

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Das Experiment in der Geologie

Paulcke, Wilhelm

Karlsruhe, 1912

Eigene Versuche

[urn:nbn:de:bsz:31-289039](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289039)

Weise durch Druck oder Zug deformiert; hierauf läßt man erhärten, und präpariert mit Bildhauerwerkzeugen im Groben und in Einzelheiten ein der erzeugten tektonischen und stratigraphischen Grundlage entsprechendes Relief ein. Schließlich zersägt man das Ganze in geeigneter Weise, sodaß Oberflächenansicht und Profil dem Studium zugänglich sind. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß derartige Reliefs und ihre Herstellung von größtem didaktischen Nutzen sind, und zwar nicht nur für Studierende, sondern auch für lehrende Geologen.

Eigene Versuche.

a. Allgemeines.

Seit mehr als zehn Jahren, als die Debatte über alpine Tektonik, Überschiebungs- und Deckenbau die Gemüter besonders stark zu erregen begann, faßte ich, veranlaßt und bestärkt durch die Beobachtungen bei der Arbeit im Felde, den Plan für diese Fragen auch auf experimentellem Wege Lösung zu suchen. —

Da mir anfangs die zur Verwirklichung meiner Absicht nötigen Mittel fehlten, mußte ich mich darauf beschränken, in Gedanken und auf dem Papier tektonische Apparate zu konstruieren, die möglichst vielseitigen Anforderungen gerecht werden sollten, und Versuchsanordnungen zu ersinnen, die geeignet schienen, Licht in die Genese komplizierter Lagerungsverhältnisse zu bringen. —

Die wenigen mir damals bekannten bisher zu ähnlichen Zwecken konstruierten Apparate waren für die Beantwortung der Fragestellungen, welche sich mir besonders bei der Arbeit in Jura und Alpen aufdrängten, durchaus ungeeignet. Auch nachdem ich jetzt die Literatur über tektonische Versuche durchgearbeitet habe, zeigte es sich, daß selbst mit den bisher besten Versuchsanordnungen, z. B. denen von *Bailey Willis*, nur eine beschränkte Anzahl von tektonischen Problemen auf experimentellem Wege in Angriff genommen werden konnte. Mit diesen Versuchen wurde

eine Reihe wichtiger Fragen, bezüglich des Mechanismus einfacherer Faltungs- und Überschiebungsvorgänge geklärt, sie dienen als wertvolle Grundlage für weitere Arbeiten. —

Mit wenigen Ausnahmen — unter denen besonders *Reade* und *Willis* zu nennen sind — waren bei den meisten Experimentatoren die Versuchsergebnisse unbeabsichtigte Zufallsprodukte.

Mir lag in erster Linie daran, nach Möglichkeit tektonische Bildungen experimentell auf mechanischem Wege entstehen zu lassen, welche bestimmten tektonischen Typen, z.B. des Jura- und Alpengebirges, ähnlich sind. Zu diesem Zwecke war es nötig, von den Beobachtungen der in diesen Gebirgen und in deren Umgebung herrschenden stratigraphischen und strukturellen Verhältnissen auszugehen, damit für den Versuch möglichst Vorbedingungen geschaffen wurden, welche aller Wahrscheinlichkeit nach von ausschlaggebender Bedeutung für die Entwicklung des Gebirgsbaus entsprechender Gegenden ausschlaggebend waren. — Nur wenn die Fragestellungen einigermaßen richtig sind, können befriedigende Antworten erwartet werden. — Daß aber tektonische Probleme auf experimentellem Wege der Lösung näher gebracht, oder ganz geklärt werden können, davon bin ich fest überzeugt. — Auf mechanischem Wege entstandene Gebilde — und das sind unsere Gebirge — müssen auch im Prinzip auf mechanischem Wege, durch das Experiment, nachgeahmt werden können.

Die meisten — ja wohl fast alle — bisherigen Versuche haben allgemeine Fragen beantwortet, und es wurden nicht systematisch Spezialfälle aus der Natur als Grundlage für die Versuchsanlage genommen. —

Zur Beantwortung von einer Reihe allgemeiner, wie spezieller tektonischer Fragen konstruierte ich mir drei durchaus verschiedene Apparate, um nach den verschiedensten Gesichtspunkten angeordnete Versuchsreihen ausführen zu können. An dieser Stelle soll nur kurz von den Versuchen die Rede sein, welche mit dem

einen der Apparate ausgeführt wurden; ein Teil der Versuchsergebnisse und Abbildungen derselben wurden bereits in aller Kürze veröffentlicht; eine weitere Versuchskategorie kommt neu zur Darstellung.

Wir alle wissen, daß ein zusammengeschobenes Tuch Falten bildet: Antiklinalen, Synklinalen, liegende Falten usw., das sind selbstverständliche Dinge, und ein Apparat, durch den man nur zeigt, daß übereinandergeschichtete bunte Tücher etc. Faltungskomplexe bilden, wenn wir sie durch seitlichen Druck zusammenschieben, ist ein ganz brauchbares Demonstrationsobjekt, doch wird damit unsere Erkenntnis tektonischer Vorgänge kaum gefördert. Man hat auch verschiedenfarbige Schichten gleichartiger, plastischer Materialien (Wachs usw.) übereinander angeordnet und damit Schuppen, Falten, liegende Falten, sowie Faltenüberschiebungen erzielt. Das sind tektonische Elemente, deren Existenz unbestritten ist, und deren allmählicher Werdegang mechanisch leicht verstanden werden kann, wenn auch die Ursachen für ihre allgemeine Gestaltung, wie die für die Auslösung zu ihrer Entstehung noch durch systematische Untersuchungen geklärt werden müssen.

Anders liegt die Sache bei der Frage nach der Existenz und Entstehung von Überfaltungs- und Überschiebungsdecken, wie sie die moderne Auffassung des Gebirgsbaus der Alpen annimmt. Durchaus ungenügend geklärt sind die Fragen nach den Auslösungsursachen von Faltungen und Überschiebungen, nach den Ursachen bestimmter Faltenanordnungen, nach der Entstehung besonderer tektonischer (Faltungs- und Überschiebungs-) Typen; nach Einwirkung von Hebungen, Senkungen, eingeschalteten Widerständen u. s. f.

Eine große Anzahl von Geologen — wie besonders betont werden soll, sind es in erster Linie die, welche die Alpen genauer aus eigener Anschauung und Arbeit kennen — ist vom Deckenbau der Alpen überzeugt. Eine mindestens ebenso große,

wenn nicht größere Anzahl steht der Deckenhypothese ablehnend, ja man könnte fast sagen feindlich, gegenüber.

Als hauptsächlichstes Gegenargument gegen weitgreifende Deckenüberschiebungen, wie gegen Deckenbildung überhaupt, wird von den Gegnern meist bloß der Satz angeführt »ich kann mir das nicht vorstellen« oder »eine derartige Tektonik ist mechanisch nicht vorstellbar«.

Wenn nun tektonische Erscheinungen, die für viele nicht vorstellbar sind, experimentell darstellbar gemacht werden, dann ist vielleicht schon damit allein ein brauchbares Ergebnis gewonnen. Es muß nun von vornherein zugegeben werden, daß wir nie imstande sein werden, bei tektonischen Versuchen die Verhältnisse, welche wir nachahmen, oder erklären wollen, genau zu kopieren; wir können nur versuchen, wenigstens prinzipiell ähnliche Bedingungen zu schaffen. Dabei werden wir nie über eine höchst rohe Annäherung an die bestehenden Verhältnisse hinauskommen, und müssen selbstverständlich eine große Menge von Unvollkommenheiten mit in Kauf nehmen. Diese Einwürfe werden mir auch bezüglich der vorliegenden Versuche gemacht werden, und ich muß sie gelten lassen. Vor allem haften den Versuchen noch manche technische Mängel an, wie zu große Dicke der Schichten und zu starres Verhalten derselben im Verhältnis zur Stärke des auflastenden Druckes, welche in Zukunft nach Möglichkeit ausgemerzt werden sollen.

Wenn ich nun aber trotzdem von möglichst ähnlichen Vorbedingungen — wie ich sie für ein Gebiet nach den vorliegenden Befunden als wirksam annehmen muß — bei dem Ansetzen der Versuche ausgehe, und dann wirklich, nach vollführtem Versuch, verblüffend ähnliche Ergebnisse erhalte, wie die Natur sie zeigt, so darf ich wohl mit Recht behaupten, bei meiner Versuchsanordnung und -durchführung einigermaßen den natürlichen Verhältnissen entsprechende geschaffen zu haben. Ich

darf dann wohl mit Recht annehmen, ein mechanisches Analogon aufweisen zu können.

Noch günstiger wird der Fall, wenn ich imstande bin, **eine Reihe** prinzipiell wichtiger, in der Natur bekannter, bzw. hypothetisch angenommener, tektonischer Erscheinungen experimentell nachzumachen, zu zeigen, welche wichtigen mechanischen Vorbedingungen für Entstehung von diesem oder jenem Einzeltypus maßgebend sind, und wenn ich nachweisen kann, daß die auffallendsten Vorbedingungen für die entsprechenden tektonischen Erscheinungen analoge in der Natur, wie für das Ergebnis des Laboratoriumsversuchs gewesen sein dürften.

Wir wissen, daß die gebirgsbildenden Kräfte zur Bildung von Faltungen und Überschiebungen in erster Linie in Sedimentärgebieten ausgelöst werden, und zwar in den Geosynklinalgebieten, in denen eine relativ mächtige Folge geschichteter Gesteinskomplexe abgelagert waren. Meines Erachtens ist das Vorhandensein zahlreicher Schichtflächen die wichtigste Vorbedingung für die Auslösungsmöglichkeit tektonischer Bewegungsreaktionen auf tangentialen Druck, weil in den Schichtkomplexen zahlreiche wohlprädisponierte Gleitflächen gegeben sind, welche für jeglichen, vorwiegend horizontal gerichteten, Faltungs- und Überschiebungsvorgang die günstigsten Vorbedingungen abgeben, und welche überdies auch ihrer Natur und Lagerungsform nach leicht in der Lage sind, in vertikaler Richtung auszuweichen. Darin ruht einer der Hauptgründe, warum frühere Geosynklinalgebiete besonders von Faltungs- etc. Tektonik ergriffen worden sind. Gebiete mit früher gefalteten, nicht in der Richtung des in der Erdrinde herrschenden tangentialen Druckes gelagerten Sedimenten, wie mehr oder weniger senkrecht zur Erdoberfläche sich erstreckende kristalline Massen, werden also aus rein mechanischen Gründen keine für Auslösung von Faltungen usw. geeignete Gegenden

sein. Wir werden also von horizontal gelagerten Schichten, auf welche wir in ihrer Lagerebene gerichteten Druck (tangential) wirken lassen, bei grundlegenden Versuchen ausgehen müssen. Dabei wird es sich empfehlen, die Vorbedingungen anfangs so einfach wie möglich zu gestalten.

Ein weiterer wichtiger Grund, warum gerade die schmalen Geosynklinalgebiete in erster Linie von faltender und überschiebender Gebirgsbildung ergriffen wurden, und nicht breit ausgedehnte Sedimentärkomplexe mit gleich vollständiger Schichtgesteinsserie (vergl. »russische Tafel«), liegt meines Erachtens darin, daß durch den tangential wirkenden Kontraktionsdruck leichter schmale, als weitgespannte Gewölbeteile der Erdhülle überwunden werden.

b. Apparate und Versuchsanordnung.

Die Arbeiten von *Cadell* und *Bailey Willis* wurden mir erst zugänglich, nachdem ich mein tektonisches Laboratorium eingerichtet, den im nachfolgenden beschriebenen Apparat gebaut, und die ersten Versuche bereits ausgeführt hatte. — Umso erfreuter war ich, als ich sah, daß ich in den vor den Versuchen angestellten grundsätzlichen Überlegungen, wie in einigen der wichtigsten dadurch bedingten Versuchsanordnungen, besonders mit *Bailey Willis* übereinstimme. Ich glaube auch sowohl in der Art der Fragestellung, wie der Anordnung, und in den Ergebnissen der Versuche außerdem ein gut Stück weiter gekommen zu sein. Bei der Konstruktion des Apparates zur Herstellung von Faltungen, Überschiebungen etc. ging ich von folgenden praktischen und theoretischen Überlegungen aus:

1. Herstellung möglichst großer Abstufung der Materialbeschaffenheit von plastischen zu starren Schichten, und starker Variationsbreite der Schichtendicke. Daraus resultierend die Möglichkeit, die verschiedenartigsten faciiellen Kombination in der

Horizontalen wie Vertikalen nach Belieben anordnen zu können.

2. Es müssen diese Schichten bequem horizontal auf plastischer Unterlage eingebracht werden können.
3. Kräftiger Horizontalschub (= tangentialer Schub) muß möglich sein, ohne daß Schrägstellungen oder Hebungen der Druckfläche erfolgt.
4. Alle tektonischen Bilder, welche wir jetzt an der Oberfläche sehen — besonders in den Überfaltungs- und Überschiebungsgebieten der Alpen — sind Tiefenbilder; alle diese tektonischen Typen sind einst unter starkem Druck in großer Mächtigkeit auflastender Sedimente entstanden, und erst nach und nach durch Verwitterungserscheinungen und Erosionsvorgänge herauspräpariert, und unseren Blicken zugänglich gemacht worden.

Wir müssen also, wenn wir ähnliche tektonische Erscheinungen erhalten wollen, die Schichten unter sehr starkem Druck falten; der Apparat und die Versuchsanordnung müssen derart eingerichtet sein, daß starke Belastung von oben her möglich ist.

5. Der auflastende Druck war nicht an allen Stellen der in Faltung begriffenen Schicht gleich, es fanden lokale Entlastungen statt, sodaß leichtere Ausweichmöglichkeit nach oben vorlag, oder es war stellenweise so starker Belastungsdruck vorhanden, daß die Ausweichmöglichkeit nach oben nahezu oder ganz aufgehoben war. Deshalb mußte der Belastungsdruck im Faltungsapparat regional und lokal variiert werden können.
6. Manche tektonischen Bilder scheinen dadurch erklärbar zu sein, daß höhere Schichten beim Überschiebungsvorgang über tiefere wegglitten, und auf die unteren Komplexe

gleichsam auswalzend wirkten. Auch dieser tektonischen Möglichkeit mußte Rechnung getragen werden.

7. Für Anordnung und Entwicklung von Faltungs- und Überschiebungsgebilden etc., Gestaltung der Gebirgszüge im Einzelnen, wie im Großen sind die verschiedenartigsten Widerstände und Ausweichmöglichkeiten in Gestalt von Senkungen, Hebungen, alten Massiven etc., im Faltungsgebiet selbst, wie in dessen Hinterland und Vorland von ausschlaggebender Bedeutung gewesen. Es muß also ein tektonischer Apparat die Möglichkeit bieten, derartige Widerstände einzuschalten, Hebungen und Senkungen vor, während und nach der Sedimentation, wie vor, während und nach dem Einsetzen des Faltungsvorganges vorzunehmen.

Diesen unter 1. bis 7. genannten, für die Art der Auslösung, wie Gestaltung von tektonischen Gebilden wichtigen Forderungen, ist, wenn auch z. T. noch unvollkommen, in meinem nachstehend beschriebenen Faltungsapparat von vornherein Rechnung getragen worden. Damit wurde eine Annäherung an natürliche Verhältnisse geschaffen, welche die bisherigen tektonischen Apparate nicht aufweisen.

Der Versuchsapparat, Tafel VIII bis XI

ist schwer aus Eisen gebaut, damit er imstande ist, großen Belastungsdruck auszuhalten. — Die Basis bildet ein solides Gestell aus T-Eisen, auf welchem in einem festen Rahmen eine eiserne Platte ruht. Darauf ist ein aus 4 schweren, 60 cm hohen eisernen Seitenwänden gebildeter, rechteckiger Kasten von 199 cm lichter Länge und 98 cm lichter Breite angebracht, bei dem die zwei Seitenwände und die Vorderwand abnehmbar sind, während die Rückenwand fest ist. Diese drei Wände ruhen in Zapfen auf dem Rahmen und sind fest miteinander verschraubbar. Die Rückwand trägt die zwei miteinander ge-

kuppelten, relativ tiefliegenden, Druckspindeln, und ist außerdem durch T-Eisen verstärkt. Die Druckspindeln sind an einer festen Druckwand befestigt, welche durch diese zwei Druckspindeln vorgetrieben und zurückgezogen werden kann. — Damit die Druckwand nicht rückwärts kippen kann, wird sie in ihrem oberen Teil durch zwei — nachträglich eingebaute — Regulier-
spindeln vorgepreßt.

Vor der festen Druckwand ist eine lose, eiserne Druckwand angeordnet. Beide Druckwände haben die Gestalt eines nach rückwärts offenen Kastens. —

Die Anordnung der losen Druckwand vor der festen hat den Zweck, ein weites Vorschieben derselben durch Einsetzen verschieden langer Druckklötze aus Holz zu ermöglichen, damit die Spindeln nicht zu lang gemacht werden brauchen, weil sie bei zu großer Länge leicht Verbiegungen erleiden könnten. —

Vor der losen Druckwand an ihrer Basis wird der hölzerne Plattenklotz angeschraubt, auf welchem nach Bedarf eine eiserne Druckplatte aufgeschraubt wird. Erst vor dem Plattenklotz werden die zu dislozierenden Schichten eingebracht. —

Zur oberen Führung der Druckwände ist beiden Seitenwänden eine Führungsschiene aufgeschraubt, welche einem Heben und Kippen der Druckwände durch von vorn unter dieselben eindringendes Material entgegenwirkt. —

Die Platte auf dem Rahmen ist nun nicht ganz geschlossen, sondern in dem Rahmen ist im vorderen Teil (zirka $\frac{2}{3}$) eine große Öffnung, in welcher 12 »Kästen« in drei Längs- und vier Querreihen (vergl. Tafel VIII und IX) angebracht sind, welche gehoben und gesenkt werden können (auf den Abbildungen als »Senkungskästen« bezeichnet). Zur Führung der 12 Spindeln sind Eisenklötze mit Gewinden zwischen Querverbindungen unten am Trägergestell angebracht (Tafel VIII, X, XI). Diese Kästen können nun in beliebiger Weise einzeln, oder in Längs-, bezw. Querreihen etc. durch Schrauben aufwärts und abwärts bewegt

Tafel VII.

(Vergl. Tafel XII und XIII.)

Versuch A. Juratektonik.

Fig. 1. Gesamtansicht von Versuch A.

Stratigraphie: Regelmäßiger Wechsel, harter (Gips) und weicher Massen (Ton). Auf der rechten Seite des Bildes lag die Druckquelle; vor derselben ergaben sich geringe Stauungen. Im vorderen Drittel des Apparates waren bei Beginn des Versuchs die Senkkasten 7. 8. 9. (vergl. Tafel IX) gesenkt worden, sodaß eine Grabensenkung entstand. In diesem Gebiet löste sich weit vor der Druckwand die Faltung in der Art, wie sie auf der Fig. 1 zu sehen ist, aus. Gegen die nicht gesenkten Teile des Rahmens bündelten sich die Falten nach beiden Seiten zu je einer Falte, die in eine Faltenüberschiebung überging.

Fig. 2. Ein Querprofil durch die entstandenen Antiklinalen von Fig. 1. Der Schub erfolgte von rechts nach links.

Fig. 3. Ein weiteres Querprofil mit rückwärtiger Überschiebung der tiefsten harten Schicht im Innern der rückwärtigen Antiklinale. Der Schub erfolgte von links nach rechts.



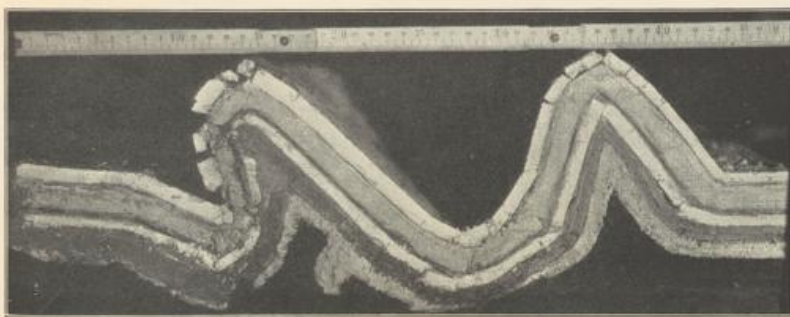
W. P. phot.

Fig. 1. Gesamtansicht von Versuch A.



W. P. phot.

Fig. 2. Profil a durch die Falten von Versuch A.



W. P. phot.

Fig. 3. Profil b durch die Falten von Versuch A.

Ansicht und Profile von Versuch A: Juratektonik.

Tafel VIII.

Der Tektonische Apparat im Längsschnitt C—D von Tafel IX. Man sieht das Gestell und den Kasten von der Seite.

Die »feste Druckwand« ist ein Stück weit vorgetrieben; zwischen ihr und der »losen Druckwand« sind kurze Druckklötze eingeschaltet.

Der Plattenklotz zeigt die aufgeschraubte kurze »Druckplatte«.

Die 4 Reihen Senkungskästen zeigen Stellung der Kastenoberflächen in der Ebene des Rahmens, wenn weder Hebung noch Senkung erfolgt ist.

Druckspindeln und Regulierspindeln sind von der Seite sichtbar.

Tafel IX.

Der Tektonische Apparat von oben gesehen. (Schnitt A—B von Tafel VIII.)

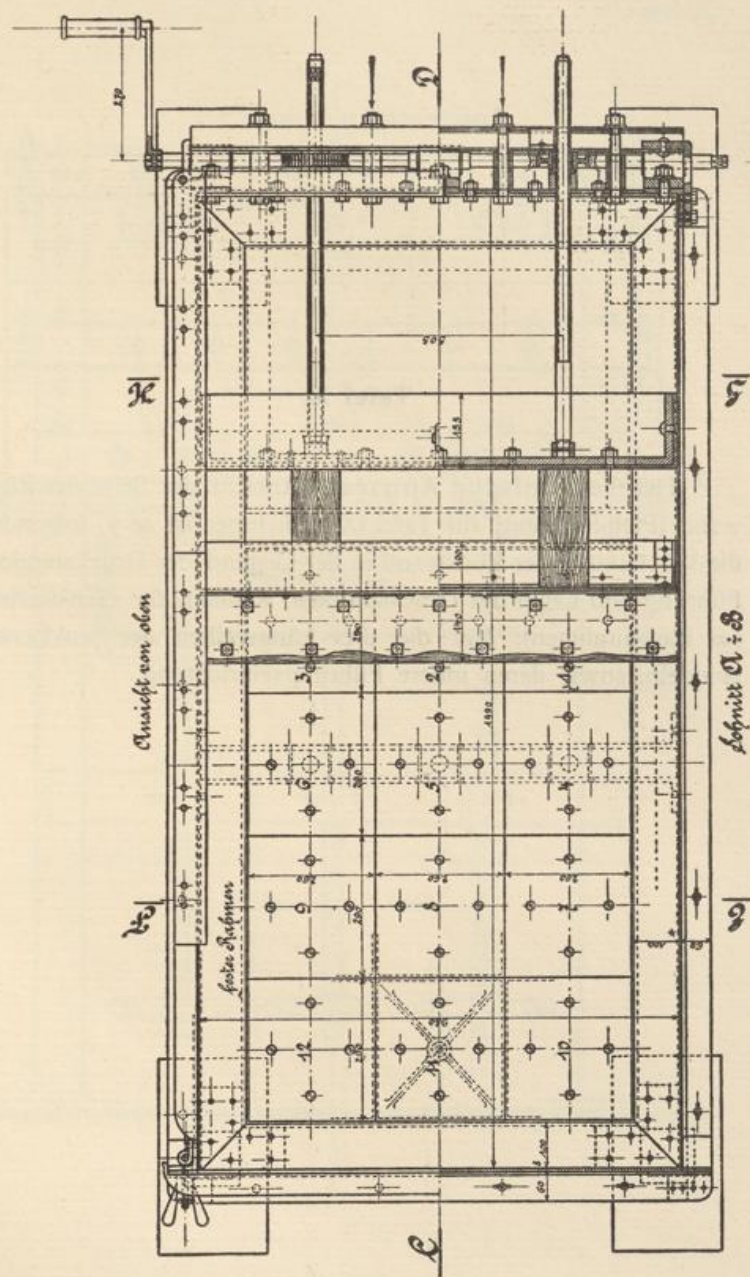
Die Druckkästen mit eingeschalteten Druckklötzen sind ein Stück weit vorgeschoben, sodaß die Querreihe der Senkkasten 1, 2, 3 fast ganz verdeckt ist. Die Anordnung der übrigen Druckkästen im festen Rahmen ist sichtbar.

Im oberen Teil der Zeichnung ist die auf der Seitenwand aufgeschraubte Führungsschiene dargestellt, welche dem Kippen der Druckwände entgegenwirkt.

Ferner ist in der oberen, linken Ecke die Art der Verbindung der Seitenwand mit der Vorderwand durch Flügelschrauben sichtbar.

Oberhalb D der Linie C—D ist eine Regulierspindel; unterhalb D eine Druckspindel.

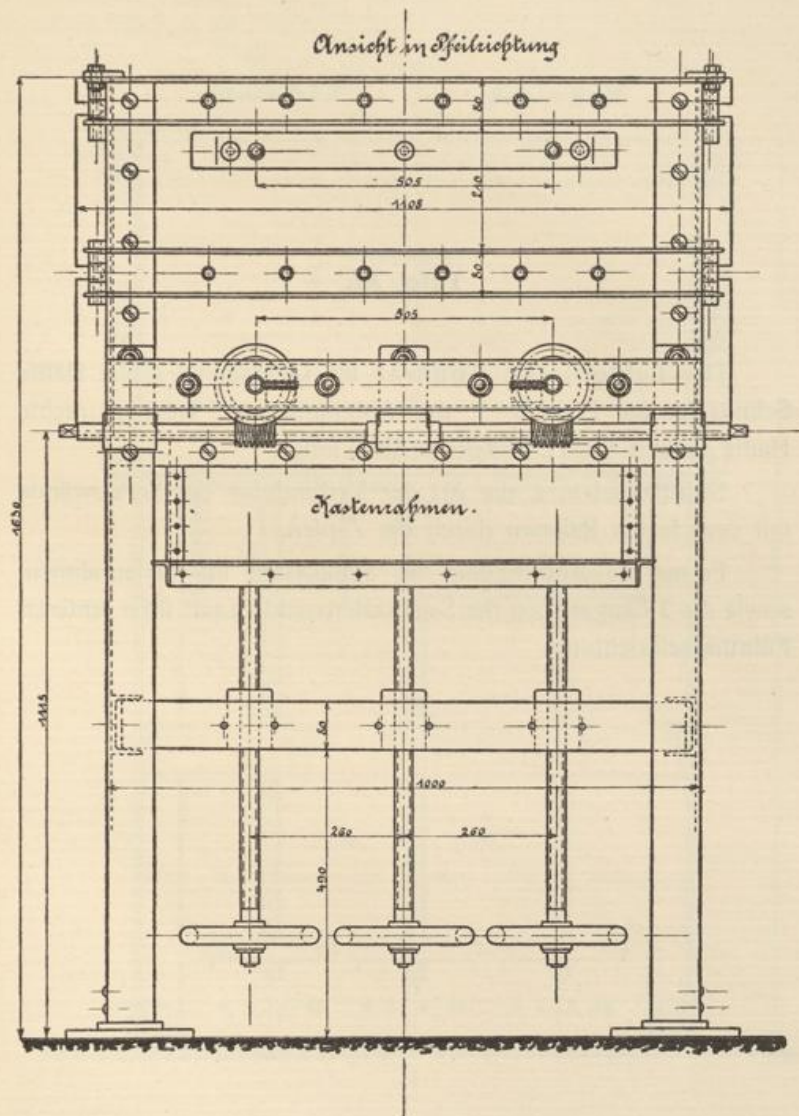
Tafel IX.

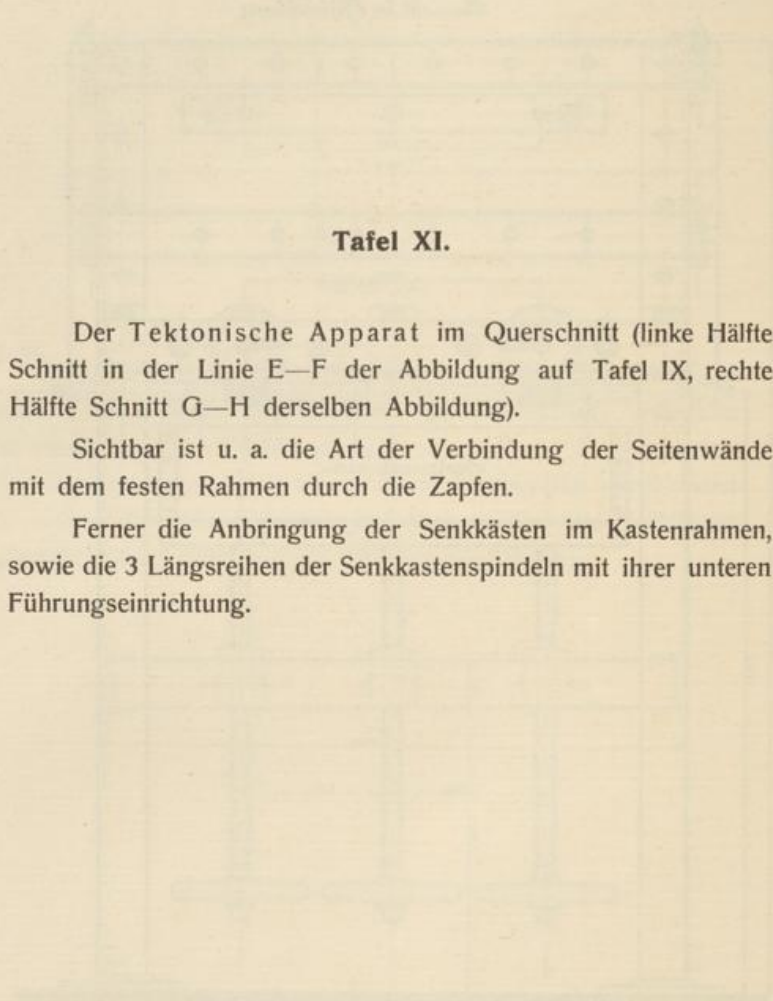


Tafel X.

Der Tektonische Apparat. Ansicht der Seite der Rückwand (Pfeil-Richtung auf Tafel IX). Sichtbar ist u. a. folgendes: die Verstärkung der Rückwand in der Gegend der Druckspindeln; Führung und Lager der Druckspindeln, Rahmen der »Senkkasten« (= Kastenrahmen), und die drei Längsreihen der Senkkasten-spindeln, sowie deren untere Führungseinrichtung.

Tafel X.





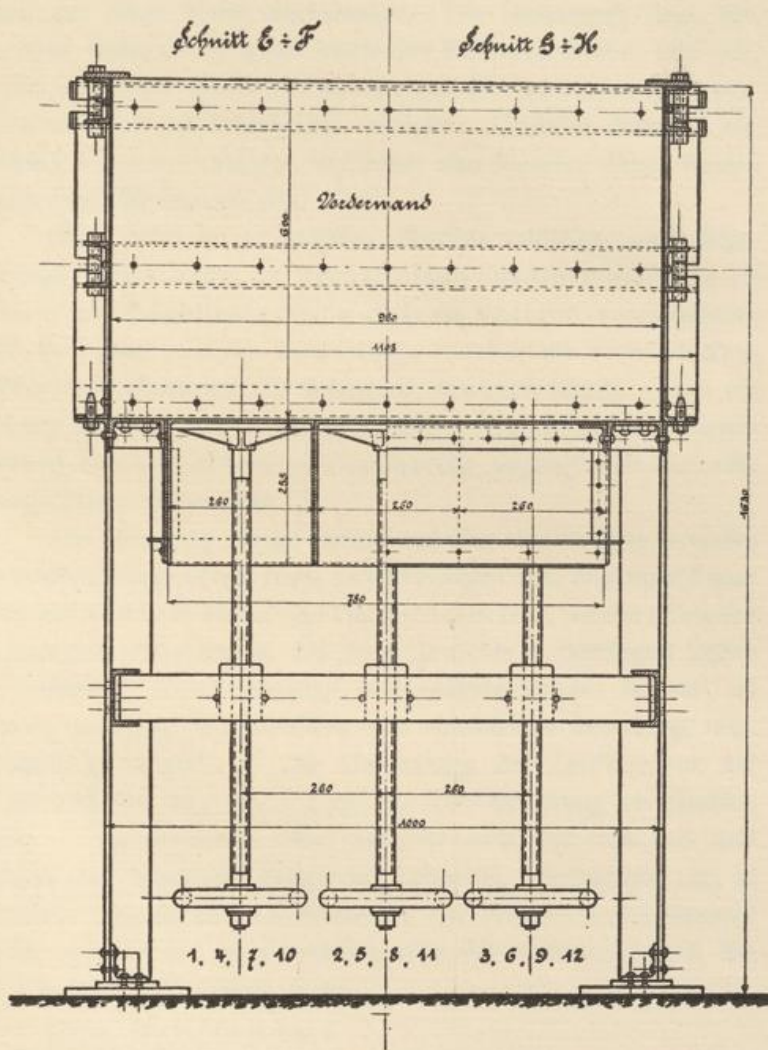
Tafel XI.

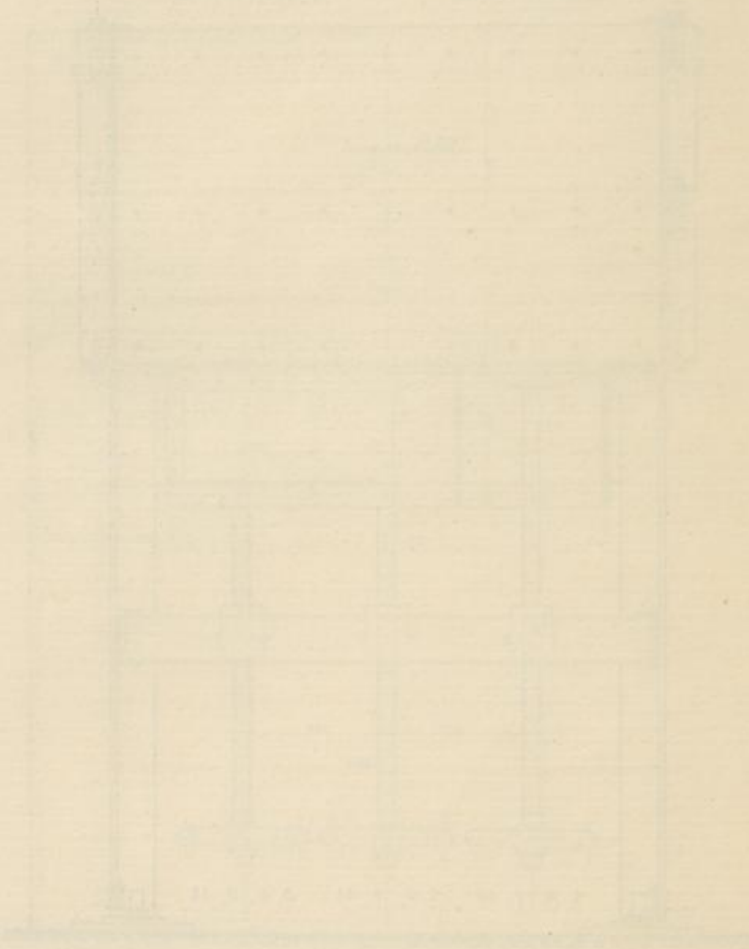
Der Tektonische Apparat im Querschnitt (linke Hälfte Schnitt in der Linie E—F der Abbildung auf Tafel IX, rechte Hälfte Schnitt G—H derselben Abbildung).

Sichtbar ist u. a. die Art der Verbindung der Seitenwände mit dem festen Rahmen durch die Zapfen.

Ferner die Anbringung der Senkkästen im Kastenrahmen, sowie die 3 Längsreihen der Senkkastenspindeln mit ihrer unteren Führungseinrichtung.

Tafel XI.





werden, sodaß Herstellung lokaler oder regionaler Senkungen und Hebungen möglich ist. Längsgräben, Quergräben, Horste etc. sind auf diese Weise nachahmbar. Die Senkungen resp. Hebungen können vor oder nach der Sedimentation, und vor, während und nach Vornahme der horizontalen und vertikalen Druckeinwirkung erfolgen. Überdies können verschieden geformte Massen in Gestalt alter Massive diesen Kasten aufgeschraubt werden, etc.

Man sieht, es ist möglich, überaus zahlreiche und vielgestaltige Variationen der Verhältnisse des Untergrundes im Dislokationsgebiet, wie in dessen Vorland vorzunehmen; überdies kann man den Belastungsdruck in der verschiedenartigsten Weise auf die Schichten einwirken lassen, sodaß mit diesem Apparat bei der großen Variationsmöglichkeit der Sedimentierung eine Unzahl verschiedenartig angeordneter Versuche ausgeführt werden kann. —

Die Belastung erfolgt derart, daß über den zu dislozierenden Schichten Sandmassen, resp. dicke Fettlagen etc., angebracht werden, auf denen ein Mosaik auf Holzbrettchen ruht, welche schwere Eisengewichte tragen. Da diese Gewichte an beliebigen Stellen in beliebiger Weise aufgelegt und entfernt werden können, ist lokal, wie regional stärkere oder schwächere Belastung, resp. Entlastung möglich. — Die Darstellung der Zeichnungen, auf Tafel VIII—XI wird nach dieser kurzen Erläuterung verständlich sein. — Zu erwähnen wäre vielleicht noch, daß zum Auf- und Abbau des Apparates, Heben der schweren Seitenwände etc., in meinem tektonischen Laboratorium ein Flaschenzug gebraucht wird, welcher auf einer Schiene über dem Faltungsapparat hin und her bewegt werden kann. —

Den Versuchen,

deren kurze Schilderung hier folgen soll, lag die bisher allgemeine Fragestellung zugrunde: Ist es möglich, auf Grund einer möglichst sinngemäßen Nachahmung der Verhältnisse

bestimmte in der Natur existierende tektonische Typen mit einigem Erfolg im Prinzip nachzuahmen?

Ich stellte mir dabei folgende Aufgaben:

1. Nachahmung des Juratypus;
2. Herstellung westalpin-helvetischer Tektonik;
3. Wiedergabe ostalpin-lepontinischen Gebirgsbaues.

Als Material wurden verschieden gefärbte Gips-, Ton- und Sandschichten verwendet. —

Versuch A. Nachahmung des Juratypus.

Tafel VII, XII, XIII, XIV und XV zum Teil.

Es waren bei dem Versuch, den wir mit **A** bezeichnen wollen, 8 Schichten (wechsellagernd Gips und Tonschichten) eingebracht worden; dazu an der Basis, und als Bedeckung des Ganzen, Sandschichten. Hierauf wurde im Vorland ca. 86,5 cm vor der beweglichen Druckwand eine 77 cm breite, 29 cm lange und ca. 3 cm tiefe Quersenkung vorgenommen, und an jeder Seite derselben blieben im Schichtgebiet 11 cm ungesenkten Gebietes stehen. Hierauf wurde unter mäßig starker Belastung der Schichtkomplex zusammengesoben, und es ergab sich:

1. Eine Stauungszone an der Druckwand, die wir außer Betracht lassen wollen, und
2. Zwei Antiklinalen, sowie Ansatz einer dritten im Senkungsgebiet, mit Bündelung derselben zu einer Falte in der Region der nicht gesenkten Seitenteile des festen Rahmens, oberhalb welcher eine einfache Faltenüberschiebung entstand.

Das Ergebnis ist also: Bei Einwirkung tangentialen Druckes Auslösung von Faltung in Gestalt von mehreren Antiklinalen und Synklinalen im Vorland an den Stellen, an denen durch Senkung im Vorland eine Ausweichmöglichkeit für die Schichten, und damit Gelegenheit zur Bildung von Falten gegeben wird. Gegen

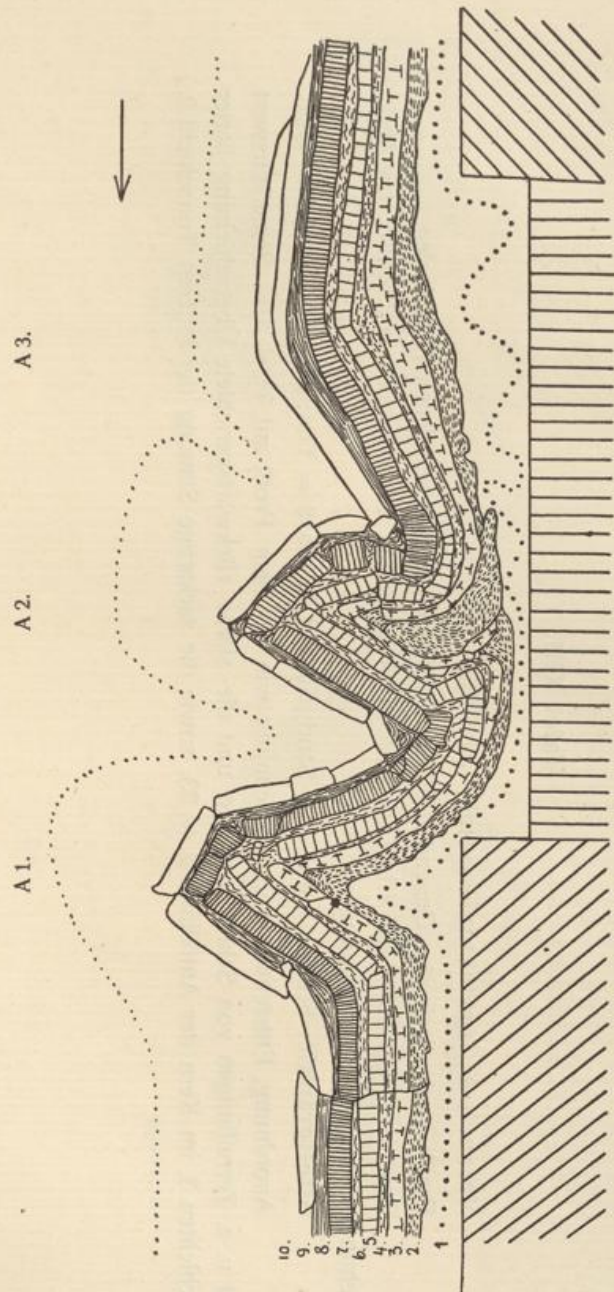
Tafel XII.

Versuch A: Juratektonik (vergl. Tafel VII).

Profil durch die in der Gegend des Depressionsgebietes erhaltenen Antiklinalen. Zeichnung des auf Tafel VII in Fig. 2 nach Photogramm wiedergegebenen Profils. Die Pfeilrichtung deutet die Schubrichtung an.

Stratigraphie: Schicht 1 und 10 = Sand; Schicht 2, 4, 6, 8 = Ton; Schicht 3, 5, 7, 9 = Gips.

Im Faltungsapparat waren die Senkkasten 7, 8, 9 (vergl. Tafel IX) gesenkt worden. Es scheint, als ob sich zuerst die Antiklinale 1 (A 1.) am Stauungswiderstand des ungesenkt gebliebenen Vorlandes gebildet habe, daß sie dann ihrerseits stauend wirkte, sodaß die Bildung von den Antiklinalen 2 und 3 (A 2. A 3.) folgte. Bezeichnend ist u. a. die Stauung der tiefsten weichen Schicht 2 (Ton) im Kern A 2. und der Beginn leichter, nach rückwärts gerichteter Überschiebungen in den inneren harten Schichten 3 und 5, bemerkenswert ferner die Bruchbildung vor Antiklinale 1 (A 1.).



Versuch A: Juratektonik.

Tafel XIII.

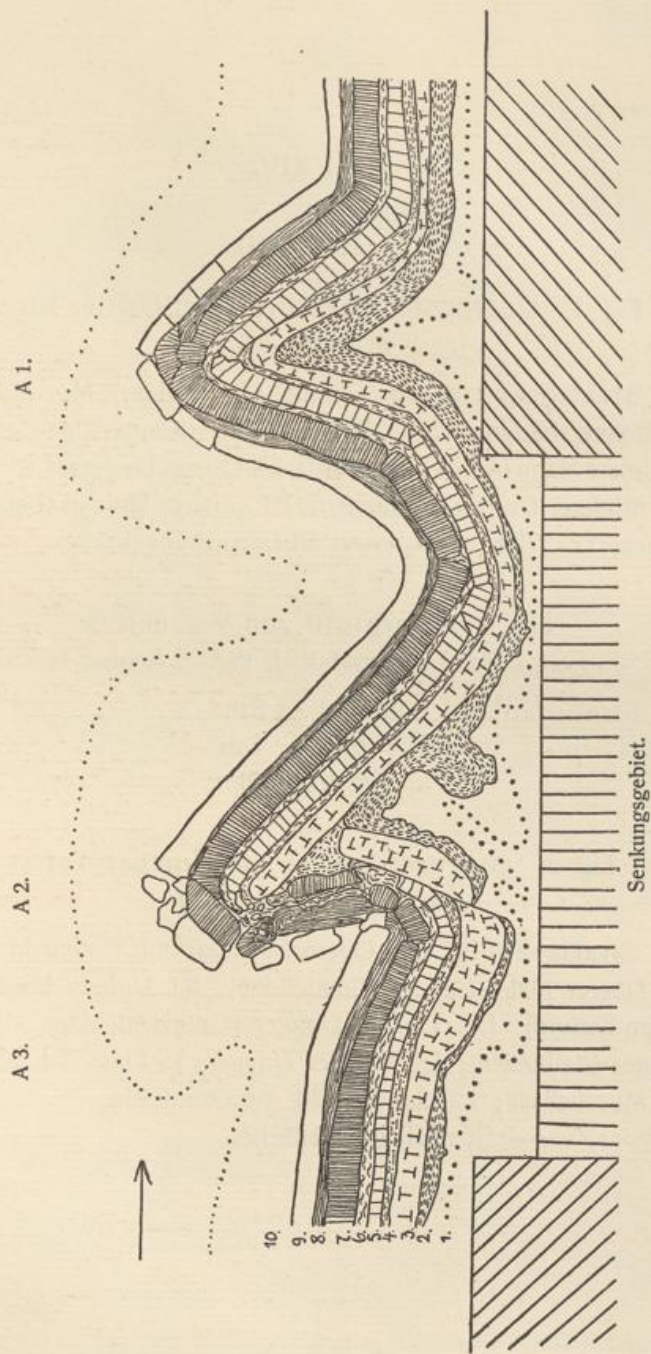
Versuch A: Juratektonik (vergl. Tafel VII.)

Profil durch die in der Gegend des Depressionsgebietes entstandenen Antiklinalen.

Zeichnung des auf Tafel VII in Fig. 3 nach Photogramm wiedergegebenen Profils. Die Pfeilrichtung deutet die Schubrichtung an.

Stratigraphie: Schicht 1 und 2 = Sand; Schicht 2, 4, 6, 8 = Ton; Schicht 3, 5, 7, 9 = Gips.

Anordnung, Entstehung und Bezeichnung wie bei dem Profil auf Tafel XII. Bemerkenswert ist u. a. Zerreißen von Schicht 5, 7 etc. und die starke rückwärtsgerichtete Überschiebung harter Schichten 3. im Kern der Antiklinale 2 (A 2.), sowie die sackartige Stauung der inneren Tonschicht 2.



Versuch A: Juratektonik.

Tafel XIV.

Juratektonik.

Fig. 1. Querprofil durch die Mümliswiler Klus
(nach Mühlberg-Schardt).

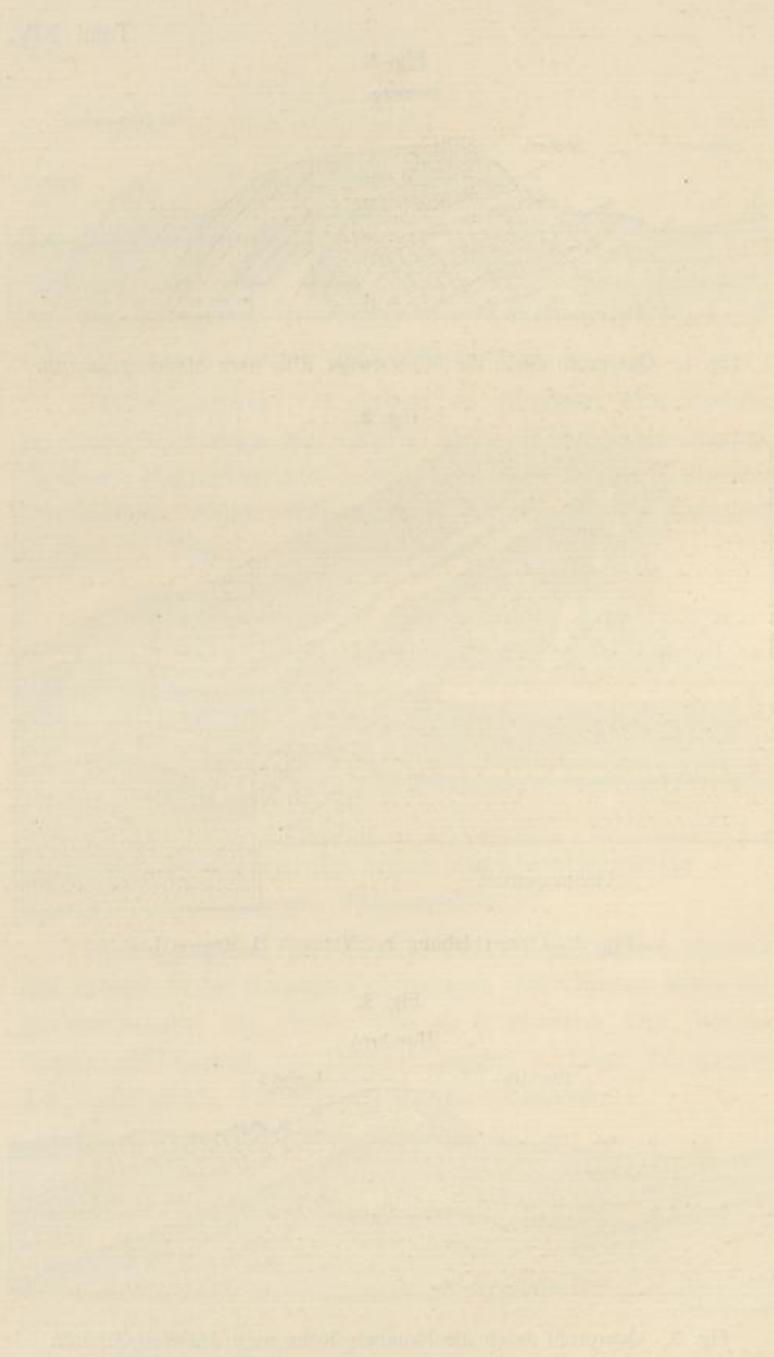
Stratigraphie: Eb. Schutt; Al. Aluvium; Mo. Molasse;
Si. Bohnerzbildung; Ms. Oberer Malm (Kimmeridge-Sequan);
Mi. Untere Malm (Argovien-Oxford); Ds. Oberer Dogger (Callovien);
Dm. Mittlerer Dogger (Bathonien); Di. Unterer Dogger (Bajocien);
L. Lias; Tr. Trias. — Überschiebungsfläche.

Fig. 2. Querprofil von Versuch B.
(Vergl. Tafel XV und XVI, Fig. 2, Region I.)

Stratigraphie. 1 und 10 = Sand,
2, 4, 6, 8 = Ton,
3, 5, 7, 9 = Gips.

Fig. 3. Querprofil durch die Hombergkette
(nach Mühlberg-Schardt).

Stratigraphie: ms. Obere Molasse; mi. Untere Molasse;
Ms. Oberer Malm (Sequan-Kimmeridge); Mi. Unterer Malm (Ar-
govien-Oxford); Ds. Oberer Dogger (Callovien); Dm. Mittlerer
Dogger (Bathonien); Di. Unterer Dogger; L. Lias; T4. Keuper;
T3. Muschelkalk; T2. Salzton; T1. Buntsandstein.
..... — Überschiebungsfläche.



die Seiten zu, an denen Senkung nicht stattfand, erfolgte Bündelung der Falten und Bildung einer Faltenüberschiebung in dieser Gegend stärkeren Stauungswiderstandes.

Die Gesamtansicht des Faltungsbildes, wie sie das noch nicht zum Studium der Profile zerteilte experimentell gewonnene Modell zeigt, ist auf Tafel VII Figur 1 dargestellt. Auf derselben Tafel zeigen Figur 2, Profil a, und Figur 3, Profil b, die zwei direkt photographierte Querschnitte, von denen auf Tafel XII und XIII durch exakte Zeichnung ein klareres Bild gegeben wird. —

Das experimentell gewonnene Faltenbild entspricht im Prinzip in einigen wichtigen Zügen dem Bild des Schweizer Jura mit seinen gebündelten Falten, welche im Süden, wie im Osten in wenigen und schließlich in je einer einzigen Falte endigen, die, wie am Hauenstein, bei der Lägern etc. als deutliche Faltenüberschiebung ausgebildet ist. Wir befinden uns hier im Schweizer Jura in dem großen Depressionsgebiet zwischen Schwarzwald, Vogesen einerseits und französ. Zentralplateau andererseits, in welchem das Juragebirge gegen das Pariser Becken verflutete.

Als ich in den vorläufigen Berichten¹⁾²⁾ die Ergebnisse dieser ersten Versuche publizierte, ist vielleicht bei Parallelisierung meiner Versuchsergebnisse mit bestimmten Gebieten durch die Wahl des einen oder anderen Wortes zum Teil zu stark der Eindruck erweckt worden, als wollte ich behaupten, schon jetzt vollkommen analoge Bildungen geschaffen zu haben. —

Das liegt mir durchaus fern, zumal aus den beigegebenen Abbildungen die Unterschiede, wie die prinzipiell wichtigen tektonischen Ähnlichkeiten, die Verwandtschaft der verschiedenen

¹⁾ *W. Paulcke*, Kurze Mitteilungen über tektonische Experimente. Jahresber. und Mitt. des Oberrheinischen Geolog. Vereins, Neue Folge, Bd. I, S. 56—66.

²⁾ *W. Paulcke*, Über tektonische Experimente. Vortrag, Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Karlsruhe 1911. Leipzig 1911.

tektonischen Stilarten in überraschender Weise für Jeden erkennbar sind. —

*A. Buxtorf*¹⁾ hat sich kürzlich in einer Arbeit über meine Versuche geäußert, und ich gehe gern auf seine mir zum Teil sehr wertvollen Bemerkungen ein, zumal vielfach vielleicht die Änderung eines ungeeignet von mir gewählten Wortes, auf dem er seine Einwendungen basiert, uns zur Einigung führen kann. —

Bei Versuch A, Juratektonik, erhielt ich in einem künstlich erzeugten Depressionsgebiet und seinem Vorland Faltungen; ich nahm also an, daß die durch ein Absinken des Vorlandes erzeugten Niveaudifferenzen die Faltung aufgelöst haben könnten und befinde mich darin in völliger Übereinstimmung mit *Buxtorfs* Ansicht über seine hypothetische Montterribliflexur (Bemerkungen pg. 155). Zuerst erfolgte ein flexurartiges Absinken, dann Stauung an dem jenseitigen Rand der Senkung, bzw. dem ansteigenden Sockel.

Wie das Verhalten des Untergrundes des gesamten Juragebiets in der Zeit der Auffaltung dieser Gegend war, ist durchaus nicht festgestellt. Selbstverständlich leugne ich die Tatsache nicht, daß wir im Alttertiär hier die Ausbildung einer höhergelegenen Zone annehmen müssen (Festlandsbildungen); das gilt aber auch so gut wie sicher für das Gebiet zwischen Schwarzwald und Vogesen, in dem aber dann die oligocäne Einsenkung erfolgte. Die miocänen Ablagerungen im Jura beweisen durch eine Niveauverschiebung zu dieser post-alttertiären Zeit im Sinne einer Senkung gegenüber der höheren Lage zur Alttertiärzeit.

Daß dann weiter im NW. der kristalline Sockel wieder etwas höher vorgeragt haben kann, nehme ich selber an (das entspräche ungefähr dem Vorderland des Senkungsgebietes auf

¹⁾ *A. Buxtorf*, Bemerkungen zur Abhandlung von *W. Paulcke*, Kurze Mitteilungen über tektonische Experimente. Jahresberichte und Mitt. des Oberrheinischen Geologischen Vereins, Neue Folge, Bd. II, H. 1, Seite 153 bis 157. (Wird in folgendem stets unter »Bemerkungen« zitiert.)

Tafel XII unter Antiklinale 1). Überhaupt kann Faltenbildung, wie meine Versuche zeigen, sowohl durch Senkungen, wie durch Hebungen ausgelöst werden, und ich bin besonders damit beschäftigt, diese Vorgänge unter den verschiedensten Bedingungen experimentell zu studieren, da wir uns über den Mechanismus dieser Erscheinungen bis jetzt vielfach nur in Vermutungen bewegt haben und bewegen konnten. —

Von Wichtigkeit ist offenbar neben anderen Dingen zur Auslösung von tektonischen Bewegungen vor allem, daß überhaupt Niveauunterschiede vorhanden sind; jedenfalls setzt dort, wo sie primär waren, oder sekundär geschaffen wurden, in erster Linie tektonische Bewegung ein.

Ich bin mit meinen Versuchen vorderhand bei primitiven Anfängen, und erhoffe erst in Zukunft die großen Gesetzmäßigkeiten aus der Summe einer großen Zahl der verschiedenartigsten Experimente ableiten zu können. — Die ersten Versuche haben einstweilen als tastende Vorläufer zu gelten.

Jedenfalls lag das Juragebiet zur Zeit seiner Auffaltung mit seinen Sedimenten tiefer als die Gebiete des französischen Zentralplateaus einerseits und die der Vogesen und des Schwarzwaldes andererseits. Als in dieser großen Lücke die Faltung (wie ich annehme und vorsichtig ausdrücken will), veranlaßt durch daselbst entstehende oder vorhandene Niveaudifferenzen (jedenfalls lagen Höhenunterschiede zwischen dieser Gegend und den genannten alten Massen vor), erfolgte, entwickelte sich im relativ niedrig liegenden Gebiete (gegen das Pariser Becken), wo Platz- und Ausweichmöglichkeit vorlag, der reichliche Faltenwurf. Im Gebiete der höher liegenden Massen dagegen (Zentralplateau und Schwarzwald—Vogesen), mit der kleinen Ausnahme der Pfirtgegend, war ein solches Auslaufen der Faltenbewegung nicht möglich, sondern der Reibungswiderstand des hoch gelegenen Sockels und der Wall der alten Massen verhinderte eine reichliche Faltenentwicklung. Der kräftige

tangentiale Druck äußerte sich daher dort nicht in einer Anzahl verschiedener Falten, sondern in Gestalt stark überstürzter Faltenüberschiebungen. — Wegen dieser Verhältnisse mußte es aber auch zur Bündelung der Falten kommen. —

Das Resultat Bündelung nach den Seiten des Gebiets der höheren Sockellage (Nordosten und Südwesten) im Gegensatz zur fraglos im Verhältnis dazu tieferen Sockellage in der Lücke gegen das Pariser Becken scheint mir aber ganz fraglos im Jura vorzuliegen, und diese Verhältnisse glaube ich auch im Experiment einigermaßen analog gestaltet zu haben. Ob sich die tektonische Bewegung zuerst in den seitlichen Staugebieten, oder in der Depressionsgegend zeigte, habe ich noch nicht festgestellt, da ich den Versuch nicht in den Anfangsstadien unterbrach, was gelegentlich geschehen soll.

Daß ich z. B. auch das Chablais und die Freiburger Alpen in Parallele mit diesem den Bündelungsvorgang heranzog, hat *Buxtorf* gleichfalls bemängelt. — Natürlich spielten hier für die Gesamttektonik sehr verschiedene Faktoren mit. Tatsache bleibt aber doch, daß z. B. westlich des Chablais die helvetischen Ketten rasch emporsteigen, und daß östlich der Freiburger Alpen analoge Verhältnisse vorliegen, und daß hier Bündelungen gegen diese höher gelegenen Gebieten zu erfolgt sind. — Im übrigen mache ich ja auch nicht nur die relative Höhenlage der Basis, sondern auch den Widerstand vorgelagerter Zentren für die seitliche Bündelung verantwortlich. Daß z. B. die Massen des Chablais und der Freiburger Alpen überschobene, schwimmende Massen sind, kommt dabei gar nicht in Betracht; ihre oberflächliche Faltung und Bündelung erhielten sie sehr wahrscheinlich nicht in der ersten regionalen Überschiebungsphase, sondern in der darauf folgenden Faltungsphase, und in dieser reagierten sie mit ihren Schichten in sich wie autochthone Massen. Ich deute die Lokal-Tektonik dieser Komplexe als einen, unter relativ geringem Druck ent-

standenen Dislokationstypus, dessen Eigentümlichkeiten nicht weit in die Tiefe reichen, und nehme überdies an, daß schon bei der ersten Phase der Überschiebung die große Depression vorhanden war, sodaß schon Praedispositionen für die jetzt so scharf ins Auge tretende Lokaltektunik vorlagen.

In welcher Weise noch Streckungserscheinungen, Bruchbildung etc. die Tektonik dieser Gebiete außerdem beeinflußt haben, das hat mit meinem Versuch und den daraus gezogenen Schlußfolgerungen gar nichts zu tun. —

Mein Vergleich zwischen dem Versuchsergebnis und Vorkommnis in der Natur bezog sich lediglich auf den Hinweis des Zusammenhangs zwischen starker Faltenentwicklung und Bündelung einerseits, zu Gebieten leichterer Ausweichmöglichkeit und hemmender Widerstände andererseits.

Tiefergelegene Lücken zwischen höhergelegenen Widerständen schienen und scheinen mir die ursächlichen Faktoren für die genannten tektonischen Erscheinungen. —

Für die detaillierte Einzelbeschreibung der Profile, wie der Versuche überhaupt, ist hier nicht der Ort; ich verweise auf den in den Profilen dargestellten Befund (Tafel VII, XII und XIII) und die Tafelerklärung.

Bei Tafel XIII will ich nur auf die starke, durch Rückstau entstandene, nach rückwärts gerichtete Überschiebung in der Antiklinale 2 (A 2) aufmerksam machen, welche Beziehungen zu den SO. gerichteten Überschiebungen in der Weißensteinkette aufweist. Ich bitte *Buxtorf*, mir nicht einzuwerfen, daß ja in seinen Profilen die Überschiebung nicht mit der in meinem Experiment vorliegenden ident sei, ich will nur zeigen, daß mein Experiment gerade in der innersten Falte eine Rückbiegung mit ähnlichen tektonischen Vorgängen aufweist, wie die innerste Jurakette. —

Auf Tafel XIV habe ich drei überaus ähnliche Profile vom Typus Jura zusammengestellt.

Profil 1 zeigt die Überschiebung in der Mümliswiler Klus nach *Mühlberg* (ergänzt von *Schardt*). In Profil 2 ist eine isolierte Darstellung der Region I von Versuch B, Profil a gegeben, und Profil 3 stellt die Überschiebung der Hombergkette nach *Mühlberg* (ergänzt von *Schardt*) dar. — Der Vergleich der 3 Profile zeigt sehr starke Ähnlichkeit der tektonischen Erscheinungen. Nur in der Stirnregion der Faltenüberschiebung sind beim Versuch die Schichten des Nordschenkels zerbrochen und im Gebiet des Südschenkels ist Spaltdeckenbildung eingetreten. — Stauungswirkung durch Hebung des Untergrundes hat hier dieses Faltenbild ausgelöst. Art der Überschiebung, sowie das Umbiegen der Schichten im Vorland sind fast ident. *Buxtorf* nimmt, wie das schon seit langem auch *G. Steinmann* aus stratigraphischen Gründen tat, eine alte Flexur an der Grenze von Ketten, und Tafeljura an. — Wie sich dies Gebiet dieser hypothetischen Flexur zur Zeit der Faltungsbewegung verhielt, läßt sich nicht sagen, sicher ist, daß im Falle des Experiments die Stauwirkung der Hebung den vorliegenden Überschiebungsvorgang bedingte. Übrigens scheint mir aus Versuch A hervorzugehen, daß der Widerstand der vor der Flexur (nördlich) gelegenen Schwelle (Tafel XII, XIII) die Faltung zuerst auslöste. Endgültige Antwort auf diese Fragen können erst systematische Versuchsreihen geben. Im Falle *Homberg*, wie für das Gebiet der Überschiebungen im Norden des östlichen Jura überhaupt, nehme ich den Widerstand des starren Vorlandes als Hauptursache des Überschiebungsvorgangs an. Im Falle der Farisbergtektonik scheinen die vorgelagerten Ketten in analoger Weise gewirkt zu haben. —

Der Senkungsversuch A zeigt jedenfalls zwar Auslösung von Faltung durch die geschaffene Ausweichmöglichkeit, aber keine Nordüberschiebung im Gebiet der Antiklinale 2, Tafel XII, sondern einen Rückstau. —

Ich werde die Klärung derartiger einzelner Fragen bei Ausführung weiterer Experimente versuchen. —

Versuch B, Tafel XV, Fig. 2 und XVI, Fig. 2.

Von ganz besonderem Interesse sind die Ergebnisse des Versuches, den wir mit **B** bezeichnen wollen.

Über einer basalen Sandschicht waren wieder 8 Schichten, wechsellagernd Ton und harte Gipsschichten, von insgesamt 4—4,5 cm Mächtigkeit in den Apparat eingebracht worden, d. h. es war in roher Weise jurassisch-helvetischer Wechsel zwischen harten und weichen Schichten hergestellt, darüber folgte eine weitere Sandschicht und Belastung. 86,5 cm vor der beweglichen Druckwand erfolgte Hebung des Untergrundes in 77 cm Breite und 29 cm Länge im Betrag von 27 mm. Die durchschnittliche Belastung des ganzen Areals betrug 33 Zentner, in der rückwärtigen Region war die Gewichtsbelastung verstärkt, die Ausweichmöglichkeit der Schichten nach oben stark erschwert worden.

Das Ergebnis, welches zum Teil aus Tafel XV und XVI ersichtlich ist, war folgendes, Faltungen etc. wurden ausgelöst:

1. in der Region III vor der beweglichen, schiebenden Druckwand, sowie
2. in der Region I der im Vorland erfolgten Hebung, sowie
3. in der zwischen diesen beiden gelegenen Region II.

Region II. Die gehobene Barriere hatte als Stauungswiderstand gewirkt, zuerst zur Bildung einer einfachen Antiklinale, bei weiter getriebenem Vorschub zur Bildung einer normalen Faltenüberschiebung geführt, welche zum Teil besonders auffallend an *Mühlbergs* Profil durch die Mümliswiler Klus (Farisberg) und an das Homberg-Profil erinnert (vergleiche oben Seite 90, sowie Tafel XIV, Figur 1—3), wobei in erster Linie die harten (Gips-)Schichten zerrissen wurden, während die plastischen Tonschichten zwar zum Teil ausgedünnt wurden, aber den Zusammenhang — besonders im Kern der Antiklinale —

noch bewahrten. Der Stauungswiderstand übertrug sich weiter auf die rückwärtigen Regionen,¹⁾ und es erfolgte:

1. dicht hinter der Faltenüberschiebung Abspaltung der oberen harten Schicht und Bildung einer Überschiebungsdecke (= Spaltdecke), an der nur die zwei oberen Schichten beteiligt sind;
2. erfolgte in Region II eine abermalige Abspaltung, diesmal von den drei oberen Schichtgliedern und Bildung einer zweiten Überschiebungsdecke (= Spaltdecke).
Tafel XV, Fig. 2 und XVI, Fig. 2, Profil a und b.

Wie Tafel XVI, Fig. 2, Profil b zeigt, erfolgte am Stirnrand dieser zweiten Abspaltungsdecke antiklinale Umbiegung. Das sich ergebende Bild könnte an einzelnen Stellen des Profils, ohne Verfolgungsmöglichkeit der Entstehungsweise und des Zusammenhangs mit dem Ganzen, zu der irrtümlichen Auffassung Veranlassung geben, es läge hier eine Faltenüberschiebung mit ausgequetschtem Mittelschenkel vor.

Beim Vergleiche von Profilen, Tafel XVI, Fig. 1 aus dem Walensee—Säntisgebiet mit dem auf experimentellem Wege gewonnenen Profil komme ich zu der Annahme, daß wir es in diesen und analogen alpinen Gebieten aller Wahrscheinlichkeit nach mit einem auf ähnliche Weise zustande gekommenen tektonischen Komplex zu tun haben, d. h., daß hier, wie auch sonst in der nördlichen helvetischen Kalkzone der geschilderte Deckentypus vorliegt, für den ich die Bezeichnung **Spaltdecke**²⁾ vor-

¹⁾ Vergl. Verhältnis von Molassevorland zu helvetischer Region.

²⁾ Spaltdecken gehen nicht aus Falten hervor, und sind u. a. dadurch gekennzeichnet, daß die oberen mehr oder weniger stratigraphische Horizonte umfassenden Komplexe von einer Schichtserie losgespalten, von ihrer normalen Unterlage losgelöst, und über die Schichten des Vorlandes hingeschoben werden, wobei entweder eine glatte Überschiebung erhalten bleiben, oder **sekundär** Faltung, antiklinaler Habitus, entstehen kann. Im Gegensatz zur »Spaltdecke« bleibt bei *Buxtorfs* »Abscherungsdecke« der abgescherter Komplex auf seiner alten Unterlage, auf welcher er nur weitergleitet. (Oberrh. Geol. V.-Bericht XXXX.)

schlage (cfr. Säntis- und entsprechende westliche Decken). Die unvollständige Schichtenfolge ist in diesem Falle nicht durch Reduktion des Mittelschenkels entstanden, sondern durch Abspaltung und Überschiebung der oberen (Kreide) Schichtkomplexe, welche durch Stauungsvorgänge sekundär am Stirnrand Umbiegung erfahren haben, und eine aufgewölbte primäre Antiklinale vortäuscht.

Mir scheint damit auf experimentellem Wege eine nicht unwichtige neue Erklärungsmöglichkeit in manchen Deckengebieten bestehender Verhältnisse gegeben zu sein.

A. *Buxtorf* hat sich gegen meine Bezeichnung der geschilderten Erscheinung als »Spaltdecke« gewendet und meint, daß für diesen Deckentypus die Bezeichnung »Zweigdecke« die Priorität gebühre. Ich lege natürlich keinen Wert darauf, irgend einen neuen Namen für einen alten Begriff an Stelle einer dafür bereits eingeführten Bezeichnung zu setzen. — Die Bezeichnung »Teil- oder Zweigdecke« von *Heim-Oberholzer*, wie die »Digitations« *Lugeons* waren mir wohl bekannt.

Buxtorf führt nun speziell an, daß *Oberholzers* Begriff der Teildecken ident sei mit dem meiner »Spaltdecken«. Ich bin auch der Ansicht, daß es Zweig- und Teildecken im Sinne der genannten Autoren gibt, d. h. Decken, die echte Überfaltungsdecken sind, wie sie besonders selbst *Oberholzer*, in der von *Buxtorf* irrtümlich gegen meine Ansicht ins Feld geführte Veröffentlichung,¹⁾ definiert, »nicht als schollenartige Bruchstücke der Erdrinde steif übereinandergeschoben, sondern nichts anderes als übertriebene Falten sind«, aber ich muß auch daran festhalten, daß es »Spaltdecken« nach meiner Definition gibt, welche grundsätzlich verschiedene Entstehungsweise aufweisen.

¹⁾ *J. Oberholzer*, Die Überfaltungsdecken auf der Westseite des Linthtales. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, Vol. X 1908, S. 546. Man ersieht aus dem Zitat deutlich, daß die Definition meiner Spaltdecke etwas prinzipiell verschiedenes von der *Heim-Oberholzer'schen* Zeig-Teildecke umschreibt.

Wenn *Buxtorf* in seinen »Bemerkungen« schreibt: »Dem Umstand, ob die Stirne einer solchen Zweigdecke den antiklinalen Bau mehr oder weniger deutlich zur Schau trägt, ob ferner Reste eines verkehrten Mittelschenkels nachzuweisen sind, messen »wir« (wer außer ihm?) im helvetischen Deckengebiet heute prinzipielle Bedeutung nicht mehr zu«, so möchte ich ihn bitten, diesen Resten in Zukunft lieber auch ferner noch grundsätzlichen Wert beizumessen. Ihr Vorhandensein oder Fehlen ist eben doch von ausschlaggebender Bedeutung für die Erklärung des Mechanismus der tektonischen Vorgänge, die in den betreffenden Schichten stattfanden. —

Einwandfreier Gewölbebau, an dem im Kern nur relativ wenig höhere Schichtkomplexe beteiligt sind, beweist gar nichts für die Genese desselben als Teil einer echten Zweig- oder Teildecke; im Sinne von *Heim* und *Oberholzer*, hier kann ebensogut eine prinzipiell ganz und gar verschieden von ihnen entstandene »Spaltdecke« vorliegen; das ergibt sich einwandfrei aus Versuch B, Profil b, selbst wenn mir dabei noch kein experimentelles Idealbild gelungen ist. - Selbstverständlich gebe ich zu, daß auch antiklinale Stirnen von Teildecken nicht sichtbar sein können; aber Pseudo-Teil, bzw. Zweigdecken, d. h. nicht aus primärem Antiklinalbau, z. B. auch durch Abstreifung der jüngeren Schichten vom Kern im Sinne *Heims*, hervorgegangene Decken entsprechen eben nicht der Definition, die *Oberholzer* und vor ihm *A. Heim*¹⁾ für diesen Typus gibt; das sind eventuell sekundär antiklinal umgebogene (quasi aufgerollte »aufgewölbte«) Spaltdecken.²⁾ Die mechanische Möglichkeit

¹⁾ *Arnold Heim*, Zur Kenntnis der Glarner-Überfaltungsdecken. Monatsberichte d. deutschen geologischen Gesellschaft. Nr. 3 1905, S. 89 ff.

²⁾ Im Grunde sind *Buxtorf* und ich uns ja eigentlich im Prinzip völlig einig, denn er sagt ja dem Sinne nach, und zum Teil wörtlich, in seiner Anmerkung lc. pg. 155, nichts anderes über diesen umgebogenen Spaltdeckentypus, wie ich es gesagt und gemeint habe, wenn er schreibt: »Bei der Gelegenheit möchte »ich« — d. i. also diesmal *Buxtorf* — die Ansicht äußern,

ist experimentell erwiesen, das Vorhandensein in der Natur wahrscheinlich. Ich betonte, daß z. B. das Säntisgebirge diesem Spaltdeckentypus zugehören, und keine Zweig-Teildecke sein dürfte.

Für die Entstehung von Spaltungsdecken scheint mir auch die petrographische Beschaffenheit der Sedimente, und die Art ihres Verbandes mit ihrer Unterlage, von ausschlaggebender Bedeutung zu sein. Spröde harte Schichten (Gipsschichten No. 7 und 9 entsprechen z. B. Urgonschichten der helvetischen Serie) über Tonschichten neigen besonders zum abspalten und zu darauf folgender Loslösung höherer Komplexe von tieferen und Abschiebung von ihrer Unterlage.

Jedenfalls scheint es mir nach den erwähnten, durch den Versuch erhärteten, Ergebnissen durchaus nicht zutreffend, wenn man versucht, alle Decken von Faltenüberschiebungen mit ausgequetschtem Mittelschenkel abzuleiten, bezw. als vom älteren antiklinalen Kern handschuhfingerartig abgestreifte Komplexe anzusehen. Spätere, sekundäre, antiklinale Umbiegungen von Spaltdecken können nur bisweilen den trügerischen Anschein erwecken (Tafel XVI, Profil b, Region II), als sei eine Faltenüberschiebung das Ausgangsgebilde für solche Decken.

Wenn nun *Buxtorf* für die Spaltdecken den »alten trefflichen Namen« »Schuppe« vorschlägt, so kann ich ihm da leider

daß die alpinen »Tauchdecken« — ich denke dabei besonders an das Simplongebiet — wohl kaum einem primären Deckentypus (soll heißen Überfaltungsdeckentypus) entsprechen dürften. Wahrscheinlich sind sie herzuleiten von ursprünglich flachen Überschiebungsdecken, die später sekundär gewölbeartig aufgebogen und dadurch scheinbar zu Tauchdecken geworden sind.« Ich habe speziell die vorderen Glarner »Tauchdecken«, wie sie *A. Heim* nennt, so erklärt, und das Simplongebiet nicht extra erwähnt, und bin auch nicht prioritätsüchtig, aber genau dasselbe, was hier *Buxtorf* sagt, geht klar aus meiner ersten Publikation über die Tektonischen Experimente hervor. — Gerade der Tatsache einer sekundären Antiklinalbildung einer primären Überschiebungs-Spaltdecke, die echte Tauchfalte oder Decke vortäuscht, lege ich ja den großen prinzipiellen Wert bei, gegen den *Buxtorf* polemisiert. Nicht auf das Wort, sondern auf die neue Erklärung der Genese solcher Bildungen kam und kommt es mir an.

auch nicht folgen, trotzdem ich nichts gegen die guten alten Schuppen habe.

Aber, ebenso wie wir weitergreifende Überfaltungen mit besonderer Bezeichnung »Decken« etc. nennen, ebenso berechtigt ist es, derartig weitgreifende Komplexe auch als »Spaltdecken« zu bezeichnen, da jeder mit dem Namen Schuppe im allgemeinen den Begriff von Überschiebungen in relativ geringem Ausmaß¹⁾ zu bezeichnen pflegt und nicht z. B. eine Sântisdecke, sonstige Glarner Tauchdecken, Simplondecken etc.

Region III, Tafel XV, Fig. 2, Prof. a. Die Betrachtung von Region III zeigt im höchsten Maße überraschende Ähnlichkeiten²⁾ in der beginnenden Entwicklung von Überfaltungsdecken, wie dieselben z. B. für die Berner und die westlichen Kalkalpen, i. sp. die Diableretsgegend u. a. angenommen wird. Ich möchte in diesem Falle von Stilähnlichkeiten sprechen, und stelle überhaupt besonders zum Vergleich der tektonischen Stilarten jurassische helvetische und ostalpin-lepontinische Profile neben die experimentell gewonnenen Querschnitte. Der meinen künstlich hergestellten Profilen vorläufig noch anhaftenden Mängel bin ich mir selbst am besten bewußt.

In der Gegend von Region III des Versuchs B sehen wir eine viermalige Übereinanderlagerung der Schichten. Wir sehen normale Tauchdeckenbildung (mit antiklinale Umbiegung) im Komplex von Schicht 1—5; darüber weggeschoben als weitgreifende Faltenüberschiebung den Gesamtkomplex aller Schichten. Wir finden beim Experiment das antiklinale Zurückbleiben der älteren Schichten, von denen die jüngeren beim Vortreiben der Bewegung gleichsam abgestreift worden, genau so,

¹⁾ Schuppung haben wir auf Tafel XIV, Fig. 1.

²⁾ Ich gebe *Buxtorf* gern zu, daß meine erste Publikation den Anschein erwecken konnte, als wollte ich die experimentell erzeugten Bilder in allen Einzelheiten für idente Erscheinungen erklären, wie sie die Vergleichsprofile zeigen. Da ich diesen Eindruck nicht hervorrufen möchte, habe ich zu weitgehende Ausdrücke jetzt zu vermeiden gesucht.

wie dies die Profile von *Schardt*, *Lugeon* und allen denen, die in entsprechenden tektonischen Gebieten gearbeitet haben, zeigen. Der Vergleich mit dem beigefügten Profil nach *Lugeon*, Tafel XV, Fig. 1, weist neben vielen Abweichungen doch manche überraschenden habituellen Ähnlichkeiten auf; man vergleiche ferner *Schardts* Profile (Bull. Soc. Murithienne du Valais T. XXXV etc.).

Bezeichnend für alle Profile ist ferner das starke lokale und regionale Anwachsen der Schichtmächtigkeiten in den weichen, nachgiebigen Ton- und Sandkomplexen zum Vielfachen ihrer primären Mächtigkeit, besonders in den Stauungszonen (z. B. im Gebiet der Aufwölbungen und Stirnregionen der Faltenüberschiebungen, wie der Tauchdecken etc.) eine Erscheinung, die mit Verhältnissen in der Natur übereinstimmt.

Beim Vergleich der tektonisch erzeugten Profile mit denen aus den Alpen (Taf. XV und XVI) betone ich in erster Linie überraschende Ähnlichkeiten, und behaupte nicht etwa Identität. Ich kenne, wie gesagt, die Schwächen solcher Nebeneinanderstellungen selbst am besten, und trotzdem behalte ich sie bei, weil sich eben daraus in Ähnlichkeiten, wie in Unterschieden wertvolle Vergleichsmöglichkeiten über den Mechanismus solcher Bildungen ergeben.

In Region III liegt fraglos Deckenbildung vor, und eine höhere Überfaltung ist durch jüngere Schichten von einer tiefen Tauchdecke getrennt. Das ist noch nicht »Identität« mit den Diablerets morcles Decken — sicherlich nicht, das gebe ich *Buxtorf* gern zu, zumal ichs ja nie behauptet habe, aber es ist auch bei weitem nicht mehr Juratektonik, sondern das Verhältnis der obersten Falte zu den tiefen Faltungen ist ein ähnliches, wie das der Falte der Roc de la Marchand zu einer, wenn auch in anderer Weise, gefalteten Unterlage.

Für die Tauchdecke in der Tiefe der Region III habe ich nur das Abstreifen jüngerer Schichten von älteren als Analogon zu alpinen Darstellungen erwähnt.

Wir haben, auch wenn mein Flysch noch nicht weit nach rückwärts und unten durchgeht, in der Region III fraglos mehr Beziehungen zu alpiner Tektonik vom Typus helvetischen Gebirgsbaus, als zu jurassischem, und ich hoffe, bald von noch besserem Gelingen dieser Versuchsreihe B berichten zu können.

Die experimentell gewonnenen Bildungen, ihre Analogieen, wie die Unterschiede mit hypothetischen und tatsächlichen Naturprofilen sollen und werden mit der Zeit dazu beitragen, daß wir die natürlichen Vorkommnisse auch besser deuten, und besonders ihre Genese begreifen lernen.

Von Interesse ist weiter der Vergleich des tektonischen Bildes von Versuch B, welches im Profil b Taf. XVI Fig. 2 wiedergegeben ist, mit *Heims* theoretischem Profil durch das Säntis-Walenseegebiet Taf. XVI Fig. 1. Wir sehen hier eine in der Tiefe aus einer Antiklinale hervorgegangene, in besonderer Art abgespaltene Decke antiklinal aufgewölbt, und auf beinahe horizontaler Ebene über einen tieferen liegenden Deckenteil weggeschoben, gleichsam in die weichen, gestauten Tonmassen eingespießt. Im experimentell gewonnenen Profil spielt der Ton von Schicht 6 mechanisch die Rolle des Flyschs. Wir sehen weiter die aus den alpinen Überschiebungsgebieten wohlbekannten Einspießungen, Durchstechungen, Verschleppungen harter Gesteinskomplexe in weiche, Steilstellungen und Überklappen einzelner Schollen etc. Wir können stellenweise auch Unterschiebungen beobachten, kurz sehr viele tektonische Unregelmäßigkeiten, welche so oft die Deutung der alpinen Profile erschweren, vermögen wir Schritt für Schritt in ihrer Genese verfolgen.

Auch hier stelle ich trotz der bestehenden großen Differenzen wieder ein hypothetisches Naturprofil zu einem experimentell gewonnenen, weil verschiedene formale Erscheinungen zum Vergleich herausfordern.

Besonders die schon besprochene Spaltdecke mit antiklinaler Umbiegung veranlaßt mich zu diesem Vorgehen.

Es liegt mir auch hier wieder fern, die hypothetische Einspießung der Mürtschendecke, oder die der unteren Glarner Decke, welche *Heim* unter den Churfürsten zeichnet, mit der eingespießten abgeschobenen tiefen Antiklinale in Region III ident setzen zu wollen. — Jedenfalls gilt aber auch für dies Profil, daß wir in Region II und III weniger jurassische, als helvetische, alpine tektonische Komplikationen sehen, die wertvolle Vergleichspunkte abgeben.

Bei den Profilen a und b Fig. 1 Taf. XV und XVI Versuch B ist der Gesamtschichtkomplex in der Region III auf ca. $\frac{1}{4}$ seiner ursprünglichen Ausdehnung zusammengeschoben, d. h. etwa um den Betrag, den man als durchschnittlichen Zusammenschub der alpinen Region (für die Westalpen) annimmt.

Das Gebiet stärksten Zusammenschubs (Fig. 1 Taf. XV und XVI Region III) entspricht dem Gebiet stärkster Belastung und geringster Ausweichmöglichkeit der Schichten nach oben; dabei kam es zur Bildung von Überfaltungsdecken mit mehrfacher Schichtwiederholung übereinander. Wir dürfen wohl annehmen, daß auch in der Natur die Überfaltungsdecken als Tiefengebilde unter dem stärksten Belastungsdruck entstanden sind, während Spaltungsdecken unter Umständen unter geringerem Druck entstehen können, und normale, steil stehende Faltung (mit regelmäßigen Antiklinalen und Synklinalen vom Jura-Säntistypus) nur dann sich hochzuwölben vermag, wenn kein zu starker Gegendruck von oben her die Schichtenmassen belastet, oder wenn Ausweichmöglichkeit durch Senkung des Untergrundes gegeben ist.

Überdies spielt der mehr oder weniger regelmäßige Wechsel harter und weicher Gesteine für die Entstehung solcher regelmäßiger Faltung eine ausschlaggebende Rolle. (Jurassisch-helvetischer Stil.)

Spaltdecken mit und ohne sekundäre antiklinale Umwölbung, Überfaltungen von Gebilden, die morphologisch Tauchdecken gleichen (mit vierfacher Schichtwiederholung), sind aber Erscheinungen, wie sie in erster Linie für den helvetischen Faltenmechanismus bezeichnend sind, weshalb ich mich auch berechtigt glaube, den Versuch B trotz anderen Verhaltens des Flysch mit der Tektonik der helvetischen Gebiete in Vergleich zu setzen. Selbstverständlich ist es mein Bestreben, die Ergebnisse analoger Versuche in Zukunft so zu gestalten, daß womöglich schließlich völlige prinzipielle Analogie erreicht wird.

Versuch C und D, ostalpin-lepontinische Tektonik, Tafel XVII, XVIII, XIX.

Eine weitere Versuchsreihe soll sich mit der Frage beschäftigen, welchen Einfluß verschiedene facielle Ausbildung der Sedimentserien auf die Entwicklung der Tektonik hat. Wir nehmen an, daß in der Gegend der jetzigen Alpen einstmals in langen Zonen recht verschieden ausgebildete Faciesgebiete hintereinanderlagen, und daß diese, vor allem auch petrographisch recht verschieden ausgebildeten Sedimentzonen, die einst hintereinanderlagen, durch tangentialen Schub in Deckenform übereinander geschoben worden sind, und zwar liegen allem Anschein nach die Verhältnisse in den Alpen derart, daß die jeweils weiter südlich abgelagerten Schichtkomplexe jeweils über die nächst nördlich davon befindlichen Gebiete bewegt wurden; die Massen der ursprünglich südlichsten Facies liegen also schließlich in Deckenform am höchsten über den anderen. —

Man nahm an, daß bei diesem Vorgang zumeist sogenannte Überfaltungsdecken gebildet wurden, d. h. weitgreifende, richtige Überfaltungen, oder solche, bei denen schließlich die Mittelschenkel der Falten völlig ausgequetscht wurden, sodaß von einer verkehrten Schichtenfolge nichts mehr zu sehen war. —

Die Ostalpen-Geologen waren zumeist starke Gegner dieser Hypothese und führten u. a. besonders an, daß man in den Ost-

alpen wenig oder keine Überfaltungen sehen könne, und daß höchstens kurze Überschiebungen im ostalpinen Gebiet vorwiegend zu finden seien. —

Daß die nördlichen Kalkalpen eine große, aus Süden kommende Überfaltungsmasse sei, stellten die meisten durchaus in Abrede. Besonders *V. Uhlig* und seine Schüler haben jedoch zuerst unter den österreichischen Geologen diesen ablehnenden Standpunkt verlassen; — doch sind noch sehr viele Gegner der Deutung der Ostalpen als Deckengebiet vorhanden. — Bekanntlich senkt sich die Axe der Alpen von West nach Ost. Die im Westen dominierenden, tektonisch tieferen Decken, welche den Deckenbau der Alpen am besten zeigen, liegen aus diesem Grunde im Ostalpengebiet so tief, daß z. T. nur kleine Teile, z. T. nichts von ihnen zu sehen ist. Die Westalpen mit ihren stark differenzierten, übereinanderliegenden Decken verschiedener Facies und ihrer charakteristischen Tektonik sind der Mutterboden für die Entstehung der Deckentheorie gewesen. Die Deckenhypothese ist klar in erster Linie aus dem Bau der Westalpen verständlich. Nehmen wir sie für die Westalpen an, so müssen wir sie auch für die Ostalpen akzeptieren, da die helvetischen Decken unter die Ostalpen in Streichen versinken. Haben wir in dem helvetischen Gebiet Decken, so müssen die auf ihnen ruhenden Ostalpen erst recht Deckentypus aufweisen, aber es brauchen keine Überfaltungs- sondern es können ebenso gut Überschiebungsdecken sein,¹⁾ wir müssen also allgemein von einer Deckenhypothese, und dürfen nicht von einer Überfaltungshypothese sprechen. — In den Ostalpen beherrschen die obersten Massen des ostalpinen Deckensystems das Bild. Bei diesen ostalpinen Bildungen tritt — meiner Ansicht nach aus faciiellen-petrographischen Gründen — das Vorwiegen des Überfaltungstypus (= der helvetische Stil) zurück gegenüber dem

¹⁾ Falls *Buxtorf* das mit seiner, Seite 94 zitierten, Bemerkung sagen wollte, sind wir einig.

Vorwiegen des Typus großer glatter Überschiebungen, verbunden mit Schuppungen (auch sekundäre Faltungen) (= ostalpiner Stil). Der Stil jeglichen Gebäudes steht eben in starker Abhängigkeit von der Art seines Baumaterials. Aus einer Sämtischichtenfolge entsteht keine ostalpine Decke, und mit dem Material der nördlichen Kalkalpen ist kein Sämtisfaltenwurf möglich etc.

Ich stellte mir nun die Aufgabe, ähnliche tektonische Bilder, wie wir sie für den Bau eines Teiles der Ostalpen annehmen, experimentell zu erzeugen. Zu diesem Zwecke wurde die Aufgabe stark vereinfacht. Ich wählte drei verschiedene petrographische Facies, und ordnete sie in breiten Zonen hintereinander im tektonischen Apparat an. — Im Süden wurde eine Facies gebildet, welche der ostalpinen gleichen soll. Statt der in dieser dominierenden spröden und harten Kalke und Dolomite wurden vorwiegend Gipsschichten übereinandergelagert (vergl. Tafel XVII, Fig. 2 und Tafel XVIII, Fig. 2).

Vor diese harte Facies (O) wurde eine, vorwiegend aus weichen Tonen bestehende, Schichtserie angeordnet, welche die lepontinische Facies (L) darstellen soll, und vor diesen Komplex brachte ich eine der helvetischen Serie ähnliche Facies aus wechsellagernden, harten und weichen Ton- und Gipsschichten an. Die verschiedenen Facies keilten ziemlich rasch gegeneinander aus, die Gipsschichten gingen, wo sie in allen drei Faciesgebieten angebracht wurden, durch. — Hebungen und Senkungen im Untergrund sollten anfangs nicht in Betracht kommen, da zuerst festzustellen war, wie sich die Facies in sich und zueinander bei Einwirkung tangentialen Drucks verhielten.

Da wir in den alpinen Gebieten sehr verschiedenartige Facieskomplexe übereinander liegen sehen, nahm ich schon lange an,¹⁾ daß an den Faciesgrenzen, wo sie relativ

¹⁾ *W. Paulcke*, Geologische Beobachtungen in Antirhätikon. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg. Bd. XIV 1904, S. 291.

schroffe Unterschiede in der petrographischen Beschaffenheit der Sedimentserien aufweisen, als an Linien geringen Widerstandes bei Einwirkung tangentialen (= horizontalen) Gebirgsdruckes Auslösung der tektonischen Bewegungen erfolgen müsse.

Der Versuch sollte u. a. auch diese Ansicht bestätigen. Nach Fertigstellung der geschilderten stratigraphischen Anordnung erfolgte starke Belastung und Zusammenschub.

Auf Tafel XVII, Fig. 1 und 3, ist das erste Ergebnis des Versuchs C in zwei Profilen dargestellt.

Tatsächlich erfolgte sofort an der Grenze von Facies O und L, resp. nahe dabei, Überschiebung der südlich gelegenen harten Facies über die nördlich davor gelegene weiche Schichtserie; nicht als Überfaltung, sondern als glatte Überschiebung mit Zertrümmerungserscheinungen, Schuppenbildung etc. am Stirrand. Auf weite Strecke blieb die Schubmasse intakt, während in der Nähe des Druckkastens sehr schöne Schuppungen, Aufpressungen etc. an konvergent und divergent gerichteten Verschiebungsflächen auftraten. — Wie erwartet, traten in diesen spröden, starren Massen keine Faltungserscheinungen auf, wie sie bei Versuch A und B (Jurassischer und helvetischer Stil der Tektonik) gewollt und erreicht worden waren. Es ergab sich ein tektonischer Habitus, den wir als ostalpin zu bezeichnen pflegen.

Völlig anders verhielt sich die L-Facies. Hier kam es, neben kleinen lokalen Schuppungen in einzelnen harten Schichten, zu Faltungen, Fältelungen und Stauchungen der weichen Tonlagen. Zum Teil wurden diese Tone zum mehrfachen ihrer primären Mächtigkeit gestaut etc. Dabei fanden auch Durchstechungen älterer (= tieferer) harter Schichten der O-Facies durch weiche Massen der L-Facies statt, kurz, im großen ein Bild, das sich in Vergleich mit Erscheinungen im lepontinischen Faciesgebiet der Alpen setzen läßt, bzw. mit Gegenden, in welchen die ostalpine Decke auf den lepontinischen Massen ruht. —

Der erste Versuch C wurde nach relativ geringem Vorschub abgebrochen, da die Gewinde für die Druckspindeln zerpreßt worden waren.

Nach Verstärkung der Spindeln wurde der Versuch in gleicher Weise wiederholt. Das Ergebnis des zweiten Versuches D ist auf Tafel XVIII und XIX dargestellt.

Auch diesmal erfolgte prompt Auslösung der tektonischen Bewegung an der Faciesgrenze von O- und L-Facies.

Die obere Decke der O-Facies weist vorzügliche schräge Überschiebungen und Schuppungen auf. Am Stirnrand fanden stärkere Zerreißen und Aufstauungen statt. Tonfetzen wurden mit emporgeschleppt.

Bei einem Gesamtvortrieb des Druckkastens um 56 cm wanderte die harte O-Facies 40 cm weit als glatte Überschiebung (aus faciellen Gründen keine Überfaltung!) über die L-Serie, wobei in den Massen dieses Faciesgebietes überaus charakteristische tektonische Vorgänge sich entwickelten. — Vor allem war starke Stauung der Tonmassen zum vielfachen ihrer primären Mächtigkeit die Folge, eine Erscheinung, die in den alpinen Flyschmassen zur Bildung von so enormen sekundären Mächtigkeiten führt. Es kam zu Abquetschungen, Überschiebungen, Durchstechungen der verschiedensten Horizonte, kurz ein Bild wirrster Tektonik, wie wir es z. B. ähnlich in den lepontinischen Gebieten Graubündens finden. Beim Anblick dieser Zone in den Profilen 1 Tafel XVIII und XIX versteht man, wie es möglich ist, daß eine so verwickelte Tektonik in solchen Gebieten entstehen kann, und begreift, wie schwer es ist, sie in der Natur richtig zu deuten. Vom Gebiet der Facies H ist nichts zu sagen, da der Vortrieb nicht weit genug erfolgte.

Jedenfalls glaube ich in diesen zwei Versuchen etwas erreicht zu haben, was sich mit ostalpin-lepontinischer Tektonik in Beziehung setzen läßt. Ich habe *Uhligs* theoretisches Profil auf

Tafel XIX unter ein experimentell gewonnenes Profil gesetzt, um seine Darstellung der sich relativ ruhig verhaltenden, glatt überschobenen, ostalpinen Decke neben der O-Facies des Experiments zu zeigen. Detailerscheinungen besonders in der lepontinischen Serie fehlen in seinem Profil.

Leider muß ich es mir an dieser Stelle versagen, Vergleichsprofile aus analogen Alpengebieten abzubilden.

Selbstverständlich bin ich mir bewußt, daß auch bei diesem Versuch das Ausmaß der Bewegung noch zu gering ist; glaube aber, daß auch schon die bisher erhaltenen ersten Resultate von Interesse sein dürften.

Aus dem Gesagten, vor allem aus dem durch Abbildungen belegten Tatsachenmaterial, dürfte jedoch schon hervorgehen, daß es mir gelungen ist, eine Reihe charakteristischer und wichtiger tektonischer Typen bei geeigneter Versuchsanordnung experimentell zu erzeugen.

Deckenbildung, Überfaltungs-Tauchdecken, an deren Existenzmöglichkeit viele Geologen noch zweifeln, dazu der neu aufgestellte Typus der Spaltdecken, konnten unter mechanischen Bedingungen, wie wir sie uns etwa in der Natur als wirksam denken müssen (Zusammenschub in der Tiefe unter großem Belastungsdruck, bei nahezu gehinderter Ausweichungsmöglichkeit nach oben, und Stauungswirkung des Vorlandes etc.), oder ausgelöst durch Faciesunterschiede künstlich erzielt werden. Was wir im Experiment herstellen können, muß wohl auch in der Natur möglich gewesen sein; ich glaube also mit den geschilderten Versuchen Material gegeben zu haben, welches zur Klärung unserer Auffassung des Alpenbaus, wie der Tektonik unserer Faltengebirge überhaupt, mit beitragen kann.

Überdies ergaben sich auch neue Erklärungsmöglichkeiten mancher tektonischer Erscheinungen, bei deren Entstehungsdeutung man bisher zu schematisch vorgegangen war,

das gilt besonders für die Zurückführung aller Deckenüberschiebungen auf Falten mit ausgequetschtem Mittelschenkel! Wenn dieser vielgeplagte Mittelschenkel nicht zu sehen ist, braucht er auch durchaus nicht immer dagewesen zu sein; es kann, wie Versuch B zeigt, trotz antiklinaler Umbiegung an der Stirnseite, Spaltdeckenbildung vorliegen (Taf. XVI Fig. 2 Region II). Jedenfalls ermöglichen tektonische Versuche der geschilderten Art einesteils eine Prüfung der bis jetzt im Felde gewonnenen Anschauungen auf ihre Richtigkeit, und eine Identität der Befunde beim Versuch, mit den theoretischen Schlußfolgerungen, welche aus der Feldarbeit gewonnen wurden, nehmen den letzteren die hypothetische Unsicherheit. Andernteils ermöglicht uns z. T. der Vergleich der experimentell gewonnenen Ergebnisse mit Naturprofilen, bisher nicht in ihrer Entstehungsweise richtig gedeutete, oder noch unverständene Profile, umzudeuten, bezw. Klarheit über ihre Genese zu gewinnen. Wir sind imstande, unsere geotektonischen Vermutungen vielfach auf ihre Richtigkeit zu prüfen, sie auf die Basis des exakten Versuches zu stellen.

Besonders tritt bei den Versuchen die ausschlaggebende Wirkung der Auslösungs- und Gestaltungsursachen (Hebungen, Senkungen, eingeschaltete Widerstände, Belastungsintensität, Ausweichungsmöglichkeiten, Facies etc.) zutage, d. h. von wichtigen, ausschlaggebenden Einzelmomenten, über deren Einfluß auf lokale, wie regionale Tektonik durchaus noch keine einwandfreien Vorstellungen herrschen. Bei der überall an der Erdoberfläche herrschenden Kontraktionsspannung kommt es in erster Linie auf die Gebiete an, welche aus diesem oder jenem Grunde Ursache zur Auslösung dieser Spannung geben, welche durch ihre Art und Anordnung die Richtung der faltenden Kraft beeinflussen, überhaupt bedingen, und durch ihre Beschaffenheit diesen oder jenen Falten- oder Überschiebungstypus entstehen lassen.

Bei meinen Faltungsversuchen soll jetzt, nachdem ihre Technik den Anfang zu einer brauchbaren Durcharbeitung erfahren hat, neben systematischen einfachen Versuchen, immer mehr versucht werden, noch stärkere Annäherung an natürliche Verhältnisse zu erzielen. —

Erreicht ist bis jetzt wenigstens, daß ich Faltungen und Überschiebungen an den Stellen meines Versuchsfeldes erhalte, an denen ich sie erhalten will, und daß ich auch die tektonischen Typen erzeugen kann, die ich erhalten will, je nachdem ich die Anordnungen bei den Versuchen unter Vorbedingungen treffe, die ich bei analogen Naturvorgängen für besonders maßgebend halte. Die gewonnenen Ergebnisse sind keine Zufallsprodukte, wie fast alle tektonischen Experimentalergebnisse es bisher waren, sondern es sind die gewollten Folgen bestimmter Versuchsanordnungen, bei denen mir bestimmte tektonische Gebiete in der Natur die Grundlagen für meine tektonischen Maßnahmen gaben.

Es waren stets nur die Vorbedingungen geschaffen worden, die Tektonik mußte sich aus ihnen von allein durch den tangentialen Schub entwickeln.

Auf die vielen sich aufdrängenden Fragen im einzelnen einzugehen, tektonische Detailvergleiche anzustellen, behalte ich mir für eine spätere ausführliche Publikation vor.

Aus den Experimenten ergibt sich klar, daß die Verschiedenartigkeit jurassischer, westalpiner und ostalpiner Tektonik, daß jegliche tektonische Eigenart in erster Linie abhängig ist von der petrographischen Beschaffenheit der Sedimente (i. sp. Härteunterschiede), und von ihrer Lage zueinander. Das kommt regional, wie lokal, in der Natur, wie im Experiment scharf zum Ausdruck. Ferner ist die Entwicklung der Tektonik bedingt durch die Gestaltung des Untergrundes (Hebungen, Senkungen, Ausweichmöglichkeiten und Stauungswiderstände etc), sowie durch die Intensität der Belastung, unter welcher die Dislo-

kation von Schichtkomplexen erfolgt (Ausweichmöglichkeit nach oben). —

Die stratigraphische und tektonische Vorgeschichte eines Gebietes und seiner Umgebung bedingt und bestimmt sowohl in den großen Zügen, wie in kleinsten Einzelheiten die Art der Reaktion auf gebirgsbildende Vorgänge. —

Sowie Mineralogie und Petrographie mächtige Förderung in der Klärung wichtiger Fragen durch das Experiment erfahren haben, so kann auch der exakte geologische Versuch in stärkstem Maße befruchtend und klärend auf die Forschung einwirken. —

Daß die Probleme der Gebirgsbildung insonderheit experimenteller Untersuchung in weitestgehendem Maße zugänglich sind, glaube ich vor allem auch durch meine eigenen Versuche dargetan zu haben. —

Gerade auf diesem Gebiete, auf dem die Hypothese eine so große Rolle spielt, müssen wir experimental werden, um unsere Auffassungen durch den Versuch kontrollieren zu lernen.

Die Experimentalgeologie ist berufen, ein wichtiger Zweig der geologischen Forschungsarbeit zu werden, und ihre Neubelebung, wie ihr systematischer Ausbau, ist dringend zu wünschen.
