

# Vermehrtes Licht in der Juraforschung

Autor(en): **Heim, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **97 (1915)**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90283>

## **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.

# Vermehrtes Licht in der Juraforschung

von

Prof. A. HEIM (Zürich)

---

Die Erforschung eines Dislokationsgebirges schliesst immer zwei eigentlich getrennte Gesichtspunkte in sich: die Kenntnis der Gesteine, aus denen das Gebirge zusammengesetzt wird und die Kenntnis der Art, wie diese Gesteine zum Gebirge sich türmen. Das Erstere ist die petrographische, stratigraphische und paläontologische Erforschung des Gebirges; sie lehrt uns die ältere Geschichte nicht des Gebirges, sondern seiner Gegend kennen. Das Letztere ist die tektonische Erforschung; sie lehrt uns die jüngere Geschichte des Gebirges, d. h. die Vorgänge kennen, welche aus dem vorhandenen Stück Erdrinde dann das Gebirge gemacht haben, das jetzt vor uns steht. Früher hat man die Vorgänge der Gesteins- und der Gebirgsbildung irrtümlich zusammengeworfen. Heute halten wir beides klar auseinander. Bei Gebirgen, wie Schwarzwald, Alpen, Jura finden wir die Gesteine gar nicht mehr in derjenigen Lage, in der sie entstanden sein konnten. Eine Bewegung der Erdrinde, eine « Dislokation » der Gesteine hat aus dem vorhandenen Material die Gebirge aufgetürmt. Die Dislokation ist *jünger*, als die Entstehung der dislozierten Gesteine.

Während der Forschungsarbeit kann man freilich nicht beide trennen. Da muss beides gleichzeitig berücksichtigt werden. Die Stratigraphie ist erst mit Berücksichtigung der Tektonik verständlich und umgekehrt.

Die Zeiten sind vorbei, da der mathematisch und physikalisch

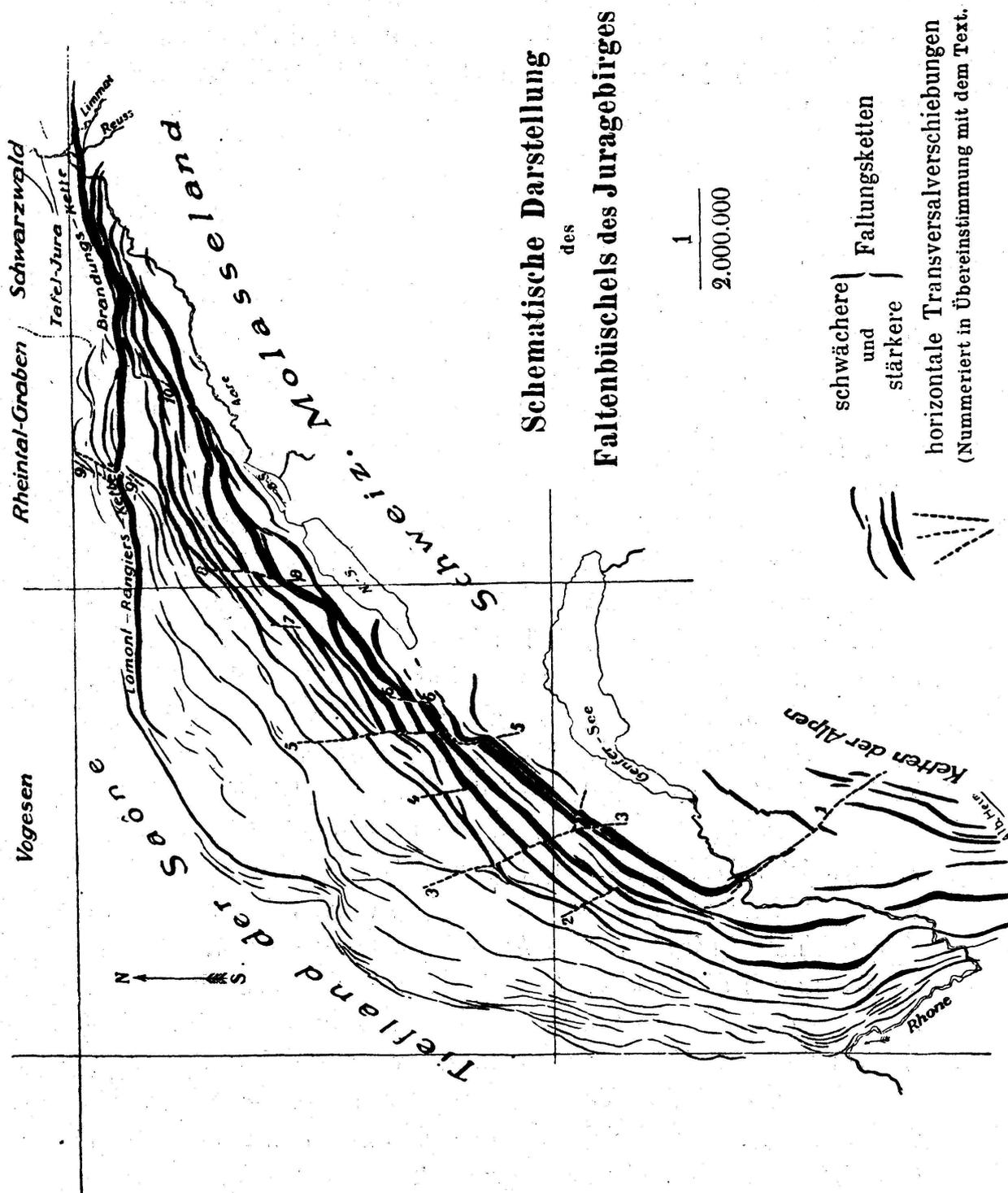
hochgebildete scharfsinnige *Studer* die Zirkustäler des Jura mit den Ringgebirgen des Mondes verglich und der treffliche Jurabeobachter *Gressly* sie für Explosionskrater hielt. 1830 bis 1850 hatte *Thurmann* den Faltenbau der Erdrinde im Juragebirge durchweg erkannt und verfolgt und in trefflichen Karten dargestellt. Und es war *Thurmann* selbst noch vergönnt, sich von der alten Vulkanistenidee, nach welcher er zuerst unter jedem Juragewölbe eine Spalteneruption angenommen hatte, zu befreien und einen Horizontalschub in der Erde von S. gegen N als die Ursache der nach seiner Zählung zirka 160 Falten des Juragebirges zu erkennen. Damit hatte *Thurmann* ganz selbständig den wesentlichsten Schritt getan, von den vulkanischen Gebirgen die Dislokationsgebirge abzutrennen und unter den letzteren war er in seinem Jura zuerst auf die Kettengebirge als Resultate eines faltenden Horizontalschubes in der Erdrinde gestossen.

Auf *Thurmann* und *Gressly* folgten *Alb. Müller*, *Jaccard*, *Greppin*, in neuerer Zeit *Schardt* und besonders in stratigraphischer Forschung *Rollier*, in tektonischer *Mühlberg* und eine ganze Reihe mehr.

Die alte Erfahrung bewahrheitete sich auch hier wieder: Je tiefer wir in die Natur eindringen, um so verwickelter und komplizierter zeigt sie sich. Wir lösen ein Rätsel und finden dafür zwei neue. Aber das einmal aufgegangene Licht erlöscht nicht wieder. Der Fortschritt in der Erkenntnis bleibt. Lassen Sie mich in dieser Stunde im Lichte neuer Erkenntnis, einige Erscheinungen im tektonischen Bau des Juragebirges betrachten, welche in den letzten 10 bis 20 Jahren durch die Arbeit mehrerer Juraforscher angezündet worden ist. Ich selbst bin dabei nur wenig beteiligt, ich bin nur derjenige, der mit Ihnen den neu beleuchteten Jura betrachten und bewundern will.

Ein Blick auf dieses schematische Kartenbild zeigt Ihnen die Anordnung der Dislokationen im Juragebirge. Die schwarzen Streifen sind umso breiter gehalten, je kräftiger die Gewölbeketten entwickelt sind, die dadurch dargestellt sein sollen. Der Jura zweigt im S mit 3 Ketten von den autochthonen Zonen der Alpen ab. Das Faltenbüschel geht dann gegen N fächerig

auseinander und vermehrt seine Glieder. In den mittleren Querprofilen zählen wir 8 bis 12 Falten. Gegen E schaaren sich die



Falten wieder und das dicht gebundene Bündel spitzt sich im E in eine einzelne Falte aus. Das ganze aus zirka 160 Falten gebildete Bündel bildet einen gegen NW ausgekrümmten Bogen.

Die NE Randkette und die Innenketten des Bogens sind die kräftigsten. Die zahlreichen verschiedenen Faltentypen sind ungleich auf die verschiedenen Regionen verteilt. Im E herrschen die überschobenen isoklinalen Falten und Schuppen vor, im mittleren Teil die aufrechten Gewölbefalten, im westlichen Teil die breiten Fächerfalten.

### Die Abscheerungsdecke.

Betrachten Sie die Querprofile durch einige der kräftigeren Falten aus verschiedenen Teilen des Juragebirges. Die Faltung ist hier, wie fast überall im Juragebirge, wo die Entblössungen darüber Aufschluss geben, noch im Hauptmuschelkalke vorhanden. Die Gewölbekerne sind dann mit gehäuften, durcheinander gestossenen, verkneteten Massen von Mergeln und Thonen des mittleren Muschelkalkes gefüllt. Versuchen Sie jetzt im Geiste oder in der Zeichnung das Profil nach der Tiefe zu ergänzen, zeichnen Sie den Verlauf von Wellendolomit, Buntsandstein, Perm, Gneiss etc. ein! Die Mitbeteiligung der tieferen Schichten an diesen so geformten Falten bleibt unbegreiflich. Es ist nicht möglich, sie sich noch harmonisch in die sichtbare Faltung hineinzudenken. Die Faltung ist dafür zu eng. Die Weite und Grösse der Falten reicht nicht aus. Die Form dieser Falten beweist, dass die tieferen Schichten *nicht harmonisch mitgefaltet sein können*. Und doch sollte man denken, dass wenn die Erdrinde zusammengeschoben worden ist, auch ihre tieferen Teile in irgend einer Art mitmachen müssten.

Wenn auch die tieferen Gesteine zusammengeschoben sind, so muss somit ihre Faltungsform eine ganz andere sein. Vielleicht ist es eine Faltung nach unten, vielleicht hat sich dort der Zusammenschub in Verdickung mit steiler Transversalschieferung vollzogen, vielleicht hat er sich an einem ganz andern Orte in grösserer Entfernung für die tieferen Rindenteile aufgelöst. Wir mögen uns das überlegen wie wir wollen und eine Menge von Profilen prüfen, wir werden stets zu dem Resultate geführt, *dass die obere geschichtete Sedimentmasse sich bei ihrer*

*Faltung von den tieferen Teilen der Erdrinde abgescheert und anders bewegt haben muss, als die tieferen.*

Eine solche Abscheerung ist am ehesten möglich in einem Komplex plastischer Schichten, der die nötigen Differenzialbewegungen in sich aufnimmt. Wie ein Schmiermittel wird dieses weiche Material an manchen Stellen zwischen den beiden disharmonisch bewegten Gesteinsmassen weggeschürft, sodass nur noch eine dünne Haut bleibt. An anderen, besonders in den Gewölbekernen der nach oben ausweichenden Falten oder in den Muldenkernen der nach unten ausweichenden, wird es angestaut und zusammengehäuft.

In den verschiedenen Teilen des Juragebirges mögen lokal verschiedene Mergelhorizonte sich in die Rolle des Abscheerungsmittels teilen. Im SW Jura gibt es gestaute Gewölbekerne mit Argovienmergeln gefüllt. In den paar Falten des Tafeljura, die wie ein Uebergriff der Tektonik des Kettenjura noch im Tafeljura angestaut sind, ist es der Keuper. Kleine disharmonische Bewegungen treten nicht selten beiderseits der Oxfordmergel auf. Allein das sind alles *lokale* Erscheinungen. Durch alle Teile des Kettenjura hindurch sind die *grossen Faltenkerne*, welche der Abscheerung der gesammten Juradecke entsprechen, mit dem Mergel und Ton des mittleren Muschelkalkes, der Anhydritgruppe, oder wie er auch kurz heisst, dem Salzton, gefüllt. Da gibt es festgequetschte Mergelmassen mit Transversalschieferung und mit Fältelung, oder zerfallend in flache Linsen von Rutschspiegeln umflossen. Brocken oder Fetzen überliegender Gesteine (Muschelkalk) sind verschleppt eingeknetet in einer Art gehäufter Schuppenstruktur. Aber nirgends, absolut nirgends in Gewölbekernen des Kettenjura ist bis jetzt auch nur ein Fetzen von Wellenkalk, Buntsandstein, Perm oder gar von kristallinem Grundgebirge entdeckt worden.

Es ist also klar: im Juragebirge reicht die in Faltungen und Ueberschiebungen sichtbare Horizontaldislokation von der sarmatischen Molasse in fast durchweg harmonischen Bewegungen der ganzen grossen Schichtmasse hinab bis in den mittleren Muschelkalk. In diesem hat sich die Abscheerung von der Unterlage vollzogen. Die Jurafaltung betrifft nur das, was über

dem mittleren Muschelkalk liegt. Wie sich der tiefere Komplex gehalten hat, wissen wir nicht.

Warum sich die Trennung gerade im mittleren Muschelkalk vollzogen hat, ist sehr verständlich. Wenn der Tangentialdruck in der Erdkrinde eine mächtige homogene oder nur unregelmässig verworren struierte Region trifft, so wird er eine Dickenzunahme, ein Ausweichen nach oben und eine steil stehende Druckschieferung darin erzeugen. Ganz anders wird das Resultat sein, wenn der Tangentialdruck auf eine ausgeprägt horizontal geschichtete Masse einwirkt. Faltung ist dann die Auslösung, welche weit weniger Ueberwindung von Molekularkräften erfordert. Das Grundgebirge unter dem Kettenjura besteht aus massigen Graniten und Porphyren, aus in etwas anderer Streichrichtung herzynisch gefalteten Gneissen, Materialien, die fest und alt versteift und zum Zusammenschub in der neuen Richtung sehr ungeeignet waren. Die mesozoischen und tertiären Sedimente darüber dagegen stellen in einem Komplex von 1500 bis 2000 m Mächtigkeit ein wunderbares Blätterwerk der Erdkrinde, geteilt in 10,000 bis 20,000 Schichten dar, das zur Faltung wie geschaffen ist. Der tiefste grosse Mergel- und Tonkomplex in der Nähe der Grenze zwischen dem steif vernalzten Grundgebirge ist in dieser Schichtfolge der Salzton. Hierin vollzog sich deshalb die mechanische Trennung, während Perm, Buntsandstein und Wellenkalk sich steif an das Grundgebirge, an die erhärtete alte Narbe in der Erde, hielten.

Unter dem Kettenjura liegt also wohl, starr und steif, der S-Ausläufer des Schwarzwaldes mit Buntsandstein bedeckt als stehen gebliebene Grundlage. Das ganze schweizerische Molasse-land ist um den Schubbetrag des Jura, das ist um 5 bis 10 km gegen den Schwarzwald fuss bewegt worden, gleitend auf dem Salzton. Die der Jurafaltung entsprechende Stauung hat sich für die tieferen Schichten vielleicht in den autochthonen Zentralmassiven vollzogen. Die Schweremessungen der Geodätischen Kommission haben ergeben, dass der Massendefekt in der Erdkrinde am Schwarzwaldrande beginnt und südlich bis in die Alpen hinein fast ganz gleichmässig zunimmt als ob der Kettenjura gar nicht vorhanden wäre. Das ist ein neuer Beweis

dafür, dass eben die Faltung des Kettenjura gar nicht in die Tiefe hinab greift, sondern der Faltenjura nur auf einer Abscheerungshöhe obenauf liegt.

Die Idee der zusammenhängenden Abscheerung und unabhängigen Faltung der Abscheerungsdecke ist in voller Schärfe und Klarheit zuerst von *Buxtorf* ausgesprochen und entwickelt worden. Sie scheint uns ein grosser Fortschritt, ein neues Licht in der Theorie des Faltenjura zu sein.

Der im Jura gefaltete Schichtenkomplex steigt aus dem Untergrund des Molasselandes sanft gegen den Schwarzwald und die Vogesen an, unter gleichzeitiger Ausdünung durch eine Abrasion älter als die Faltung. In jener Richtung findet deshalb die mechanische Fähigkeit zur Fortleitung des Schubes ihr Ende. Die am Schwarzwaldwiderstande zuerst angestauten Falten wurden zum Zerreißen ihrer Mittelschenkel forciert, so dass die Abscheerungsfläche nach oben ausstreichen musste. So ist die sogenannte Brandungszone des Kettenjura am Tafeljura, d. h. Schwarzwaldsüdfuss, entstanden.

### Die Brüche im Juragebirge.

Wir sind damit in das spezielle Untersuchungsgebiet unseres *Fritz Mühlberg* getreten, der als der älteste und einer der fruchtbarsten Juraforscher im vergangenen Frühling, leider für den Abschluss seiner Arbeiten viel zu früh gestorben ist. Das Licht, das von seinen Beobachtungen ausgeht, wird nicht erlöschen.

*Albrecht Müller* hatte zuerst in der Randzone des Kettenjura am Tafeljura flache Ueberlagerungen älterer Schichten auf jüngeren erkannt. *Mühlberg* verfolgte dieselben genauer. Die geologische Kommission übertrug ihm dann die detaillierte geologische Kartierung der Grenzregion von Ketten- und Tafeljura. Eine Reihe unübertrefflicher 1 : 25,000 Karten sind daraus hervorgegangen, andere weit vorbereitet.

*Mühlberg* stellte zuerst fest, dass der Kettenjura durchweg über den Rand des Tafeljura hinausgeschoben ist. In sich wiederholenden Schuppen liegen die älteren Schichten auf den

jüngeren, alle gegen S abfallend. Er versuchte erst mehrere etwas sonderbare Erklärungen der von ihm beobachteten Tatsachen, und stellte dann seine « Ueberschiebungstheorie » des Kettenjura in einen Gegensatz zur « Faltentheorie », weil er in den Ueberschiebungsbrüchen einen grossen Gegensatz zur Biegung erblickte. Weitere eindringliche Beobachtung hat ihn dann aber davon überzeugt, dass die Ueberschiebungen meistens gesteigerte, übertriebene Falten sind.

Fassen wir hier die Sache von einem allgemeineren weiteren Gesichtspunkte auf: Ausser den Falten aus Biegungen gibt es im Jura auch *Brüche* in der Erdrinde mit Verschiebungen an den Bruchflächen. Die Brüche im Juragebirge sind, wie sich nun aus allen Beobachtungen und Kontroversen zahlreicher Forscher ergeben hat, viele kleine unregelmässige mehr zufällige Brüche ausgenommen, 3erlei Art:

1. *Verwerfungen*. Das sind steile, annähernd vertikale Bruchflächen mit primär relativer Vertikalverstellung der beiden Flügel und mehr oder weniger senkrechten Rutschstreifen. Oft kommen sie paarig vor mit relativer Absenkung des Zwischenstückes (Grabenbrüche). Die Verwerfungen gehören einzig und allein dem Tafeljura an. Sie laufen in Schwärmen N-S oder NE-SW. Sie durchschneiden Trias, Jura, Eocaen und Unteroligocaen, werden aber transgressiv glatt überdeckt vom jüngeren Miocän (Vindobonien). Sie sind in der jüngeren Oligocaenzeit und im ältesten Miocän entstanden und nur hie und da postsarmatisch noch etwas reaktiviert worden. Diese Verwerfungen gehen vom Schwarzwald bis an den Nordrand des Kettenjura; sie tauchen mit dem Tafeljura unter die Brandungskette hinein. Nirgends finden sich solche Brüche im Kettenjura. Der Rheintalgraben selbst und viele von den Vogesen anlaufende Verwerfungen haben den gleichen Charakter. Sie sind schwarzwäldisch und bleiben am Rande des Kettenjura stehen.

2. Im Kettenjura treffen wir eine kleine Zahl — etwa 10 — die Ketten unter ziemlich steilem Winkel schneidende, meist vertikale Bruchflächen, die *Transversalbrüche*. Sie sind keine Verwerfungen i. e. S., denn die beidseitigen Gebirgsmassen sind nicht vertikal, sondern vorherrschend horizontal aneinander

verschoben und die Rutschstreifen auf den Bruchflächen laufen annähernd horizontal. Diese Querbrüche durchscheeren oder schleppen postsarmatische Gesteine und postsarmatische Falten, sie sind also jünger als Molasse, das heisst, pontisch oder pliocän; sie sind erst gegen Schluss der Faltung entstanden. Wir werden auf die Querbrüche zurückkommen.

3. Die grosse Mehrzahl der Bruchflächen sind longitudinal streichende *Ueberschiebungen*. Im Gegensatz zu Nr. 1 und 2 stehen sie nicht steil, sie liegen oft horizontal oder fallen nur mit wenigen Graden ein; sie können Neigungen von 10 bis 30°, nur ausnahmsweise noch steilere Lage annehmen. Die Rutschstreifen laufen ungefähr in der Fallrichtung der Ueberschiebungsfäche. Die Bewegung ist Auslösung von *Horizontal-schub*. Stets ist der ältere Gebirgstheil über den jüngeren hinaufgeschoben. Im Juragebirge sind an solchen Flächen Trias, Jura und Kreidegesteine über sarmatische Molasse hinausgeschoben, sie sind also wie die Falten und die Querbrüche im Juragebirge postsarmatisch, das heisst um die mittlere und obere Molasse jünger als die Verwerfungen im Tafeljura. Diese Brüche sind die « Faltenverwerfungen », « Faltenbrüche », « Pli-failles », « Ueberschiebungsfalten », « Ueberschiebungen », « Chevauchements » wie sie genannt worden sind. Mit diesen Erscheinungen in ihrer stärksten Ausbildungsform haben wir es nach den Untersuchungen von Mühlberg in der Brandungszone durchwegs zu tun.

Wenn eine Falte sich einseitig überlegt und die stauende Bewegung noch lange anhält, so wird die Gewölbeumbiegung immer weiter über die Muldenbiegung hinausgestossen. In dem oberen Schenkel, dem Gewölbeschenkel, findet Stauung statt; ebenso in dem untersten Faltenschenkel, dem Muldenschenkel. Sekundäre Falten können die Folge sein. Der Mittelschenkel dagegen zwischen Gewölbeumbiegung und Muldenumbiegung wird gestreckt, ausgewalzt und ist eingeklemmt zwischen relativ entgegengesetzt sich bewegenden Gesteinsmassen. Zugleich ist er ausgezeichnet durch verkehrte Schichtfolge. Der Mittelschenkel wird deshalb ausgedünnt, verquetscht, reduziert, in Fetzen zerrissen, von Rutschflächen begleitet und durchsetzt,

und wo er ganz zerreisst, entsteht an seiner Stelle eine flache Rutschfläche, an welcher sich im Ueberliegenden die ältesten Schichten, der Gewölbekern der Falte, überschiebt über die unterliegenden jüngsten Schichten, den Muldenkern. Das sind die streichenden Ueberschiebungen der Faltengebirge. Sie bilden nicht einen Gegensatz zu den Falten, sondern sind eine Potenzierung derselben.

Das Juragebirge ist durchweg reich an Faltenbrüchen, Faltenüberschiebungen. Die meisten derselben sind von bescheidenem Ausmass. Alle Uebergänge von aufrechten in liegende Falten bis zu solchen mit starker Ueberschiebung und zerrissenem Mittelschenkel sind oft in ein und derselben Kette zu finden. Diejenigen Ueberschiebungsfalten, deren Ueberschiebungsausmass ein bis mehrere Kilometer beträgt, gehören alle dem Aussenrande des Jurafaltenbüschels und ganz besonders der Brandungszone vom Rheintalgraben östlich bis in die Lägern an.

Dass auch hier die Ueberschiebungen zu den Falten gehören, ist durch *Mühlbergs* Untersuchungen vielfach bewiesen. An der einen Stelle sieht man die Gewölbestirn mit deutlicher Umbiegung der Schichten erhalten. An einer andern Stelle ist sie durch Verwitterung abgetragen, dagegen der Muldenschenkel entblösst. Da sieht man, wie der S-Rand des Tafeljura aufgebogen und über sich selbst zurückgestülpt und dann ausgedünnt ist, bis er sich in die Ueberschiebungsfläche auskeilt. An wiederum andern Stellen stossen wir in der Ueberschiebungsfläche auf linsenförmige Fetzen verschiedener Schichten als letzte Reste eines Mittelschenkels oft noch deutlich mit verkehrter Schichtfolge in solchen Relikten. Wie ein rudimentäres Organ in der Entwicklungsgeschichte beweisen sie die Abstammung der Ueberschiebung aus einer liegenden Falte mit verkehrtem Mittelschenkel. In dichter Drängung türmt sich eine zur Ueberschiebungsschuppe gewordene liegende Falte über die andere, was die Brandungszone in ihrem Bau sehr verwickelt gestalten kann. Die *Mühlberg'schen* Profile ergeben für die Brandungszone von der Aare bis zur Birs einen Zusammenschub von 5 bis 14 km, von dem die Hälfte bis zwei Drittel durch Bewegung

auf den Ueberschiebungsflächen sich vollzogen hat. Wenn die Ueberschiebung recht weit greift, so können ursprünglich einwärts gelegene andere Falten dem vorliegenden Gebirge mehr und mehr aufgeschoben werden. Sie spielen dann schliesslich die Rolle von Falten zweiter Ordnung im Gewölbeschenkel der grossen Ueberschiebungsfalte. Die Ueberschiebungen im Jura-gebirge sind Auslösungen des Horizontalschubes vom Typus der forcierten Falten.

Eine viel seltenere Modifikation der Ueberschiebungen fand *Mühlberg* in den *Scheitelbrüchen*. Auch sie verlaufen streichend, auch sie sind horizontaler Zusammenschub, allein anstatt durch Zerreißen aus einem Mittelschenkel sind sie aus einem Bruch im Gewölbescheitel entwickelt. Ich denke mir den Scheitelbruch provoziert durch relativ frühzeitige Erosionsentlastung über dem Scheitel. *Buxtorf* hat im Grenchenbergtunnel eine potenzierte Form des Scheitelbruches entdeckt, bei welcher die Ueberschiebungsfläche von Scheitel auf Scheitel wieder weiter gefaltet worden ist.

### Die Querbrüche.

Noch kein Juraforscher hat sich der Querbrüche im Besonderen angenommen. *Jaccard* sprach zuerst von der grossen Querverschiebung von Vallorbe bis Pontarlier, allein ohne für diese Art der Dislokation einen richtigen Ausdruck zu finden. In den geologischen Karten sind sie nur teilweise eingetragen, aber vielfach erkennt man sie schon in den geographischen Karten. Am 3. Oktober fuhr ich in 5000 bis 6000 m Höhe im Freiballon über den Jura. Das ganze Jura-gebirge war zu überschauen. Ich werde den Anblick mein Leben lang nie vergessen. Die grosse Transversalverschiebung von Montricher bis Pontarlier sah aus, als ob ein Gott mit einem gewaltigen Messer durch die ganze Schar von Runzeln der Erdrinde einen gewaltigen Schnitt gezogen hätte, der nicht zu verheilen vermag. Man konnte sehr gut übersehen, wie alle die Längszonen an diesem Querbruch abgescheert und wie stets die östliche Seite weiter gegen Norden vorgeschoben ist. 8. bis 10. Anti-

klinalen sind von ihm durchsetzt. Strasse und Eisenbahn benützen die Furche.

Ich bin nun kürzlich einigen der Querbrüche im Felde nachgegangen und habe, was ich in Karten und Notizen über andere finden konnte, zusammengetragen. Ich kam kurz gefasst zu folgendem Resultate:

Der Ostzipfel und der Westzipfel des Jura haben keine nennenswerten horizontalen Transversalverschiebungen. Dagegen finden wir im übrigen Teil deren bis jetzt 10. Es ist nicht wahrscheinlich, dass noch weitere von Bedeutung gefunden werden.

Gewölbe und Mulden westlich eines Querbruches sind alle östlich desselben wieder zu erkennen, ihre Form ist etwas geändert. Daraus folgt, dass die Falten in der Hauptsache älter sind als die sie durchsetzenden Querbrüche. Aus der Formdifferenz der Falten beiderseits folgt aber auch, dass die Faltung nach dem Bruch noch etwas weiter gegangen ist. Die Querbrüche durchschneiden die Molassemulden. Sie laufen ferner oft derart aus, dass sie eine vorliegende Kette nicht mehr durchschneiden, wohl aber, noch krümmen, schleppen im Sinne der Verschiebung. Auch dies beweist, dass die Querbrüche dem Schluss der Faltungszeit angehören. Die Querbrüche sind also jünger als die Verwerfungen des Tafeljura! Sie gehören der letzten Phase der postsarmatischen Faltung an.

Alle Querbrüche im Jura haben vollständig harmonische Erscheinungen:

Sie laufen alle fächerförmig nach Norden auseinanderfliehend. Ihr Fächer umfasst  $75^\circ$ . Von SW nach NE drehen sich zugleich die Ketten, aber bloss um  $55^\circ$ . So kommt es, dass die westlichen Querbrüche mit den Ketten einen Winkel von  $70$  bis  $80^\circ$  einschliessen, die NE-licheren dagegen die Falten immer spitzwinkliger schneiden bis hinab auf  $30-35^\circ$ .

Alle die 10 Querbrüche schieben den östlichen Flügel nördlich vor. Die westlichen setzen an der innersten Kette an und verlaufen nach aussen, die östlicheren gehören mehr dem inneren, keine dem äusseren Teil des Falten-Büschels an. Die Verschiebung auf der Bruchfläche gemessen beträgt meistens über

1 km und kann bis 10 km betragen (Pontarlierbruch). Aehnlich wie im Säntisgebirge der Fählensee dadurch entstanden ist, dass eine Kette durch einen Querbruch verschoben vor ein Synklinaltal gesetzt worden ist, so sind Lac de Joux und Lac Brenet durch den Pontarlier-Querbruch gebildet.

Ganz besonders auffallend ist die annähernd regelmässige und gleichförmige Verteilung der Querbrüche im Juragebirge. Der weitaus grösste und stärkste Querbruch (Montricher-Pontarlier) liegt völlig in der Mitte. Die beiden nächstliegenden grossen, von Dôle und Freibergen, liegen symetrisch je 35 km SW und NE davon. Die kleineren, die nur wenige Falten durchschneiden, liegen regelmässig verteilt dazwischen, so dass die Abstände nie unter 6 km und nicht über 20 km gehen.

Diese harmonische Gestaltung und Verteilung beweist, dass die Querbrüche die Auslösung einer grossen einheitlichen Spannung sind, welche die ganze Region gegen Schluss der Faltung fast gleichmässig ergriffen hat.

Messen wir die Länge eines von den Querverschiebungen durchsetzten Faltenzuges zusammenhängend ausgeglichen von einem Ende zum andern jetzt und nachher so wie sie vor den Brüchen war, so erkennen wir sofort, dass die Brüche eine *longitudinale Streckung* bedeuten.

Wir können diese Streckung in der Kettenlänge direkt aus der Karte messen, oder wir können sie berechnen. Sie ist in einer am meisten betroffenen Büschelfaser durch einen Querbruch gleich der am Bruche gemessenen Verschiebung mal dem Cosinus des Winkels zwischen Bruch und Faltenstreichen. So berechne ich, dass die Gesamtstreckung der inneren Faltenzone etwa 10 km beträgt. Der Jura ist also von etwa 320 km Länge auf 330 km ausgezogen worden, das ist 3%. Das *Ausbiegen* der Juraketten während ihrer Faltung hat notwendig eine Longitudinalstreckung derselben erzeugt. Die Auslösung in den Querbrüchen war umso leichter, als die Querbrüche eben schief zur Kette gehen, sodass jede Verschiebung auf dem Querbruch eine Verlängerung des Bogens bedeutete. Würden die Querbrüche einen spitzen Winkel mit dem Kettenstreichen

gegen W öffnen, so müsste bei allen die Westseite vorgeschoben sein, um Ausweitung des Bogens zu ergeben.

Die Streckung durch Transversalbrüche ist lange nicht so gross, wie die Differenz in Länge von Bogen und Sehne des ganzen Jurafaltenbüschels. Das hat seine Ursache darin, dass teils wahrscheinlich die Ketten schon in Statu nascendi gekrümmt waren, teils, weil ein Teil der Longitudinalstreckung auch auf andere Art befriedigt werden konnte. Die Frage ist sehr naheliegend, warum denn die am stärksten ausgekrümmten Falten, die nordwestlichsten, von den Transversalverschiebungen nicht erreicht werden. Die Antwort scheint mir darin gegeben, dass die Querbrüche nur die schon *länger* bewegten und dadurch longitudinal gestreckten Ketten durchsetzen, das sind für die postsarmatische Bewegung die innersten; dass dagegen die späteren nordwestlich sich angliedernden Ketten wohl als Reaktion auf den ausbiegenden Schub schon viel stärker bogenförmig angelegt, dann nachher lange nicht mehr so stark weiter ausbiegend getrieben worden sind. Auch aus anderen Gründen geht hervor, dass, mit Ausnahme der Brandungskette im Osten, die inneren Falten bei der postsarmatischen Hauptfaltung zuerst entstanden und am weitesten bewegt worden sind, die äusseren, in der Anlage zum Teil älteren, zuletzt wieder reaktiviert worden sind — die inneren erlitten deshalb auch die stärkere Streckung.

Das Resultat unserer Untersuchung der Querbrüche lässt sich dahin fassen: Zehn, die Ketten schief durchschneidende horizontale Transversalverschiebungen von auffallend gleichmässiger Verteilung, harmonischer Divergenz gegen N und einheitlichem Sinn (Ostseite nördlich vorgeschoben) durchsetzen den inneren Teil des Faltenbüschels teilweise oder ganz. Sie sind erst im späteren Teil der Jurafaltung durch Längsstreckung bei der weiteren Ausbiegung entstanden als eine rein kettenjurassische, postsarmatische horizontale Dislokation.

#### Einseitige Bewegung.

Alle Tangentialbewegungen in der Erdrinde sind relativ und Druck und Gegendruck sind einander gleich. Allein wenn der

Zusammenschub ein begrenztes Stück Erdrinde betrifft und ein Kettengebirge von begrenzter Ausdehnung auffaltet, werden wir aber doch von einer bestimmten einseitigen Bewegungsrichtung und einseitigen Schubrichtung reden können, indem wir dem gegenüber die gesamte grosse Umgebung, die in dieser Zeit keinerlei relative Verstellungen erlitten hat, als fest stehend geblieben annehmen, im Gegensatz zu dem kleineren Rindenstück, das gefaltet worden und mit seinem Hinterland nachgerückt ist. Wir können somit oft von einer bestimmten *einseitigen Richtung der faltenden Bewegung* sprechen. Wir wollen sehen, wie es sich in dieser Beziehung mit dem Jura verhält.

1. Das sicherste Mittel zur Bestimmung der Richtung faltender Bewegungen ist stets die *Krümmung* der Faltenzüge. Stets muss der Schub von der innern nach der äusseren Seite in der Pfeilrichtung des Bogens gegangen sein. Die Ausbiegung entspricht der grössten Bewegung, die Enden des Bogens dem Ausklingen derselben. Ich erinnere an die Faltenformen eines ausgebreiteten Tuches, dessen mittlere Partie wir mit aufgelegten Händen vorschieben.

Beim Kettenjura zeigt die *allgemeine Ausbiegung des Faltenbüschels* eine einseitige Bewegung gegen NW, Schub aus SE an. Sowohl das ganze Bündel wie viele Einzelfalten haben die ganz harmonische Krümmung. Wenn eine Kette gewellten Verlauf hat, so ist die Falte stets in den mehr nach NW vorgeschobenen Teilen kräftiger, als in den SE zurückgebliebenen. Ein gewellter Kettenverlauf zeigt sich also aus mehreren aneinandergereihten nach NW ausgebogenen Stücken zusammengesetzt. Wo starke Falten relativ rasch endigen und untertauchen, gerade wie beim geschobenen Tuch, biegen die erlöschenden Enden nach der Innenseite des Bogens, also harmonisch der Ausbiegung des Gesamtbüschels um. Im Ostjura ist diese Erscheinung von *Mühlberg* und neuestens besonders genau von *Amsler* geprüft worden. Die kürzeren Innenketten zeigen die Erscheinung symmetrisch gegen E wie auf der W-Seite. Sie sehen das auf unserer Uebersichtskarte.

Also der Jura als Ganzes wie jede seiner Fasern zeigt die

harmonische Auskrümmung der Falten, die einzig die Folge einheitlicher und einseitiger Schubrichtung gegen NW sein kann.

2) Der Jura ist *einseitig unsymmetrisch in seiner tektonischen und in seiner orographischen Höhe*. An der Innenseite des Faltenbüschels laufen im Allgemeinen die kräftigsten Gewölbe und zwischen ihnen die höchsten plateau-ähnlichen Zonen. Gegen Aussen werden die Falten schwächer und die Zwischenzonen stufen ihre Höhe ab. Eine Ausnahme macht nur im Osten die Brandungskette. Sie besteht eben aus einer Concentration des Schubes, der sich sonst auf mehrere Ketten verteilen sollte, durch Auffangen am Widerstand des Schwarzwald-Tafeljura. Wenn wir ein Tuch zusammenschieben erhalten wir die gleiche Einseitigkeit der Höhen. Die innerste Falte am Rande der schiebenden Hand ist die erste und wird die höchste. Die äusseren schieben sich später, schon in Statu nascendi ausgebogen an, sie bleiben aber Stufe um Stufe niedriger.

3) *Die Richtung*, nach welcher eine erst aufrechte Falte sich *überlegt* oder gar ganz liegend weiter entwickelt, hängt von verschiedenen Umständen ab: Relative Höhe der Fusspunkte beiderseits der Falte; freier Raum auf der einen Seite, geschlossener auf der andern; harmonisches Anschmiegen an schon vorhandene Falten. Heute wissen wir nun überdies, dass auch die einseitige Bewegungsrichtung in der Richtung des Ueberliegens sich geltend macht. Es ist nämlich mechanisch leichter, ein Gewölbe in der Schubrichtung zu überschieben, als eine liegende Mulde zu unterschieben. Eine Ueberschiebung wird sich eher in der Richtung der Bewegung ansteigend fortsetzen, als sich von der festen Seite gegen die bewegte überzulegen. Im Jura gibt es überliegende Falten und Ueberschiebungen nach der Aussenseite der Bögen wie nach der Innern. Aber die Entdeckung von Thurmann, dass etwa 5 mal mehr Falten nach aussen als nach innen überliegen, oder gar überschoben sind, hat sich im weiteren vollauf bestätigt. Im Besondern sind in den äusseren Falten des Büschels die Ueberschiebungsfalten nach aussen gerichtet und die Brandungskette besteht fast ganz nur aus solchen, obschon dort die Aussenseite die Höhere ist.

4) Als viertes Moment zur Bestimmung der einseitigen Bewegungsrichtung kommen die *Transversalbrüche* in Betracht. Auch sie beweisen nach der Aussenseite des Büschelbogens gerichtete einseitige Bewegung. Gerade aus den Querbrüchen können wir erkennen, dass die Ausbiegung des Faltenbündels nicht eine primäre zufällig begründete krumme Anlage ist, sondern dass sie mit der Faltung gleichzeitig sich vermehrt hat.

Durch den ganzen Jura hindurch finden wir diese Merkmale des Schubes in vorherrschend nordwestlicher Richtung. Der Jura ist *einheitlich, einseitig* gebaut und aus SE geschoben. Der Betrag des Zusammenschubes ist 8 bis 17 Km.

Im SW zweigt der Jura von den Alpen als ein kleiner Seitenast ab. Dort sind die Falten grösser, gröber in ihren Formen, höher. Nach NE mit der Entfernung vom Alpenstamm werden sie allmählig schwächer. Die Haupteigenschaften des Stammes haben sich auf den Seitenzweig vererbt und kommen hier zur Geltung, und zwar einfacher, durchsichtiger, mit weniger Complicationen, verständlicher und leichter zu erkennen, viel gelinder im Ausdruck, viel massvoller, als im Stamme.

Der Jura zeigt gleiche unsymmetrische Einseitigkeit in der Ausbiegung der Ketten, in der Richtung der Ueberschiebungen, in der Anordnung der tektonischen Höhen, in der Türmung von Schuppen, gleiche Richtung einseitiger Bewegung aus gleicher Zeit wie die Alpen.

So, wie die Gebirge jetzt vor uns stehen, Alpen wie Jura, ist das über Meerniveau genommene Volumen lange nicht mehr die Hälfte dessen, was durch die tektonische Bewegung aufgestaut worden war. Alpen und Jura sind nur noch Ruinen. Ein grosser Unterschied besteht aber darin, dass der Verwitterungsabtrag im Jura viel mehr nach dem inneren Bau Schicht um Schicht abgeschält hat, sodass der innere Bau in der äusseren Form noch immer gut zum Ausdruck kommt, währenddem in den Alpen die äussere Form den inneren Bau vielfach mächtig überwunden und verwischt hat.

Allerdings ist der Jura tektonisch wohl 100mal schwächer

als die Alpen, und er ist viel weniger tiefgründig. Er ist nicht ein starker Ast der Alpen, sondern nur ein kleines besonders schön harmonisches Seitenzweiglein, ein kleiner harmonischer Mitklang zu dem gewaltig brausenden tektonischen Akkord der Alpen.

---