

Tektonische Juraprobleme, ein historischer Rückblick

Autor(en): **Suter, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **49 (1956)**

Heft 2

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-162082>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Tektonische Juraprobleme, ein historischer Rückblick

Von Hans Suter, Zürich

1. ALLGEMEINES

Die folgenden Ausführungen wollen einen geschichtlichen Rückblick über die Entwicklung der heutigen Anschauungen betreffend Bau und Entstehung des Juragebirges geben, wobei vor allem an die theoretischen und spekulativen Probleme gedacht ist, die heute von besonderem Interesse sind. Auf die Wiedergabe bereits publizierter geologischer Karten, Skizzen und Profile muss aus leicht ersichtlichen Gründen verzichtet werden. Eine wertvolle Hilfe zur Orientierung in der sehr reichlich vorhandenen französisch-schweizerischen Literatur bis 1922 bietet u. a. die monumentale Bibliographie von E. DE MARGERIE (1922).

Zunächst sei auf die gesicherten, heute allgemein anerkannten Kenntnisse bezüglich Gebirgsbau und dadurch bedingter Morphologie, wie sie aus den bereits publizierten Karten und Profilen ersichtlich sind, verwiesen.

Im Jahr 1821 hat PETER MERIAN in Basel in seiner ersten Arbeit über die Geologie des Basler Jura bereits auf den Unterschied zwischen Tafel- und Kettenjura hingewiesen und schon sehr genau die Grenzlinie zwischen den beiden tektonisch verschieden gebauten Jurazonen gezogen. Im folgenden wird uns der Kettenjura speziell beschäftigen, so sehr auch die Einflüsse der älteren Bruchtektonik des Tafeljura auf die spätere Faltung heute bekannt sind.

Der Kettenjura ist, nach vorherrschender Anschauung, ein durch Horizontal-schub entstandenes Faltengebirge, das sich von den «Châines subalpines» der Westalpen ablöst, zwischen Neuenburgersee und Besançon seine grösste Breite erreicht und sich südlich des Schwarzwaldspornes wieder auf kleinen Raum verengt. Auf diese grosse Scharung der Ketten hinter dem Schwarzwald folgt ostwärts wieder eine deutliche, wenn auch nicht weit reichende Virgation der Ketten (Born-, Gugen-, Kestenberg-, Lägernkette).

Im Streichen zeigt dieses Kettenbündel im allgemeinen Parallelität der Falten, mit vielen kleinen, zum Teil auch auffallenden Abweichungen. Ebenso bekannt sind Faltenablösungen, axiale Schwankungen, Falten mit freien Enden und Quersfaltungen, sowie die Einschaltung von plateauartigen Partien innerhalb des Kettengebirges.

Im Querschnitt zeigen Antiklinalen wie Synklinalen ganz verschiedene Formen. Regelmässige Gewölbe sind selten, meistens sind sie gegen den Aussenrand des Gebirges überliegend. Häufig ist der Typus der Kofferfalte, seltener die Fächerfalte. Sehr typisch sind streichende Brüche und Überschiebungen. Ein Maximum erreichen diese in der Brandungszone gegen den Tafeljura, speziell im

Passwang-Hauensteingebiet, wo es zu intensiver Schuppenbildung gekommen ist. Kettenüberschiebungen können nach neuesten Untersuchungen bis 50 km weit verfolgt werden. Es sei z. B. auf die grosse Hauptüberschiebung der Tête de Ramont d'Amin-Chasseralkette, von Les Ponts bis Sonzeboz verlaufend, hingewiesen. Andererseits sind am Innenrand des Gebirges rückwärts überkippte und unterschobene Gewölbe nicht selten. Dass die tektonischen Anomalien im Gewölbebau zeitweise auch durch Bruchtektonik erklärt wurden, soll nicht verschwiegen werden. Es sei diesbezüglich auf die Publikation von W. DELHAES und H. GERTH (1912) verwiesen.

Querbrüche sind häufig. Die grösseren, die 2 und mehr Ketten durchsetzen, treten auch morphologisch deutlich in Erscheinung. Daneben gibt es unzählige kleinere, die nur die Flanke einer Antiklinale erfasst haben. Den grossen Querbrüchen kommt in neuerer Zeit tiefere Bedeutung zu, da sie, als ältere Anlagen, die spätere Faltung massgebend beeinflusst haben.

Wir sind auch weitgehend orientiert über die Kerntektonik der Ketten dank der zahlreichen Tunnelbauten. Doch darf nicht übersehen werden, dass Tunnel, die uns über die Tiefentektonik den besten Aufschluss geben können, noch relativ hoch liegen. Sie bilden jedoch eine unschätzbare Ergänzung zu den natürlichen Aufschlüssen der Klusen und Halbklusen usw. Die geologischen Ergebnisse der neueren Tunnelbauten (Mont d'Or 1910/14, Weissenstein 1904/06, Grenchenberg 1913/14, Hauensteinbasis 1912/14) vor allem haben Mitveranlassung gegeben zu verschiedenen Theorien bezüglich der Faltungsprobleme.

Mit der Nennung einiger dieser «gesicherten Erkenntnisse» soll keineswegs gesagt sein, dass alle, mit Hilfe der allgemein angewandten Kartierungsmethoden zu lösenden Fragen nun auch gelöst seien. Jede Neuuntersuchung wird einen Fortschritt der Erkenntnisse und der Auffassungen bringen, die unter Umständen von grosser Bedeutung für die Lösung heute noch theoretischer und umstrittener Probleme sein können.

2. THEORETISCHER TEIL

Es erübrigt sich, auf die ältesten Anschauungen von der vulkanischen Natur des Juragebirges einzutreten. Ihre Vertreter waren u. a. PETER MERIAN, LEOPOLD VON BUCH, A. RENGGER, A. MOUSSON, JULES THURMANN bis 1853, vor allem aber AMANZ GRESSLY.

1853 hat J. THURMANN in «Résumé des lois orographiques générales du système des monts Jura» seine frühere Auffassung verlassen und erklärt die Bildung des Gebirges ausdrücklich durch eine «action latérale, procédant du côté suisse vers le côté français», d. h. durch einen von den Alpen ausgehenden Seitendruck. Ähnlich äussert sich auch B. STUDER (1853) in seiner «Geologie der Schweiz».

Auch auf die Entwicklung der geologischen Juraforschung nach STUDER und GRESSLY, in der zweiten Hälfte des letzten und dem ersten Dezennium des jetzigen Jahrhunderts soll hier nicht eingetreten werden. Als wichtigste Förderer derselben seien schweizerischerseits lediglich genannt: C. MOESCH, A. JACCARD, J. B. GREPPIN, H. SCHARDT, L. ROLLIER, F. MÜHLBERG, A. AMSLER, A. BUXTORF u. a., die zum Teil als Mitarbeiter der «Geologischen Kommission der Schweiz. Naturf.

Gesellschaft), gegründet 1860, an der Erstellung der Geologischen Karte der Schweiz, 1 : 100000, und der späteren Spezialkarten samt den dazu gehörenden Beiträgen beteiligt waren.

Mit der wichtigen Erkenntnis, dass die Gebirge ihre Entstehung einem Horizontalschub verdanken, ging Hand in Hand die Erkenntnis vom verschiedenen physikalischen Verhalten der Gesteinsschichten beim Faltungsvorgang. Man erkannte: Weiche Schichten wie Mergel, besonders wenn sie Gips, Anhydrit und vor allem Salz führen, reagierten plastisch, begünstigten die Faltung, spröde Schichten, wie beispielsweise die mächtigen Kalkmassen der Juraformation, reagierten auf Bruch. Durch dieses verschiedene Verhalten liessen sich in der Folge Erscheinungen wie disharmonische Faltung, scheinbare tektonische Diskordanzen, Ausquetschungen und Anhäufungen von weichem Material einerseits, Schuppenbildung bei sprödem Material andererseits usw. erklären.

Von diesem Gesichtspunkt aus gesehen, ist die Tatsache von Bedeutung, dass auf dem kristallinen, herzynisch versteiften Grundgebirgssockel direkt Perm und Buntsandstein liegen, die kein plastisch reagierendes Material enthalten. Auch der Wellenkalk ist starr. Darüber folgen der mittlere Muschelkalk mit Anhydrit, Gips und stellenweise auch Salz, dann Keupermergel, und, davon durch den dünnen kalkigen Lias getrennt, der Opalinuston, die alle plastisch reagierten, besonders der erstere. Von der Passivität der ältesten Schichten beim Faltungsvorgang konnte sich schon GRESSLY beim Bau des alten Hauensteintunnels (1856) überzeugen, und MÜHLBERG beim Bau des Bözbergtunnels (1871/74), wo in beiden Fällen in den Prognosen die Anwesenheit von Buntsandstein im Gewölbekern respektive am Aussenrand der Ketten vorausgesetzt wurde, was sich nicht bestätigte. Auch beim Bau der späteren Tunnels wurde das verschiedene physikalische Verhalten der Gesteinsschichten und die absolute Abwesenheit älterer Formationen als mittlerer Muschelkalk in den Faltenkernen deutlich erkannt.

Anderer Ansicht war diesbezüglich L. ROLLIER, der ausgezeichnete Stratigraph, der jahrzehntelang den Jura erforschte. 1903 hat er in einer kleinen Schrift einige Gedanken geäußert, auf die an dieser Stelle hingewiesen sei. Er unterscheidet im Kettenjura 3 Faltenbündel, die sich tektonisch und morphologisch voneinander unterscheiden:

Faisceau helvétique ou Haut Jura,

Faisceau lédonien,

Faisceau du Lomont (heute faisceau bisontin genannt) und plateauartige Einschiebungen,

eine Gliederung, die heute noch zu Recht besteht.

Für jene Zeit fremd anmutende Gedanken äussert er in bezug auf den Faltungsvorgang, den er ins Pliozän verlegt. Die Faltung soll sich ausgewirkt haben, einerseits durch das Einsinken des Molassetroges, andererseits durch den Einbruch des Saône- und des Rheingrabens, die sich beide unter dem Gewicht der tertiären Sedimentmassen immer weiter senkten, speziell der Saônegraben. Die alten Massive, La Serre inbegriffen, spielten dabei keine Rolle. Der kristalline Sockel ist in die Faltung miteinbezogen worden, die Dislokationen der Tiefe sollen sogar stärker sein als die Faltung der Sedimenthaut, besonders am Innenrand des Gebirges, wo die hohen Falten darauf hindeuten.

1904/1906 wurde der Weissensteintunnel gebaut, für den die geologischen Prognosen von L. ROLLIER und A. BUXTORF stammten. Abgesehen von der Publikation der geologischen Verhältnisse, die die Durchbohrung der Weissensteinkette ergab («Beiträge», N.F. Bd. 21, 1908) veröffentlichte BUXTORF (1907) eine kleine Arbeit: «Zur Tektonik des Kettenjura», in der er speziell das Problem der Tiefentektonik zur Diskussion stellte. Im Kern der gedoppelten Fächerfalte zeigte sich keine Spur älteren Gesteins als Keuper. Diese Tatsache, in Verbindung mit seinen übrigen Erfahrungen bezüglich Juratektonik, führten BUXTORF zur Theorie der Abscherungsdecke. Er stellt fest und zeigt dies an durchgehenden Profilen, dass nur die Sedimenthaut über dem mittleren Muschelkalk gefaltet sei, während sich der tiefere Sockel beim Faltungsvorgang ruhig verhalten habe. Nur am Aussenrand der Kettenschar zeichnet er darin eine Flexur, lässt aber die Frage offen, ob nicht an deren Stelle ein Bruch vorhanden sein könnte. Er kommt so zu einem Oberbau und einem Unterbau des Gebirges, beide getrennt durch eine durchgehende Diskontinuitätsfläche, die Anhydritzone des Muschelkalkes. Der Unterbau, zur Hauptsache aus dem kristallinen Grundgebirge bestehend, geht unter der ganzen Faltenschar als schwach undulierte Einebnungsfläche durch.

In dieser Ansicht wurde BUXTORF noch bestärkt durch den Bau des Grenchenberg- und Hauensteinbasistunnels, beide 1915 eröffnet. In beiden Tunnels zeigte sich mit aller Deutlichkeit, trotz sehr komplizierter Kerntektonik in ersterem, das Fehlen älterer Schichten als der Salzton-Anhydritgruppe. 1916 hat BUXTORF die geologischen Verhältnisse der beiden, für die tektonische Erkenntnis entscheidenden Tunneldurchstiche eingehend mit 2 durchgehenden Profilen beschrieben, die seine Auffassung bezüglich der Tiefentektonik klar zum Ausdruck bringen. In gleicher Weise hat P. VOSSELER (1928) in der Beilage zu seiner Arbeit über den Aargauer Jura seine Profile gezeichnet.

Diese Annahme: gefaltete Abscherungsdecke auf ruhigem Unterbau kommt auch in späteren Profilpublikationen, z. B. von P. CHRIST im Geologischen Führer der Schweiz, Fasc. I, Tafel II, 1934, zum Ausdruck und den Erläuterungen zu den Blättern 1, 2 und 5 der neuen Geologischen Generalkarte der Schweiz, 1 : 200 000.

1920 veröffentlichte A. AMSLER in «Gesteins- und Bodenkunde» ein Profil vom Schwarzwald bis zum Gotthardmassiv. In diesem Profil lässt er die jurassische Abscherungsfläche BUXTORFS unter dem Mittelland in eine Schubfläche übergehen, die das ganze Mesozoikum und die tiefere subalpine Molasse willkürlich durchschneidet und schliesslich am Aussenrand des Erstfeldermassivs in die Tiefe sinkt. Diese Zeichnung war der Ausdruck seiner Überlegung: Wenn Mesozoikum und Tertiär von Jura und Mittelland durch den alpinen Schub auf einen kleineren Raum zusammengeschoben wurden, das Grundgebirge jedoch starr blieb, muss irgendwo unter der Molasse das Mesozoikum bis zum mittleren Muschelkalk hinunter vom alpin-autochthonen Mesozoikum abgerissen sein. Das Profil war ein Versuch zur theoretischen Lösung des Juraproblems.

1924 erschien R. STAUBS Arbeit: «Der Bau der Alpen», mit tektonischer Karte 1 : 1 000 000 und 2 Profiltafeln 1 : 500 000. Auf den Profilen, die durch den Kettenjura hindurch reichen, sehen wir zum ersten Mal, bei dem kleinen Maßstab nur schematisch angedeutet, das Grundgebirge nicht mehr als einheitlichen Block dar-

gestellt. In konsequenter Weiterführung der Tektonik der Zentralalpen-Massive zeichnet er unter Mittelland und Jura streichende Brüche, die den Grundgebirgssockel in Schollen zerlegen, längs denen die einzelnen Schollen im Sinne des alpinen Schubes gegeneinander aufgeschoben sind, womit prinzipiell der tertiäre Zusammenschub des Sockels auch im Vorland des alpinen Orogens zum Ausdruck kommt.

Angeregt durch die Arbeit von R. STAUB veröffentlichte A. AMSLER (1926) eine weitere grundsätzlich bedeutende Arbeit: «Bemerkungen zur Juratektonik», leider ohne erläuternde Profile. Er weist u. a. nachdrücklich darauf hin, dass die BUXTORFSche Theorie zwangsläufig andern Problemen rufe wie: Zahl der Gleithorizonte, Relief der Schubunterlage usw. Er beweist zunächst, dass im Nord- und Nordostjura auch höhere Gleitflächen, wie Keuper und Opalinuston, vorhanden sind, denen aber tektonisch nur sekundäre Bedeutung zukomme. Für diesen Sektor des Gebirges ist die BUXTORFSche Theorie ohne weiteres anwendbar. Schwieriger wird das Problem im westlichen Hochjura, wo die Ketten sich diesem Schema nicht mehr fügen. Er spricht von «renitenten Gewölben, deren Kernteil zu geräumig ist, um mit Anhydritmergel ausgestopft werden zu können».

Er weist ferner auf die Tatsache hin, dass der ganze Hochjura in der streichenden Fortsetzung alter herzynischer Strukturen des Grundgebirges liege. So müssen sich infolgedessen am Bau der Ketten auch ältere Formationen beteiligen als mittlerer Muschelkalk. Diese alten Strukturen wurden durch die Jura-faltung wieder neu belebt. Sie haben das Relief und die Faltenformen massgebend beeinflusst, die Falten schmiegt sich den Unebenheiten des Untergrundes an. Trotzdem gibt es 2, dem Wesen und der Entstehung nach verschiedene Reliefs übereinander: ein unebenes gestörtes Grundgebirge und darüber die gefaltete Schubdecke. AMSLER kommt in dieser Arbeit auch auf die Fragen der Interferenzerscheinungen zwischen Bruch- und Faltentektonik im Nordjura zu sprechen, Probleme, die von diesem Zeitpunkt an ebenfalls im Vordergrund des Interesses stehen.

So befasst sich H. LINIGER (1926) mit der «Gitterfaltung im Bernerjura». Er weist hin auf die älteren Strukturen, die die Quersfaltungen im Delsbergerbecken bedingten, die auch die Ursache für die Anlage der anomal streichenden Ketten, z. B. der Caquerelle, und für die grossen Querbrüche sind. Es wird in dieser Zeit immer deutlicher, welche entscheidende Rolle die ältern rheintalischen Brüche bei der Faltung gespielt haben.

In den Zwanzigerjahren erschien eine grosse Zahl, vor allem schweizerischer Spezialarbeiten über den Jura, die sich speziell mit tektonischen Fragen beschäftigten. Es seien genannt M. BIRKHÄUSER, R. ELBER, E. FREI, R. KOCH, H. LAGOTALA, E. LEHNER, H. LINIGER, T. NOLTHENIUS, E. RICKENBACH, P. STAEHELIN, A. WAIBEL, C. WIEDENMAYER, später FALCONNIER, GLAUSER, MÜHLETHALER, VOGEL, SCHNÉEGANS u. a. Sie brachten vor allem wertvolle Detaillierkenntnisse. Theoretische Fragen wurden in diesen Arbeiten mehr nebenbei erörtert, dafür wurde der Frage nach dem zeitlichen Ablauf der Faltungsvorgänge mehr Beachtung geschenkt.

Das Juraproblem beschäftigte nebenbei auch J. CADISCH (1942) in seiner Arbeit: «Die Entstehung der Alpen im Licht der neueren Forschung». Er führt

darin aus: «Wenn wir für den Jura einen Fernschub von den Alpen her annehmen, so sind wir genötigt, die Tertiärfüllung des Molassebeckens und auch deren mesozoische Unterlage um den Betrag des Zusammenschubes, auf 62–75% der ursprünglichen Ablagerungsbreite nachrücken zu lassen. Damit wäre die Molasse nicht mehr autochthon. Zudem bleibt nur die Annahme übrig, dass der kristalline Unterbau mit Perm und Buntsandstein gleichzeitig wie der Oberbau deformiert und z. T. versenkt worden sei. Diese zweite Möglichkeit dürfte wahrscheinlicher sein.» CADISCH stellt sich somit auf die Seite AMPFERERS und seiner Verschlukungstheorie, ist aber durchaus mit der von R. STAUB auf den Alpenprofilen vertretenen Ansicht einverstanden, dass die Schubflächen in den kristallinen Sockel hinabreichen.

Eine ganz andere Auffassung über die Entstehung des Juragebirges äussert M. LUGEON (1941) in der kleineren Arbeit: «Une hypothèse sur l'origine du Jura». Er betrachtet den Jura als eine grossartig gefaltete Gleitdecke. Diese kann niemals entstanden sein als Folge eines Schubes von den Alpen her. Die Kraft, welche die Faltung bewirkt hat, kann nur die Schwerkraft sein. Damit reine Schweregleitung möglich ist, müssen 3 Voraussetzungen gegeben sein:

1. Eine geneigte Ebene, auf der die Masse gleiten kann,
2. Vertiefungen, in die sie hineingleiten kann,
3. vorhandene Pressungen.

LUGEON geht aus von den Erscheinungen am Alpenrand, speziell den Préalpes romandes, deren tektonische Position er durch reine Gleitbewegung dieser Decken in die Molassesenke erklärt, wie auch die Frontalmassen der helvetischen Decken.

Die Gleitfläche existiert. Zunächst ist es die Nordflanke der alpinen Massive, Aar- bis Belledonne, die bis –5000 m unter die Molasse einsinkt, unter Mittelland und Jura durch langsam ansteigt und in den Grossfalten der herzynischen Massive wieder ausstreicht. Die Neigung ist somit gegen die Faltungsbewegung gerichtet. Die «Löcher», in die die Massen gleiten konnten, sind der Saône- und der Rheingraben. Der ledonische und der bisontinische Bogen mit der intensiveren Faltung und die Vorfalten im Bereich der südöstlichsten Rheinsenke beweisen dies.

Die Pressung erfolgte durch das Gewicht der Molasse und des darunterliegenden Mesozoikums, berechnet zu 12500 t per m², vermehrt um das Gewicht der Präalpen und der helvetischen Deckenfronten.

Unter dieser Last mussten die weichen, plastischen Mergel der Trias und des Opalinustones ausweichen, fliehen, wobei sie verschürft, zerrieben und durcheinander gerieten und gleichzeitig auch die darauf liegenden Gesteinsmassen mittragen. Diese Fliehbewegung war nur möglich in der Richtung der geringsten Neigung der alten Ebene, d. h. gegen Nordwesten.

Auf die wichtige Frage der Faltungsphasen, auf die schon von BRÜCKNER (1903) und in der Folge verschiedentlich hingewiesen wurde, geht LUGEON nicht weiter ein. Wir ermangeln auch Hinweise auf die ältere herzynische Tektonik, den Einfluss der ältern Rheingrabenbrüche auf die Faltung usw.

Die Arbeit von LUGEON hat denn auch der Kritik gerufen. So hat sich bald darauf E. GAGNEBIN (1942) diesen Auffassungen gegenüber ablehnend verhalten.

Ebenso der Schüler LUGEONS, D. AUBERT (1945) in seiner Arbeit: «Le Jura et la tectonique d'écoulement». Eine etwas eingehendere Betrachtung des Inhaltes dieser, meiner Ansicht nach sehr wichtigen Arbeit sei deshalb gestattet.

Im ersten Teil derselben setzt sich der Verfasser auseinander mit der Frage der Schwerkraft-Gleitung. Solche Fälle existieren besonders am Aussenrand des Gebirges, so z. B. bei der Dent de Vaulion-Antiklinale. Die Falten selber jedoch entstanden durch Tangentialschub. Wichtig ist die Frage der Faltungsphasen. Sichergestellt sind nach ihm 2 Hauptphasen, eine vor- und eine nachpontische, mit älteren, oligozänen und miozänen Vorphasen und Oszillationen im Meeresgrund zur Oberjura- und Kreidezeit. Der Jura ist letzten Endes eine hochgehobene Tafel, die die Effekte mehrerer, zeitlich auseinanderliegenden Faltungen aufweist.

Er fragt sich ferner, ob die oberflächliche Faltung nicht nur scheinbar sei, ob die Ursache der Faltung nicht in Dislokationen des kristallinen Sockels zu suchen sei, wie dies die Profile von R. STAUB (1924) schon andeuten. Die grosse Höhe der innern Ketten weist hin auf einen Vorgang in der Tiefe. Er macht weiterhin auf die vielen Verwerfungen im bisontinischen Bogen aufmerksam, speziell den Ognonbruch, der von der Serre bis zum Westrand der Vogesen reicht. Trotzdem sind die Beobachtungen BUXTORFS richtig und können mit den geäusserten Annahmen vereinbart werden, d. h. die Anhydritzone, die als Gleitfläche diente, ist in Wirklichkeit nur eine Diskontinuitätsfläche in einem einheitlich dislozierten System, welches den herzynischen Untergrund mit allen darüber liegenden Sedimenten umfasst.

Der zeitliche Ablauf der Ereignisse und die Dynamik wären wie folgt:

1. Oszillationen des Meeresuntergrundes seit Oberjurazeit. Es entstehen dadurch Längszonen, ca. parallel den heutigen Ketten, die sich heben und senken, sich neigen und so die Faziesunterschiede bedingen, ohne dass es zur Bildung einer orogenen Phase kommt.
2. Im Oligozän werden die Bewegungen stärker unter dem Einfluss der alpinen Orogenese, es bilden sich kristalline Schuppen, Brüche und lokal flache Falten.
3. Ganz Ende Miozän erfolgt die allgemeine Faltung unter dem Einfluss der spätalpinen Bewegungen, das heisst der insubrischen Phase. Die kristallinen Keile schieben sich übereinander samt Perm und Buntsandstein. Die Schubkräfte pflanzen sich aber nicht nach oben fort, weil die plastische Anhydritzone wie ein flüssiger Körper reagiert. Über derselben schiebt sich die Sedimenthaut selbständig zusammen, wobei die Anhydritmergel die entstehenden Löcher in den Faltenkernen ausstopft und die Falten deformiert. Über den Frontpartien der kristallinen Keile werden die Falten gross und hoch, es entstehen Brüche und Überschiebungen, lokale Gleiterscheinungen. Auf den Rücken der Keile entstehen flache Falten, oft nur Undulationen, wie in den plateauartigen Zonen, wo wahrscheinlich Konkordanz mit dem Untergrund herrscht.

So kann man den Jurabau auffassen, als eine nachhinkende, abgeschwächte Alpentektonik.

AUBERT betont aber nachdrücklich, dass diese Theorie praktisch überprüft werden müsse, z. B. durch Tiefbohrungen bis ins Grundgebirge. Ebenso wichtig wäre eine systematische Untersuchung des Gebirges mittels geophysikalischer Methoden, wodurch letztlich deren Richtigkeit nachgeprüft werden könnte.

Die bisherigen Ausführungen sollen nicht den Anschein erwecken, als hätten sich nur die Schweizer Geologen mit tektonischen Jurafragen befasst.

Sich unter anderem auf eine Arbeit von BERSIER (1938) über die westschweizerische Molasse und neuere Jura-Publikationen stützend, entwickelt J. H. F.

UMBGROVE (1948) besondere Ansichten über die Entstehung dieses Gebirges. Eine Hauptrolle spielte dabei die Hebung der alten Massive inklusive der kristallinen Unterlage des heutigen Jura im obern Miozän, wodurch dieselbe nach Süden geneigt wurde. Ausgelöst wurde die Faltung durch das Absinken des starren Molassetroges, was einerseits eine Unterschiebung desselben unter die Alpen, andererseits die Zusammenstauung der höheren Sedimentdecke im heutigen Jura zur Folge hatte, mit Abscherung derselben auf der Anhydritzone der mittleren Trias. Wie AUBERT, vertritt er die Auffassung vom strukturell differenzierten Kristallin-Untergrund.

In einer umfangreichen Studie: «Die Stellung des Jura im alpin-saxonischen Orogen» veröffentlichte H. PHILIPP (1942) die Ergebnisse seiner langjährigen Untersuchungen im Bereich der Saône-Senke und des französisch-schweizerischen Jura. Den Zweck seiner Forschungen bezeichnet er wie folgt:

«... eine analytische Herausarbeitung der richtungsmässig und zeitlich getrennten tektonischen Einzelphasen des Jura und auf dieser Grundlage die Klärung seiner Beziehungen zum germanotyp bewegten Gebiet des Saxonikums im Norden.»

Auf feintektonischem Weg, durch viele Schicht- und vergleichende Kluftmessungen versucht er, die saxonische Bruchtektonik von Burgund aus über den Nordrand der Saônesenke und die Serre hinauszufolgen in den französisch-schweizerischen Jura. Es erweist sich, nach dem Autor, dass der Jurabogen, aufgeteilt in den nördlichen bisontinischen und den südlichen ledonischen Bogen «tektonisch einwandfrei als Resultat einer ausgesprochenen Vergitterung saxonischer Leitlinien, und zwar in erster Linie svebohelvetischer und rhenorhodanischer, zu denen eggische und untergeordnet herzynische hinzutreten», aufzufassen ist.

Er weist hin auf die prinzipielle Übereinstimmung mit den Ergebnissen von LINIGER im Delsbergerbecken. Nach seiner Auffassung lassen sich die saxonischen Störungssysteme durch die Freiberge verfolgen bis ins Val de Ruz usw. Auch die Morphologie hängt von der Weite und Intensität des Faltenwurfes bzw. der Weitmäsigkeit der Bruchsysteme ab.

Wie aus der neueren Literatur hervorgeht, sind die Auffassungen PHILIPPS für weitere Forschungen im Jura richtungweisend gewesen. Es soll diesbezüglich noch auf die Publikationen französischer Geologen hingewiesen werden. In den letzten 15 Jahren sind vor allem im nordwestlichen französischen Jura neue Detailkartierungen durchgeführt worden, grösstenteils unter der Leitung von L. GLANGEAUD. In verschiedenen Publikationen hat er selber sich speziell mit tektonisch-theoretischen Problemen auseinandergesetzt.

GLANGEAUD (1948, 1949) geht bei seinen Betrachtungen von dem ihm besonders gut bekannten NW-Jura aus, einem sehr kompliziert gebauten Gebiet. Wie seinerzeit schon ROLLIER, teilt er den Jura in 3 Faltenbündel, jedes mit eigenem Baustil. Im Vordergrund des Interesses steht für ihn der «style comtois» und «ultra-comtois», d. h. ein Faltengebiet, wo der unmittelbare Einfluss des Grundgebirgssockels auf die gefalteten Sedimente bemerkbar ist, was eine eigentümliche Tektonik mit Faltenverwerfungen, Einklemmungen und Streifentektonik bedingt.

Der «style helvétique» oder «haut-jurassien» ist gekennzeichnet durch die unabhängig vom Sockel gefaltete Sedimentdecke mit disharmonischen Faltungs-

erscheinungen. Es bestehen jedoch Übergänge, so auch zum «faisceau lédonien», wo breite, nur wenig gefaltete, bandartige Monoklinalen vorherrschen. Im ganzen gesehen, kann aber, nach einem Ausdruck von SCHNÉEGANS, von einem «style jurassien» gesprochen werden, gleichsam von einem «Familienstil».

Für die Erkenntnis des zeitlichen Ablaufes der Bewegungen ist der «sous-type comtois» von besonderer Bedeutung, wo grosse Bruchfelder oligozänen Alters die Lage und den Verlauf der Falten regeln. Alle Erscheinungen in dieser Externzone sind bedingt durch einen orogenen Schub der Sedimentdecke über ein älteres Bruchfeld. Es sind 2 Schubphasen feststellbar, die in verschiedener Richtung wirkten, die erste Ende Torton, die zweite Ende Pont. Dazwischen liegen die Einebnungsphasen.

Die gebirgsbildende Energie, z. T. bedingt durch die Gleitbewegung der Präalpen, hat sich im Jura auf 4 Zonen übertragen: das subkrustale Sima, den granitischen Sockel, die Trias-Lias-Mergel und die kalkige Decke. Jede Zone hat dabei verschieden reagiert. Nicht nur die Existenz älterer Bruchfelder, auch die plastische Trias hat eine sehr wichtige Rolle gespielt in bezug auf Anlage und Baustil der Ketten. So bietet der Jura, nach einem Ausdruck von E. WEGMANN, ein schönes Beispiel übereinander lagernder Tektonik.

Auf die in neuerer Zeit im Vordergrund stehenden Fragen bezüglich des Einflusses der älteren, speziell rheintalischen Störungen auf die spätere Faltung und die Faltungsphasen im allgemeinen kommt H. LINIGER (1953) im Zusammenhang mit interessanten morphologischen Problemen zu sprechen. Er stellt erneut fest: «Der nordschweizerische Jura ist ein interessantes Interferenzgebiet zwischen alpiner Faltung und mitteleuropäischer Bruchtektonik». Auf weitere Details dieser bedeutenden Arbeit kann hier nicht näher eingetreten werden.

Eigene langjährige Studien und Kartierungen im zentral-schweizerischen Kettenjura (1936, 1946, 1956) ermöglichen dem Autor eine persönliche Stellungnahme zu den in diesem geschichtlichen Rückblick gestreiften Problemen. Dass der Jura nicht in «einem Guss» (HEIM 1919) erzeugt worden ist, muss nach den heutigen Anschauungen nicht mehr erörtert werden. Dass ein älterer, herzynischer, in seiner Struktur bis heute nicht bekannter Grundgebirgssockel die spätere Faltung beeinflusst hat, scheint mir festzustehen, ebenso, dass trotz dem Vorhandensein einer mehr oder weniger ausgeprägten mitteltriasischen Abscherungsfläche eine Verzahnung dieses Unterbaues mit der gefalteten Sedimenthaut besteht. Daraus ist u. a. zu folgern, dass die grossen, weitreichenden Überschiebungsflächen ins kristalline Grundgebirge hinunterreichen.

Ein indirekten Beweis dafür kann z. B. in den Thermen von Baden gesehen werden, die die Möglichkeit haben, da aufzusteigen, wo die äusserste, streichende Randschubfläche der Lägerkette sich kreuzt mit dem Querbruch von Baden, wobei eine senkrechte Achsenverstellung noch mitspielt. Ähnlich mögen die Verhältnisse bei Schinznach sein.

Zum Abschluss dieses historischen Rückblickes kann im Hinblick auf den heutigen Stand der Forschung gesagt werden:

Eine Vergitterung der älteren, schon herzynisch angelegten, im Tertiär wieder mobilisierten Schollentektonik mit der jüngeren, in Phasen erfolgten Faltung als

Spätfolge der letzten alpinen Bewegungen, erzeugte das geologische, topographische und landschaftliche Bild, wie es heute im französisch-schweizerischen Jura in Erscheinung tritt.

WICHTIGSTE LITERATUR

- AMSLER, A. (1920): *Gesteins- und Bodenkunde*. 4. Aufl. (E. Wirz, Aarau).
 – (1926): *Bemerkungen zur Juratektonik*. *Eclogae geol. Helv.* 20.
- AUBERT, D. (1945): *Le Jura et la tectonique d'écoulement*. Bull. Lab. Univ. Lausanne, No. 83.
- BERSIER, A. (1938): *Recherches sur la géologie et la stratigraphie du Jorat*. Mém. Soc. vaudoise Sci. nat. 6/3.
- BRÜCKNER, ED. (1902): *Notice préliminaire sur la morphologie du Jura suisse et français*. Sci. phys. nat. Genève, t. XIV.
- BUXTORF, A. (1907): *Zur Tektonik des Kettenjura*. Ber. XXX. Vers. Oberrh. geol. Vereins.
 – (1908): *Geologische Beschreibung des Weissensteintunnels und seiner Umgebung*. Beitr. geol. Karte Schweiz [NF] 21.
 – (1916): *Prognosen und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel und die Bedeutung des letztern für die Geologie des Juragebirges*. Verh. naturf. Ges. Basel 27.
- CADISCH, J. (1942): *Die Entstehung der Alpen im Lichte der neuern Forschung*. Verh. naturf. Ges. Basel 59.
- CHRIST, P. (1934): *Geol. Führer der Schweiz*. Fasc. I, Pl. II (Wepf & Co., Basel).
- GAGNEBIN, E. (1942): *Vues nouvelles sur la géologie des Alpes et du Jura*. Bull. Soc. neuch. Sci. nat. 67.
- GLANGEAUD, L. (1948): *Les nouvelles théories sur la formation du Jura*. Bull. Soc. Hist. nat. Doubs 52.
 – (1949): *Le rôle du socle dans la tectonique du Jura*. Annales Soc. géol. Belgique 73.
- HEIM, ALB. (1918): *Geologie der Schweiz*. Band 1. (Tauchnitz, Leipzig.)
- LINIGER, H. (1926): *Die Gitterfaltung im Berner Jura*. *Eclogae geol. Helv.* 19.
 – (1953): *Zur Geschichte und Geomorphologie des nordschweizerischen Juragebirges*. *Geographica Helvetica* 8, No. 4.
- LUGEON, M. (1941): *Une hypothèse sur l'origine du Jura*. Bull. Lab. Univ. Lausanne, No. 73.
- MARGERIE, E. DE (1922): *Le Jura, 1^{re} partie. Bibliographie sommaire du Jura français et suisse*. Mém. carte géol. France, Paris.
- MERIAN, P. (1821): *Beitrag zur Geognosie*. (Schweighauser, Basel.)
- PENCK, A., & BRÜCKNER, E. (1903): *Die Alpen im Eiszeitalter*. Lfg. 5. (Tauchnitz, Leipzig.)
- PHILIPP, H. (1942): *Die Stellung des Jura im alpin-saxonischen Orogen*. *Z. deutsch. geol. Ges.* 94.
- ROLLIER, L. (1903): *Le plissement de la Chaîne de Jura*. *Ann. Géogr.* 12.
- STAUB, R. (1924): *Der Bau der Alpen*. Beitr. geol. Karte Schweiz [NF] 52.
- STUDER, B. (1853): *Geologie der Schweiz*. Bd. 2. (Stämpfli, Bern.)
- SUTER, H. (1920): *Geologische Untersuchungen in der Umgebung von Les Convers–Vue des Alpes*. Diss. Univ. Zürich.
 – (1936): *Geologische Beschreibung der Kartengebiete Les Bois und St-Imier*. Beitr. geol. Karte Schweiz [NF] 72.
- THURMANN, M. J. (1853): *Rèsumé des lois orographiques générales du système des Monts-Jura, pour servir de Prologue à son nouvel ouvrage sur ce sujet*. Actes Soc. Helv. Sci. nat. 38. Session Porrentruy.
- UMBGROVE, J. H. F. (1948): *Origin of the Jura Mountains*. Proc. Kon. Ned. Ak. Wetenschappen 51, No. 9.
- VOSSELER, P. (1928): *Der Aargauer Jura*. Mitt. Aarg. naturf. Ges. H. 18.