Die Kinematik der Abscherung

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **54 (1961)**

Heft 1

PDF erstellt am: **16.05.2024**

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Aus dieser Deutung der Beobachtungen ergibt sich dann eine einfache, mit der Jurafaltung korrelierbare Folge von Ereignissen in den Alpen. Im Pliozän wären die Massive zusammengestaucht worden, und die Morcles- und Doldenhorndecke wären samt ihren kristallinen Kernen – wenn man so sagen darf – nach Norden über die sich gleichzeitig aufbäumenden Massive der Aiguilles Rouges und des Gastern-Rottal-Kristallins vorgepresst worden. Die Aufbäumung der Massive verlieh dem Südschenkel der Abscherungsdecke die nötige Höhe und Steilheit, um sie in ein sehr labiles Gleichgewicht zu versetzen, so dass es nur noch eines relativ geringen Anstosses bedurfte, um sie in Bewegung zu versetzen. Dieser Anstoss ging sozusagen gleichzeitig aus von den über die nördlichen Massivteile hinaufgepressten südlichen Massivteilen und ihren Sedimentmassen, der Doldenhorn- und der Morcles-Decke.

Die geologischen Verhältnisse in den Alpen sind kompliziert und gewiss nicht leicht und in zwingender Weise zu deuten, aber man darf wohl kaum behaupten, dass sie der Fernschubhypothese widersprechen.

E. DIE KINEMATIK DER ABSCHERUNG

Wenn man sich durch die bisher vorgebrachten lokalgeologischen, mechanischen und palaeogeographischen Argumente hat überzeugen lassen, dass nach heutigem Wissen die Fernschubhypothese eine gewisse Berechtigung hat, so wird man weiterhin versuchen, die Gesamtstruktur des Juras mit ihren mannigfaltigen Besonderheiten in ihrem Lichte zu verstehen. Diese Struktur muss sich dann als Produkt der Abscherung und der präexistenten Tektonik erkennen lassen, ein Gedanke, der schon von AMSLER (1926) klar formuliert wurde. Dabei sind allerdings verschiedene kinematische Probleme zu lösen. Erstens ist zu erwägen, welche kinematischen Notwendigkeiten sich aus der seitlichen Begrenztheit des Faltenjuras sowie aus den extrem divergenten Streichrichtungen seiner Faltenbündel ergeben – ein Problem, das sich als solches *flächenmässiger Kinematik* bezeichnen lässt. Zweitens ist rein *profilmässig* zu bestimmen, in welcher Weise es der Abscherungsdecke möglich war, präexistente Sockelsprünge von beträchtlicher Grösse zu überwinden.

1. Flächenmässige Kinematik

Der Jura war vor der Faltung, wie oben schon mehrmals festgestellt, eine in Schollen zerlegte Plattform, die rings von grösseren Depressionen umgeben war. Für die Abscherungsbewegungen bestand deshalb ein ausgeprägter *Rahmen*, der das kinematische Gesamtbild bestimmen musste, und es waren Schienen vorhanden, längs denen die Bewegungen vorzugsweise ablaufen konnten. Man muss deshalb von vornherein eine ausgesprochene Rahmen- und Schienentektonik erwarten. In dieser Art von Tektonik ist vor allem eines von grundlegender Bedeutung: Die Richtung der Faltenachsen ist im allgemeinen nicht senkrecht zur Richtung des Massentransportes. Es ist durch unzählige Beispiele erhärtet, dass, wo Schienen vorhanden sind, die Gesamtbewegung in Komponenten zerlegt wird. Eine erste Bewegungskomponente ist längs der Schienen gerichtet und bewirkt horizontale Transversalverschiebungen, eine zweite verläuft quer zu den Schienen und führt zu Stauchung und Faltung. Der Schreibende hat sich seinerzeit mit einem mehr lokalen Beispiel für diese Zerlegung am Westrand des Delsberger Beckens befasst (LAUBSCHER

1948). Dort spielte sich die Transversalverschiebung längs eines NNE gerichteten präexistenten Bruches ab, die dazu senkrechte Stauchung bewirkte die Caquerelle-Antiklinale. Was aber für diese einzelne Antiklinale gilt, das kann auch die Entstehung ganzer Faltenstränge bestimmt haben. Diese Ansicht drängt sich für den Jura mit seinen extrem divergenten Faltenbündeln geradezu auf: eine Kinematik, bei der die Bewegung eines Punktes der Abscherungsdecke bezüglich des Sockels überall senkrecht zu den lokalen Faltenachsen verläuft, ist unmöglich. Anderseits sind die divergierenden Faltenstränge ganz eindeutig durch präexistente Störungen – also Schienen – bestimmt; dies ist schon AMSLER (1926) aufgefallen.

Es ist hier nicht der Ort, die Kinematik der Jurafaltung im einzelnen durchzuanalysieren. Die hier gestellte Aufgabe beschränkt sich darauf, sie im grossen abzuklären und allgemeine wegleitende Regeln aufzustellen für die Bewegungen in kleineren Bereichen. Dazu wählt man als Ausgangspunkt am besten den mächtigsten Faltenstrang des Kettenjuras, den Faisceau Helvétique. Das damit assoziierte Rahmenelement im Sockel ist die schwache Flexur, die die Juraplattform im SE begrenzt und ins Molassebecken überleitet. Der Faisceau Helvétique gibt wohl am ehesten die Richtung des Massentransportes wieder; denn das assoziierte Rahmenelement bedeutete zwar eine geometrische Unregelmässigkeit in der Schubbahn, welche den basalen Widerstand lokal erhöhte und eine Stauung der Schubmasse bewirkte, doch ist es keine ausgesprochene Schiene zur Zerlegung der Bewegung in Komponenten. Ausserdem ist es ungefähr parallel zu den Massiven und zum SE-Schenkel des Molassebeckens, also senkrecht zu den mutmasslichen treibenden Kräften. Man ist deshalb fast zur Annahme gezwungen, die Abscherungsdecke sei nach Nordwesten geglitten, wenigstens in ihrem zentralen Abschnitt zwischen dem Bielersee und dem Südwestende des Genfersees. Daraus folgt dann aber sozusagen zwangsläufig, dass benachbarte divergierende Faltenbündel eine Bewegungskomponente in der Streichrichtung, d.h. eine streichende Horizontalverschiebungskomponente erhalten müssen. Der Faisceau Lédonien z.B. muss neben der manifesten Stauchungskomponente, die senkrecht zum Rahmenelement des Bressegraben-Randes gerichtet ist, auch noch eine NNE gerichtete Komponente aufweisen, die parallel zum Rahmenelement verläuft. Das SE bis SSE streichende Faltenbündel von Ambérieu–St-Genix, das fast senkrecht zum Faisceau Helvétique streicht, muss jedenfalls eine ganz bedeutende streichende Horizontalverschiebung parallel zum Rahmen – hier der Begrenzung gegen die Ile Crémieu – erfahren haben. Diese Annahme findet eine besondere Stütze in der relativ nahen, parallelgerichteten Störung des Mont Vuache, die vom Jurainnern an der Bienne bis in die Voralpen SE Annecy als eindeutige horizontale Transversalverschiebung zu erkennen ist. Zudem ist aber die Stauchung senkrecht zum Rahmen ganz beträchtlich, es muss also eine bedeutende, gegen SW gerichtete Komponente vorhanden sein. Daraus aber ergibt sich ein schwerwiegendes Problem: soll nämlich unsere erste, auf der Streichrichtung des Faisceau Helvétique fussende Annahme richtig sein, dass der Jura insgesamt gegen NW geschoben wurde, so ist eine gegen SW gerichtete Komponente offensichtlich fehl am Platze. Aus diesem Dilemma hinaus führt uns nun eine zwar recht unorthodoxe, dafür aber umso einfachere Deutung des Bewegungsbildes. Zur Illustration sei auf Figur 14 verwiesen. Darauf ist für verschiedene Punkte des Juras, vornehmlich seines Innenrandes, Richtung und Betrag der Gesamtbewegung

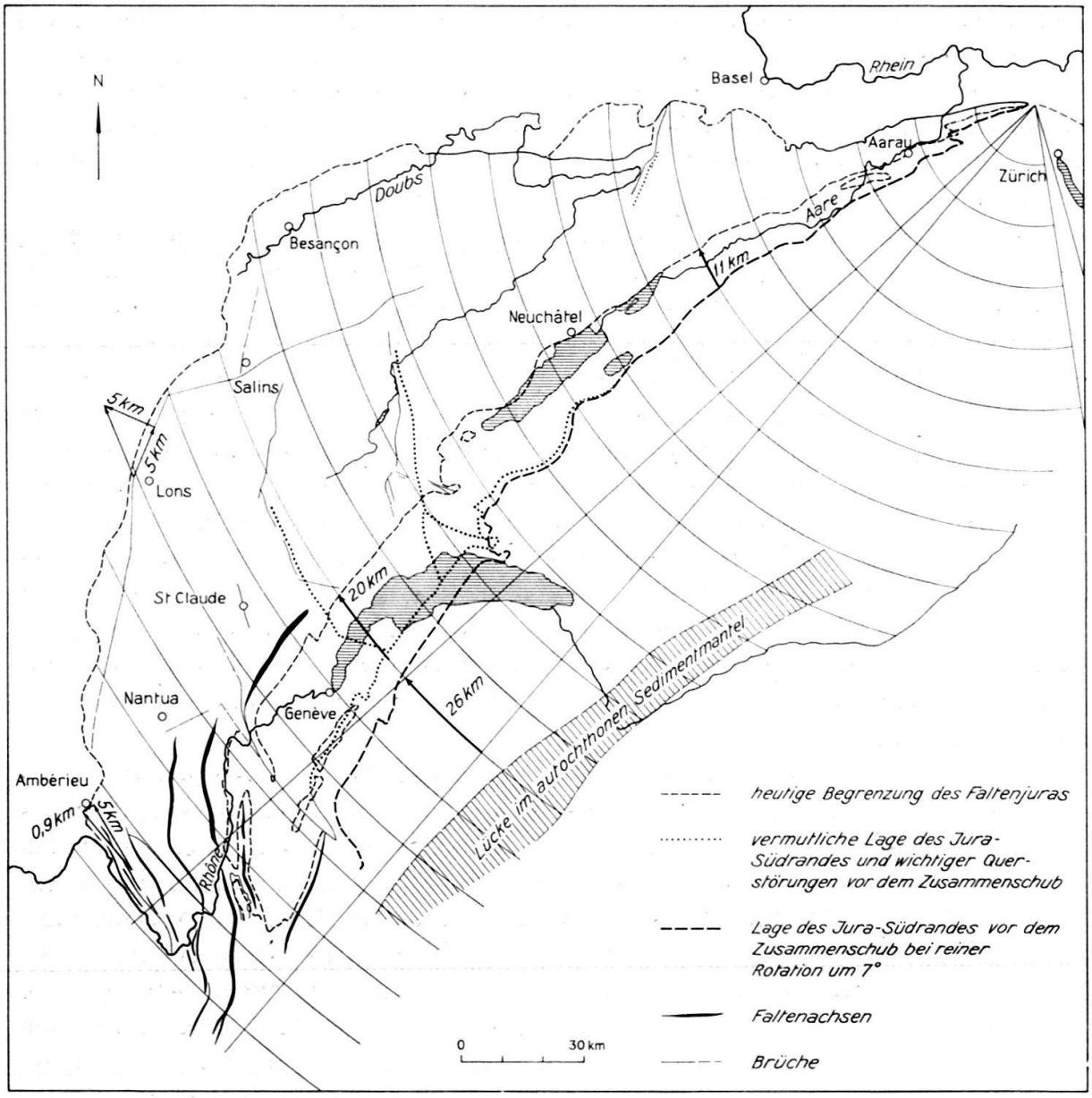

Fig. 14. Rotation der Abscherungsdecke um das Lägern-Ostende
Die Kreisbögen sind konzentrisch um diesen Angelpunkt geschwungen. Im Südwesten sind einige Falten eingezeichnet, um ihren zur Bewegungsrichtung schiefen Verlauf und die Notwendigkeit von Transversalverschiebungskomponenten zu zeigen. An zwei Stellen wird mittels Vektoren das Verhältnis von Stauchungs- zu Transversalverschiebungskomponenten dargestellt. Die vom Jura-Ostende ausgehenden Strahlenpaare sind um Winkel von 7° geöffnet.

eingezeichnet. Es handelt sich dabei allerdings nicht um genaue Konstruktionen, sondern um grobe, halb qualitative Abschätzungen, da für eine genau rekonstruierte Kinematik viel exaktere geologische Unterlagen nötig wären, als sie heute zur Verfügung stehen. Das für unsere Deutung wesentliche Element ist aber jedenfalls unverkennbar: Die Bewegungsrichtung ändert sich vom südwestlichen Jura bis zu seinem Nordostende an der Lägern, und zwar rotiert sie im Uhrzeigersinn von WNW über NW nach N. Gleichzeitig nimmt der Betrag von vielleicht 20 km im SW auf rund 10 km im Querschnitt von Grenchen, dann auf 3 bis 5 km im Aargauer Jura ab, um am E-Ende der Lägern ganz zu verschwinden. Die angegebenen Beträge diffe-

rieren etwas von den Schätzungen ALBERT HEIMS (1919, p. 651). Insbesondere scheinen uns seine Zahlen für den westlichen Jura zu gering, die für den östlichen Jura viel zu gross. Dies dürfte darauf beruhen, dass Heim die Muschelkalkschuppen des östlichen Juras im wesentlichen als Ausdruck liegender Falten auffasste, während damals die verschiedenen Überschiebungen im westlichen Jura noch nicht genügend bekannt waren.

Nach den heute bekannten Tatsachen scheint es also, als nähme die Bewegung von SW gegen NE zu allmählich ab und ändere dabei zugleich ihre Richtung allmählich von WNW nach N. Beide Phänomene finden eine sehr einfache Erklärung, wenn man annimmt, die Abscherungsdecke habe eine Rotation im Uhrzeigersinne um einen Angelpunkt am Ostende der Lägern vollführt. Dann nämlich wird der Bewegungsbetrag umso grösser, je weiter entfernt ein Punkt von diesem Rotationszentrum ist, und da die Bewegungsrichtung senkrecht zum jeweiligen Radiusvektor ist, so muss sie für den südwestlichsten Jura die stärkste Westkomponente, für den nördlichsten Jura die stärkste Nordkomponente haben. Auf Figur 14 ist schematisch skizziert, wie sich eine solche Rotation der Sedimenthaut über den Rahmen des Jurasockels auswirken müsste. Die Zerlegung in Schubkomponenten im Bereich der Rahmenelemente der Ile Crémieu und des Bressegrabens ist ohne weiteres erkennbar, insbesondere auch die Entwicklung einer gegen SW gerichteten Stauchungskomponente am Rand gegen die Ile Crémieu. Ob sie auch quantitativ genügt, ist allerdings fraglich.

Die Rotationshypothese hat aber noch ihre zusätzlichen Konsequenzen, die es nun nachzuprüfen gilt. Aus Figur 14 ist unmittelbar abzulesen, dass südlich des Angelpunktes, also südlich des Lägernostendes, der Sedimentmantel gestreckt sein muss. Dabei sollte der Streckungsbetrag mit der Entfernung vom Angelpunkt zunehmen, und zwar im selben Mass wie die Zusammenstauchung der Abscherungsdecke westlich des Angelpunktes. Es scheint nun höchst bemerkenswert, dass posttortone Zerrbrüche in diesem Gebiet kartiert worden sind, z.B. der Zürichseegraben (PAVONI 1956). Allerdings genügen die im engeren Gebiet des Zürichsees gefundenen Brüche nicht, um die notwendige Streckung von wenigen Kilometern zu erzeugen, und ausserdem ist natürlich die Möglichkeit gegeben, dass diese Brüche in der Tiefe wurzeln und nichts mit der Jurafaltung zu tun haben. Es ist aber zu bedenken, dass sich die Streckung der Abscherdecke auf die Sedimenthaut beschränken muss, dass die geforderten Zerrbrüche also gegen unten in die Abscherungszone einmünden müssen. Es ist deshalb von vornherein anzunehmen, dass jeder einzelne Zerrbruch relativ klein ist, und dass darum der gesamte Streckungsbetrag auf ein grösseres Gebiet verzettelt sein dürfte. Es sei noch darauf hingewiesen, dass die grösseren Streckungsbeträge erst unter den alpinen Schub- und Gleitmassen zu erwarten sind, und dass sie teils unter diesen verborgen sein (Frühphasen), teils aber auch alle höhern tektonischen Einheiten durchsetzen mögen. Dabei kann die Zerrung nicht nur durch normale Verwerfungen bewerkstelligt werden, sondern auch durch horizontale Transversalverschiebungen, indem nämlich Keile der Sedimenthaut und der sie belastenden alpinen Massen nordwärts in die Zerrlücke vorgepresst werden konnten.

Im übrigen: welche Alternativen zur Rotationshypothese stehen überhaupt zur Verfügung? Die Abnahme des tangentiellen Schubes von SW nach NE liesse sich

auch durch eine Zerlegung der ganzen Abscherungsdecke in einzelne Segmente erklären, die differentiell zueinander bewegt worden wären, und zwar um desto geringere Beträge, je weiter im NE sie liegen. Die Segmente wären also durch Transversalverschiebungen getrennt, die ausser dem Jura auch das Molassebecken durchsetzen müssten. Im Jura selbst gibt es ein dichtes Netz beobachteter oder vermuteter Horizontalverschiebungen, das dieser Hypothese genügen würde, im Molassebecken wären sie aber zuerst noch nachzuweisen. Freilich, wollte man gänzlich ohne Rotation auskommen, also den ganzen Jura nach Nordwesten schieben, so müsste man eine nach Westen gerichtete Horizontalverschiebungs-Komponente längs der Mont Terri-Linie in Kauf nehmen; desgleichen müsste man, um die nach SW gerichtete Stauchungskomponente an der Grenze der Ile Crémieu zu erhalten, eine gegen SW gerichtete Bewegungskomponente der südwestlichsten Segmente konstruieren. Dies liesse sich am ehesten bewerkstelligen durch mehr oder weniger SW streichende Transversalverschiebungen. Solche sind zwar im südwestlichen Jura vorhanden, man denke nur an die Horizontalverschiebungs-Systeme des Lac de Silan und von Montanges–Lalleyriat–Le Replat; doch scheint es ausgeschlossen, dass sie quantitativ genügen.

Figur 15 zeigt, welchen geometrischen Ansprüchen die Transversalverschiebungen genügen müssten, um in der Abscherungsdecke die beobachtete sukzessive Richtungsänderung und den gegen SW zunehmenden Betrag der Bewegung zu gewährleisten. Figur 15a illustriert den Fall einer N-S gerichteten Transversalverschiebung oder allgemeiner: einer Transveraslverschiebung, deren Streichen von der Bewegungsrichtung gegen NE zu abweicht (Typ Vallorbe–Pontarlier). Es lässt sich folgendes ablesen:

1. die W-Bewegungskomponente – oder allgemein: die Bewegungskomponente senkrecht zur Transversalverschiebung – des Ostblocks muss mindestens gleich gross sein wie die des Westblocks, denn sonst entsteht eine offene Lücke zwischen den beiden Blöcken.

2. Soll dann die Gesamtbewegung des Westblockes mehr gegen Westen gerichtet sein als die des Ostblocks, so muss ihre Nordkomponente – oder allgemein: die zur Transversalverschiebung parallele Komponente – kleiner sein als die des Ostblocks. Dann aber müsste der absolute Betrag der Gesamtbewegung gegen Osten zunehmen, und dies widerspricht der Beobachtung.

Es zeigt sich also, dass Transversalverschiebungen, die von der Bewegungsrichtung der Abscherungsdecke gegen NE abweichen, die geforderte Rotation nicht ersetzen können.

Figur 15b dagegen lässt erkennen, dass dazu Transversalverschiebungen nötig wären, die von der Bewegungsrichtung nach links, nach W zu abweichen. Solche Transversalverschiebungen sind bekanntlich vor allem am Innenrand des SW Juras zu finden: besonders die von La Sarraz–Vallorbe, St-Cergue, der Dôle, des Lac de Silan und von Montanges–Lalleyriat–Le Replat. Aber es ist fraglich, ob sie das Molassebecken durchsetzen, und es fällt auch auf, dass im Gesamtbild des Juras die gegen Norden und Nordosten divergierenden Querbrüche eine viel grössere Rolle spielen. Anscheinend war also die Rotation der Gesamtmasse wichtiger als divergierende Bewegungen einzelner Schollen.

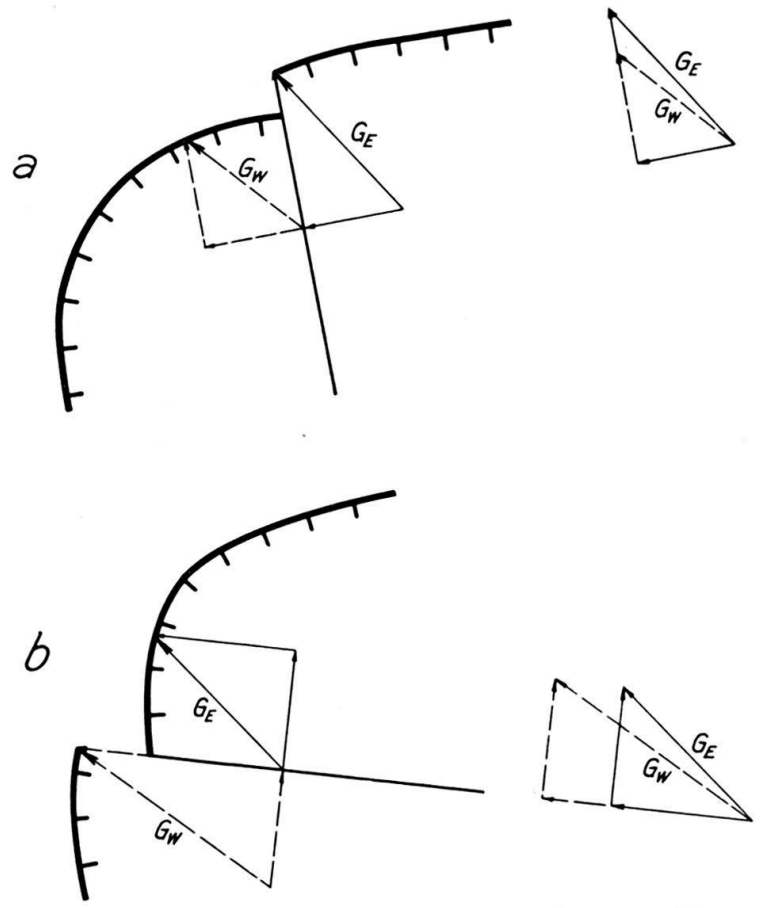

Fig. 15. Segmentweise Bewegung der Abscherungsdecke
Die westlichen Segmente müssen stärker und mehr gegen Westen zu bewegt sein als ihre jeweiligen östlichen Nachbarn. Das ist nur möglich bei Transversalverschiebungen, die mehr gegen Westen streichen als die jeweiligen Bewegungsrichtungen (b). G_E = Gesamtbewegung des Ostblocks, G_W = Gesamtbewegung des Westblocks. Die Hilfsfiguren zeigen die Zerlegung von G in Stauch- und Transversalverschiebungskomponenten.

Wie weit sich die Änderung im Streichen der Massive auf die Kinematik der Abscherungsdecke ausgewirkt hat, ist schwer zu entscheiden. Wiederum hat man die Wahl: entweder folgten die verschiedenen Teile des Sedimentmantels dem jeweiligen lokalen Gradienten der Massivabdachung – dann war die Gleitrichtung von Anfang an divergierend, und daraus müsste auf eine Segmentierung der gesamten Abscherungsdecke und individuelle Beweglichkeit der einzelnen Segmente geschlossen werden. Oder aber, das Molassebecken bewegte sich mehr als einheitliche Scholle, dann musste die Abscherungsdecke ihre Rotation um das Lägern-Ostende ausführen. Wiederum hat man einerseits den Eindruck, die Jurafalten schmiegten sich recht schön in die von den Massiven vorgezeichneten Richtungen, und man möchte daraus auf eine Segmentierung der gesamten Abscherungsdecke schliessen. Anderseits scheint aber das Molassebecken nicht dermassen gegliedert zu sein, dass man ohne Rotation auskommen könnte.

Damit wäre die Kinematik der Juradecke, soweit sie diese gesamthaft betrifft, einigermassen skizziert. Es lohnt sich aber, der oben angedeuteten Segmentierung in einzelne, einigermassen individuell bewegliche Schollen noch etwas Aufmerksam-

keit zu schenken. Am augenscheinlichsten ist diese Zerlegung in Schollen in der Franche Comté, wo die grossen, kaum gefalteten Plateaux von schmalen mobilen Gürteln umsäumt sind, die offenbar Ausdruck der Relativbewegungen sein müssen, welche die Schollen gegeneinander ausführten. Aber auch im ganzen übrigen Jura sind ähnliche Bilder anzutreffen, wenn auch in kleinerem Maßstab. Die Schollen sind dort meist als Tertiärbecken entwickelt, weil die Schubmassen aus relativ tiefliegenden Bereichen der Juraplattform oder schon aus der Nordwestflanke des Molassebeckens selbst stammen. Auffällig sind im östlichen Abschnitt die Becken in der Fortsetzung des Rheintalgrabens, vor allem das Delsberger Becken. Auch die Becken sind von kompliziert gebauten Bewegungssäumen umfasst, insbesondere sind die seitlichen Ränder durch Horizontalverschiebungen charakterisiert (für das Delsberger Becken vgl. LAUBSCHER 1948). Dies ergibt sich zwangsläufig aus dem Umstand, dass gefaltete, also tangentiell bewegte Massen sich an einer steifen Scholle vorbeibewegen müssen. Im Detail bewirkt das unregelmässige Mosaik von Schollen und das damit assoziierte komplexe Geäder von Bewegungszonen eine sehr komplizierte Kinematik.

Man wird sich fragen, warum sich alle diese Komplikationen einstellen mussten statt einer regulären Sequenz paralleler Falten. Eine exakte Antwort im physikalisch-mechanischen Sinn ist zurzeit nicht möglich – zu wenig ist bekannt über die Variation der mechanischen Widerstände an der Basis und im Innern der Abscherdecke. Meist lässt sich jedoch eine geologisch-qualitative Begründung finden. Insbesondere kommt hier der schon mehrfach gebrauchte Begriff der Rahmen- und Schienentektonik sehr gelegen. Präexistente Unregelmässigkeiten im Bereich der Juraplattform, insbesondere Sprünge und Flexuren im Sockel, lassen sich meist mit den Bewegungszonen der Schollenränder verknüpfen. Offenbar wäre eine Überwindung dieser Unregelmässigkeiten durch sie geradlinig durchsetzende Falten eine grössere Arbeitsleistung gewesen. Man kann sich auch lebhaft vorstellen, wie sich die präexistenten Unregelmässigkeiten im Verlaufe der Faltung auswirken mussten. Ganz zu Beginn setzten sie, wegen der lokal gesteigerten basalen Reibung, dem faltenden Schub Widerstand entgegen. Sie wirkten als Schienen, längs welchen die dem Ursprung des Schubes näher gelegenen Massen vorgepresst wurden. Mit der Zeit wurde dann zwar das Hindernis überwunden – z.B. durch Auspolstern der Niveaudifferenz mit evaporitreicher Trias –, aber die Entwicklung zu beiden Seiten der Störung hatte derweilen ganz verschiedene Wege eingeschlagen, so dass die Bewegungsschiene in der Sedimenthaut, obwohl nun von der ursprünglichen Sockelstörung losgelöst, die auch weiterhin nötigen Ausgleichsbewegungen auf sich konzentrierte. Die embryonale Anlage des Schollenmosaiks wäre demnach dem präexistenten Faltungsrahmen zuzuschreiben, insbesondere den mannigfachen Unregelmässigkeiten der Sockeloberfläche, später aber hätten die Schollen, sozusagen vom Mutterleib getrennt, ein Eigenleben begonnen – allerdings ein erblich stark belastetes.

Es war nötig, auf diese Probleme etwas ausführlicher einzugehen, weil in jüngster Zeit AUBERT (1959) mit Recht auf die Schwierigkeiten hingewiesen hat, die der Vallorbe-Pontarlier-Bruch der Fernschubhypothese bereitet. Wie könnte sie erklären, dass eine Sockelstörung, die schief zur Richtung des Fernschubs streicht, während der Jurafaltung zu einer Gleitschiene ausgestaltet wurde? Es ist in der Tat nicht leicht, sich vorzustellen, wie eine solche Störung auf der einen Seite als

Sockelstörung von der Abscherdecke schief überfahren und auf der andern als Bruch im Sedimentmantel, disloziert gegenüber seiner Wurzel, zu einer Transversalverschiebung ausgestaltet wurde. Die obigen Ausführungen möchten gezeigt haben, wie man sich diesen Vorgang etwa vorzustellen hätte; ausserdem aber auch, dass es sich dabei um ein grundlegendes Problem für die Kinematik der Abscherungsdecke handelt; viele Hindernisse des Sockels konnten bezwungen werden – allerdings nicht ohne ihre Narben zu hinterlassen – während andere unüberwindlich blieben und dadurch den äusseren Faltungsrahmen darstellten, wie z. B. der Bressegrabenrand. Im übrigen würden diese Schwierigkeiten durch die Annahme einer autochthonen Sockelverkürzung keineswegs eliminiert. Die Verfaltung der Sedimenthaut wäre auch dann noch extrem disharmonisch, so dass jedenfalls die Bruchzone gegenüber ihrer Wurzel im Sockel verschoben werden müsste.

Noch eine weitere interessante Perspektive öffnet sich, wenn man die Abscherungsdecke als bewegtes Schollenfeld betrachtet. Als grösste dieser Schollen lässt sich nämlich das Molassebecken selbst auffassen. Man kann sich vorstellen, dass das Juragebirge aus diesem Grunde sich von den subalpinen Ketten Savoyens abspaltet und nach Nordwesten vorstösst, weil sich in der Gegend südwestlich von Genf diese grosse, steife, schlecht faltbare Scholle einschaltet. Wie die übrigen, kleineren Schollen des Juragebirges zwang sie die Bewegung, sich an ihren Rahmen zu halten. Das Südwestende des Molassebeckens müsste dann durch grosse Horizontalverschiebungen gekennzeichnet sein, längs denen die Faltung von den Savoyer Voralpen nach Nordwesten verlegt worden wäre, in das nordwestliche Vorgebiet des Molassebeckens, also in das Gebiet der Juraplattform. Allerdings ist die südwestliche Begrenzung des Molassebeckens nicht scharf, es splittert in mehrere kleinere Teilschollen auf, die ihrerseits von einem komplizierten Netz mobiler Streifen eingefasst sind. Doch gehören die Zone des Mont Vuache, die ja bis ins Jurainnere reicht, sowie die schon besprochene Störungszone am Rande der Ile Crémieu offensichtlich dem geforderten System von Horizontalverschiebungen an.

Mit diesen Ausführungen haben wir ein weiteres wesentliches Problem angeschnitten, das für die Gesamtkinematik der Abscherungsdecke von fundamentaler Wichtigkeit ist: das Problem des Zusammenhangs zwischen dem Faltenjura und den subalpinen Ketten Savoyens. Zu seiner endgültigen Klärung bedürfte es wiederum exakter Unterlagen – vor allem wären detaillierte Karten vonnöten – die uns leider nicht zur Verfügung stehen. Immerhin ist man in der Lage, auf Grund der Fernschubhypothese einige allgemeine Anregungen zu geben.

Eine besondere Rolle für das Verhältnis Jura–Alpen spielten seit jeher die Antiklinale des Mont Tournier östlich Belley sowie vor allem jene des Mont du Chat und des Gros Foug beidseits des Lac du Bourget. Diese Ketten vermitteln schon rein geographisch den Übergang Jura–Alpen. Die Tatsache, dass das Verbindungsglied zwischen den beiden Gebirgen aus kaum mehr als drei scheinbar ziemlich regelmässig gebauten Antiklinalen besteht, gibt nun etliche Rätsel auf. Die drei Antiklinalen zusammen können kaum eine Verkürzung der Sedimenthaut um mehr als einige wenige Kilometer bedeuten. Sie sind niemals in der Lage, die vielleicht zwanzig Kilometer Gesamtverkürzung des südwestlichen Juras in die subalpinen Ketten fortzusetzen. Auch wenn man die Störung des Mont Vuache als weiteres Verbindungsglied zu den Alpen berücksichtigt, verändert sich das Bild und damit

sein Rätsel nicht wesentlich. Nordöstlich dieser Störung könnten zwar mittels Horizontalverschiebungen zusätzliche Falten, d.h. zusätzliche Verkürzungen an den Jura angebaut worden sein, die für das Verbindungsstück mit den Alpen nicht mehr berücksichtigt werden müssten, aber der Augenschein lehrt, dass die dadurch bewirkte Entlastung der Verbindungsantiklinalen nur unwesentlich sein kann. Man muss schon auf die in diesem Kapitel entwickelten Vorstellungen über die Gesamtkinematik des Juragebirges zurückgreifen, wenn man auch hier ein vernünftiges Bild entwerfen will. Die Verteilung der Bewegungskomponenten, wie sie auf Figur 14 wiedergegeben sind, zeigt, dass die NS bis NNW-SSE streichenden Antiklinalen nicht reine Kompressionsgebilde sein können, sondern dass sie bedeutende Horizontalverschiebungs-Komponenten aufweisen müssen. Dass die Westflanke des Mont du Chat stark gestört ist, geht schon aus den alten Karten hervor. Aber auch für den Gros Foug, dessen nördlicher Teil scheinbar sehr einfach gebaut ist, haben Bohrungen in jüngster Zeit beträchtliche und komplizierte Überschiebungsstrukturen erwiesen (MICHEL & CAILLON 1960). Es ist anzunehmen, dass an diesen Überschiebungsflächen auch grössere Bewegungskomponenten in der Streichrichtung tätig waren. Wahrscheinlich dürfte es sich bei diesen wenigen Störungen übrigens nur um Bestandteile eines viel umfangreicheren Netzes von Horizontalverschiebungen handeln. Solche lassen sich bei aufmerksamem Kartenstudium z.B. in den grossen südlichen Ketten des Grand Colombier und der Forêt de Cormaranche erkennen. Sie sind wohl kaum auf die Antiklinalen selbst beschränkt, doch lassen sie sich dazwischen wegen der Quartärbedeckung nur schwer verfolgen. Wir gelangen also zur Auffassung, dass auch die drei Verbindungsantiklinalen im wesentlichen zum System von Horizontalverschiebungen – allerdings mit beträchtlichen Stauchungskomponenten – am Südwestrand des Molassebeckens gehören. Mit den subalpinen Ketten der Grande Chartreuse setzt dann das normale SW-Streichen wieder ein, wie es schon für den Faisceau Helvétique charakteristisch war. Auch diese Tatsache stützt die Auffassung, dass die anomal streichenden Verbindungsketten nicht reine Stauchgebilde sein können.

Wir haben eben die Ketten der Grande Chartreuse als Fortsetzung des Kettenjuras angesprochen. Es muss dabei aber in Erinnerung gerufen werden, dass über die Frage des Zusammenhanges zwischen den Faltenbündeln des Juras, der Chartreuse und der nordöstlich davon gelegenen Bauges schon viel Druckerschwärze und auch grössere Quantitäten von Gift und Galle vergossen worden sind, man lese nur einmal die Zusammenfassung über die Kontroversen und Polemiken bei DE MARGERIE (II, 1936, p. 1399–1422). Der Schreibende kennt die lokale Geologie der betreffenden Gegend nicht gut genug, um sich am Streit beteiligen zu können. Es liegt ihm aber daran, die Kinematik der Abscherungsdecke abzurunden und zu diesem Zwecke seinerseits ein Bild des Zusammenhanges zwischen den genannten Faltenbündeln zu entwerfen, das seiner kinematischen Gesamtkonzeption entspricht, ohne sich in lokale Details einzulassen. Dies mag ihm zum Vorwurf gereichen, doch dürfte es anderseits auch nichts schaden, wenigstens anzuregen, das alte Problem einmal aus neuer Perspektive zu betrachten. Und von der Kinematik der Jurafaltung her gesehen scheint doch die Grande Chartreuse die greifbare Fortsetzung des Juragebirges zu sein. Denn in diesem Gebiete lenkt das Streichen, wie schon gesagt, wieder in die normale Südwestrichtung ein, es ist im wesentlichen wieder normal zum Massentransport,

und deshalb sollte hier wieder die volle tangentielle Verkürzung der Sedimenthaut um den vollen Betrag von vielleicht 20 km erreicht werden. Ein annähernd genügender Betrag kann aber nur durch das ganze Faltenbündel der Grande Chartreuse gewährleistet sein – wobei allerdings die genauen Überschiebungsbeträge der Voreppe - und der Néronüberschiebung noch nicht bestimmbar sind –, es sei denn, dass das Horizontalverschiebungssystem des Jura-SW-Endes die ganzen subalpinen Ketten durchkreuzte und die Jurafaltung mit weiter rückwärts gelegenen tektonischen Einheiten verknüpfte; aber dies scheint nach dem Kartenbild ausgeschlossen. Die beiden auffälligsten Transversalverschiebungssysteme der subalpinen Ketten, die von Chambéry und von Annecy, scheinen im grossen ganzen eher einer Abtrennung der Bauges von der Grande Chartreuse zu dienen, indem die letztere sich nördlich Chambéry nur noch in die Antiklinale von Semenoz fortsetzt, und auch diese am Querbruch Vuache-Annecy ihr Ende findet. Es scheint, als hätte sich bis zu diesem Querbruch die ganze Chartreuse in den Jura disloziert, und als wären die Bauges ein neues, rückwärtiges, vom Jura unabhängiges Element der Abscherungsdecke.

Es ist vielleicht hier der Ort, nochmals ganz besonders auf die in dieser Arbeit vertretene Auffassung von der Rolle der Horizontalverschiebungen im Jura einzutreten. Man wird bemerkt haben, dass sie recht verschieden ist von der sozusagen klassischen Interpretation Albert Heims (1919, p. 611–625). Nach Heim (p. 625) sollten sich bekanntlich «alle horizontalen Transversalverschiebungen im Kettenjura als eine einheitliche Erscheinung aus der letzten Phase der Jurafaltung» erweisen. «Sie sind aus der Längsstreckung der Ketten bei ihrer weiteren Ausbiegung unabhängig von den älteren Verwerfungen in den nördlichen Gebirgen (Vogesen, Schwarzwald, Tafeljura), als ein Glied der rein jurassischen, postsarmatischen Horizontaldislokation entstanden».

Diese Deutung vermittelte zwar eine schöne, harmonische Gesamtschau, sie wurde aber im einzelnen fast durchwegs widerlegt. Mehrere der Brüche waren bestimmt schon vor der Faltung angelegt, und von andern lässt sich nachweisen, dass sie schon gleich zu Beginn der Faltung zu spielen begannen. Diesen Tatsachen wird man am besten mit dem Begriff der Rahmen- und Schienentektonik gerecht. Darüber hinaus erfasst aber die Deutung der Abscherungsdecke als Schollenfeld einen grösseren Kreis von Eigentümlichkeiten der Juratektonik, vor allem die Phänomene der Plateaux mit ihren schmalen und divergenten Faltensäumen sowie den Zusammenhang des Juras mit den Alpen. Die Heimsche Feststellung, dass gerade die grössten Transversalverschiebungen eine systematische Nordverschiebung des Ostflügels erkennen lassen, ist bestimmt teilweise durch die NNE-Richtung der präexistenten rheintalischen Schienenelemente zu erklären. Zum Teil mag sie auch mit einer oben postulierten Rotation der Abscherungsdecke um den Angelpunkt des Lägernostendes zusammenhängen: die Rotation müsste, infolge Schleppung der entfernteren, südwestlichen Jurateile, gerade eine solche relative Nordverschiebung der jeweils östlicheren Elemente begünstigen.

2. Profilmässige Kinematik

Probleme der profilmässigen Kinematik, wie sie vor allem die Überwindung von Sockelsprüngen birgt, mussten schon im vorhergehenden Kapitel mehrfach gestreift werden. Es bleibt noch die Aufgabe, darzustellen, welche prinzipiellen und

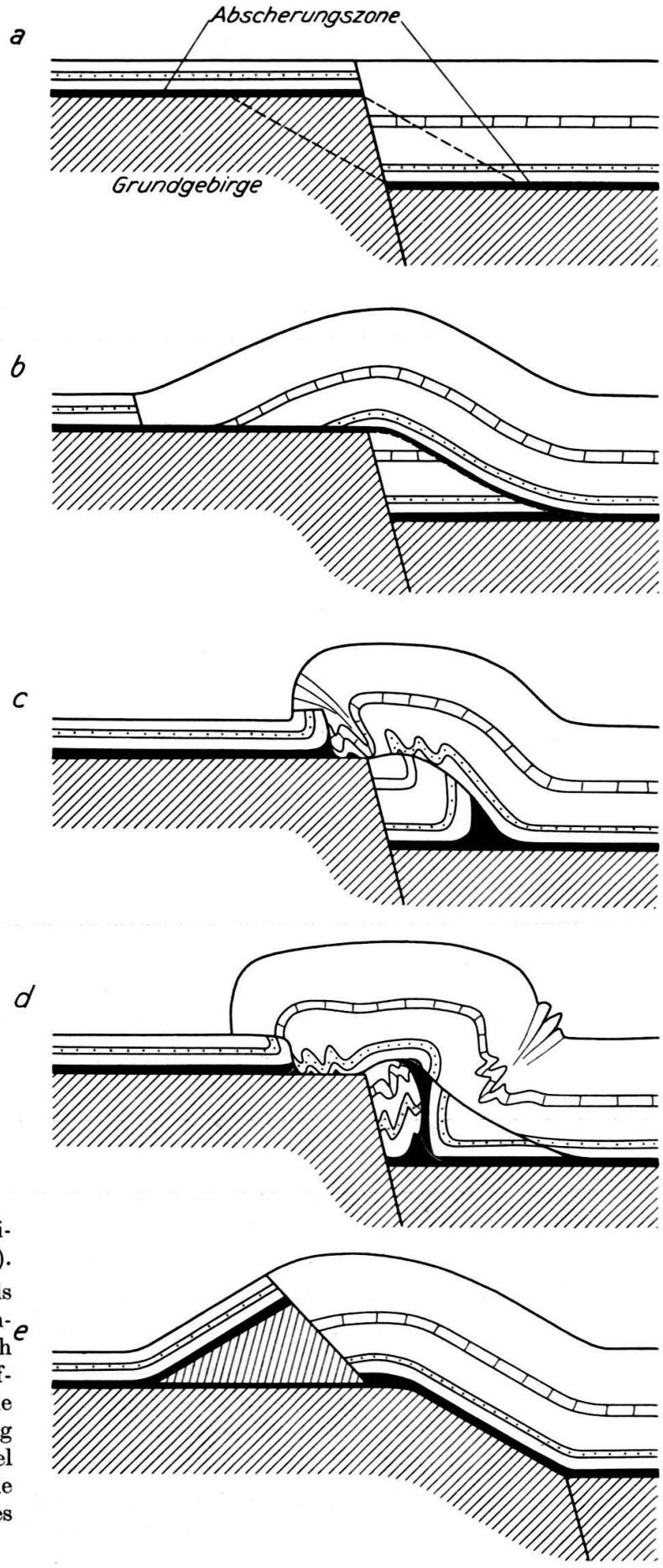

Fig. 16. Die Überwindung positiver Sockelsprünge (schematisch). Die Niveaudifferenz wird mittels geneigter Scherflächen überwunden (vorzugsweise 30°), oder durch Stauchung und Polsterung im Tiefblock (c, d). Sockelsprünge, die weniger steil oder gar flexurartig sind, können vom Sedimentmantel konform überglitten werden, sie täuschen dann Beteiligung des Sockels an der Faltung vor.

schematischen Möglichkeiten der Abscherungsdecke zum Überwinden von Hindernissen zur Verfügung standen. Zwei Hauptfälle sind dabei zu unterscheiden, je nachdem der Sockelsprung von der Schubrichtung, also von SE her gesehen eine positive oder eine negative Erhebung war. Sprunghöhen, die wesentlich geringer sind als die Mächtigkeit der evaporitführenden Trias, bieten im übrigen keine Schwierigkeiten, die Diskussion beschränkt sich deshalb auf grössere Brüche.

a) Positive Sockelsprünge

Die prinzipiellen Möglichkeiten sind auf Figur 16 dargestellt. Die Niveaudifferenz zwischen dem Abscherungshorizont beidseits des Sprunges kann erstens einmal durch wenig geneigte (vielleicht ca. 30°) Scherflächen überbrückt werden, und zwar können solche Scherflächen sowohl den Sedimentmantel auf der versenkten als auch den Sockel auf der gehobenen Seite durchschneiden. Allerdings sollte man erwarten, die Sedimenthaut werde im allgemeinen, weil weniger widerstandsfähig, bevorzugt. Doch lässt sich auch der Fall denken, dass eine präexistente Schwächezone, z.B. eine Lage von Glimmerschiefern, den Sockel im günstigen Winkel durchsetzt. Dieser Fall ist von einem gewissen Interesse, weil er dartut, dass auch bei reinem Fernschub wenigstens lokal die Sockelgesteine in die Faltung einbezogen sein könnten (Fig. 16 e).

Zweitens kann aber die Niveaudifferenz auch durch Stauchung des Sedimentmantels auf der verworfenen Seite mit nachfolgender Flankenüberschiebung bezwungen werden. In jedem Fall entwickelt sich notgedrungen eine starke Runzel, die meistens wohl durch Brüche und Überschiebungen charakterisiert sein dürfte. Beispiele für positive Sockelsprünge sind u. a. die Caquerelle-Linie und der Faisceau de Syam.

b) Negative Sockelsprünge

Negative Sockelsprünge zwingen uns, die Vorstellungen vom Bewegungsablauf der Jurafaltung etwas zu verfeinern. Aus Figur 17 lassen sich die wesentlichen Probleme unmittelbar ablesen. Indem der Sedimentmantel des gesunkenen Blockes von seiner rückwärtigen Lehne weggestossen wird, entsteht ein (potentieller oder wirklicher) Hohlraum, der irgendwie aufgefüllt werden muss. Rein geometrisch kann dies bewerkstelligt werden, wie auf Figur 17 b angegeben, doch erscheint diese Lösung zu künstlich. Vielmehr drängt sich folgendes Bild des Bewegungsablaufs auf:

Schiebbewegungen auf reibender Unterlage verlaufen nie glatt, sondern ruckartig, da Hindernisse oder ganz allgemein Stellen vermehrter Reibung den weiteren Schub temporär aufhalten können. Werden sie überwunden, so geht die Bewegung wieder weiter, bis es von neuem zu harzen beginnt. Solcher Hindernisse gab es im Jura viele, davon zeugt schon die Sockelkarte Figur 1 und die unregelmässige Verteilung der Falten. Bei derartig intermittierender Bewegung lassen sich aber für die Überwindung negativer Sockelsprünge einige Folgen erwarten, wie sie auf Figur 17c bis j sehr schematisch und übertrieben dargestellt sind. Wesentlich ist jedenfalls die Tatsache, dass der Sedimentmantel während der Bewegung unter seitlicher Kompression steht, während in den Stockungsphasen die Kompression in jenen Gebieten, die nördlich vor den stockenden Hindernissen liegen, rapid absinkt. Unter Kompression ist aber der Sedimentmantel viel stärker, er ist jedenfalls eher in der

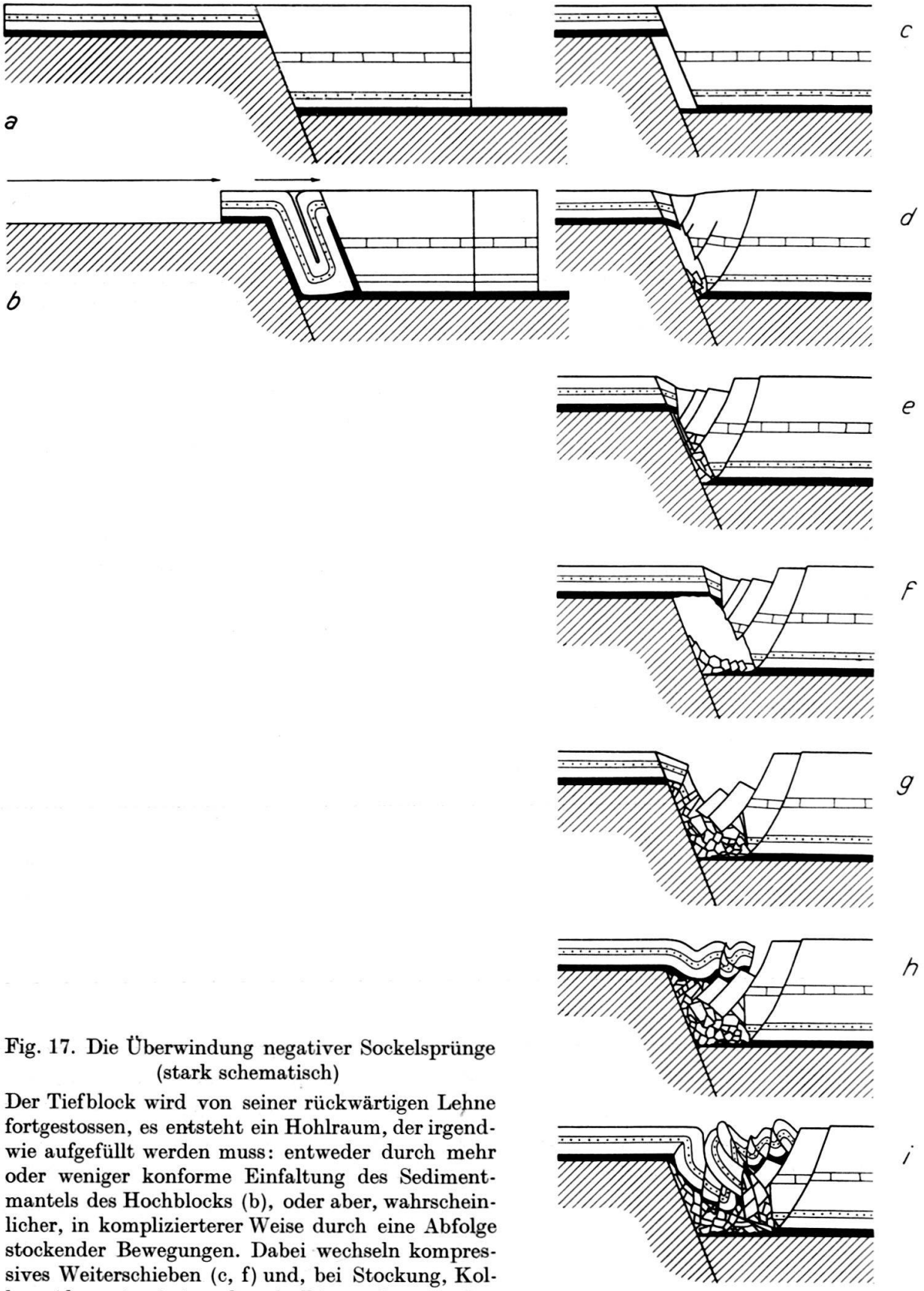

Fig. 17. Die Überwindung negativer Sockelsprünge (stark schematisch)

Der Tiefblock wird von seiner rückwärtigen Lehne fortgestossen, es entsteht ein Hohlraum, der irgendwie aufgefüllt werden muss: entweder durch mehr oder weniger konforme Einfaltung des Sedimentmantels des Hochblocks (b), oder aber, wahrscheinlicher, in komplizierterer Weise durch eine Abfolge stockender Bewegungen. Dabei wechseln kompressives Weiterschieben (c, f) und, bei Stockung, Kollaps (d, e, g) miteinander ab. Diese schematischen Zeichnungen wollen nur die im Prinzip zu erwartenden Komplikationen zeigen, grosse Hohlräume wie bei f) werden kaum je entstehen.

Lage, die Sedimente des abgesunkenen Blocks von seiner rückwärtigen Lehne wegzustossen, ohne dass Kollaps eintritt. Sobald jedoch die Bewegung stockt, die Kompression erschlafft, werden die in der Nähe des Bruches gelegenen Partien der Sedimentdecke beginnen, in sich selbst zusammenzubrechen. Da dieser Vorgang sich mehrmals wiederholen kann, indem bei wieder eintretender Bewegung die zerbrochene Masse abermals unter Kompression gesetzt, damit befestigt und wieder verschiebbar wird, so können ungemein komplizierte, ja chaotische Strukturen entstehen. Diese müssten jedoch durch die vorgleitende Sedimentdecke des Hochblokkes wieder grossenteils überfahren und verdeckt werden.

Ein ähnlicher Mechanismus ist jedenfalls bei den Randüberschiebungen sowohl im westlichen wie im nördlichen Jura erkennbar. Dieser Fall ist zwar nicht identisch mit dem hier behandelten, doch weist er einige verwandte Züge auf. Das Profil von Ricour Figur 2 zeigt für die Überschiebungsmassen von Lons-le-Saunier eine chaotische Lagerung, die nichts mit gewöhnlicher Aufschuppung zu tun hat und ihre natürlichste Erklärung darin findet, dass von der Front der Überschiebungsdecke abgeglittene Massen später wieder zusammengestaucht und zum Teil überfahren wurden. Ähnliche Verhältnisse sind schon seit längerer Zeit aus dem Gebiet der sogenannten «Überschiebungsklippen» der Gegend von Reigoldswil bekannt, und nach detaillierter Überprüfung der Lage kommt Hauber (1960) zum Schluss, dass wiederholte Abgleitvorgänge von der Überschiebungsfront, gefolgt von Stauchungen und Einwickelungen, für die komplizierten Verhältnisse jener Gegend die Verantwortung tragen dürften.

Das eindrücklichste Beispiel eines negativen Sockelsprunges, der von der Abscherungsdecke überwunden wurde, ist der Faisceau Salinois. In der Gegend von Salins muss die Sprunghöhe mehrere hundert Meter betragen. In die Tiefe gefaltete Massen der Hochscholle, wie sie auf Figur 17 dargestellt sind, finden sich in Form des Synklinalkomplexes von Fort Bélin. Ebenfalls durch den Prozess der Lückenfüllung bedingt könnte das merkwürdig steile 50°-Einfallen der Überschiebungsfläche gegen das Plateau von Ornans sein, das bei Nans-sous-Ste-Anne gemessen worden ist (Castany 1951). Es wäre möglich, dass diese Fläche ursprünglich eine Abschiebungsfläche war, längs der Teile der Tiefscholle in die rückwärtige Lücke abglitten, und dass erst sekundär Gesteine der Hochscholle gegen diese Fläche angepresst worden wären.

Wie dem auch sei: es darf angenommen werden, dass in solchen Störungszonen unter den oberflächlichen Strukturen verborgen noch ganz ungeahnte Komplexe schlummern, und man wird gut daran tun, bei der Profilkonstruktion solchen Möglichkeiten Rechnung zu tragen und etwaige Lücken nicht einfach durch Sockelstrukturen zu füllen, wie dies oftmals geschieht.

Im übrigen demonstrieren Figur 16 und 17 auch, wie bei der Überwindung einer Sockelschwelle durch die Abscherungsdecke der Eindruck entstehen kann, als habe sich der Sockel konform an der Faltung beteiligt. Besonders dort, wo das Sockelhindernis nicht aus einer steilen Bruchfläche, sondern aus einer mässiger geneigten Flexur besteht, wird sich die darüber hinweggleitende Sedimenthaut seinen Umrissen in gewissen Fällen mit täuschender Harmonie anschmiegen.