

*distinctum* führt<sup>1</sup>. Weiter vergleicht er mit der Nürtinger Fauna die von SCHMIERER bei Hechingen beobachteten „an alpine Formen erinnernden“ *Psiloceras*-Arten<sup>2</sup>. SCHMIERER gibt nur an, daß sich das Lager dieser Ammoniten unmittelbar unter der Oolithenbank, also unter der Proarietenzone, befindet. Nach den viel deutlicheren Angaben von MÜLLER<sup>3</sup> kann es sich nur um die 40 cm unter der Oolithenbank auftretende Lumachelle handeln, die nach MÜLLER *Psil. subangulare* und *Psil. Johnstoni*, nach neueren Angaben von SCHMIERER<sup>4</sup> auch noch *Alsatites laqueolus* SCHL. führt. Der biostratigraphische Vergleich führt somit zur Gleichsetzung der Faunen von Unterhallau und Hechingen, die unmittelbar unter die Proarietenzone einzureihen sind. Damit stimmt auch die stratigraphische Lage vollständig überein; die Hechinger Fauna liegt 40 cm unter der Oolithenbank und etwa 5 m über der Pylonotenbank, die Unterhallauer Fauna 70 cm unter der oberen Pylonotenbank. Daraus folgt mit zwingender Notwendigkeit, daß die badische untere Pylonotenbank viel jünger ist als der schwäbische Pylonotenkalk. Sie muß nach den vorausgegangenen paläontologischen Vergleichen wenig unter die Oolithenbank eingereiht werden. Dasselbe Ergebnis liefert ein Vergleich der Ostreen. Bei Hechingen findet sich in der in Rede stehenden Bank *Ostrea rugata*. Dieselbe Form tritt bei Unterhallau häufig neben der ebenfalls zahlreich vertretenen *Ostr. irregularis* auf. Die Häufung der letztgenannten Form ist nach W. LANGE für die Proarietenzone bezeichnend, während sie in den tieferen Zonen immer seltener auftritt. Auch diese Tatsache zeigt uns, daß die badische untere Pylonotenbank zeitlich in die Nähe der Oolithenbank gestellt werden muß.

Unter Berücksichtigung dieser Feststellungen ist es dann unmöglich, die badische obere Pylonotenbank mit der viel tiefer liegenden schwäbischen Pylonotenbank zu verbinden, wie M. SCHMIDT und PRATJE annehmen. Für erstere bleibt keine andere Verbindung als mit der schwäbischen Oolithenbank. Denn die Oolithenbank läßt sich südwärts durchgehend bis Sunthausen, die badische obere Pylonotenbank nordwärts bis Aasen verfolgen. Verbinden wir jene aber im Sinne von M. SCHMIDT und PRATJE mit der badischen *Angulatus*-Bank, dann müßte auf der kurzen Strecke von 3 km die bei Pföhren noch über 1 m mächtige obere Pylonotenbank nordwärts auskeilen. Das wird aber kaum jemand annehmen, der die süddeutschen Verhältnisse aus eigener Anschauung kennt.

(Schluß folgt.)

<sup>1</sup> LANGE, Über die Pylonotenstufe und die Ammonitenfauna des unteren Lias Norddeutschlands. Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanst. 1923. Bd. 44. p. 186.

<sup>2</sup> SCHMIERER, Bericht über die Aufnahmen auf Blatt Hechingen. Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanst. 1913. II. p. 716.

<sup>3</sup> MÜLLER, a. a. O. p. 451.

<sup>4</sup> SCHMIERER, Erl. z. geol. Karte v. Preußen. Blatt Hechingen. p. 26.

## Der Begriff „Scherung“ in der Tektonik.

Von Robert Schwinner.

Mit 1 Textfigur.

Aus den Bemerkungen, die M. WEBER neulich<sup>1</sup> meinem kleinen Aufsatz<sup>2</sup>: „Scherung, der Zentralbegriff der Tektonik“ gewidmet hat, muß ich leider schließen, daß meine damalige Darstellung nicht überall deutlich und klar genug gewesen ist<sup>3</sup>. Ich habe mir ja Mühe gegeben, das Geheimnis der sog. Tensortripel auseinanderzusetzen, und doch ist gerade dieser Hauptpunkt ganz mißverstanden worden. Ich kann da nur nochmals und vielleicht schärfer betonen, daß man an einem Element eines deformierten Körpers ein räumliches System von Dilatationen (Verzerrungen = Verschiebung pro Längeneinheit) feststellen kann<sup>4</sup>, unter denen ausgezeichnet sind drei aufeinander orthogonale reine Normaldilatationen (Maximum, Minimum, Sattelpunkt), und diagonal zur größten und kleinsten Normaldilatation die zwei maximalen Scherungen (= Tangentialdilatationen). Alle diese Dilatationen hat man sich als gleichzeitig bestehend vorzustellen, es ist eben eine dreidimensionale Mannigfaltigkeit aus solchen linearen gerichteten Größen nötig, um die räumliche Verzerrung des Körperelementes zu beschreiben. Wohlverstanden, hier handelt es sich um rein geometrische Größen. Durch die Verzerrung werden in dem betreffenden Körperelement Spannungen geweckt (Druck = Gegendruck pro Flächeneinheit, in bestimmter Richtung auf ein gegebenes Flächenelement wirkend) und die bilden allerdings wieder ein analoges räumliches System aus Normal- und Tangentialspannungen. Aber der Zusammenhang zwischen dem geometrischen System der Verzerrungen und dem dynamischen System der Spannungen ist keineswegs so einfach; nur bei isotropen elastischen Körpern fallen die Hauptrichtungen beider

<sup>1</sup> Dies. Centralbl. 1927. B. Nr. 6. p. 244.

<sup>2</sup> Dies. Centralbl. 1924. 469—479.

<sup>3</sup> Immerhin glaube ich, daß das Mißverständnis nicht an allen Stellen mir allein zu Lasten gebucht werden darf. So mag Fig. 3, p. 475 dortselbst, grob und übertrieben ausgefallen sein, aber daneben steht *expressis verbis*, daß ich Dilatationen gezeichnet habe, nicht Spannungstrajektorien, wie WEBER meint. Und da spielt die Winkelschiefe des Schiebungsparallelepipeds gar keine Rolle, sofern sie nur nicht allzu groß ist — also ganz das Gegenteil dessen, was WEBER behauptet! In jedem Fall stehen bei der angegebenen Deformation (Ausquetschung eines plastischen Körpers zwischen festen Backen, an denen er haftet) die Hauptdilatationsachsen diagonal zu  $s$  und zur Richtung des auf die Backen ausgeübten äußeren Druckes. Das ist bei einer Schiebung geometrisch notwendig, ganz unabhängig vom Betrag des Schiebungswinkels.

<sup>4</sup> Vgl. l. c. p. 471 und Fig. 2.

Systeme zusammen. (Ich bin mit gutem Grund nicht weiter darauf eingegangen.)

WEBER schreibt nun, „daß Normaldruck jedesmal in schiefen Scherungsdruck umgelenkt wird“ bzw. „daß bei Steckenbleiben der Gleitung wieder Normaldruck einsetzt“. Er scheint also zu glauben, daß Normaldruck und „schiefer“ (sic!) Scherungsdruck Dinge sind, die sich eigentlich gegenseitig ausschließen und daher nur zeitlich nacheinander, bzw. nur dank der Wirkung eines besonderen Mechanismus nebeneinander vorkommen könnten. Wie oben ausgeführt, ist genau das Gegenteil richtig: Normaldruck und Scherungsdruck sind im allgemeinen (singuläre Fälle ausgenommen) untrennbar miteinander verbunden. Allerdings ist die Ausdrucksweise der zitierten Stellen nicht ganz klar und scharf zu fassen. Es ist doch nicht ganz sicher, ob der Autor wirklich die inneren Spannungen meint und nicht vielleicht — was Parallelstellen argwöhnen lassen — irgendwelche äußere Einwirkungen. Und dann zieht er — unnötigerweise — den Fall herein, daß der Kräfteplan sich im Laufe der Bewegung merklich ändern würde. Es ist offenes Mißverständnis, das auf meine Deduktion zu beziehen. Ich habe mit gutem Grund vermieden, eine solche unübersehbare Komplikation in den elementaren Gedankengang einzuschalten. (Erst in dem Beispiel p. 476 ff. l. c. habe ich eine solche Möglichkeit — anhangsweise — angedeutet.)

Die Frage, welche ich aufgeworfen habe, ist die, welche Beziehungen eventuell auftretende Trennungen im Gesteinsgefüge zu dem oben dargelegten System der Elementardilatationen haben. Nun: in der Richtung einer rein normalen Zusammendrückung (NB. gemeint ist die Dilatation, nicht die Druckkraft!) werden die Teilchen des Körpers (z. B. die Atome des Kristallgitters) einfach einander genähert: außer der elastischen Reaktion kann da gar nichts passieren. In der Richtung reinen (normalen) Zuges werden die Teilchen voneinander entfernt, dadurch kann schließlich die Attraktion benachbarter Teilchen völlig überwunden werden, der Körper „zerreißt“. Es ist allerdings die Frage, ob solcher reiner Zug-Riß häufig realisiert ist; so setzt sich bei Einkristalldrähten der Zug zuerst in ein System von Schiebungen um, und ich glaube, daß bei genauer Feinuntersuchung die zackigen Zugrisse sich größtenteils als Treppen von Scherrissen erweisen würden. Aber makroskopisch, im Maßstab der gebräuchlichen tektonischen Formen besteht der Begriff Zugriß zweifellos zu Recht. Häufig aber sind sie, nach übereinstimmender Ansicht aller Tektoniker, nicht. Die Kennzeichen des echten Zugrisses sind mehr negativer Art. In einem homogenen, homogen deformierten Körper wäre Ort und Richtung des Zugrisses theoretisch gänzlich unbestimmt, bei realen Körpern hängen sie ab von Ungleichmäßigkeiten in Spannungsverteilung, Elastizität und Festigkeit. Jedenfalls ist ihre Fläche nicht glatt, und stets ohne Rutschstreifen. Tangentialdilatationen (Scherungen) können inner-

halb der Elastizitätsgrenzen und in Kristallgittern auch zu einem nicht unbeträchtlichen Ausmaß über diese hinaus ohne Trennung des Zusammenhanges sich auswirken, bei weitergehender Durchbewegung aber diskontinuierlich an diskreten Scherflächen (meist an den s-Flächen SANDER's). Diese Scherflächen sind glatt, mit Rutschstreifen versehen (Zeugnis der tangentialen Verschiebung) und sie liegen ungefähr halbierend zwischen der Richtung der größten und der kleinsten Normaldilatation (jedenfalls können sie nie mit einem Hauptschnitt des Dilatationsellipsoides zusammenfallen). Mit Druck-Zug-Scherung sind die Äußerungen der Deformation erschöpft. Und daher ist die Aussage, daß echte Zugrisse selten sind (was allgemein angenommen wird, und mit Recht) äquivalent mit dem Satz, daß die überwiegende Menge der Trennungsflächen, Klüfte, Schieferungen, Verwerfungen usf. Scherflächen sind.

Es muß nochmals hervorgehoben werden, daß alles bisher Besprochene sich auf das (kleine) Raumelement und seine Deformation bezieht. In diesem kleinen Maßstab sind die Verhältnisse einfacher und übersichtlicher. Wie sich nun aus den Raumelementen der Körper aufbaut, so summiert sich aus jenen Elementardeformationen seine schließliche Verzerrung. Es ist einer der gewöhnlichen Fehler der Tektoniker, diese beiden Größenordnungen zu verwechseln und besonders bei technologischen Versuchen — vor denen ich deswegen neuerlich warne —, die äußeren Kräfte, mit denen der Apparat angreift (oder doch anzugreifen scheint) ins Innere des Werkstückes zu verlegen. Ein Zeugnis dafür ist der anscheinend nicht auszrottbar Aberglauben an „Schieferung senkrecht zum Druck“ und „Klüftung in der Druckrichtung“, beidemals aus mißverstandenen Laboratoriumsversuchen stammend (dies. Centralbl. f. M. etc. 1924. p. 473, 475). Über Schieferung ist andernorts mehrfach (von SCHMIDT, SANDER und mir) alles Nötige ausführlich gesagt worden. Drum nur einige Worte zum zweiten Fall (den auch WEBER wieder bringt): Denke man sich z. B. ein kubisches Gitter von X und — X her stark zusammengedrückt, so müssen sich die Gittermaschen in der Y, Z-Ebene dehnen und es ist denkbar, daß dabei die Gitterpunkte über ihren Anziehungsbereich voneinander entfernt werden könnten, allgemein ausgedrückt, daß die Querdilatation den Körper sozusagen zerreißt. Streng realisierbar ist das wohl noch weniger als der reine Zugriß (s. oben). Wollte man aber jene ungleichförmigen Ablösungen (vermutlich aus lauter Stücken von Scherflächen kombiniert) als Beispiel gelten lassen, wie sie mit Laboratoriumskunstgriffen, durch welche das Übergehen in diagonale Scherung verhindert wird, so fehlt doch jede Andeutung, daß Ähnliches in der Tektonik vorkommt. Was oft dafür ausgegeben wird, die Querklüfte („Q-Klüfte“ im Sinne von H. CLOOS), darf man nicht hieher rechnen; denn ihr Kennzeichen ist ganz im Gegensatz zu den zackigen, gestuften Zugrissen, das ebene Durchstreichen auf großen Flächen,

die Glättung, das häufige Vorkommen von Rutschstreifen, d. h. die Zeugnisse von tangentialer Bewegung, wie eine solche im Hauptschnitt des Dilatationsellipsoides nicht zustande kommen kann!

Zum Abschluß dieser theoretischen Vorbemerkungen muß ich mich allerdings gegen die Einleitungsworte WEBER's verwahren. Es wäre mir sehr unangenehm, wenn ich den Eindruck erweckt hätte, ich hätte die vorstehenden Sätze „nachzuweisen gesucht“, (wie etwas Neues); und derart in Verdacht käme, Altbekanntes als geistiges Eigentum usurpieren zu wollen. Wenn der allgemeine Hinweis am Beginn meines Aufsatzes (l. c. p. 469) nicht genügt hat, so sei hier noch einmal gesagt, daß meine Absicht nur war, einige Bezeichnungen und Begriffe aus der Mechanik des Kontinuums dem geologischen Publikum mundgerecht zu machen, ohne welche offensichtlich über die heute im Brennpunkte des Interesses stehenden Fragen der Groß- und Feintektonik eine Verständigung schwer möglich ist. Mein Ziel war kurz gesagt nicht mehr und nicht weniger als eine Verbesserung der Ausdrucksweise durch Einführung jener einfachen und klaren Verständigungssprache, welche die theoretische Physik ausgebildet hat. Ich wäre vollkommen zufrieden, wenn ich damit nur einigen Erfolg hätte, und glaube, daß es zuviel verlangt ist, wenn ein Kritiker fordert<sup>5</sup>, „daß diese Maxime ihre Fruchtbarkeit erst zu erweisen hätte“. Ist das Einmaleins „fruchtbar“? Für sich allein kaum, aber es ist die Vorbedingung zu jeglicher Produktion, bei der es auf die Zahl ankommt.

Übrigens, wir stecken heute in der Erkenntnis des „Mechanismus der Gebirgsbildung“ so sehr noch in den Kinderschuhen, daß es manchmal genügt, ein Problem korrekt zu formulieren, um die Lösung zu erkennen, so daß hier sozusagen das dürre kinematische Einmaleins fruchtbar werden kann. Als Beispiel dafür möchte ich nennen die Transversalverschiebungen des Kettenjura, weil sie WEBER auch anführt<sup>6</sup> und weil sie Gelegenheit bieten, ein allgemeines Problem der Tektonik zu erledigen, das W. SCHMIDT zuerst scharf formuliert<sup>7</sup>, wenn auch nicht gelöst hat. Aus der elementaren Darstellung, die ich hier (und 1924 mit Fig.) gegeben habe, erhellt, daß bei einer allgemeinen homogenen Deformation zwei Richtungen maximaler Scherung vorkommen, welche dem Schema nach vollkommen gleichwertig sind. Aber der tektonischen Erfahrung nach kommt fast ausnahmslos nur eine dieser Richtungen als Scherflächenschar zur Geltung<sup>8</sup>. Ein sehr hübsches Beispiel dafür sind eben die

<sup>5</sup> SANDER, BR., Geolog. Archiv. Bd. IV. Heft 3. p. 150.

<sup>6</sup> WEBER, l. c. p. 240.

<sup>7</sup> SCHMIDT, W., Gesteinsumformung. Denksch. naturhist. Museums Wien. Bd. 3. 1925. p. 11.

<sup>8</sup> SCHMIDT gibt (l. c. p. 15) dafür die Erklärung, daß nur auf solchen Scherflächen weite Gleitungen möglich sind „welche die Fernkräfte in's Freie führen“. „Fernkräfte“, sonst auch Massenkkräfte genannt, sind jene,

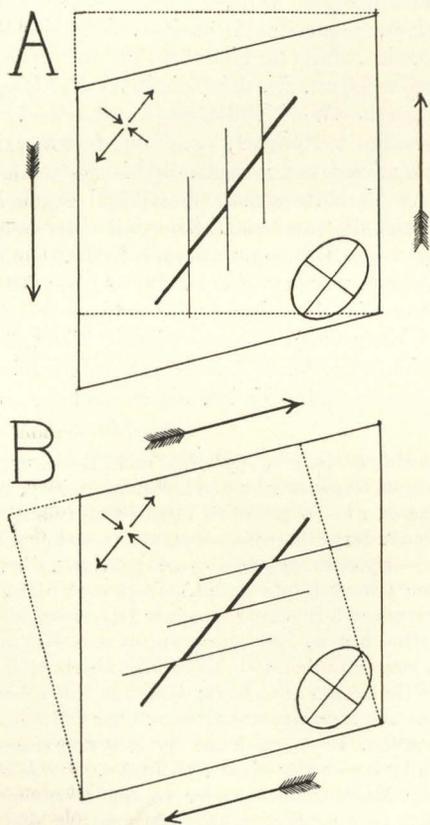
erwähnten Transversalverschiebungen des Kettenjura, über die ALBERT HEIM neustens alles Nötige zusammengestellt hat<sup>9</sup>, so daß ich meine Darstellung — der Kürze halber — rein deduktiv geben kann.

Wir gehen davon aus, daß ein quadratisches Stück Erdkruste (nach Meridian und Parallel orientiert) in seiner (horizontalen) Ebene bleibend, einer Verzerrung unterworfen wird, die noch als homogen gelten kann. U. z. sei dies eine Schiebung, wie sie der obere Teil (A.) nachstehender Figur zeigt, Drehung um die vertikale Achse, von oben gesehen, gegen den Uhrzeiger. Die eingezeichnete Deformationsellipse zeigt, daß die Hauptdilatationen (die rein normalen) in den Diagonalen liegen. U. z. ist die NW—SO-Diagonale verkürzt, wodurch Falten mit SW—NO-Streichen entstehen. Dagegen ist die SW—NO-Diagonale verlängert, was an (etwa saiger stehenden) Scherflächen zum Ausdruck kommt, die N—S streichen und an denen der Ostflügel im Verhältnis zum Westflügel gegen N vorgeschoben ist; eine Scherung, die man als Extremfall einer Schiebung mit Rotationssinn gegen den Uhrzeiger ansehen kann. Genau dieselbe Verzerrungsfigur könnte man auf eine zweite Art erzielen (B, unterer Teil der Figur), durch eine Schiebung vom entgegengesetzten Rotationsinn (mit dem Uhrzeiger), aber in diesem Fall würde die andere, die O—W-streichende Scherflächenschar funktionieren, mit Drehung entgegen der des ersten Falles, die somit beide in bezug auf eine

die am einzelnen Massenelement angreifen, ohne Beziehung zu den Nachbar-massenelementen, im Gegensatz zu den „Widerständen“, sonst auch Druckkräfte, Spannungen, streß genannt, „die durch unmittelbare Berührung übertragen werden“. Das klingt plausibel, aber eine kurze Überlegung zeigt, daß die Haupt- — eigentlich einzige — „Fernkraft“, die Schwere, mit seltenen Ausnahmen (Bergschlippe u. dgl.) überhaupt nicht ins Freie hinaus finden kann. Darum will SCHMIDT in seiner Definition als Fernkräfte auch solche Kräfte gelten lassen, „die ausgegangen von Fernkräften, durch Berührung, also in letzter Linie durch Nahkräfte übermittelt werden“. Damit ist aber die erste Definition annulliert; denn auf Erden kann jegliche Spannung in irgend einem Zusammenhang ganz oder teilweise auf die Schwere zurückgeführt werden. Bleibt noch das von SCHMIDT eingeführte Kriterium der Wegfähigkeit der Kraft. Klingt auch nicht schlecht. Aber ob eine Kraft am Massenelement, oder an einem bestimmten Flächenelement angreift, das ist eine Eigenschaft, die man für sich feststellen kann, die Wegfähigkeit ist aber keine der Kraft an sich inhärierende Eigenschaft (NB. die Fern- oder Massenkkräfte kommen hier selber nicht in Betracht, sondern stets nur ihre Summierung zu elastischen Spannungen), sondern das hängt vom ganzen mechanischen Zusammenhang ab. So bleibt von SCHMIDT's Definition kaum mehr als die Tautologie: die Bewegung kommt auf jener Scherfläche in Gang, auf der sie im gegebenen mechanischen Zusammenhang eben möglich ist.

<sup>9</sup> HEIM, ALBERT, Geologie der Schweiz. Bd. I. p. 613—626. Bd. II/2. p. 913.

Hauptdilationsachse spiegelsymmetrisch sind. Sieht man diese Fälle genau an — etwa von Flächenelement zu Flächenelement fortschreitend, so kommt man leicht zu dem Satze: In einem Bereich, der als homogen deformiert gelten darf, kann von den Scherungen nur jene Schar in Aktion treten, deren Drehsinn übereinstimmt mit dem resultierenden Drehmoment der äußeren



Scherung im Faltengebirge (nach Art des Kettenjura).

Ein ursprüngliches Quadrat (punktiert) in zwei Ausgangslagen (A, B) wird so verzerrt, daß beidemal sich der gleiche Rhombus ergibt, mit derselben Deformationsellipse (rechts unten) und denselben Hauptspannungen (links oben). Die dabei in Richtung der langen Diagonale entstehenden Falten (eine davon dick ausgezogen) sind durch Scherflächen zerstückelt. Bei Landkartenorientierung (N oben) ist A der Normalfall des Kettenjura mit seinen Transversalverschiebungen.

Kräfte<sup>10</sup>. In dem singulären Fall, daß dieses Drehmoment verschwindet, sind beide Scherungsrichtungen wirklich gleichberechtigt und man kann sie so (mit einiger Achtsamkeit) im Laboratorium realisieren, trifft sie auch gelegentlich in der Natur, z. B. jene Scharen subnormaler Gesteinsklüfte, bei deren Entstehung der Bewegungsspielraum überhaupt sehr gering war (vermutlich nur die dem Druck entsprechende Kompression), weswegen merkliche Rotationen, welche die Scherungen dirigiert hätten, nicht zustande kamen<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Aus einer freundlichen Mitteilung von Herrn Prof. W. SCHMIDT ersah ich, daß obige kurze Formulierung mißverstanden werden könnte. Darum einige Worte zur weiteren Erläuterung: Die Verzerrung der ganzen großen Krustenscholle, von der wir ausgehen, bezeichnen wir s. l. als „homogene Schiebung“, insofern die Körperelemente nie weit und besonders nicht systematisch von den Punkten entfernt sind, an welchen sie bei einer mathematisch genau homogenen Schiebung stehen würden. Im einzelnen verläuft der Vorgang z. T. als stetige Deformation, die jeweils in bestimmten kleineren Bereichen mit hinreichender Genauigkeit als homogene Schiebung angesehen werden kann (d. i. eine bestimmte Verbindung von Deformation und Rotation), stellenweise aber als Scherung, die man dabei als ausgearteten Grenzfall einer Schiebung ansehen kann, deren Drehsinn somit auch der Scherung zuzuschreiben ist. Aus der Figur (p. 36) erkennt man, daß Scherungen desselben Drehsinnes wie die allgemeine Schiebung ziemlich beliebig, nebeneinander, durchgehend oder im Streichen aussetzend oder im Staffel einander ablösend usf., mit kontinuierlichen Deformationen abwechseln können. Ferner daß die beiden aufeinander normalen Scherflächenscharen nicht gleichzeitig sich zu Bahnen längerer Bewegung ausbilden können; denn sie hemmen und blockieren einander gegenseitig. Wird von außen auf der einen Schar fortlaufende Bewegung erzwungen, so muß die andere Schar stecken bleiben. Denken wir uns das aus den äußeren Kräften resultierende Drehmoment, dessen Arbeit die in unserer Schiebung enthaltene Verdrehung ist, z. B. einfach als Tangentialkräftepaar am Umfang angreifend (entsprechend den Pfeilen der Figur), so ist leicht vorzustellen, wie dem Drehsinn nach entsprechende Scherflächen vom Rand weg der Reihe nach aufgerissen werden und dann die Gleitung an ihnen glatt weiterläuft. Daß aber die Bewegung an einer Fläche der Querschar, wenn sie doch irgendwie in Gang gekommen wäre, an solchen vom allgemeinen Bewegungssinn immer wieder in ihren Weg geschobenen Verriegelungen schnell zum Stehen kommen muß, jedenfalls nie bis zu dem, unter äußerem Zwang stehenden Rand durchdringen kann. Das ist allerdings das einfachste denkbare Beispiel, aber unser Satz muß gelten, solange unsere allgemeine Voraussetzung erfüllt ist. Denn die beiden Scherflächenscharen sind dynamisch gleichwertig nur bei Deformationen ohne Rotation. Spielt ein Drehmoment mit, wie bei jeder Schiebung, so sind die Scherflächen, deren Drehsinn mit dem der allgemeinen Schiebung übereinstimmt, stärker beansprucht. Das ist vorerst ohne Rücksicht auf Reibung formuliert. Rechnet man nun auch mit Reibung, so gelten unsere Sätze uneingeschränkt für den ersten Akt, die Einleitung der Bewegung. Der zweite Akt, die Abbremsung, gibt dynamisch sozusagen ein negatives Bild dieses ersten Aktes.

<sup>11</sup> Unser Beispiel eignet sich besonders gut zur Prüfung der von SCHMIDT

Vergleichen wir nun unser Schema mit der Darstellung von HEIM:

1. Nehmen wir an, daß die Hauptdilatationen durch das Faltenstreichen und die Normale darauf gegeben sind — was wahrscheinlich meist mit ziemlicher Annäherung zutreffen wird —, so liegen die Transversalverschiebungen des Jura in der Scherung. Nach der kinematischen Theorie würde die maximale Scherung genau in der Halbierungslinie des Winkels der beiden Hauptdilatationen liegen. Technologische Experimente und tektonische Beobachtung lehren aber, daß die realen Körper davon fast regelmäßig abweichen: es ist eine Seltenheit, daß der Winkel zwischen den beiden konjugierten Scherflächenscharen (das Doppelte des Winkels Scherfläche—Hauptdilatation empfiehlt sich, weil verlässlicher zu messen!) genau  $90^\circ$  ist; nach vorläufigen Schätzungen an Gesteinsklüften würde ich das Häufigkeitsmaximum nicht viel über  $70^\circ$  legen. Eine genaue und erschöpfende Erklärung kann ich vorläufig noch nicht geben<sup>12</sup>. Hier genügt uns wohl, daß die fraglichen Transversalverschiebungen in jenem Sektor liegen, in dem auch sonst Scherklüfte beobachtet werden.

2. An den Transversalverschiebungen des Kettenjura hat man tektonische Einzelheiten beobachtet, welche für horizontale Scherung

gegebenen Erklärung, die wir oben (Anmkg. 8) angeführt haben. Mit *Ferri* hat es wenig zu tun; denn die Bewegung liegt wesentlich in der Niveaufläche der Schwere. Und denkt man sich den äußern Antrieb durch Reibung an der Unterfläche übertragen, etwa in der Art, wie ich die Unterströmungstheorie formuliert habe — es soll damit gar nichts für oder wider jene Theorie behauptet, sondern nur festgestellt werden, daß ein solcher Antrieb mit dem Bewegungsbild der Oberfläche verträglich wäre —, dann würde überhaupt kein Zusammenhang zwischen dem Weg des Triebgewichtes und der Bewegungsrichtung in unserer Krustenscholle bestehen. Und was den „Weg ins Freie“, die „Wegefähigkeit“ betrifft, so könnten die Transversalverschiebungen des Jura vermutlich ohne Hindernis beiderseits ins Freie führen. Sie tuns aber nicht! Sie erlöschen früher oder später, einige kommen noch an einem, meist dem S-Rand durch, aber durch das ganze Faltenbündel geht keine. (HEIM, I. p. 615, 625.) Das zeigt deutlich, daß es für die Scherungen unwesentlich ist, ob sie ins Freie führen oder nicht. Wenn dieses Kriterium bei den Überschiebungen, die SCHMIDT hauptsächlich im Auge hatte, stimmte, so erklärt sich das einfach dadurch, daß geologisch beobachtbar nur jene Überschiebungen sind, die in größerem Maß ins Freie vorstoßen. Solche, die irgendwo in der Tiefe ersterben, mag es auch geben, aber die kommen nicht geologisch zur Beobachtung, und daher auch nicht zur Diskussion.

<sup>12</sup> Ich vermute, daß da zwei Umstände mitspielen, die in der elementaren kinematischen Ableitung nicht berücksichtigt sind, nämlich daß die Gesteinskörper nicht rein elastisch reagieren, sondern auch plastisch nachgeben, und zweitens daß die wirkliche Deformation nicht mehr als infinitesimal gelten kann.

sprechen (Harnische mit horizontalen Rutschstreifen) und zwar in den allermeisten Fällen mit dem oben unter A dargestellten Bewegungssinn (Schleppungen und Abbeugung der Falten). In vielen Fällen ist der Verschiebungsbetrag im S größer als im N. Aus Beobachtung der Unterschiede in den Falten hüben und drüben von der Scherklüft kommt HEIM (l. c. p. 620—621) zu dem Schluß, daß die Jurafalten bereits weitgehend (etwa zwei Drittel des heutigen Betrages an Zusammenschub) ausgebildet waren, als die Ausbildung der großen Scherflächen einsetzte, und daß während des letzten Drittels der Jurafaltung Transversalverschiebungen längs derselben und Faltung Hand in Hand gingen und auch gleichzeitig zum Abschluß kamen<sup>13</sup>.

3. Nach HEIM (l. c. p. 622 u. a. O.) beträgt die Distanz zwischen zwei benachbarten Transversalstörungen im Mittel 16 km. Das Mittel der Verschiebung an den zehn großen Störungen gibt 1,5—2,2 km. Wir können nun annehmen, daß an den großen Scherflächen nur ein Bruchteil der Verzerrung zur Auswirkung kommt, der andere, vielleicht größere Teil sich in plastische Deformation und Verschiebung an unzähligen kleinen Klüftchen umsetzt. Darum wurde die schematische Figur gezeichnet mit einer *Schiebung* 1 : 4 (Schiebungswinkel ca.  $14^\circ$ ), das gäbe je 16 km eine Verschiebung von 4 km, also gut das Doppelte dessen, was an den großen Schubflächen abzulesen ist. Für diese Verzerrungsziffer bestimmt sich die Verkürzung der NW—SO-Diagonale auf 11—12% der ursprünglichen Länge. Den *Gesamtzusammenschub* schätzt man nach Querprofilen durch den Faltenjura meist auf etwa ein Drittel der ursprünglichen Breite (HEIM p. 650/1) oder  $33\frac{1}{3}\%$ ; das ist also etwa das Dreifache jenes Zusammenschubes, den wir der Schiebung unseres Schema zuschreiben dürfen. Und das stimmt zu der aus ganz anderen Daten abgeleiteten Angabe von HEIM (s. oben, Punkt 2), daß Scherung und Faltung erst im letzten Drittel des Zusammenschubes Hand in Hand gingen. Man kann also — in dem hier möglichen Genauigkeitsmaßstab — die Ziffern ohne Schwierigkeit miteinander in Einklang bringen.

4. Das auf homogene Deformation aufgebaute Schema ist natürlich nicht auf das Juragebirge in seiner Gänze anzuwenden. Die Orientierung der Scherungen (und damit die unseres Dilatationsdiagrammes) dreht sich um ca.  $50^\circ$ , von N  $40^\circ$  W (Salère-Vuache) bis N  $11^\circ$  O (Chaux de Fond—Freiberg<sup>14</sup>). Eine gewisse Bogen-

<sup>13</sup> SCHARDT, H. (Eclogae. XVI. 1920. p. 120) bestreitet die Transversalverschiebungen. HEIM (Bd. II/2. p. 913) hält seine Darstellung aufrecht, offenbar mit gutem Recht gegenüber einer Hypothese, die so schwach begründet und zudem unklar vorgetragen ist.

<sup>14</sup> Nr. 9 ff. HEIM's Liste (p. 619) scheinen mir etwas stark vom Rheintalgraben lokal beeinflusst und ich möchte sie daher für die Bestimmung des Bogens bzw. seiner Radien nicht heranziehen.

anordnung ist unverkennbar; ich kann aber HEIM doch nicht völlig beistimmen, wenn er hierin, in der „Ausbiegung der Juraketten“ die Ursache des ganzen Transversalverschiebungsphänomens sieht. Abgesehen davon, daß kein Anhaltspunkt dafür vorliegt, welche Krümmung die Ketten bereits in statu nascendi gehabt haben (HEIM p. 623), so zeigt ein Blick auf die Karte (HEIM p. 615 und Taf. XX p. 548), daß die äußeren Ketten, die auffallend Bogenform zeigen, nicht durchschert sind; an den inneren Ketten hinwiederum kann ich, und zwar gerade dort, wo die Transversalverschiebungen durchsetzen, keine regelmäßige Bogenform erkennen; die Falten streichen lange Stücke ziemlich gerade und zwischen diesen geraden Strecken vermitteln Umknickungen mit kleinem Radius die Verbindung. Ich glaube aber, daß man die Differenz in der Auffassung nicht übertrieben hoch einschätzen braucht. Auch HEIM sieht hier einzig Scherungen, nur möchte er sie aus einer inhomogenen, aber plan- und regelmäßigen Deformation (Ausbiegung oder Ausweitung eines Bogens) ableiten, während ich glaube, daß man für ziemlich große Krustenstücke homogene Schiebung annehmen darf (so sind die Scherrichtungen von Nr. 2 und 3; 6, 7 und 8; 9 und 10, — HEIM p. 621 — praktisch genommen parallel), daß aber von einem zum andern die Orientierung der Hauptdilatationsachsen sich schnell, entweder sprungweise an Dislokationen oder in schmalen inhomogen deformierten Zwischenzonen ändert. Ich sehe keinen grundsätzlichen Unterschied zwischen beiden Auffassungen, sondern nur eine Differenz in den Größenangaben, welche durch genaue Nachmessungen leicht aufgeklärt werden könnte.

Zusammenfassend haben wir die Tektonik des Kettenjura in zwei Komponenten der Bewegung zu scheiden: die eine Komponente ist eine autochthone Faltung ungefähr  $NW \rightleftarrows SO$ , d. h. normal zum Faltenstreichen, die die größere Hälfte (bis  $\frac{2}{3}$ ) des Gesamtzusammenschubes geliefert hat. Die andere Komponente ist eine Verschiebung, die hauptsächlich die südlichen Ketten traf, und welche die Krustenstücke, je weiter Ost, desto mehr gegen Nord verstellte. Zeugnis dafür geben die als Transversalverschiebungen beschriebenen Scherungen (an denen man die genauere Richtung dieser Schiebungen von Ort zu Ort ablesen kann) und das Vorstoßen des Ostflügels als „Brandungskette“ gegen den Schwarzwaldsockel. Auch über die ferneren Hintergründe dieser ungleichen Verschiebung kann man zu gewissen Vermutungen kommen, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die größte und längste Querstörung, Vallorbe-Pontarlier, den Alpenbogen gerade nur in den äußersten Ketten noch tangiert. Derart liegen im Rücken des vorgestoßenen Ostflügels die vorwärts drängenden helvetischen Falten; hinter dem Flügel W von Pontarlier aber sozusagen nichts! Darum können hier schon ausnahmsweise Scherungen nach unserem Schema B vorkommen (vgl. HEIM 623), und es wäre nachzusehen, ob sie nicht

wenigstens in kleinerem Ausmaß (entsprechend dem geringen Spielraum) von dort SW-wärts in den sich an den Außenrand der Alpen schmiegenden Ketten vorkommen. Das würde nämlich eintreten, wenn im Fortschreiten nach Süd die westliche Verschiebung größere Beträge aufweisen würde (vgl. Figur), was ja ganz gut möglich scheint.

Hier wollen wir abbrechen, denn Ziel dieser Ausführungen ist, ein mechanisches Problem durch ein Beispiel aus der Tektonik aufzuklären, die spezielle Juratektonik können wir nicht in einem mit erledigen. Doch ist wohl klar, wo sie anknüpfen müßte. Einesteils müßte man suchen, Schritt für Schritt die stattgehabten Dilatationen festzustellen und diese dann zu einem einheitlichen Bewegungsbild zu summieren. Ob die vorliegenden Aufnahmen dafür genügen, könnte nur Durchführung des Versuches zeigen; aber grundsätzliche Schwierigkeiten können da nicht mehr im Wege stehen. Andererseits müßte man sich über den weiteren Verlauf der so festgestellten Bewegungslinien Rechenschaft geben, die Beziehungen zu den Dislokationen der Alpen, des oberrheinischen Gebirges usf., ein Programm, das einigermaßen ins Weite führen kann.

Hier ist noch darauf hinzuweisen, daß solche diagonale Scherungen auch sonst häufig in Faltengebirgen vorkommen. Beispielsweise sehe man Blatt Schliersee der schönen geologischen Karte von Südbayern an, deren Herausgabe wir LEBLING verdanken. Ein anderes prachtvolles Beispiel ist der Sax-Schwendibruch im Säntisgebirge<sup>15</sup>, eine Scherung, die dem Umstand entspricht, daß die Säntisdecke am NO-Zipfel, am Hohen Kasten sozusagen hängen geblieben ist, während im Westen eine Falte unter die andere südwärts untergestopft scheint<sup>16</sup>.

An Hand unseres Beispiels können wir noch einige allgemeinere Gesichtspunkte herausheben. Das tektonische

<sup>15</sup> Hier wäre noch hervorzuheben, daß gerade diese Beispiele auch von andern Tektonikern als Scherung aufgefaßt worden sind, so von H. CLOOS (Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge. Sammlung Vieweg. Heft 57. 1921. p. 51 ff.). Auch im variskischen Gebirge stellt derselbe Autor (Tektonik und Magma. I. Abh. preuß. geol. L. A. N. F. 89. Berlin 1922. p. 17) als ganz allgemein verbreitet an den Grenzen der größeren Schollen Scherungen fest.

<sup>16</sup> Um Mißverständnisse zu vermeiden: ich meine hier wie sonst immer nur relative Bewegungen. Wenn es jemand lieber hört, kann er etwa den Säntis festhalten und den Hohen Kasten vorziehen; für die Tektonik läuft das auf dasselbe hinaus. Auf das sonstige Querbruchsystem des Säntis einzugehen, ist hier nicht der Platz. Es ist nicht so einheitlich ausgebildet wie das des Jura und ich vermute, daß es auch nicht ganz gleichzeitig (untereinander und mit der Hauptscherung) entstanden ist, sondern daß sich zwischen erster Anlage der Sax-Schwendi-Scherfläche und den letzten Querbrüchen eine ziemlich weite Bewegung und eine dementsprechende Änderung des Kräfteplanes liegt.

Problem, das in den Transversalverschiebungen des Kettenjura vorlag, betrifft einen Bewegungsvorgang, der — dem Maßstab der Betrachtung entsprechend vereinfacht und auf das wesentliche reduziert — sich ausschließlich in einer Ebene — sofern die Erdoberfläche auf diesem Raum noch wenig von der Ebene abweicht — abspielte. Darum ist es eine zureichende „Erklärung“, wenn es gelingt, die gegebenen Daten alle in ein geschlossenes 2-dimensionales Bewegungsbild zusammenzufassen. Eine solche Beschränkung entspricht dem Prinzip der Sparsamkeit, wie es in den exakten Wissenschaften in Geltung ist. Nachdem in den benützten Daten keine Angaben über die dritte (die Tiefen-)Dimension enthalten waren, so ist leicht einzusehen, daß eine Aussage über dieselbe daraus nicht folgen kann. Und ebenso ist eine eindeutige Aussage über das Kräftesystem, welches jener Dislokation zugrunde liegt, nicht möglich. Es kann sich ebensogut — wenn wir die Hauptalternativen mit prägnanten Schlagworten bezeichnen wollen — um Unterströmung handeln, als um Druckleitung durch die oberste, auf dem Salzton schwimmende Platte. (Aus anderweitigen Gründen würde ich den zweiten Fall für wahrscheinlicher halten.) Jedenfalls ist es ein Beispiel für Mißverständnisse aller Art, wenn WEBER (l. c. p. 240) schreibt: „Der Druck in der Tiefe blieb, wie ich glaube, unverändert S—N oder umgekehrt, wofür ich in der Ablenkung der Blätter des Jura-gebirges mit ihrem stets nach Nord vorgeschobenen Ostflügel . . . . Anzeichen gefunden zu haben glaube.“ Abgesehen von dem Versuch „einen Druck umzukehren“, einem groben, aber hier nicht unbedingt sinnstörenden Fehler, was ist an dieser Stelle mit „Druck“ gemeint? Wirklich eine Normaldruckspannung? etwa die maximale oder Hauptdruckspannung, eine Bezeichnungsweise, die zwar völlig inkorrekt ist (Centralbl. 1924 p. 470), die aber in diesem Sinne von Geologen viel gebraucht worden ist. Oder ist darunter ein „Schub“ gemeint, etwa nach Art einer Unterströmung? Für letztere Hypothese spräche die Schilderung vom Überquellen der Decken und das ebendort angebrachte Illustrationsbeispiel aus der Hydraulik. Und was soll dieser „Druck“ mit dem Drehsinn der Scherungen zu tun haben, mit dem ihn W. zusammenbringt? Ich sehe keine Möglichkeit, hier eine weitere Diskussion anzuknüpfen, und kann darin nur einen Anlaß sehen, neuerlich die Forderung nach größerer Exaktheit in der Tektonik zu erheben (vgl. dies. Centralbl. 1924 p. 469). Die Tektonik handelt von mechanischen Vorgängen und sie wird am besten tun, wenn sie Sprache und Begriffsinventar verwendet, wie die theoretische Physik sie ausgebildet hat. Es kommt nichts Gutes heraus, wenn jeder Tektoniker sich seine Mechanik neu zu erfinden versucht. Im besten Fall könnte das nur zu einer babylonischen Sprachverwirrung führen. In den meisten Fällen sind aber diese Improvisationen dem Stoff überhaupt nicht gewachsen, die Begriffe sind unklar, die Ausdrucksweise verschwommen, und macht

man sich wirklich die (undankbare) Mühe einer philologischen Exegese, so kann man meistens doch keinen bestimmten Sinn herausbekommen, sondern höchstens Mutmaßungen, ob der Autor dies oder jenes habe sagen wollen. Die Terminologie in der theoretischen Physik ist ja auch nicht von einem einzelnen erfunden worden, es ist die Arbeit von Generationen gewesen, zu ermitteln, welche Begriffe notwendig sind, wie sie klar und eindeutig definiert, abgegrenzt und ausgedrückt werden können. Ohne diese Vorarbeit ist es nicht einmal möglich, ein Problem der Mechanik richtig zu stellen, von Diskussion und Lösung ganz zu schweigen. Und ebenso unerlässlich ist ein exakt durchgearbeitetes Begriffs- und Bezeichnungssystem, wenn eine gegenseitige Verständigung ermöglicht werden soll; ich wiederhole daher entschieden, daß Fortschritt in der Tektonik und größere Exaktheit ganz untrennbar sind.

Zum Schluß möchte ich mir noch erlauben, anzumerken, daß den Zusammenhang zwischen Faltungszonen und Blocktektonik im Vor- oder Rückland ich bereits 1920<sup>17</sup>, also wohl früher, als die von WEBER (p. 243—245) zitierten Autoren, klar und deutlich auseinandergesetzt habe; ob als erster, weiß ich nicht; der Gedanke liegt für jeden, der Gefühl für Mechanik hat, auf der Hand. Als Beispiel habe ich ebendort schon das Rheinthalgrabensystem angeführt. Vergleich mit dem Kettenjura zeigt, daß seine Bewegungsflächen etwa in der Hauptscherung liegen. Der Winkel, den seine Verlängerung mit den Alpenfalten bildet, wird auch nicht weit von 45° sein, ein Verhältnis, wie wir es im Osten am Pfahlssystem noch viel deutlicher feststellen können.

### Weitere Bemerkungen zu der Geologie und den Salzaufbrüchen am Persischen Golf.

Von R. K. Richardson in London.

Mit 1 Textfigur.

In diesem Centralblatt ist kürzlich eine Mitteilung von KARL KREJCI (1) erschienen, welche sich mit meinen neueren Arbeiten über die Geologie der persischen Ölfelder (2) und mit der Geologie der Salzdomregion am Persischen Golf (3) befaßt.

Die Bemerkungen von KREJCI haben mich sehr interessiert, da sie die Ansichten eines Geologen repräsentieren, der mit den Salzdomen in Europa und speziell in Rumänien vertraut ist, wo schon so viele Arbeit über sie geleistet worden ist.

<sup>17</sup> R. SCHWINNER, Vulkanismus und Gebirgsbildung. Zeitschr. f. Vulkanologie. Bd. V. 1920. p. 208, und Anmerkung.



Serie ähnlich sahen und zwischen tertiären Ablagerungen gelegen hätten. Im allgemeinen haben wir in Persien eine kontinuierliche Sedimentation von der Oberkreide bis zum Miocän, mit voller und ununterbrochener Schichtfolge.

Die Hormuz-Serie bei Khamir taucht unter dem Rudistenkalk auf und wurde deshalb meinerseits als spätestens prä-obercretacisch beschrieben.

Nun aber hat seit meiner Rückkehr von Persien eine Gruppe, bestehend aus den Herren Prof. DE BÖCKH, S. LISTER JAMES, G. M. LEES und F. D. S. RICHARDSON, die Golfregion besucht. Diese Herren hatten das Glück, in den geschichteten Ablagerungen der Hormuz-Serie beim Al Busa Salzdom Trilobiten zu entdecken. Unter diesen Stücken — das erste wurde von LEES gefunden — befinden sich Formen, die sich an *Ptychoparia* anlehnen, andere sind wahrscheinlich neu.

Die obere Hormuz-Serie ist deshalb cambrischen Alters, und die Entdeckung dieser Fossilien wird einen großen Einfluß auf die bestehenden Ansichten über die Paläogeographie dieses Teiles von Asien ausüben.

Die hier angeschlossene stratigraphische Tabelle bleibt also die gleiche, wie die in meiner früheren Arbeit (3); nur können wir jetzt der Hormuz-Serie ein definitives Alter zuweisen.

#### Quartär.

Alluvium: Sand und feinsten Tonsand.

Tersai-Reihe: Grobkörnige, leicht zerreibliche Sandsteine, Lumachellenkalke, Konglomerate und wenig verkittete Geröllagen. Etwa 100—150 m Mächtigkeit.

#### Tertiär.

Neogen (Fars-Reihe).

1. Obere Fars-Schichten: Sandsteine, Lumachellenkalke mit eingeschalteten grünlichen Mergeln und meist sandigen Tonen. Etwa 1000 m Mächtigkeit.

2. Mittlere Fars-Schichten: Lumachellenkalke, Mergel und rötliche, tonige Schichten (meistens mergelig und tonig). Etwa 200 m Mächtigkeit.

3. Untere Fars-Schichten: Hauptsächlich massiger, weißer Gips. 450 m Mächtigkeit.

Oligocän: (Khamir-Kalk), massiger, dichter, sehr fossilreicher Nummulitenkalk von etwa 200 m Mächtigkeit.

Eocän: (Khamir-Mergel und Tone) von 650 m Mächtigkeit.

a) Obere Gruppe: (*Micropsis*-Schiefer), bläulichgrüne und rötlichblaue Schiefer von 150 m Mächtigkeit.

b) Untere Gruppe: Graugrüne Mergel und mergelige Kalke mit einigen Nummuliten-führenden Schichten. 500 m Mächtigkeit.