

KURZE MITTEILUNGEN ÜBER TEKTONISCHE EXPERIMENTE

MIT 1 TEXTABBILDUNG UND 2 TAFELN

VON

W. PAULCKE.



SONDERABDRUCK

AUS DEN JAHRESBERICHTEN UND MITTEILUNGEN
DES OBERRHEINISCHEN GEOLOGISCHEN VEREINES.

NEUE FOLGE, BD. I, HEFT 2, SEITE 56—66. 1911.



J. LANG'S BUCHDRUCKEREI, KARLSRUHE 1911.

Kurze Mitteilungen über tektonische Experimente.

Mit 1 Textabbildung und 2 Tafeln.

Von W. PAULCKE.

I. Einleitung.

Seit DAUBRÉE, dem Vater der experimentellen Geologie, sind mannigfache geologische Versuche angestellt worden — ich erinnere nur an die wichtigen Arbeiten von FAVRE, CADELL, REYER, BAILEY WILLIS, MELLARD READE — ohne daß bisher die experimentelle Geologie imstande gewesen wäre, zu allgemeiner Anerkennung zu gelangen. — Der Grund für diese mangelnde Beachtung, welche geologische Versuche erfuhren, ist wohl besonders darin zu suchen, daß nur wenigen dieser Experimente eine weitertragende Bedeutung zukommt, weil sie z. T. auf allzu unnatürlichen Versuchsanordnungen beruhen. Manche neuere geologisch-tektonische Versuche zeigen vielfach Selbstverständliches und sind selten dazu angetan, umstrittene Hypothesen zu klären, oder zur Lösung neuer Fragen beizutragen. Das Zwecklose und für die Wissenschaft Ergebnislose vieler mit großer Mühe unternommenen Versuche hat die geologischen Experimente einigermaßen in Mißkredit gebracht.

Ich muß es mir an dieser Stelle versagen, auf früher ausgeführte tektonische Experimente einzugehen, zumal dieselben mir weder die Anregung zu meinen Versuchen gaben, noch deren Ausführungen bedingen. In der ausführlichen Arbeit über dieses Thema wird in einem historischen Teil die geschichtliche Darstellung dieses Forschungszweiges dargestellt werden. —

Seit etwa zehn Jahren, als die Debatte über alpine Tektonik, Überschiebungs- und Deckenbau die Gemüter besonders stark zu erregen begann, faßte ich den Plan, diesen Fragen, außer durch Arbeit im Felde, auch auf experimentellem Wege auf den Leib zu rücken. Zur Ausführung meiner Pläne fehlten mir jedoch die Mittel.

Bald nach meiner Übersiedlung nach Karlsruhe nahm ich meinen alten Plan wieder auf, und richtete an die Großherzoglich Badische Regierung eine ausführlich begründete Eingabe, in der ich um Gewährung von Mitteln aus der v. KETTNER-Stiftung nachsuchte. Dies Gesuch wurde von dem hierfür zuständigen Naturwissenschaftlichen Verein Karlsruhe befürwortet, und in entgegenkommendster Weise erhielt ich 3000 Mark zur Verfügung gestellt, sodaß ich an Konstruktion und Bau verschiedener Apparate gehen konnte.

Der Großherzoglich Badischen Regierung, wie dem Naturwissenschaftlichen Verein Karlsruhe spreche ich hiermit den größten Dank für die meinen Arbeiten gewährte weitgehende Unterstützung aus.

Zu danken habe ich ferner noch folgenden Herren: Dr. ing. STAUSS und STERNBERG, welche mir vielfach bei konstruktiven Einzelheiten vor und während des Baues der Apparate mit ihrem wertvollen Rat zur Seite standen. Die Herren cand. ing. GOCKEL, LYDTIN, WEIRICH, sowie

mein Assistent Dr. HENGLEIN und der Institutslaborant GERTH haben mir unermüdlich bei der Ausführung meiner Versuche geholfen, und sich von früh bis spät während eines großen Teils der Osterferien 1911 der zum Teil sehr anstrengenden Mitarbeit gewidmet. Ihrer tatkräftigen Mithilfe verdanke ich auch manchen wertvollen Gedanken zur Verbesserung der Versuchsanordnung. Ohne ihre aufopfernde Tätigkeit wäre eine so rasche Förderung brauchbarer Resultate nicht möglich gewesen. Frl. L. WILBERG gebührt mein Dank für die sorgfältige Zeichnung der Profile.

Zur Beantwortung von einer Reihe geotektonischer Fragen konstruierte ich mir drei durchaus verschiedene Apparate, um nach den verschiedensten Gesichtspunkten angeordnete Versuchsreihen ausführen zu können. An dieser Stelle soll vorderhand nur kurz von den Ergebnissen die Rede sein, welche mir der eine meiner Apparate lieferte.

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 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 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.

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 Faltungsanordnungen, 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.

Wenn ich nun aber 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 Laboratoriumsversuch gewesen sein dürften.

II. Die tektonischen Versuche.

Wir wissen, daß die gebirgsbildenden Kräfte zur Bildung von Faltungen und Überschiebungen in erster Linie in Sedimentargebieten ausgelöst werden; und zwar in den Geosynklinalgebieten, in denen eine mächtige Folge geschichteter Gesteinskomplexe abgelagert waren. Meines Erachtens ist das Vorhandensein zahlreicher Schichtflächen die wichtigste Vorbedingung für die tektonische Bewegungsreaktion 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 einer¹⁾ 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.

Ich gehe von einem Schichtkomplex aus, bei dem harte Schichten mit weichen regelmäßig wechsellagern (Verhältnisse, wie sie z. B. recht ähnlich im Schweizer Jura und in der helvetischen Region der Alpen herrschen); dabei wähle ich weiche, natürliche Tone und abgebandenen

¹⁾ 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.

harten Gips. Zur späteren leichteren Entwirrung tektonischer Komplikationen wurden Tone verschiedener Färbung gewählt. Der Gips wurde künstlich gefärbt.

Diese Gips- und Tonschichten wurden in regelmäßiger Wechsellagerung in den Tektonischen Apparat eingebracht, und zwar ließ ich den Gips natürlich ganz abbinden, um wirklich harte, spröde, widerstandsfähige Schichten zu erhalten, und etwa eine Wechsellagerung von kalkigen mit tonigen Gesteinen nachzuahmen. Mit weichen, breiigen Massen zu arbeiten, wie dies mehrfach anderweitig geschehen ist, hätte natürlich wenig Zweck, zumal die wichtigsten tektonischen Typen durch das Auftreten harter **und** weicher Gesteine, bezw. das Vorwiegen oder Zurücktreten des einen gegenüber dem anderen dieser Gesteinskomplexe bedingt sind.

Es würde mich an dieser Stelle zu weit führen, über die Art des Einbringens der Schichten in den etwas weniger wie 2 m langen und 1 m breiten Apparat zu berichten; in einer ausführlichen Darstellung meiner Versuche werden diese Dinge natürlich auch eingehende Behandlung finden. Das Gleiche gilt von der Konstruktion des Apparates selbst, über den hier nur kurz folgendes gesagt werden soll:

Der Apparat ist äußerlich im Prinzip ähnlich gebaut, wie alle Apparate zur Herstellung von Faltenbildungen, d. h. er besteht u. a. aus einem viereckigen Kasten, dessen eine Wand (an der Schmalseite) derart vorwärts bewegt werden kann, daß die in den Kasten eingebrachten Schichten damit zusammengeschoben werden können. Im Grundprinzip also wie alle bisher konstruierten Apparaten, welche einfachen Zusammenschub von Schichten ermöglichen.

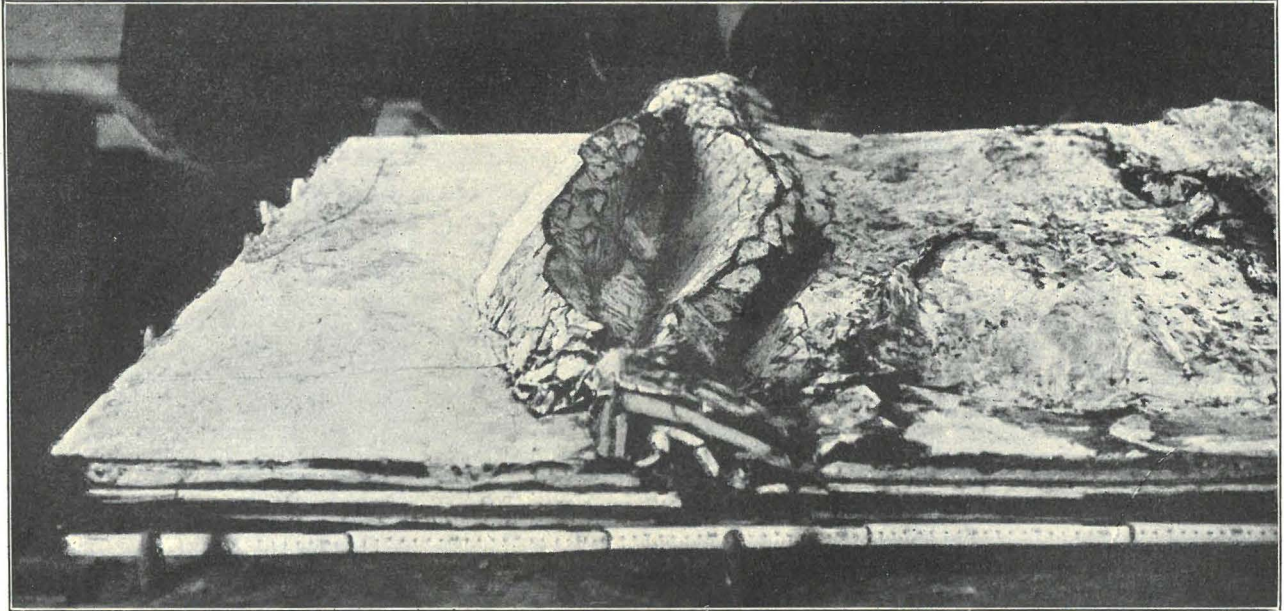
Mit solch einfachem Zusammenschub läßt sich nun aber nicht viel anfangen, wenn nicht weitere wichtige Vorbedingungen erfüllt werden.

Vor allem dürfen wir nie vergessen, daß alle tektonischen Bilder, die wir jetzt an der Oberfläche sehen — besonders in den Faltungs- und Deckengebieten der Alpen — Tiefenbilder sind, daß alle diese tektonischen Typen einst unter starkem Druck in großer Mächtigkeit auflastender Sedimente entstanden sind, und erst nach und nach durch Verwitterungs- und Erosionsvorgänge herauspräpariert und unseren Blicken zugänglich gemacht wurden.

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. Harte (klingende) Gipsschichten würden ja auch sonst völlig zersplittern, und bald ein regelloses Durcheinander mit den Tonmassen bilden.

Aus diesem Grunde wurde schon der erste Apparat sehr kräftig aus Eisen gebaut, sodaß er ohne Schaden eine Belastung von ca. 350 Zentnern aushielt. Der neue Apparat wird für noch stärkere Belastungsmöglichkeit eingerichtet werden.

Weiter mußte bei der Konstruktion des Apparates darauf Bedacht genommen werden, daß in der Natur offenbar Niveaudifferenzen im Faltungsgebiet, wie in seinem Vor- und Hinterland eine gewichtige Rolle bei der Gestaltung des tektonischen Baues mitgespielt haben. Es muß die Möglichkeit geboten sein, maschinell an den verschiedenen Stellen des Versuchsfeldes Hebungen und Senkungen des Untergrundes usw. jederzeit lokal, wie regional bewerkstelligen zu können. Eine weit-



Paulcke phot.

Abb. 1. Antiklinalen in einem Senkungsgebiet entstanden, mit seitlicher Bündelung und Faltenüberschiebungen in den ungesenkten Randgebieten.

gehende Variation in Belastung und Entlastung der zu faltenden Schichten mußte lokal, wie regional gleichfalls möglich sein.

Ferner kann bei Einbringung der Schichten nach verschiedenen erprobten Methoden in beliebiger Weise bezüglich Mächtigkeit wie Konsistenz Fazieswechsel erzeugt werden, und zwar jeweils in gewünschten Zonen, sodaß auch Studien über das Verhalten mechanisch verschieden widerstandsfähiger Fazieskomplexe bei Einwirkung von tangentialem Druck gemacht werden können. Mit diesem Apparat ist also eine fast unabhgbare Folge verschiedener Anordnungsmöglichkeiten von tektonischen Versuchen durchführbar.

An dieser Stelle soll vorläufig nur über einige, wie mir scheint, allgemein interessante und wichtige Versuchsergebnisse berichtet werden.

Versuch A. (Abb. 1.)

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 starker Belastung der Schichtkomplex zusammengeschoben, und es ergab sich:

1. eine Stauungszone an der Druckwand, und
2. 2 Antiklinalen und Ansatz einer dritten im Senkungsgebiet, mit Bündelung derselben zu einer Falte in der Region der nicht gesenkten Seitenteile, oberhalb welcher eine einfache Faltenüberschiebung entstand.

Das Ergebnis ist also: Bei Einwirkung tangentialem 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 Platz zur Bildung von Falten gegeben wird. Gegen die Seiten zu, an denen Senkung nicht stattfand, erfolgte Bündelung der Falten und Bildung einer Faltenüberschiebung in dieser Gegend stärkeren Stauungswiderstandes (vergl. Abb. 1).

Das experimentell gewonnene Faltenbild entspricht im Prinzip durchaus 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 der Hauenstein, die Lägern etc. als deutliche Faltenüberschiebung ausgebildet ist. Wir befinden uns hier im Schweizer Jura in dem großen Senkungsgebiet zwischen Schwarzwald, Vogesen und französ. Centralplateau, in welchem das Juragebirge gegen das Pariser Becken verfluthete und sehen ähnliche Bilder im gleichfalls gesenkten Hinterland dieses Gebietes: der Region des Chablais und der Freiburger Alpen, deren Ketten auch nach den höher gelegenen Seitenregionen Converganz, d. h. deutliche Tendenz zur Bündelung zeigen. Ähnliche Verhältnisse liegen für das diese Bündelung gleichfalls aufweisende Sämtisgebirge vor, und es könnte die Zahl der Vergleichsbeispiele noch weiter vermehrt werden.

Jedenfalls zeigt das Experiment deutlich, unter welchen mechanischen Vorbedingungen derartige Faltung mit seitlicher Bündelung etc. entsteht. Auf weitere interessante Einzelheiten des Befundes, welche sich bei diesem Versuch ergaben, und auf die daraus zu ziehenden Schlußfolgerungen soll

hier nicht eingegangen werden. Vor allem unterlasse ich hier auch eine Darstellung der wichtigen Vorgänge in dem rückwärts der Senkungszone gelegenen Gebiet, zumal für Wiedergabe der Querprofile der Raum fehlt.

Versuch B (Tafel I u. II):

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

Über einer basalen Sandschicht waren wieder 8 Schichten wechselnder Ton und harte Gipsschichten von insgesamt 4—4,5 cm Mächtigkeit in den Apparat eingebracht worden, 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 330 Zentner, in der rückwärtigen Region war die Gewichtsbelastung verstärkt, die Ausweichmöglichkeit der Schichten nach oben stark erschwert worden.

Das Ergebnis, welches z. T. aus Tafel I und II 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 MÜHBERG's Profil durch die Mümliswiler Klus (Farisberg) erinnert, wobei in erster Linie die harten (Gips)Schichten zerrissen wurden, während die plastischen Ton-schichten zwar z. T. ausgedünnt wurden, aber den Zusammenhang — besonders im Kern der Antiklinale — noch bewahrten. Der Stauungs-widerstand übertrug sich weiter auf die rückwärtigen Regionen, und es erfolgte

1. dicht hinter der Faltenüberschiebung Abspaltung der oberen harten Schicht und Bildung einer Überschiebungsdecke, an der nur die 2 oberen Schichten beteiligt sind;
2. erfolgte in Region II eine abermalige Abspaltung, diesmal von den 3 oberen Schichtgliedern und Bildung einer zweiten Überschiebungsdecke. Tafel I u. II Abb. 1 Profil a u. b.

Wie Taf. II Abb. 1 Prof. 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 irr tümlichen Auffassung Veranlassung geben, es läge hier eine Faltenüberschiebung mit ausgequetschtem Mittelschenkel vor.

Beim Vergleiche von Profilen Taf. I Abb. 2 aus dem Walenseegebiet (Profil vom Neuenkamm) 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 zutun haben, d. h. daß hier, wie auch sonst in der nördlichen helvetischen Kalkzone der geschilderte Deckentypus vorliegt, für den sich die Bezeichnung **Spalt-**

decke¹⁾ vorschlage (cfr. Säntis- und Pilatusdecke und entsprechende westliche Decken). Die unvollständige Schichtenfolge ist in diesen Fällen nicht durch Reduktion des Mittelschenkels entstanden, sondern durch Abspaltung und Überschiebung der oberen (Kreide) Schichtkomplexe, welche durch Stauungsvorgänge sekundär am Stirnrand) antiklinale Umbiegung erfahren haben.

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

Region III Taf. I Abb. 1 Prof. a. Die Betrachtung von Region III zeigt eine in höchstem Maße überraschende Analogie in der Entwicklung von Überfaltungsdecken, wie dieselben z. B. für die Berner und die westlichen Kalkalpen, i. sp. die Diableretsgegend u. a. angenommen wird. In dieser Gegend von Region III des Versuchs B sehen wir eine 4—5malige Übereinanderlagerung der Schichten. Wir sehen Tauchdeckenbildung (mit antiklinaler 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, 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 Taf. I Abb. 3 weist neben mancherlei Abweichungen überraschende habituelle 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 Spaltungsdecken etc.) eine Erscheinung, die vollkommen mit den Verhältnissen in der Natur übereinstimmt.

Von Interesse ist weiter der Vergleich des tektonischen Bildes von Versuch B, welches im Profil b Tafel II Abb. 1 wiedergegeben ist, mit HEIMs theoretischem Profil durch das Säntis-Walenseegebiet Tafel II Abb. 2. Wir sehen hier eine in der Tiefe 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 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 Überschiebungen beobachten, kurz all' die vielen tektonischen Unregelmäßigkeiten, welche so oft die Deutung der alpinen Profile erschweren, vermögen wir Schritt für Schritt in ihrer Genese verfolgen.

¹⁾ Spaltdecken gehen nicht aus Falten hervor, und sind u. a. dadurch gekennzeichnet, daß die oberen Komplexe von einer Schichtserie losgespalten, von ihrer normalen Unterlage losgelöst, und über jüngere Schichten des Vorlandes hingeschoben werden, wobei entweder eine glatte Überschiebung erhalten bleiben, oder sekundäre Faltung eintreten kann. Im Gegensatz zur „Spaltdecke“ bleibt bei BUXTORFS „Abscheerungsdecke“ der abgescheerte Komplex auf seiner alten Unterlage, auf welcher er nur weitergleitet. (Oberrh. Geol. V.-Bericht XXXX.)

Bei den Profilen a und b Abb. 1 Tafel I und II 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 (Abb. 1 Tafel I und II Region III) entspricht dem Gebiet stärkster Belastung und geringster Ausweichmöglichkeit der Schichten nach oben; dabei kam es zur Bildung echter Überfaltungsdecken. Wir dürfen wohl annehmen, daß auch in der Natur die Überfaltungsdecken als tiefste Tiefengebilde unter dem stärksten Druck entstanden sind, während Spaltungsdecken unter geringerem Druck entstehen und normale steil stehende Faltung (mit regelmäßigen Antiklinalen und Synklinalen, 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 Falten eine ausschlaggebende Rolle.

Für die Entstehung von Spaltungsdecken scheint mir auch besonders die petrographische Beschaffenheit der Sedimente von ausschlaggebender Bedeutung zu sein. Spröde harte Schichten (Gipsschichten Nr. 7 u. 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 derselben von ihrer Unterlage. —

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

Schlußbemerkungen.

Die kurz bemessene Sprechzeit gelegentlich des Vortrages über meine tektonischen Versuche, wie der beschränkte Raum gestatten an dieser Stelle kein näheres Eingehen auf weitere Befunde, wie auf viele wichtige Einzelheiten, und die vielseitigen, aus den Versuchen zu ziehenden Schlußfolgerungen.

Genauere Angaben über Bau der Apparate, Maße, wie Belastungsgewichte, mechanische Überlegungen etc. etc. mit zahlenmäßigen Belegen werden an anderer Stelle ausführlich gegeben werden, ebenso wird dann die einschlägige Literatur Berücksichtigung finden.

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

Weitgreifende 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 (Zusammen-

schub in der Tiefe unter großem Belastungsdruck, bei nahezu gehinderter Ausweichungsmöglichkeit nach oben, und Stauungswirkung des Vorlandes) künstlich erzielt werden. Was wir im Experiment herstellen können, muß wohl auch in der Natur mechanisch möglich gewesen sein; ich glaube also mit den geschilderten Versuchen Material gegeben zu haben, welches der modernen Auffassung des Alpenbaus, wie der Tektonik unserer Faltengebirge überhaupt, eine neue Stütze verleiht, und welches geeignet ist, die Gegner der Deckentheorie, von ihrer ablehnenden Haltung abzubringen.

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. II Abb. 1 Region II.) Jedenfalls ermöglichen tektonische Versuche der geschilderten Art einerseits 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 andererseits die hypothetische Unsicherheit. Andernteils ermöglicht uns der Vergleich der experimentell gewonnenen Ergebnisse mit Naturprofilen, bisher nicht in ihrer Entstehungsweise richtig gedeutete, oder noch unverstandene Profile, um zudeuten, 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 klar 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.

Meine Faltungsversuche werden jetzt, nachdem ihre Technik den Anfang zu einer brauchbaren Durcharbeitung erfahren hat, vor allem unter stärkerem Belastungsdruck (bisher 300—350 Ztr.) ausgeführt werden. Die Apparate sind so gebaut, daß eine schier unendliche Variationsmöglichkeit der Versuchsanordnung gegeben ist, sodaß ich in der Lage zu sein glaube, auf die verschiedensten durch die Natur gegebenen Fragestellungen auf experimentellem Wege Antwort geben zu können.

Vor allem habe ich schon u. a. auch erreicht, 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, sondern die gewollten Folgen bestimmter Versuchsanordnungen, bei denen mir bestimmte tektonische Gebiete in der Natur die Grundlagen für meine tektonischen Maßnahmen gaben, und ich hoffe, auch bald noch vollkommenerere Ergebnisse vorweisen zu können.

Vorerst sollte diese kurze Mitteilung nur über einige Ergebnisse berichten, welche, wie ich hoffe, auch dazu angetan sind, dem geologischen Experiment zu größerer Wertschätzung zu verhelfen, als ihm bisher entgegengebracht wurde.



Paulcke: Kurze Mitteilungen über tektonische Experimente.

Region I

mit gehobenem Untergrund.

Faltenüberschiebung; Spaltdecke 1 mit Ueberschiebung von Schicht 8 und 9 auf 8 und 9 der vorderen Faltenüberschiebung.

Region II.

Spaltdecke 2 mit Ueberschiebung von Schicht 7, 8 und 9 auf 8, 9 und 10.

Region III.

Ueberfaltungsdecken und Tauchdecken.

Ungestörtes Vorland mit normaler Schichtenfolge.

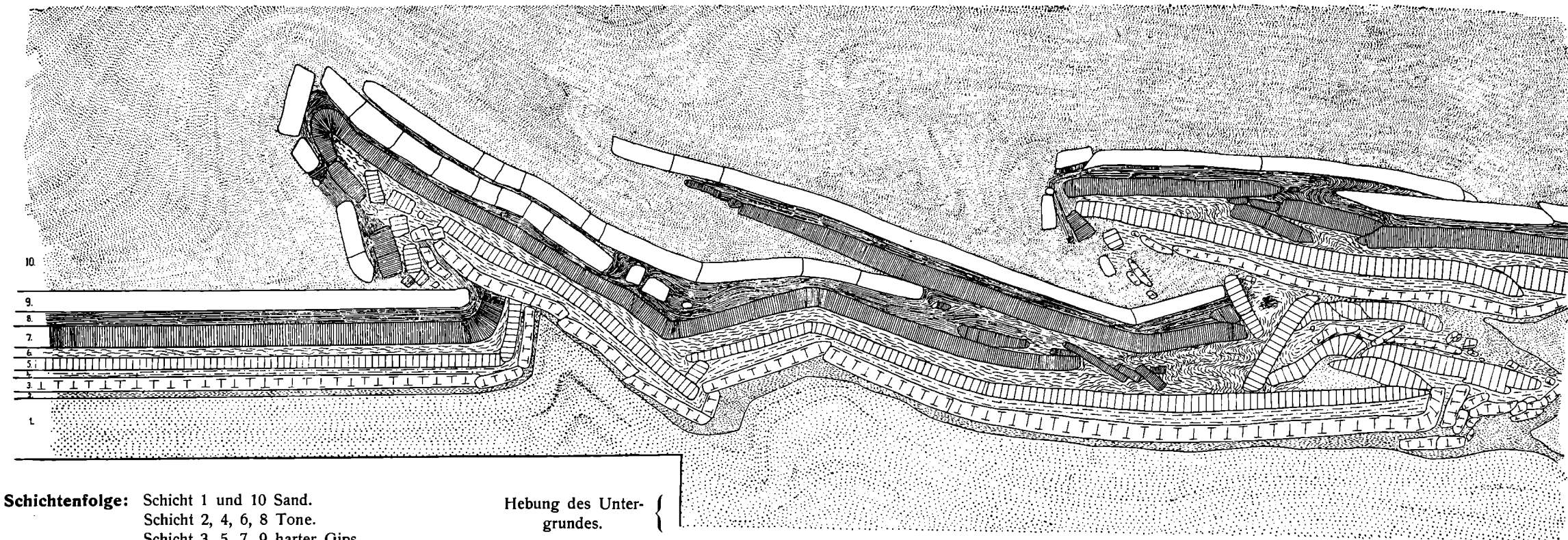


Abb. 1. Profil a. durch die Ueberfaltungs- und Ueberschiebungsgebiete von Versuch B.

Ann.: Unter der Tauchdecke ist irrtümlicherweise im synklinalen Winkel von Schicht 5 statt Ton No. 6 Sand gezeichnet worden.

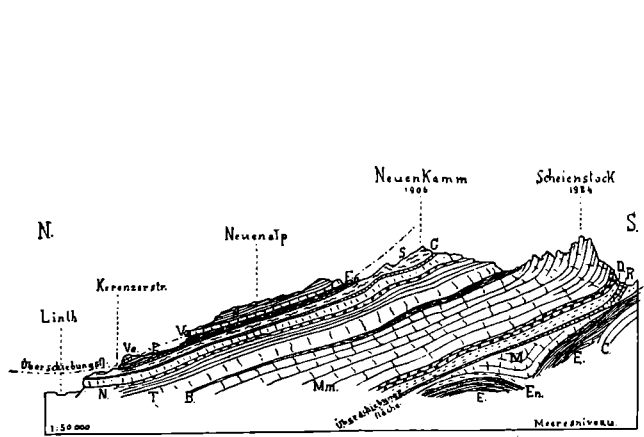


Abb. 2. Verzeichnisprofil zur Spaltdecke 1 der Region I. Schnitt durch den Neuenkamm (nach OBERHOLZER).

Schichtenfolge: A. Schiltkalk (Argovien), B. Balfriesschiefer (Oberer Malm); C. Kreide; D. Dogger; En. Nummulitenkalk; G. Gault; Mm. Hochgebirgskalk (Mittlerer Malm); N. Neocom; R. Rötidolomit; S. Seewerkalk; T. Tithon; U. Urgon; V. Verucano; Va. Valangien.

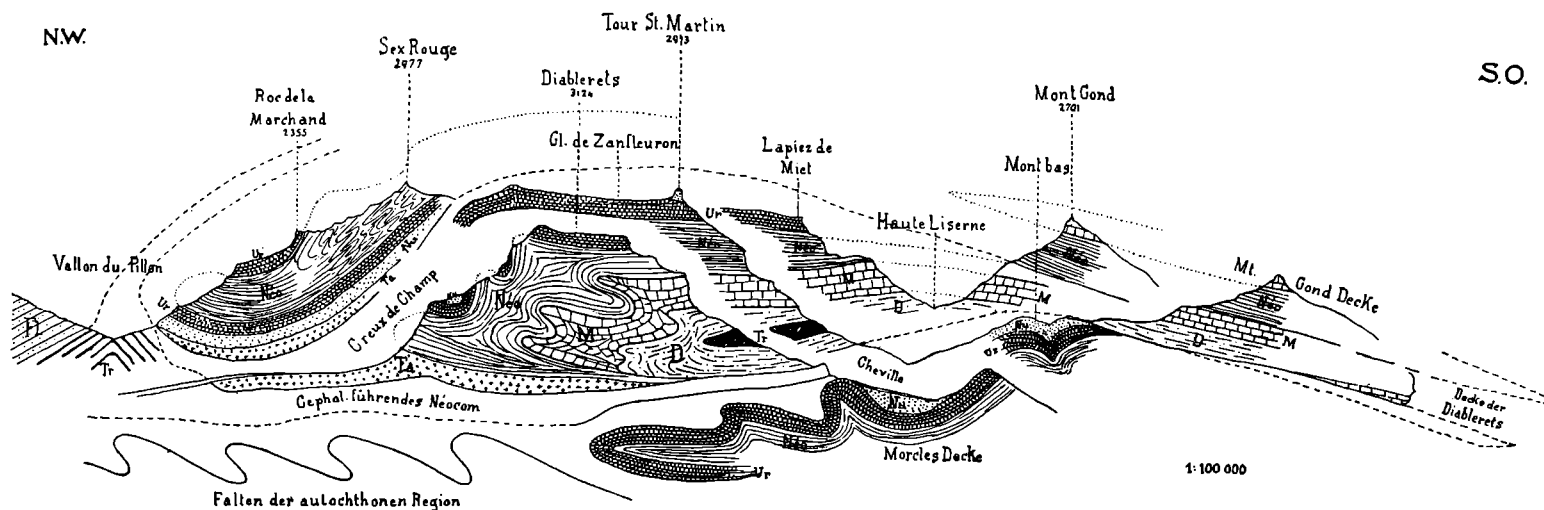


Abb. 3. Vergleichprofil zu den Ueberfaltungs- und Tauchdecken der Region III. Schnitt durch die helvetischen Kalkhochalpen (nach LUGEON).

Paulcke: Kurze Mitteilungen über tektonische Experimente.

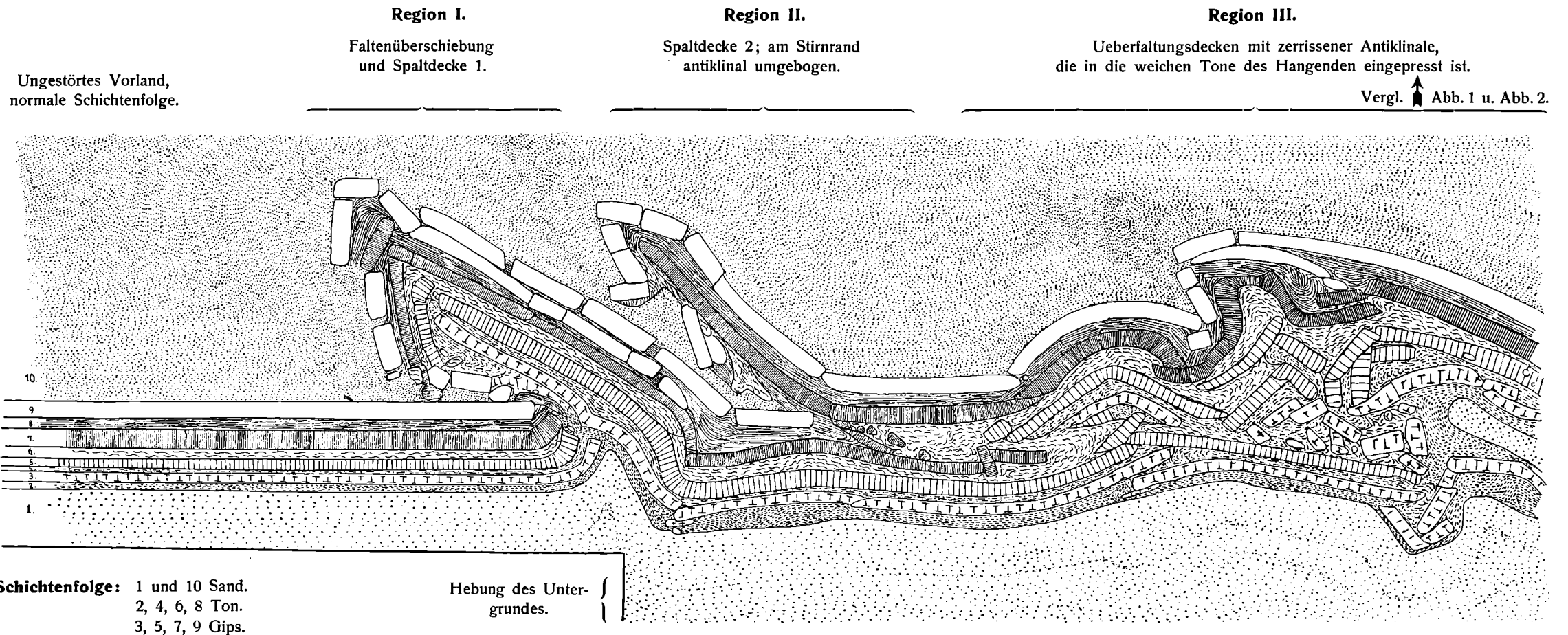


Abb. 1. Profil b. durch die Ueberfaltungs- und Ueberschiebungsgebiete von Versuch B. ↑

Säntisdecke = antiktinal umgebogene Spaltdecke.

Mürtschendecke vergl. eingepresste, zerrissene Antiklinale Abb. 1. Reg. III. bei ↑

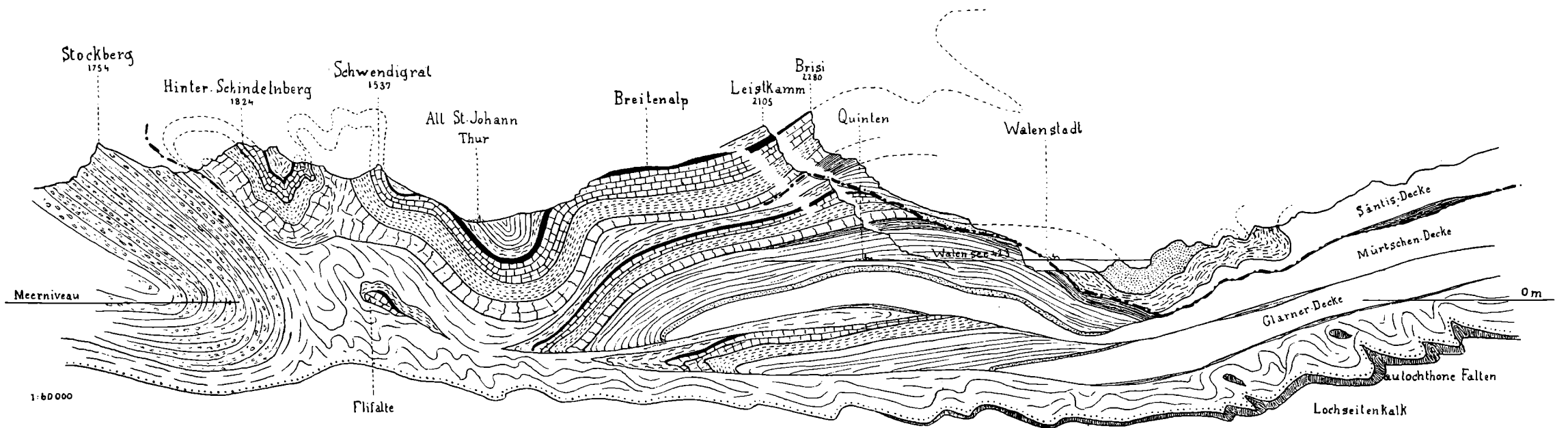


Abb. 2. Vergleichsprofil zu den Spalt- und Ueberfaltungsdecken von Profil b. des Versuch B. Theoretisches Profil durch den nördlichen Alpenrand im Säntis-Churfürstengebiet (nach Alb. HEIM.) ↑