zunächst mit Wasser gefüllt wird, bis dasselbe durch den knapp unter der oberen Kante angebrachten Ablauf wieder abläuft. Sodann wird ein großer Trichter, an dessen Boden sich ein Sieb befindet, auf den Zylinder gestülpt — nachdem schon vorher der Sinkkörper mit seinem Draht an Ort und Stelle gebracht worden und an einer Schnur im Innern des Tubus in der Schwebe gehalten ist. Darauf wird das Sediment oben in den Trichter geschüttet und unter anhaltendem Wasserzufluß durch das Sieb gerührt. Die Sedimentteilchen (im vorliegenden Fall die einzelnen Sandkörner) müssen dann durch die hohe Wassersäule hindurchfallen, bis sie am

Fig. 2.



Apparat zur Feststellung des Eindringens fester Gesteine in unerhärtete Sedimente.
Höhe des Apparates = 3,35 m.

Boden zum Absatz kommen. Es wird auf diese Art verhindert, daß mit dem Sedimentabsatz Luft eingeschlossen wird. Nachdem der Zylinder voll sedimentiert worden ist, wird der Trichter entfernt und nunmehr der Sinkkörper mit seinem Draht durch Zug von oben und unten in die Achse des Gefäßes eingerichtet. Sobald der Körper dann unter Beibehaltung des unteren Zuges der Sandoberfläche aufliegt, kann der Versuch des Durchdringens des festen Körpers durch den Sand beginnen. Die Dimensionen des Zylinders sind dabei so gewählt worden, daß eine Behinderung des Einsinkens durch die Wände bei den gewählten Größen der Körper nicht eintritt.

Zu den Versuchen wurden folgende Körper gewählt:

- Körper 1 = Kegel von 200 qmm Grundfläche, dessen Höhe dem vierfachen Radius entspricht.
- Körper 2 = Kegel von 150 qmm Grundfläche, h ebenfalls = 4 r.
- Körper 3 = Kegel von 63 qmm Grundfläche, h = 4 r.
- Körper 4 = Kegel von 25 qmm Grundfläche, h = 4 r.
- Körper 5 = Scheibe von 15 qmm Fläche.
- Körper 6 = Scheibe von 25 qmm Fläche.
- Körper 7 = Scheibe von 30 qmm Fläche.
- Körper 8 = Scheibe von 200 qmm Fläche.
- Körper 9 = Stange, unten als Halbkugel endigend, von 15 qmm Querschnitt.
- Körper 10 = ebensolche Stange von 25 qmm Querschnitt.
- Körper 11 = ebensolche Stange von 30 qmm Querschnitt.

Diese Körper bestanden aus Messing. Von den Stangen waren die untersten Teile mit den Halbkugelenden abschraubbar. Mit diesen sind auch für sich Sinkversuche gemacht worden. Die Stangen waren bei den Versuchen so lang, daß sie oben beim Einsinken nicht unter dem Sande verschwanden.

Es hat sich nun im Laufe der Versuche gezeigt, daß der Sand durch das reine Sedimentieren nur eine sehr lockere Packung bekommt, welche nur etwa dem Zustand des sogenannten Triebandes unserer kurischen Dünen und vielleicht den oberflächlichen Lagen unserer Tiefseesedimente entspricht. Daß auch letztere, ganz im Gegensatz zu unseren Strandsedimenten, sehr locker gelagert sein müssen, ergibt sich aus der Tatsache, daß von der »Valdivia« ein nur mit 35 kg

beschwerter Hohlzylinder doch bis 80 cm in den Meeresboden hat eindringen können und daß bei den Tiefseesanden noch immerhin Kernlängen von etwa 35 cm nach E. PHILIPPI¹ gewonnen werden konnten. Daß in größerer Entfernung von der Oberfläche der marinen Sedimente eine solche lockere Packung nicht vorhanden sein kann, liegt aber auf der Hand, und wurde daher der locker sedimentierte Sand künstlich durch Schläge gegen den Zylinder leicht in einen fest sedimentierten Sand übergeführt. Dabei zeigte es sich, daß der Sand bei der Austeilung von 250 Schlägen gegen den Tubus mittels eines starken Gummischlauches schon annähernd die maximale Dichte erreichte, so daß die Austeilung von 1000 und mehr Erschütterungen keinen anderen Zustand mehr hervorbrachte.

Der fest sedimentierte Sand besitzt schon eine sehr geringe Feuchtigkeit. Es wurden schon wenige Zentimeter unter der Oberfläche und bis zum Boden nur etwa 12 Prozent Wasser und 88 Prozent Sand festgestellt. Nach der Durchführung eines Versuches mit außerordentlich großer Belastung wurde ebenfalls dasselbe Verhältnis festgestellt.

Die Versuche mit locker und fest sedimentiertem Sand ergaben nun ganz außerordentlich verschiedene Resultate. Dabei sind beide für geologische Phänomene von größter Bedeutung². Bei dem Einsinken von isolierten Blöcken, wie der exotischen Blöcke im Flysch, kämen die in losem Sediment gewonnenen Resultate zur Anwendung; bei tiefem Eindringen großer Klippen dagegen diejenigen, welche sich aus dem Eindringen der Stangen in das feste Sediment ergeben haben.

Als Hauptresultat der Versuche kann nun folgendes gelten:

Das Eindringen der Körper in lockere und feste Sedimente geht so vor sich, daß für das Durchsinken bestimmter Tiefenstufen bestimmte Gewichte nötig sind, welche sich bis zu einer bestimmten Tiefe ständig steigern. Und zwar wird zunächst auch der Betrag der absoluten Gewichtszunahme in immer größerer Tiefe größer, bis er dann wieder abnimmt. — Dann findet bei einem bestimmten Gewicht und bei einer bestimmten Tiefe für jeden der beobachteten Körper aber schließlich ein selbständiges Durchsinken durch die ganze übrige Sedimentsäule, ohne daß das Gewicht vermehrt zu werden braucht, statt. Es fällt dann der eingedrungene Körper in dem Sediment anfangs mit einer Beschleunigung, ähnlich wie er in der Luft oder dem Wasser fallen würde. Dieses Durchfallen trat bei den obengenannten Körpern bei folgenden Gewichten ein:

¹ Siehe die oben zitierte Arbeit von E. PHILIPPI S. 365.

² Diejenigen des lockeren Sandes wird Hr. cand. R. JONAS besonders auf die Erklärung des Triebandes auf der Kurischen Nehrung weiter verfolgen.

In lockerem Sandsediment.

	Körper 1	Körper 8	Stange 9	Stange 10	Stange 11
Gewicht des Durchzuges	25 kg	3 kg	400 gr	1000 gr	4000 gr
	reduziert um den Betrag der Reibung		reduziert um den Betrag der Reibung des Zugdrahtes und des Gewichtes der Stange	reduziert	reduziert
	24 kg 700 gr	2 kg 700 gr	-20 gr	500 gr	3480 gr

Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß ein Durchsinken fester Körper, auch solcher vom spezifischen Gewicht von rund 2, in losem Sandsediment durch die eigene Schwere möglich ist und in bestimmten Fällen erfolgen muß. Ganz außerordentlich wird dieses Durchsinken durch das ganze Sediment noch durch Erschütterungen (in der Natur durch Seebeben) befördert.

Das Durchsinken trat in allen diesen Fällen bis nahe zum Boden des Zylinders ein; dasselbe geschah mit anfangs zunehmender Beschleunigung, welche aber bei den Stangen bedeutend geringer war als bei den kleinen Körpern.

Das Gewicht mußte beim Durchsinken in festem Sediment natürlich ein außerordentlich viel größeres sein, und zwar ein so großes, daß ein Durchsinken durch die eigene Schwere ganz ausgeschlossen war. Das zeigt die folgende Tabelle.

In festem Sandsediment.

	Körper 4	Körper 5	Körper 6	Körper 7	Stange 9	Stange 10	Halbkugel 9	Halbkugel 10	Halbkugel 11
Gewicht des Durchzuges	27 kg	9 kg	19 kg	25 kg	40 kg	60 kg	21 kg	29 kg	32 kg

Eine Reduktion der Reibung des Drahtes und des Gewichtes der Stangen ist bei diesen Zahlen nicht nötig, weil es sich nur um abgerundete Annäherungszahlen handelt, welche als Mittel einer ganzen Anzahl zu ähnlichen Resultaten geführter Versuche zu gelten haben.

Unter Berücksichtigung dieser Gewichte, des spezifischen Gewichtes für Gesteine von 2.5 und der Grundfläche der Körper kann man aus diesen Zahlen die Höhe der Gesteinssäulen ableiten, bei welchen das Durchsinken eintreten müßte; die sich hieraus ergebenden Zahlen für die Höhe der bewegten Gesteinsmassen sind so groß, daß das Durchsinken unter ihrem Druck allein kaum je eingetreten sein kann, son-

dern immer ein Gebirgsdruck hinzugekommen sein muß. So würde sich aus der Beobachtung bei der Stange 9 beispielsweise ergeben, daß eine Gesteinssäule von 2.5 spezifischen Gewichtes von 15 qmm Grundfläche über 1000 m Höhe haben müßte, falls sie in festem Sand-sediment durchsinken würde. Bei der Stange 10 würde sich die Höhe der Gesteinssäule ebenfalls auf 1000 m berechnen.

Diese Zahlen müssen in allen den Fällen berücksichtigt werden, wenn ein rein vertikaler Einschub fester Gesteinsmassen angenommen werden sollte, und sie werden im großen und ganzen die Unwahrscheinlichkeit eines solchen beweisen.

Von Interesse ist es nun ebenfalls, daß gefunden werden konnte, daß das Durchsinken der Körper in verhältnismäßig geringer Tiefe eintritt, schon bei 24—35 cm und daß die Tiefe ganz wesentlich von der Größe des eindringenden Körpers, also der Masse des verdrängten Sandes, abhängt, jedoch im Verhältnis zu den Dimensionen desselben ist sie immerhin nur eine geringe.

Schliesslich kann im folgenden noch eine Tabelle gegeben werden, aus welcher ersichtlich wird, welche Gewichte notwendig waren, um die angegebenen Körper durch die einzelnen Tiefenstufen hindurchzuziehen.

Tiefen- stufe	K ö r p e r							S t a n g e			H a l b k u g e l		
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	9	10	11
cm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
0—5	26.5	20	17	1	$\frac{1}{3}$	1	1	2	2 $\frac{1}{4}$	3	4	2	3
5—10	33.5	68	49	1 $\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	1 $\frac{1}{2}$	3	9 $\frac{1}{2}$	12	12	3	4	7
10—15	—	—	—	5 $\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	3	4	12	25	24	7	8	11
15—20	—	—	—	9	$\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	7	21	14	6	14	5
20—25	—	—	—	6	1 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	7	Durch- zug	Durch- zug	9	Durch- zug	6	4
25—30	—	—	—	Durch- zug	2	2	4	—	—	—	—	Durch- zug	Durch- zug
30—35	—	—	—	—	Durch- zug	Durch- zug	Durch- zug	—	—	—	—	—	—

Aus dieser Tabelle ergeben sich manche nicht unwesentliche Schlüsse, welche aber erst in speziellen Fällen von Bedeutung sein können.

8. Einige Anwendungen der Versuche zur Erklärung von in den Alpen beobachteten Erscheinungen.

Die erste hiermit abgeschlossene Serie von Versuchen an dem Apparat läßt nun schon einige Anwendung auf natürliche Verhältnisse zu, wenn auch die Anwendung in größerer Vollständigkeit erst nach der Weiterführung der Versuche auf andere Sedimente als Sand an-gängig sein wird.

Kopf- bis faustgroße Blöcke fester Gesteine, meist kristalliner Natur, liegen im Flysch vielfach ziemlich unregelmäßig eingelagert. ROTHPLETZ und ich haben solche an dem Nordgehänge des Kühberges bei Oberstdorf im Allgäu beschrieben, und ich glaubte bisher, wegen der hier deutlichen Umlagerung der Flyschblöcke durch das Flyschsediment, daß diese Blöcke während der Ablagerung des Flysch in das Sediment hineingeraten seien. Unter der Annahme, daß das Flyschsediment aber noch unverfestigt und von lockerer Zusammensetzung war, kann jetzt ebensogut angenommen werden, daß diese Blöcke nachträglich aus höheren Sedimentpartien nachgesunken sind. Auch der Granitblock, welchen kürzlich A. HEIM¹ in den Nummulitenschichten von Seewen gefunden hat, kann ganz gut so erklärt werden, daß er dem sandigen Nummulitenhorizont ganz fremd ist, daß er ursprünglich in Schichten hineingekommen ist, welche sich weit im Hangenden dieser Nummulitenablagerung befanden und nur aus ähnlichem Material bestanden; später wäre er dann, vielleicht auch unter Mitwirkung starker Seebeben, in die tieferen Niveaus eingesunken, wo er heute von HEIM als erratischer Block angesehen wird. Diese hangenden Schichten können aber blockreiche richtige Trümmerflyschgesteine gewesen sein, in welchen das Vorkommen der Blöcke wenig erstaunlich ist. Auch bezüglich der heutigen Lage der großen kristallinen Blöcke im Flyschgebiete des Bolgen² im Allgäu, für die ich nachgewiesen habe, daß sie einem durchgehenden groben Konglomerathorizont der Flyschzone angehören, aber ihre heutige Lage durch eine Abrutschung am Gehänge erhalten haben, nehme ich jetzt an, daß sie im ursprünglichen Flyschsediment selbst nachgesunken sind. Noch manche andere rätselhafte Vorkommen von Blöcken im Flysch mögen sich so erklären lassen. Sollten ferner die großen Kalkschollen bei Hindelang³ ebenfalls eingesunkene Klötze sein?

Ganz allgemein kann gesagt werden, daß große Blöcke, welche über weiche Sedimente abgelagert werden, wohl im allgemeinen leicht in tiefere Schichten durchsinken werden, und zwar so weit, bis das Sediment zu dicht wird; es können dann dort sekundäre, scheinbar aber primäre Konglomeratschichten entstehen, welche sich von ursprünglich primären Ablagerungen werden schwer trennen lassen.

Man wird nach dieser Nutzanwendung der Versuche die isoliert im Flysch liegenden Blöcke als solche anzusehen haben, welche ursprünglich in groben Trümmerschichten mit zahlreichen ähnlichen

¹ ARN. HEIM, Über das Profil von Seewen-Schwyz und den Fund von Habkerngranit im Nummulitengrünsand. Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. Zürich 1908, S. 377.

² Meine oben zitierte Arbeit S. 85.

³ Verhandl. d. K. geol. B. A. 1908, S. 329.

Blöcken lagen und daß dann eine Anzahl solcher Blöcke, und zwar zunächst die größten und diejenigen, welche dem weichen Sediment im Liegenden am nächsten waren, durch die liegenden Sedimente eingesunken sind. So konnten diese Blöcke auf die Vermutung einer glazialen Herkunft führen. Wo sie in groben Trümmersedimenten beisammenliegen, ist ihre Herkunft dagegen als durch Wasser bewegtes Sediment niemals bezweifelt worden. Immer sind der außerordentliche Wechsel in der Korngröße und die kantige Beschaffenheit bemerkenswert genug gegenüber den allermeisten anderen Sedimenten, so daß wir bei ihnen zu der Vorstellung eines subaquaren Sedimentes (s. Definition in der Fußnote S. 90) gelangen.

Die Weiterführung der geschilderten Versuchsreihe wird dann die Möglichkeit bieten, auch die Klippen- und Deckenphänomene zu veranschaulichen.

Ausgegeben am 28. Januar.
