Probleme der Transformation und Reaktivierung alter Strukturen : die Klus von Thierstein im Jura als Beispiel

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **94 (2001)**

Heft 3

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-168900

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

0012-9402/01/030351-12 $1.50 + 0.20/0
Birkhäuser Verlag, Basel, 2001

Eclogae geol. Helv. 94 (2001) 351–362

Probleme der Transformation und Reaktivierung alter Strukturen Die Klus von Thierstein im Jura als Beispiel

HANS LAUBSCHER

Key words: Grabens, Rhine graben, flexures, Jura mountains, thrusts, transfer, rotation, strain partitioning
Schlagwörter: Gräben, Rheingraben, Flexuren, Jura, Überschiebungen, Transfer, Rotationen, Strain-partitioning

ZUSAMMENFASSUNG

Die Transformation (Reaktivierung und Deformation) älterer Strukturen durch spätere tektonische Prozesse ist ein häufiges aber immer noch schlecht verstandenes Phänomen. Ein kleines Gebiet im Rheintalischen Jura, der Thiersteingraben, liefert viele empirische Informationen dazu. Dieser enge alttertiäre Graben wurde bei der miozänen Jurafaltung durch verschiedene Prozesse deformiert. Er wurde sowohl durch Überschiebungen zerrissen als auch intern zusammengestaucht und zerschert. Dabei wurde der Graben aber auch reaktiviert und zwar als sinistrale Transferzone. Darüber hinaus gibt es stellenweise Anzeichen für eine dextrale Rotation, die 50° erreichen könnte. Solche Dextralrotationen an der hier ca. WE verlaufenden Jurafront sind an manchen Stellen zu beobachten. Sie passen gut in das plattentektonische Bild einer europäischen Platte, die im Miozän gegen SE subduziert wurde und gegenüber der WE-verlaufenden Jurafront eine dextrale Komponente aufwies. Dabei kann der zur Subduktionsrichtung schief verlaufende Jurarand der Wirkung einer ca WE verlaufenden prä-existenten Flexur zugeschrieben werden (Landsbergflexur), die als Auslöser für die Hauptüberschiebung diente.

ABSTRACT

The Transformation (deformation and reactivation) of older structures by subsequent tectonic processes is a frequent phenomenon that is, however, still poorly understood. Empirical material for the study of this problem is provided by a small area in the eastern Jura fold-thrust belt. The early Tertiary narrow Thierstein graben was complexly deformed by the Miocene folding and thrusting phase and in turn functioned as a sinistral transfer zone for different developments of convergent structures on its flanks. It was both cut and displaced by the thrusts, internally crumpled and sheared and in one segment possibly rotated dextrally by as much as 50°. Such dextral rotations are frequent in the approximately WE striking northern part of the Jura. They may be attributed to pre-existing flexures that strike about WE, obliquely to the SE directed subduction of the European plate in the Miocene. Motion of the thin-skinned Jura there seems to have been partitioned to some degree into WE striking contractional features and WE directed dextral shear. This in turn developed dextral rotations of domains of various scales wherever asperities resisted the shear.

Einführung

Ältere Strukturen beeinflussen jüngere Deformationen und werden ihrerseits von diesen umgestaltet. Dies gilt für alle Grössenordnungen. So dürften im Massstab der Plattentektonik alte, ca. WE-verlaufende Inhomogenitäten im nördlichen Vorland der Alpen, z.B. der tiefreichende Permokarbontrog der Nordschweiz (z.B. Diebold 1990), während der unter- und mittelmiozänen Phasen der Alpenfaltung reaktiviert worden sein (vgl. dazu Laubscher 1986). In besonderem Masse gilt es jedoch für den Bereich der epidermalen Jurafaltung, und zwar sowohl für ererbte Unregelmässigkeiten an ihrer Basis wie auch für solche im Innern der Sedimenthaut (vgl. dazu z.B. Laubscher 1998). Solche Prozesse sind in Sandkasten-Experimenten nachgebildet worden (z.B. Philippe et al 1996). Die Resultate sind oft sehr naturnah.

Es liegt auf der Hand, dass die ererbten Strukturen gewöhnlich schief zu den Hauptspannungen eines späteren Beanspruchungsplans gerichtet sind. Sie werden dann in der Regel eine gewisse Zerlegung der Gesamtbewegung in Normal- und Parallel- oder Scherkomponenten verursachen („Strain partitioning"). Es entstehen Transpressionsstrukturen, die auch Komponenten von Horizontalverschiebungen enthalten. Die Scherkomponenten haben zudem wegen des unregelmässigen Widerstands an den Transferschienen Rotationen um vertikale Achsen zur Folge.

Alle diese Phänomene sind zwar im Prinzip zu erwarten, doch ist ihre Analyse bei der Bearbeitung der Beobachtungsdaten und ihre Rolle in der Synthese der analytischen Befunde fast immer recht schwierig.

Geol.-palaeont. Institut der Universität Basel, Bernouillistr. 32, CH–4056 Basel, Switzerland

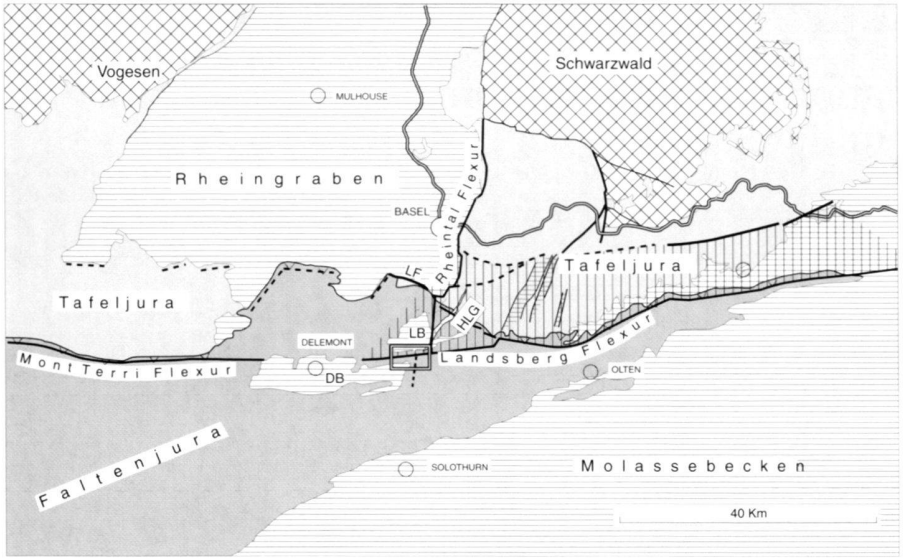

Fig. 1. Regionale Orientierungskarte. Dicke Linien: Untermiozäne Flexuren, teils postmiozän reaktiviert (ausgezogen: Abschnittweise gut belegt; gestrichelt: postuliert aufgrund verschiedener Indizien). Enge, schraffierte Streifen: Beispiele eozän-unteroligozäner Tafeljuragräben; vertikal schraffiert: Spätpaläozoischer Trog und seine mutmassliche Fortsetzung bis zur Rheintalflexur. LF = Landskronflexur. HLG = Hochwald-Lenengrabenzone. DB = Delémontbecken, LB = Laufenbecken, darunter mit Doppelrahmen eingezeichnet das Gebiet von Thierstein.

Ein überaus reiches Übungsfeld zu diesem Thema ist der Rheintalische Jura. Im folgenden wird als besonders instruktives Beispiel das Schicksal des eozänen Lenengrabens (Laubscher 1998) im Bereich der Hauptüberschiebung des mittelmiozänen Faltenjuras herausgegriffen.

Zur Lage des Thiersteingrabens und zur Geschichte seiner Erforschung

Geografisch liegt das fragliche Gebiet in der Klus von Thierstein an der Passwangstrasse im östlichen Jura (Fig. 1, 2). Wenn man bei Zwingen von der Birstalstrasse nach Süden ins Lüsseltal Richtung Passwang abzweigt, so sieht man vor sich die Vorbourgkette mit der frontalen Vorbourg- oder Hauptüberschiebung über das Laufenbecken. Durch diese Kette hat sich die Lüssel ihren Weg in der Klus von Thierstein gegraben, und zwar in einer auffälligen orografischen Depression. Dass diese Depression eine wichtige Rolle bei der tektonischen Entwicklung des Gebietes gespielt hat, wurde schon von Koch (1923) bemerkt. Für ihn gehörte sie irgendwie in die südliche Fortsetzung des alten „Fehrenbruchs" am Ostrand des Laufenbeckens. Bei meiner Neukartierung von Landeskartenblatt Passwang ergab sich, dass die Auffassung von Koch zu modifizieren sei; anstelle des Fehrenbruchs lassen sich am Ostrand des Laufenbeckens zwei unabhängige, vor der Jurafaltung entstandene und diese beeinflussende Strukturelemente erkennen- ein eozän-unteroligozäner Tafeljuragraben, der Roderisweid-Lenengraben, kurz Lenengraben, und die etwas jüngere Schällflexur (Laubscher 1998). Dementsprechend könnte man in der Depression von Thierstein die südliche Fortsetzung des Lenengrabens vermuten. Anderseits, wenn man sich der Klus von Thierstein von Süden nähert, so befindet man sich am Nordende der sinistralen Transferzone von Mervelier, die das Becken von Delémont im Osten begrenzt (vgl. z.B. Waibel 1925). Die Klus von Thierstein mit ihrer Umgebung spielte also eine wichtige Rolle bei der Entwicklung des Rheintalischen Juras, des im Süden des Rheingrabens gelegenen Teils des Juras.

Der weitere Rahmen der Klus von Thierstein

Ins Auge springende Elemente des Rheintalischen Juras sind die ungefalteten, von Falten umrahmten Becken von Laufen und Delémont (Fig. 1). Die Osträndер der beiden Becken liegen ungefähr in der südlichen Fortsetzung des Ostrands des Rheingrabens („Schwarzwaldlinie" von Steinmann (1892)). Für den Ostrand des Laufenbeckens gilt dies nach Laubscher (1998) in etwas modifizierter Form. Hier vertritt die Schällflexur, allerdings leicht nach Westen versetzt und mit stark vermindertem Relief, die Rheintalflexur. Die genauere Beziehung der Mervelier-Transferzone am Ostrand des Beckens von Delémont zur Rheintalflexur bleibt noch abzuklären, doch ist schon seit längerer Zeit gewiss, dass sie einem ererbten Sockelrelief folgt (Waibel 1925). Für die Beziehung der Schällflexur zur Mervelier-Transferzone ist augenscheinlich die Klus von Thierstein eine Schlüsselstelle.

Zunächst ein kurzer Kommentar zur Beziehung Thiersteiner Klus-Lenengraben. Schon auf der Karte von Koch et al. (1936) (vgl. auch Koch 1923) fällt auf, dass im Bereich der Thiersteiner Klus grössere Aufschlüsse von Eozän zu finden sind, wie sie sonst dem Laufenbecken fremd, jedoch für den Lenengraben charakteristisch sind (Laubscher 1998). Zu berücksichtigen ist ferner, dass die Klus von Thierstein im Hangenden der Hauptüberschiebung liegt mit einem Zusammenschub von vielleicht 2 km, wovon ca. 1.5 km Überschiebung, nach grober vorläufiger Schätzung. Verlegt man ihre Front um diesen Betrag nach Süden zurück, so kommt die Klus von Thierstein recht genau in die Fortsetzung des Lenengrabens

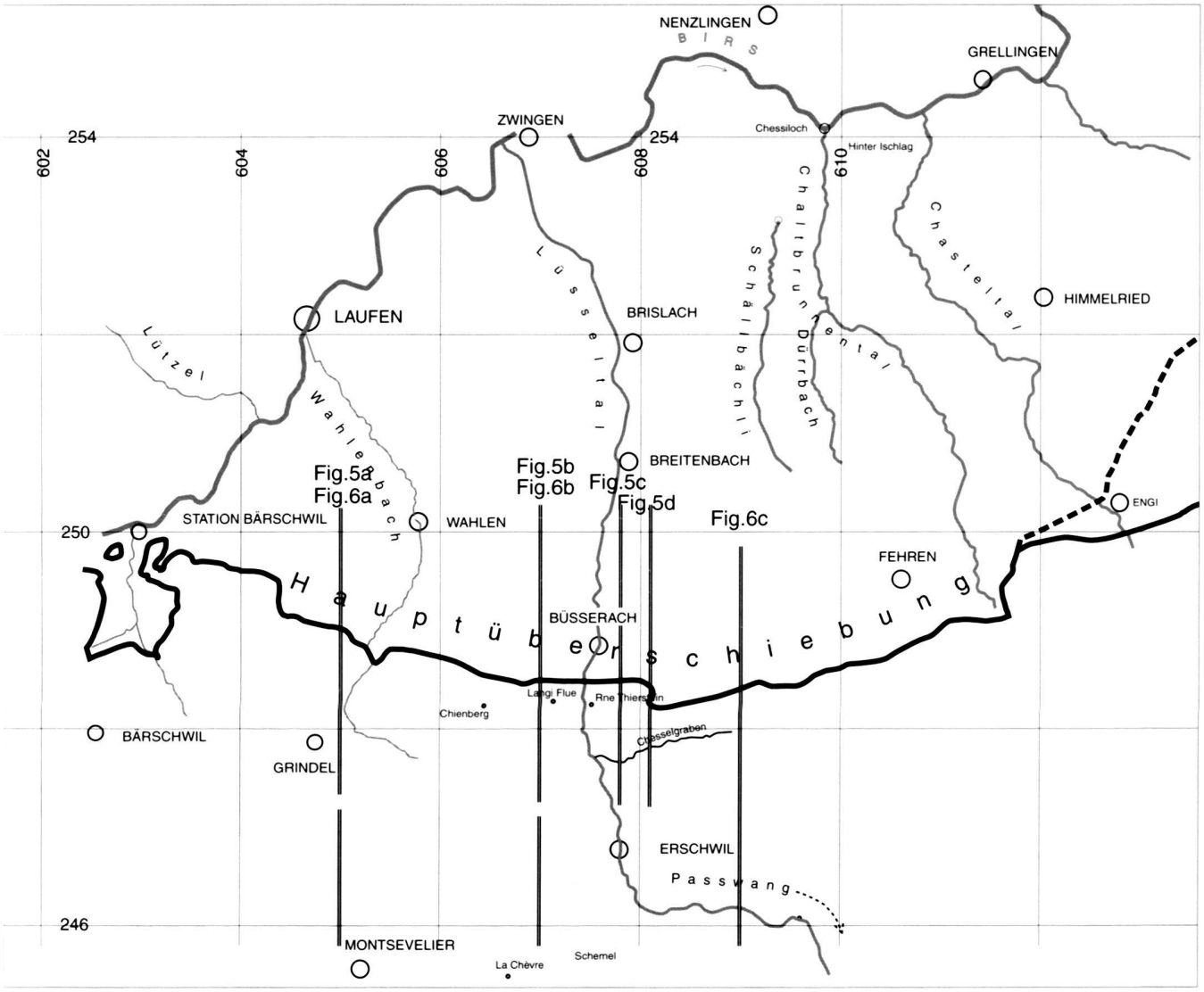

Fig. 2. Ortsbezeichnungen in der Region Laufenbecken-Thierstein und Lage der Profilspuren der Fig. 5, 6. Dicke Linie: Hauptüberschiebung; gestrichelt Abzweigung in die Transferzone von Meltingen. 602 etc.: Koordinaten der Landeskarte der Schweiz.

zu liegen. Man darf also vorläufig postulieren, dass die Klus von Thierstein durch einen später deformierten eozän-unteroligozänen Graben verläuft, den „Thiersteingraben", einen Teil der ausgedehnten Grabenzone von Hochwald-Roderisweid-Lenen (HLG auf Fig. 1).

Die folgende Beschreibung der wichtigsten Elemente des Thiersteingrabens sieht von allzu verwirrenden Details ab, um das allgemeine Bild verständlicher zu machen. Eingehendere Beschreibungen sind für eine spätere Monografie über den Rheintalischen Jura vorgesehen.

Beschreibung des Kartenbildes

Fig. 3 zeigt das engere Gebiet des Thiersteingrabens (schwarzgrau umrandet) in seiner Umgebung. Diese besteht aus der Vorbourg-Antiklinale (Fig. 4) und der frontalen Überschiebung (auch als Randüberschiebung oder Hauptüberschiebung bezeichnet) über das Tertiär des Laufenbeckens. Die Vorbourgkette wird durch den Thiersteingraben in zwei Segmente zerlegt, die etwas unterschiedlich gebaut sind. Das westliche Segment weist über der Hauptüberschiebung eine weitere, kleinere Überschiebung auf. Diese mündet gegen Osten in die ostvergente Quer-Überschiebung des Chienbergs, mit einer NS-streichenden Querflexur und kleineren Querfältelungen im Hangenden. Das westliche Segment ist hier offenbar quer über den Thiersteingraben überschoben.

Ganz anders gebaut ist das östliche Segment. Der Nordschenkel ist durchwegs stark überkippt. Ausserdem legt er sich mit westvergenter Überschiebung über den Thiersteingraben. Dieser wird also sowohl von Westen wie von Osten durch den

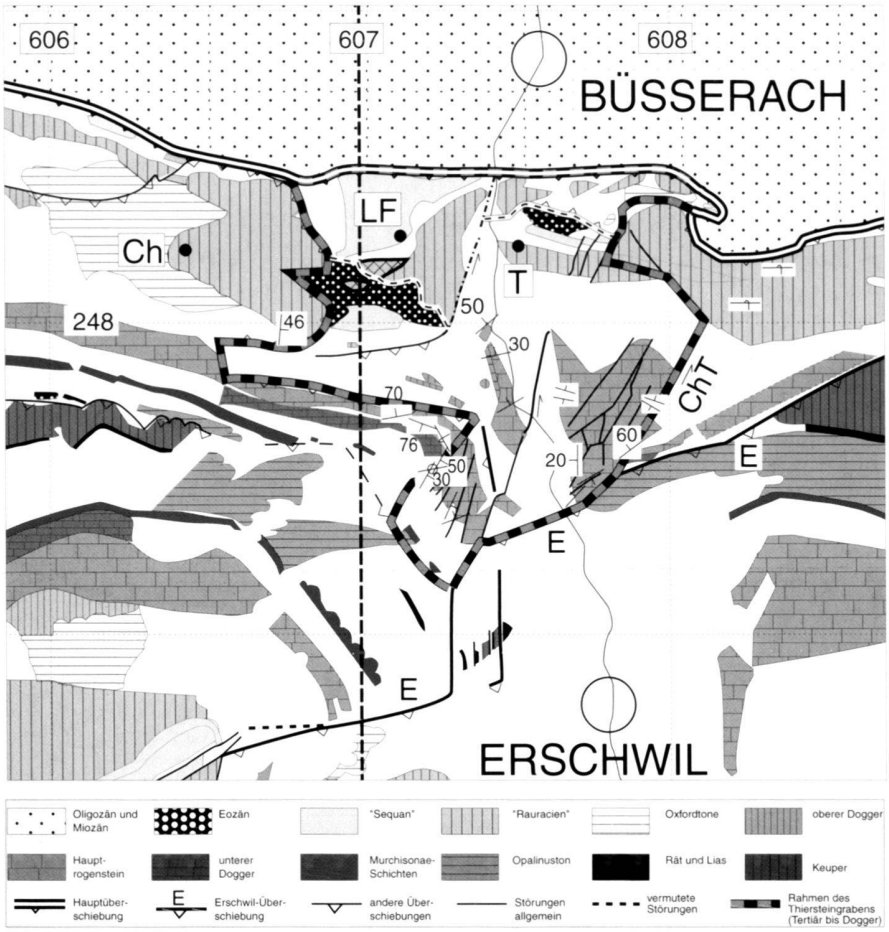

Fig. 3. Vereinfachte geologische Karte der Region Thierstein. Kreuzschraffiert: Tektonische Brekzien der Langi Flue-Abschiebung. Die für die Beschreibung wichtigsten Störungen sind durch dicken Strich hervorgehoben. CH = Chienberg, LF = Langi Flue, T = Ruine Thierstein, ChT = Chesselgraben-Transferbruch, E = Erschwil-überschiebung, 603 etc.: Koordinaten der Landeskarte der Schweiz. Bei den Formationsnamen wurden die traditionellen Bezeichnungen bevorzugt (obwohl sie den modernen Regeln stratigraphischer Nomenklatur nicht genügen), weil sie bei den Feldaufnahmen immer noch dienlich sind.

Vorbourg-Nordschenkel überschoben- ein bemerkenswertes Phänomen, das bei einer kinematischen Modellierung besonders zu berücksichtigen ist.

Der Inhalt des Thiersteingrabens

Dass bei dieser Sachlage der Inhalt des Grabens in Mitleidenschaft gezogen wurde, wird kaum verwundern. Fig. 3 zeigt dies deutlich. Zunächst ist festzustellen, dass sich Malm und Dogger unterschiedlich verhalten haben. Dies wird zum einen damit zusammenhängen, dass der Dogger weiter im Süden auftritt und deshalb nicht ohne weiteres mit dem Malm verglichen werden kann, zum andern dürfte aber auch ein disharmonisches Verhalten an den Oxfordtonen eine Rolle gespielt haben.

Der Malm wird zweigeteilt durch einen NNE streichenden, im Talgrund verlaufenden und deshalb nicht direkt beobachtbarn Transferbruch. Im Westen des Lüsseltals steigt eine Malmplatte mit mässigem Nordfallen gegen Süden an. Die Talwand wird dabei hauptsächlich von der St. Ursanne-Formation („Rauracien") gebildet. Im Gegensatz zur Darstellung bei Koch et al. (1936) biegt aber diese Malmplatte nicht zu einem Südschenkel um, der normal von Tertiär überlagert ist. Vielmehr liegt das Tertiär- hauptsächlich Eozän, das wie üblich stark verlehmt ist- unmittelbar der St. Ursanne-Formation auf. Diese ist an zwei Aufschlüssen, die aus dem Tertiär auftauchen, stark tektonisiert und rot durchädert. Dieser Umstand und der Gesamtverlauf der Kontaktfläche lassen keinen Zweifel, dass hier eine ca. EW verlaufende Abschiebung vorliegt. Die beschriebenen Aufschlüsse deuten überdies darauf hin, dass es sich wie beim Lenengraben um eine eozäne Abschiebung handelt. Die Südgrenze der Eozän-Aufschlüsse scheint dagegen im wesentlichen die normale Auflagerungsfläche auf dem Sequan des Nordschenkels zu sein. Dieses Sequan wurde durch die Abschiebung um vielleicht 100 m versenkt. Die liegende St. Ursanne-Formation ist nur in kleinen Aufschlüssen zu erkennen.

Auf der Ostseite des Lüsseltals ist die Situation grundverschieden. Der abgeschobene Südschenkel ist um etwa 250 m sinistral nach Norden verschoben, und die Kalke der St. Ursanne-Formation bilden eine imposante Felswand bis zur Überschiebung durch den östlichen Vorbourg-Schenkel. Die

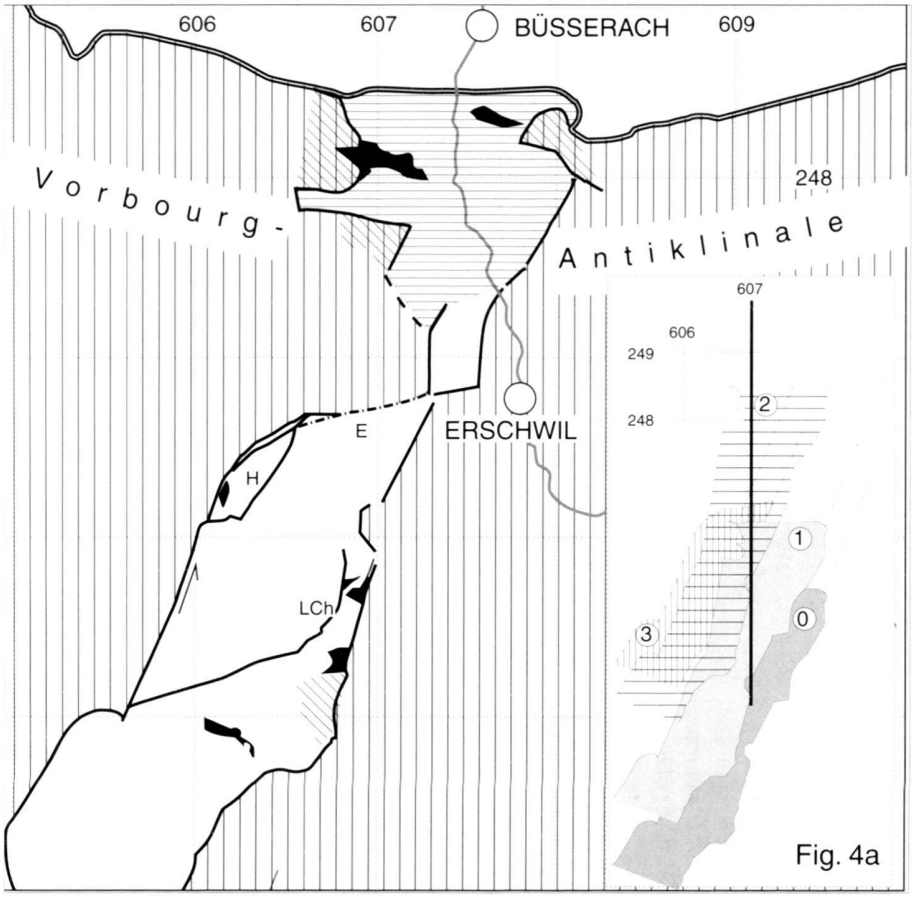

Fig. 4. Der Thiersteingraben zwischen der Hauptüberschiebung und dem Delémontbecken, vereinfacht. Horizontal schraffiert: Der Thiersteingraben im engeren Sinn, wie Fig. 3. Vertikal schraffiert: Flankengebiete ausserhalb des Grabens. Enge Schrägschraffur: Seitlich auf den Graben geschobene Flankenfetzen. Schwarz. Eozän. E = Erschwilüberschiebung, H = Hoggen, LCh = La Chèvre. Eingefügt ist Fig. 4a.

Fig. 4a. Nordgerichtete Translationen des Grabens in verschiedenen Stadien der Jurafaltung. Die jeweils verschobenen Grabensegmente sind durch die Ziffern 3 bis 0 gekennzeichnet (3 nach später Erschwil-, 2 nach Vorbourg-, 1 nach Blauenüberschiebung, 0 = Verlauf im Autochthon nach allen Überschiebungen). Die bei der Kartierung ermittelte ungefähre Gestalt des Grabens wurde, da die wirkliche Gestalt nicht ausreichend belegt ist, als Schablone zur Kennzeichnung der Translationen benutzt. Nimmt man an, dass sie *grosso modo* den Grabenrändern im Malm entspricht, so kann man die ungefähre Lage der durch die Überschiebugen zerrissenen Grabendomänen abschätzen und bei der Profilkonstruktion verwenden (Fig. 5, 6). Vgl. aber auch Fig. 8.

wiederum ca. WE-verlaufende Nordgrenze der hangenden Eozäntone stösst an unteres Rauracien (Liesbergschichten) und sogar Oxfordtone des gehobenen Flügels der eozänen Abschiebung. Es ist wahrscheinlich, dass die Transferstörung dem Lüsseltal bis zur frontalen Überschiebung folgt, obwohl dort die steilstehenden St. Ursanne-Kalke der beiden Talseiten nicht schlecht aufeinander passen. Denkbar ist aber auch, dass auf der Ostseite der abgeschobene Teil in den Oxfordtonen unter den gehobenen Flügel ein wenig unterschoben wurde.

Auch der Dogger des Grabens zeigt unterschiedlichen Bau auf den beiden Talseiten. Auf der Westseite wird der Grabenrand angezeigt durch ein Umbiegen des normalen Vorbourgschenkels in NS bis sogar SSW-Richtung, Diese Umbiegung wird begleitet von zahlreichen kleinen Brüchen und Fältelungen, an denen sich der Hauptrogenstein weit gegen Süden in Richtung Erschwil senkt. Weil weniger eine Abschiebung als eine zerbrochen Flexur vorliegt, könnten diese Verhältnisse wie im Lenengraben auf ein ursprüngliches Hineinrollen („rollover") in den listrischen Randbruch eines Halbgrabens hinweisen.

Damit ist aber das Inventar der Doggeraufschlüsse auf der Westseite des Tals nicht erschöpft. Nördlich der beschriebenen Aufschlüsse und in strukturell tieferer Lage taucht am Talgrund eine leicht nordfallende Hauptrogensteinplatte auf, die durch eine Störung abgesenkt sein dürfte, obwohl die Aufschlüsse keine präzise Aussage erlauben. Diese Doggeraufschlüsse müssen von den im Nordwesten folgenden Malmaufschlüssen durch eine Störung getrennt sein, wohl durch die Transferstörung der Thiersteiner Klus.

Umfangreiche Doggeraufschlüsse folgen der Ostflanke des Tals. Die Nordgrenze dieser Aufschlüsse passt einigermassen auf jene der Westseite. Gegen Süden folgt dann aber eine andere Tektonik, sodass eine trennende Verwerfung angenommen werden darf. Hier wird der Doggerhügel durch eine kleine Falte gebildet, deren Kern in einem alten Steinbruch gut aufgeschlossen ist. Diese Falte ist durch zahlreiche kleine, meist NNE streichende Brüche durchsetzt. Der Faltenkern ist noch einmal ca. 350m weiter östlich aufgeschlossen; dort wird der ganze Doggerkomplex durch eine NNE-streichende Störung abgeschnitten. Die im Osten folgende aufschlusslose Wiesenzone dürfte von Oxfordtonen unterlagert sein. Darauf

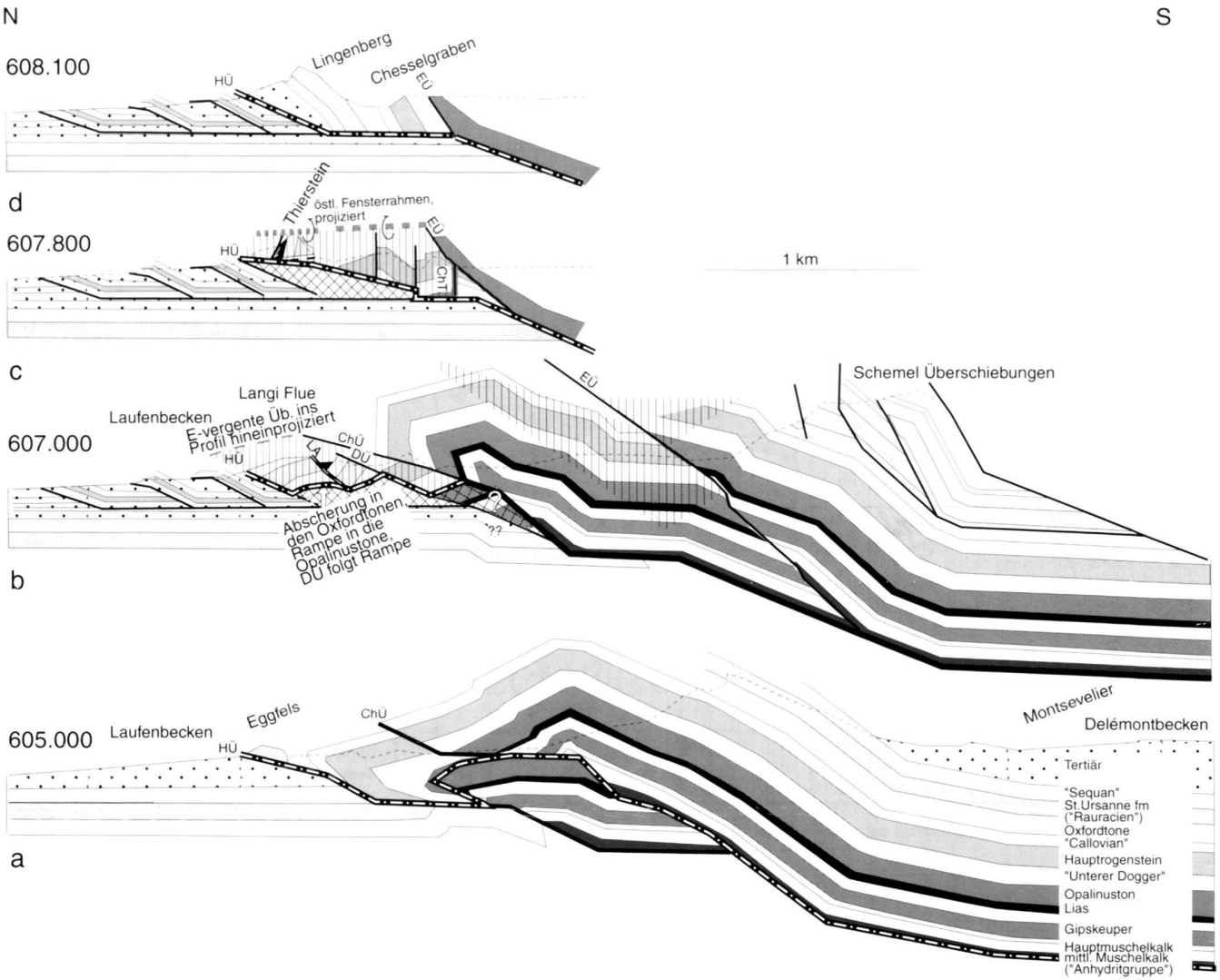

Fig. 5. Profilserie (NS) durch den Thiersteingraben und seine Flanken, engständig, seichte Bereiche. Vertikal schraffiert: Thiersteingraben. Kreuzschraffiert: undifferenzierte Schuppenzone unter der Basis des Thiersteingrabens. Die Hauptüberschiebung ist besonders hervorgehoben. Die Schwierigkeiten bei der Profilkonstruktion besonders im Thiersteingraben werden im Text diskutiert. HÜ = Hauptüberschiebung, DÜ = Doggerüberschiebung im Thiersteingraben, geht über in den Transferbruch der Thiersteiner Klus, ChÜ = Chienbergüberschiebung, ChT = Chesselgraben-Transferstörung, E = Erschwilüberschiebung.

folgen die stark überkippten Rauracienkalke des normalen Vorbourgschenkels.

Versucht man hier, die Ostgrenze des Thiersteingrabens zu definieren, so resultiert eine vielfach geknickte Linie. In ihrem Südteil folgt diese Linie der NNE-streichenden Störung, die den Doggerkomplex abschneidet, nördlich anschliessend dagegen der NW-streichenden Westgrenze des überkippten Rauracienschenkels. Man darf wohl folgende Interpretation dieses Verlaufs ins Auge fassen. Der südliche Teil ist eine sinistrale Transferzone, an der jedoch nicht leicht korrelierbare Strukturen gegen einander verschoben wurden: vielmehr diente sie als Gleitschiene zwischen sich ganz unterschiedlich entwickelnden strukturellen Domänen. Auf ihrer Westflanke wurde der Dogger des Grabeninhalts aufgepresst, der Graben wurde invertiert, während die Ostflanke überkippt und nach Norden geschoben wurde. Bei dieser Überkippung wurde der ursprünglich NNE streichende Grabenrand ebenfalls überkippt, so dass er NW-Streichen annahm. Die Inversion des Grabeninhalts lässt sich gegen Norden bis zu seinem Rauracienschenkel verfolgen An diesem ändert sich das Verhältnis von Graben zu östlicher Flanke, indem diese nun nach Westen überschoben wird.

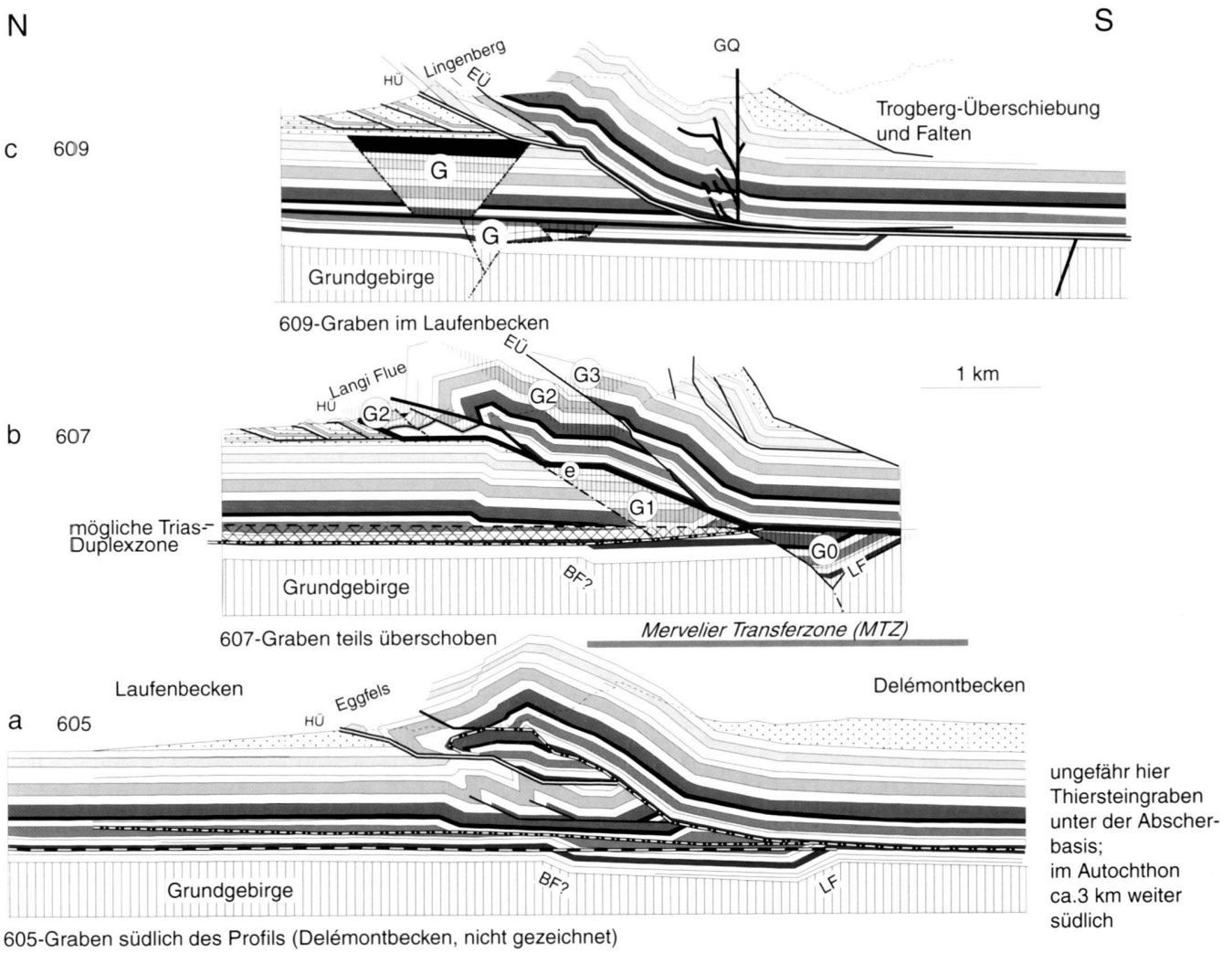

Fig. 6. Drei NS-Profile durch die Region Thierstein in Abständen von 2 km, Tiefenstruktur bis ins Grundgebirge, mit der mutmasslichen Lage des durch die Jurafaltung zerrissenen Thiersteingrabens. Abkürzungen wie auf Fig. 5; dazu noch BF = Buebergflexur, LF = Landsbergflexur, GQ = Girlang-Querstruktur, G = Thiersteingraben (die Ziffern 0 bis 3 entsprechen jenen von Fig. 4a). Erklärungen im Text.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Inhalt des Thiersteingrabens bei der Jurafaltung eine Spezialdeformation erfuhr, sicher wegen der ganz besonderen Verteilung der Gesteine und ihrer mechanischen Eigenschaften. Dabei wurden auch die Grabenränder arg strapaziert. Zugleich funktionierte der Graben aber auch als Transferzone zwischen den unterschiedlich gebauten Segmenten des Nordschenkels der Vorbourgkette.

Der Thiersteingraben im Kern und im Südschenkel der Vorbourgkette (Fig. 4).

Der Kern der Vorbourgkette befindet sich im aufschlussarmen Talkessel von Erschwil (s. Koch et al. 1936). Der Verlauf des Thiersteingrabens ist daher nicht klar zu definieren. Die beste Auskunft liefern noch eine Anzahl von kleinen Lias-Keuper-Aufschlüssen im Westen des Dorfes. In diesen sind besonders die hier gut ausgebildeten Rätsandsteine mehrfach repetiert. Diese Störungszone scheint ähnlich dem oben besprochenen Teil des Thiersteingrabens unterschiedlich gebaute Segmente der Vorbourgfalte zu trennen, und man darf wohl annehmen, dass sie zum reaktivierten Teil des Grabens im Lias-Triasbereich gehören. Dabei ist weiter zu beachten, dass der Graben mit der Tiefe schmäler wird, und dass sein Lias-Trias-Anteil auch aus diesem Grunde enger wird, zusätzlich zu einer seitlichen Einengung (Transpression) bei der Reaktivierung. Übrigens scheint hier der Graben als Transferzone für die Überschiebung von Erschwil (E) zu dienen.

Im Malm-Südschenkel der Vorbourgkette endlich darf man wohl die gestörten Querstrukturen des Hoggen und von La Chèvre (Fig. 2, 4), die beide eozäne Ablagerungen enthalten, dem Thiersteingraben zuordnen (vgl. Waibel 1925). Doch hier gelangt man in die Mervelier-Transferzone am Ostrand des Beckens von Delémont, die eine besondere Behandlung verlangt.

Profile durch den Thiersteingraben und seine Umgebung

Der Thiersteingraben wurde durch mehrere Überschiebungen zerlegt und verfrachtet. Dies wird besonders mit Hilfe der Profile Fig. 5, 6 näher erläutert. Um die Beziehungen zwischen Karte und Profilen besser sichtbar zu machen, ist auf Fig. 4a die Lage des Grabens in den verschiedenen Überschiebungspaketen skizziert. Da die Daten es nicht erlauben, die Gestalt des Grabens genau zu definieren, wurde eine sehr vereinfachte Darstellung gewählt mit Umrissen des Grabens, die der Fig. 4 entnommen sind und um grob abgeschätzte nach Norden gerichtete Überschiebungsbeträge versetzt sind. Graben 0 ist der autochthone Graben, Graben 1 ist der durch die Blauenüberschiebung um 1 km nach Norden geschobene Graben, Graben 2 ist der durch die Randüberschiebung um 2 km verschobene Graben, wie er auf Fig. 4 in Erscheinung tritt, und Graben 3 ist der durch die Erschwilüberschiebung um 500 m verschobene Teil. Eingezeichnet ist ferner die Profilspur auf Koordinate 607. Man kann auf Fig. 4a ungefähr ablesen, wo auf Profil 607 der Graben in den verschiedenen Überschiebungspaketen geschnitten wird.

Zur Erläuterung der Tiefenstruktur wurden die beiden Profilserien Fig. 5 und Fig. 6 entworfen. Fig. 5 beschränkt sich auf den seichteren Untergrund, zeigt dafür aber in geringen Abständen besonders die Ostgrenze des überschobenen Grabens, während auf Fig. 6 in Abständen von je 2 km eine Bilanzierung (vgl. Woodward et al. 1989) bis zum Grundgebirge versucht ist. Besonders zu beachten ist der Umstand, dass der Thiersteingraben schon seiner ursprünglichen Richtung nach die Profile schief schneidet. Ausserdem wurde er bei der Jurafaltung vermutlich segmentweise rotiert (s.u.) und jedenfalls seitlich zusammengedrückt. Die auf der Karte eingezeichneten Überschiebungen, einschliesslich der Hauptüberschiebung, dürften im Bereich des Grabens ebenfalls erheblich dreidimensional gekrümmt sein. Unter diesen Umständen ist eine definitive Darstellung auf den Profilen nicht möglich, man muss sich damit begnügen, wenigstens gewisse Vorstellungen einfliessen zu lassen.

Die Profile Fig. 5a und 5d durchschneiden das westliche bzw. das östliche Segment der Vorbourgfalte, während die Profile Fig. 5b und c den westlichen bzw. den östlichen Teil des Thiersteingrabens durchqueren.

Fig. 5a (vgl. Fig. 2 und Koch et al. 1936) zeigt einen Nordschenkel der westlichen Vorbourg-Antiklinale, der nach einem überkippten kurzen Nordende gegen Süden eher abrupt in mässiges Nordfallen umbiegt. Die Situation ist ähnlich der längs Koordinate 606 (Fig. 3). Bei der Bilanzierung zeigt sich, dass vermutlich die kleine Chienbergüberschiebung nur ein Ast einer grossen Kernüberschiebung ist, deren frontaler Teil dem Opalinuston folgt und mit diesem eingerollt ist. Im Gegensatz dazu zeigt der Schnitt durch das Ostsegment der Vorbourg-Antiklinale (Fig. 5d) eine ausgedehnte überkippte Serie, die im Süden von der Erschwilüberschiebung abgeschnitten wird. Die Erschwilüberschiebung tritt nur im Ostsegment in Erscheinung, da sie sich von der Mervelier Transferzone gegen Osten ablöst. Sie scheint jünger zu sein als die Hauptüberschiebung („out of sequence").

Fig. 5b (Langi Flue) durchquert den Westteil des Thiersteingrabens und führt aus dem Laufenbecken durch die Haupt- oder Randüberschiebung in die Schuppenzone des Schemel auf der Ostseite der Transferzone von Mervelier. Das Profil illustriert die Problematik von Profilen in 3D deformierten Gebieten. Ein ungefähres Bild des durch Überschiebungen zerrissenen Grabens vermittelt Fig. 6, wie weiter unten diskutiert. Auf Fig. 5 ist die dort vorgeschlagene Lösung einfach übernommen. Das Profil verlässt demnach im mittleren Teil den aufgeschlossenen Graben und tritt in die Westflanke ein. Dabei scheint der Graben stellenweise etwas unter die Westflanke unterschoben zu sein. Ausserdem biegt die Westflanke in eine profilparallele Flexur ab (Fig. 3). Dann aber erscheint der Graben wieder in den stratigraphisch höheren Partien im Dach der Vorbourgfalte, in einem durch Erosion entfernten Gebiet. Ein letztes Segment erscheint im südlichen Teil des Profls, an der Erschwilüberschiebung schief zu seinem Streichen nach Norden befördert (Fig. 3, 4). Ganz im Süden endlich tritt das Profil in die Ostflanke des Grabens ein.

Im Bereich dieses Profils ist die Repetition von Molasse Alsacienne und Juranagelfluh am Südrand des Laufenbeckens besonders gut aufgeschlossen. Sie lässt sich als im tieferen Oligozän abgeschertes Schuppenpaket auffassen. Wiederholungen im Tertiär sind auch östlich davon erkennbar (Profile c, d). Da die Aufschlüsse dort aber schlechter sind, wurde das Schuppenpaket von Fig. 5b einfach übernommen.

Der Verlauf der Randüberschiebung wurde durch Projektion der an der Oberfläche registrierten Geometrie gewonnen. Dabei wurden gewisse Modellannahmen zugrunde gelegt. Insbesondere wurden die Überschiebungen als Polygonzüge dargestellt, die ursprünglich aus schichtparallelen Absätzen („flats" auf Englisch) und sie verbindenden Rampen bestehen (vgl. Woodward et al. 1989). Diesen wird eine ursprüngliche Neigung von 20 Grad gegenüber der Schichtung zugeschrieben, wofür im Jura zahlreiche Anzeichen bestehen. Diese anfänglichen Überschiebungen wurden durch spätere Faltung deformiert, wo immer das Einfallen an der Oberfläche dies verlangt. Die basale Abscherung wurde in die Evaporite der mittleren Trias gelegt („Anhydritgruppe"), 40 m unterhalb des Hauptmuschelkalks. Die Mächtigkeiten innerhalb der Schichtenfolge sind nicht genau bekannt, doch dürften die im Modell verwendeten regionalen Werte von den tatsächlichen nicht stark abweichen.

Die Basis des Thiersteingrabens ist etwas geknittert eingezeichnet, weil das steile Einfallen des Malms Rotationen auch

um eine horizontale Achse anzeigt, die wohl ebenfalls im Verlauf der Überschiebung entstanden sind. Das Tertiär unter der Überschiebung dürfte dabei ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen worden sein. Es wurde summarisch durch eine Kreuzschraffur gekennzeichnet. Der Thiersteingraben (vertikal schraffiert) erweist sich als ganz dünnes Paket. Die Darstellung dieses Pakets erweist sich als schwierig. Im Profil wird vorgeschlagen, dass der Graben im Norden in den Oxfordtonen abgeschert ist, gegen Süden rampt die Überschiebung in die Opalinustone hinunter. Diese seitlich nicht zylindrisch sich fortsetzende Überschiebung wird von der Chienbergüberschiebung abgeschnitten. deren 3D-Verlauf hier problematisch ist. Sie dürfte wie im Malm auch eine ostvergente Komponente haben. die einen Teil des Thiersteingrabens überfahren hat. Sie wurde daher schematisch eingezeichnet.

Profil 6c (607800) verläuft durch die Ostseite des Lüsseltals, wo der Graben durch Hauptrogenstein dominiert wird (etwas vereinfacht dargestellt). Der Malm ist durch die Transferstörung der Klus, wahrscheinlich auch durch eine von ihr abzweigende Unterschiebung an den nördlichen Rand gedrängt. Der südliche Rand wird durch die Transferbewegungen vor allem längs der Chesselgrabenstörung bestimmt. Der verkehrt liegende Nordschenkel des östlichen Segments der Vorbourgfalte ist noch als kleiner Zwickel erkennbar, der von der Erschwilüberschiebung (E) bedeckt wird (vgl. Fig. 3, 4, 6). Der Ostrand des Grabens ist auf das Profil projiziert, um den Übergang von Graben-Inversion im Süden zu westvergenter Überschiebung im Norden zu zeigen.

Profil d verläuft unmittelbar östlich des Grabens, wo die überkippte Serie den Ton angibt.

Auf Fig. 6 werden die Probleme der Tiefenstruktur erkundet. Das Augenmerk gilt dabei nächst der Bilanzierung dem Verhalten des Thiersteingrabens (schematisch dargestellt) und den Flexuren des Landsbergs (LF) und des Buebergs (BF). Weil diese Strukturen allesamt älter sind, werden sie von den Jura-Überschiebungen zerschnitten. Dabei spielt neben der Hauptüberschiebung auch die Blauen-Abscherung an der Basis des Laufenbeckens eine Rolle; der Verschiebungsbetrag wurde nach vorläufigen Abschätzungen zu 1 km angenommen und in die Evaporite der Trias gelegt, wobei dort die Ausbildung einer Duplexzone ähnlich derjenigen der Muschelkalk-Schuppenzone als mögllich erachtet wird- dies, weil die Lage der basalen Abscherung in der Blauenfalte etwas unsicher ist (vgl. Laubscher 1998).

Ältestes Element ist nach Laubscher (1998) der eozänunteroligozäne Graben. Er verläuft schief zur Profilserie, liegt auf Profil 609 im Laufenbecken vor der Hauptüberschiebung, auf Profil 607 z.T. über ihr und von ihr zerrissen, und auf Profil 605 irgendwo im Autochthon unter dem Becken von Delémont (nicht mehr gezeichnet).

Auf Fig. 6 sind die den verschiedenen Überschiebungspaketen zugeordneten Grabensegmente durch Schraffur und die Symbole G0 bis G3 gekennzeichnet. Sie korrelieren mit den auf Fig. 4a einskizzierten Lagen (etwa Niveau Malm) des Grabens in den Überschiebungspaketen. Dabei ist zu beachten, dass der Graben sehr schief geschnitten wird und seine Ränder infolgedessen stark abgeflacht erscheinen.

Zu erwähnen sind noch Besonderheiten der Profile 605 und 609. Auf Profil 605 taucht die von NW heranstreichende Buebergkette unter die Hauptüberschiebung. Vor dieser, in der Birsklus von Station Bärschwil (Fig. 2), ist sie noch sehr einfach gebaut (vgl. Keller 1922). Unter ihr dagegen hat man Schwierigkeiten mit der Bilanzierung. Am einfachsten scheint es, die tieferen Partien der Falte in Form von Kleinfalten mit blinder Überschiebung und Abscherung im Opalinuston unterzubringen. Die hier seichte Abscherung wird verlangt durch das axiale Abtauchen des Faltenkomplexes gegen SE. Die Buebergfalte bildet zudem den Westrand des Laufenbeckens, dessen Struktur bei der Bilanzierung weitere Rätsel aufgibt. Das Becken steigt in seinem Westteil gegen W etwas axial an (vgl. Koch et al. 1936), und an sich wäre es hier möglich, die Abscherbasis gegen S ohne Flexuren in das Becken von Delémont durchzuziehen. Dagegen sprechen aber folgende Indizien. Die Haupt- oder Randüberschiebung nimmt westlich von Profil 605 besondere Ausmasse an, jedenfalls bis zum Landsberg (daher der Name; vgl. Laubscher 1981, Keller & Liniger 1930, Keller 1922). Man möchte deshalb auch hier die Flexur als Auslöser für die Überschiebung postulieren. Des weitern schwenkt das Ostende der Buebergkette auffällig gegen SE ab. Man darf vielleich deshalb an eine ESE verlaufende Flexur analog der Landskronflexur am Südrand des Rheingrabens (vgl. Fig. 1 und Laubscher 1998; nicht zu verwechseln mit der Landsbergflexur- unglücklicherweise hat sich historisch diese Ähnlichkeit der Namen ergeben) als Rahmenbedingung denken, allerdings mit Südvergenz. Mit der Annahme einer solchen Buebergflexur ergibt sich dann fast zwingend die Fortsetzung der Landsbergflexur. Ich habe diese Lösung möglichen andern Lösungen vorgezogen, weil sie die oben genannten Indizien berücksichtigt.

Auf Profil 609, Nordteil, ist die Struktur im Hangenden der Erschwilüberschiebung (E) etwas arbiträr, weil die Aufschlüsse nicht gerade gut sind. Im Südteil des Profils wird der Westrand des Tonlöchli-Tertiärs (Waibel 1925, Koch et al. 1936) durch eine interessante Querstruktur gebildet (Girlang-Querstruktur, GQ), die wie der Thiersteingraben einer alttertären Grabenstruktur zu entstammen scheint. Diese dürfte, nach meinen neueren Kartierungen, durch mehrere Überschiebungen zerrissen, irgendwie mit dem Steinegggraben SE Himmelried zusammenhängen (Laubscher 1998; Koch et al. 1936 stellen die Dinge noch etwas vereinfacht dar). Auf Profil 609 ist der Westrand des Tonilöchlitertiärs als transpressive Sinistralzone mit begleitender Blumenstruktur dargestellt.

Zur Kinematik und Dynamik bei den Transformationen des Thiersteingrabens

Die komplizierte Geometrie des reaktivierten Thiersteingrabens ruft einerseits nach einer Erklärung und offeriert anderseits neue Einblicke in den meist nur in groben Zügen bekannten Mechanismus der Transformation ererbter Strukturen.

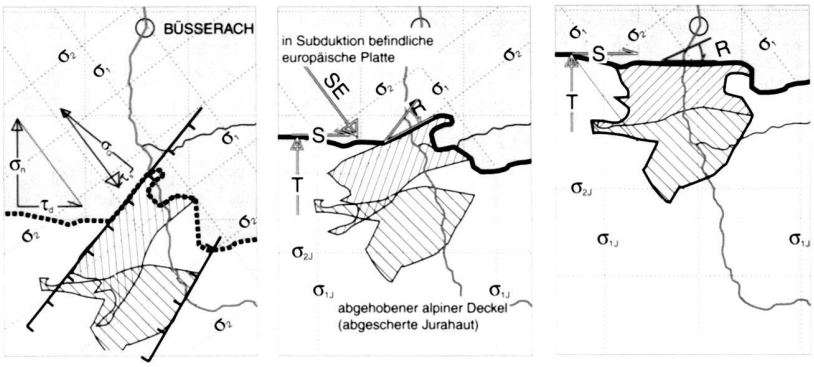

Fig. 7. Postulierte Bewegungen des Thiersteinmalms (eng schraffiert) und des Thiersteindoggers (weit schraffiert) während der Jurafaltung. Die Umrisse sind die des heutigen Kartenbilds. (a) Vor Aktivierung der Hauptüberschiebung. (b) Translation 750 m, dextrale Rotation des Thiersteinmalms um 25 Grad. (c) Translation 1500 m, dextrale Rotation des Thiersteinmalms 50 Grad. σ1 = grösste kompressive Hauptspannung (regional), σ2 = mittlere Hauptspannung, σn = Normalspannung auf Hauptüberschiebung, τd = dextrale Scherspannung an Hauptüberschiebung, σG = Normalspannung auf Grabenrand, τs = sinistrale Scherspannung am Grabenrand, σ1J, σ2J = Hauptspannungen am Nordrand der abgescherten Sedimenthaut, T = relative Translation der Sedimenthaut nach Norden, S = relative Scherbewegung des Vorlands nach Osten, SE = Subduktionsschritt der Europa-Platte, R = Rotationsschritt des Thiersteinmalms. Weitere Erklärungen im Text.

Eine erste Besonderheit des Grabens ist die WE-streichende Abschiebung im Malm-Tertiär. Die Abschiebungen der alttertiären Dehnungsphase streichen überwiegend NNE. Nun ist es durchaus möglich, das auch die Abschiebung im Thiersteingraben schon ursprünglich EW verlaufen ist und diese Richtung bei der Reaktivierung beibehalten hat. Im Sinne einer Anwendung multipler Arbeitshypothesen ist aber auch die Möglichkeit zu berücksichtigen, dass die urprüngliche Streichrichtung NNE gewesen war, und dass die gegenwärtige EW-Richtung durch dextrale Rotation um etwa 50 Grad entstanden ist (Fig. 7).

Was spricht zugunsten dieser Hypothese? Zunächst wird man feststellen, dass der Grabeninhalt allenthalben stark in Mitleidenschaft gezogen worden ist, und dass diese Deformationen eigentlich auch Rotationen beinhalten sollten. Zweitens bemerkt man, dass insbesondere der Nordteil des Grabens beidseitig von Segmenten des normalen Vorbourgschenkels überfahren wurde, dass also hier die seitliche Einengung nicht durch Inversion begleitet wurde. Während diese lokalen Beobachtungen nicht unbedingt nach einer dextralen Rotation von 50 Grad verlangen, gibt es regionale Daten, die die Hypothese stützen. Z.B. ist an der Nordfront des östlichen Juras immer wieder zu beobachten, dass Falten und Überschiebungen an der Ostflanke von Sinistralverschiebungen einsetzen und dann gegen Osten axial abtauchen und verschwinden, Beispiele sind z. B. die Bueberg- und Movelier-Ketten, die im Westen an der Transferzone der Caquerelle anfangen, dann gegen Osten kleiner werden und schliesslich bei Eintreten ins Laufenbecken verschwinden (vgl. Keller1922, Keller & Liniger 1930, Koch et al. 1936, Diebold et al. 1963), oder die Homberg-Rechtenberg-struktur, die im Westen an der Transferzone von Meltingen-Engi beginnt und im Osten wenig nordöstlich von Reigoldswil verschwindet (Koch et al. 1936, Laubscher 1995, 1998). Ganz besonders aber interessant sind die Verhältnisse in der Überschiebungsmasse östlich Reigoldswil, wo zwei offensichtlich ererbte Querflexuren nebst alttertiären Grabenelementen auftreten. Diese sind um ca. 30–50 Grad dextral verdreht gegenüber dem regionalen trend sowohl der Landskronlinie (vgl. Fig. 1) als auch der altertiären Tafeljuragräben (Laubscher 2002, im Druck).

Ein Aspekt von noch grösserer Regionalität betrifft den Jurabogen insgesamt. Der Verlauf der Faltenachsen wie auch die Anordnung der Horizontalverschiebungen entsprechen einem inhomogenen, gegen Nordwesten divergierenden Feld der σ1 (Laubscher 1972). Man kann dies auf verschiedenerlei Art deuten, aber jedenfalls sind für die Sedimenthaut des Juras besondere Randbedingungen zu postulieren, die sie vom homogeneren, der ganzen Lithosphäre entsprechenden Feld der europäischen Platte absondern. Solche Randbedingungen sind im Südosten das bei der Abscherung relativ starr gebliebene Molassebecken, im Westen der NNE streichende Bressegraben, im N die WE-streichenden Flexuren wohl untermiozänen Alters. Die Faltenachsen des äusseren westlichen Juras verlaufen ungefähr parallel zum Bressegrabenrand, die des äusseren zentralen und östlichen Juras folgen ungefähr dem Verlauf der Flexuren. Die grösseren inneren Ketten des helvetischen Bogens dagegen streichen insgesamt SW-NE, sie scheinen weitgehend unabhängig zu sein von den Randbedingungen im Westen und Norden. Nimmt man nun an, die Lithosphäre der europäischen Platte habe sich bei der mittelmiozänen Plattenkonvergenz in südöstlicher Richtung bewegt, so musste an den äusseren Grenzen der abgescherten Sedimenthaut ein „Strain partitioning" entstehen, eine Zerlegung der insgesamt NW-gerichteten Konvergenz in eine senkrecht und eine parallel zu den Rändern gerichtete Komponente. Nach diesem Konzept sind die SSW-NNE streichenden Strukturen der Sedimenthaut sinistral transpressiv, die WE streichenden dextral transpressiv. Eine dextrale Rotation im Malm-Tertiär des Thiersteingrabens würde in dieses Bild passen.

Fig. 7 versucht, die Dynamik und Kinematik der Rotationshypothese darzustellen. Es treten dabei vor allem zwei Aspekte in den Vordergrund. Der erste ist, dass bei der Entstehung der Vorbourg- oder Hauptberschiebung der Thiersteingraben ein Fremdkörper mit besonderer Verteilung der Materialeigenschaften war. Insbesondere die in diesem Teil des Juras wichtige Abscherzone in den Oxfordtonen musste

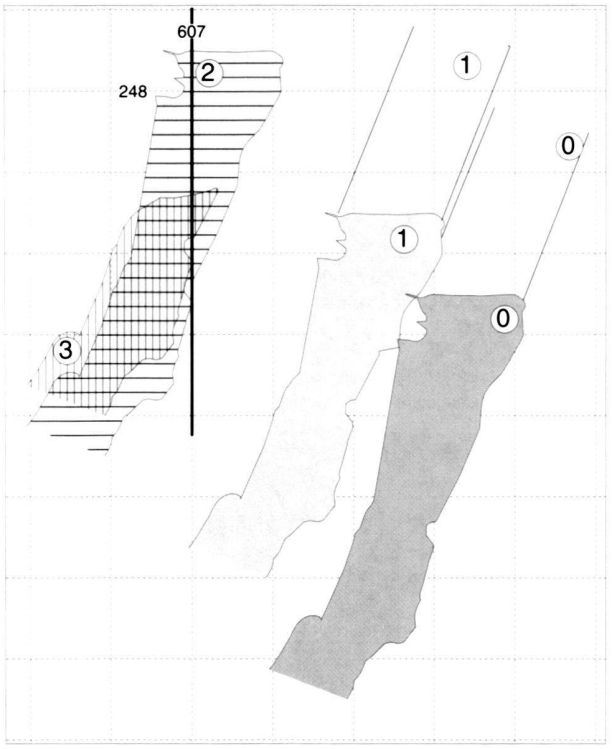

Fig. 8. Die Lage des Thiersteingrabens in den verschiedenen Stadien der Jurafaltung, wie Fig. 4a, aber bei Annahme einer SE gerichteten Subduktion der Lithosphäre und Entkoppelung der Sedimenthaut. Erklärungen im Text

hier einen eigenen Weg gehen. Dargestellt ist eine Ausbuchtung dieser oberen Abscherzone nach Norden. Für die Dextralkomponente der Vorbourgüberschiebung bildete diese Ausbuchtung eine Art „Asperity", einen Widerstand gegen die Bewegung, der ein Drehmoment zur Folge hatte.

Der zweite Aspekt ist, dass bei dieser Drehung der in die Vorbourg- oder Hauptüberschiebung einbezogene Grabenteil die WE-Dimension vergrösserte, was nach queren Verkürzungen rief. Dies könnte eine Erklärung sein für die zunächst eher rätselhafte Unterschiebung des Grabens an beiden Rändern.

Ob sie nun der Wirklichkeit näher kommt oder nicht, die Rotationshypothese zeigt auf, an wieviele mechanische Bedingungen zu denken ist, wenn präexistente Strukturen reaktiviert werden.

Die vereinfachende Hypothese, dass die epidermale Bewegung von der Subduktion der Lithosphäre vollständig entkoppelt war, hat auch Konsequenzen für die Lage des Thiersteingrabens in den Stadien 0 und 1 (Fig. 8, vgl. Fig. 4a). Zur Zeit der Vorbourg-Überschiebung war das Laufenbecken noch autochthones Vorland. Es wurde also um 2.84 km nach SE versetzt, nicht um 2 km nach S, wie auf Fig. 4a angenommen. Beim Fortschreiten der Abscherung in der Blauenphase erreichte der subduzierte Teil des Grabens unter dem Abscherhorizont sogar eine SE-Translation von 4.84 km- immer unter der Annahme der auf Profilen abgeschätzten SN-Verkürzungen. Daraus ersieht man die immense Bedeutung der Hypothese für die Praxis, z.B. wenn der autochthone Teil des Thiersteingrabens das Ziel einer Explorationsbohrung wäre.

Schlussfolgerungen

Die Transformation älterer Strukturen durch spätere tektonische Prozese ist ein komplexer Vorgang, wie die Analyse eines Beispiels, des Thiersteingrabens im Jura, zeigt.

Bei der miozänen Jurafaltung wurde diese alttertiäre Struktur sowohl durch Abscherung und Überschiebungen zerrissen als auch intern stark deformiert. Anderseits diente sie auch als Trennschiene für unterschiedlich deformierte Teile der Vorbourgkette. Verschiedene Indizien sprechen dafür, dass zudem der Malm-Tertiärteil des Grabens noch um eine vertikale Achse dextral verdreht wurde. Eine solche hypothetische Rotation würde gut in den regionalen Rahmen passen: Ähnliche Rotationen treten am WE-streichenden nördlichen Jurarand immer wieder auf. Ausserdem passen alle diese lokalen dextralen Rotationen längs WE streichender Strukturen in das plattentektonische Bild des Miozäns: Die europäische Platte wurde damals offenbar schief gegen SE subduziert, hatte also eine Dextralkomponente längs WE streichender Grenzen. Als Grund für diese schiefe Grenze darf man im Bereich des Thiersteingrabens die (allerdings z. T. hypothetische) frühmiozäne Landsberglinie ansehen.

Zahlreiche Detailstrukturen wurden bei der Deformation des Grabeninnern im Süden der Hauptüberschiebung erzeugt, die alle für eine sinistrale Transpression etwa längs der SSW streichenden Grabenachse sprechen. Der Graben wurde z. T. invertiert, so dass seine Berandung eine sehr komplizierte Gestalt angenommen hat.

Verdankungen.

Ich danke Peter Jordan für eine sorgfältige und konstruktive Kritik.

LITERATURVERZEICHNIS

DIEBOLD, P. 1990: Die tektonische Entwicklung der Nordschweiz. Nagra informiert 2/90, 47–54.

DIEBOLD, P. , LAUBSCHER, H. P., SCHNEIDER, A. & TSCHOPP, R. 1963: Geol. Atlas d. Schweiz , Blatt 40 St. Ursanne. Schweiz. Geol. Kommission.

KELLER, W.T. 1922: Geologische Beschreibung des Kettenjura zwischen Delsbergerbecken und Oberrheinischer Tiefebene. Eclogae geol. Helv. 17/1, 1–78.

KELLER, W.T., & LINIGER, H. 1930: Geol. Atlas d. Schweiz, Blatt 1 Moutier-Soyhières-Delémont-Courrendlin. Schweiz. Geol. Kommission.

KOCH, R. 1923: Geologische Beschreibung des Beckens von Laufen im Berner Jura. Beitr. geol. Karte Schweiz [NF] 48, 2. Abt.

KOCH, R., LEHNER, E., WAIBEL, A. & MÜHLBERG, M. 1936: Blätter Laufen, Bretzwil, Erschwil, Mümliswil. Geologischer Atlas der Schweiz, 3. Herausgegeben von der Geologischen Kommission der Schweiz. natf. Ges.

LAUBSCHER, H. 1972: Some overall aspects of Jura dynamics, Am. J. Sci. 272, 293–304.

- 1981: The 3-D propagation of décollement in the Jura. In: Thrust and Nappe Tectonics (Ed. by McCLAY, K.), Geol. Soc. (London) Spec. Publ., 311–318.
- 1986: The eastern Jura: Relations between thin-skinned and basement tectonics, local and regional. Geol. Rdsch. 73/3, 535–553.
- 1995: Neues zur Geologie der Grenzzone Tafeljura-Faltenjura im Gebiet von Ziefen-Reigoldswil (Baselbieter Jura), Eclogae geol. Helv. 88 (2), 219–234.
- 1998: Der Ostrand des Laufenbeckens und der Knoten von Grellingen: Die verwickelte Begegnung von Rheingraben und Jura. Eclogae geol. Helv. 91, 275-291
- 2002 Der geologische Bau der Gegend von Titterten und seine Geschichte (mit einer Exkursion). Mitteil. Natf. Ges. beider Basel, b, im Druck.

PHILIPPE Y. 1994: Transfer zone in the southern Jura thrust belt (eastern France): Geometry, development and comparison with analogue modelling experiments. In: Exploration and petroleum geology of France (Ed. by MASCLE, A.), EAPG Memoir 4.

PHILIPPE, Y., B. COLLETTA, E. DEVILLE & MASCLE, A. 1996: The Jura fold and thrust belt: a kinematic model based on map balancing. In Peri-Tethys Memoir 2. Structure and prospects of Alpine basins and forelands (Ed. by P. A. ZIEGLER AND F. HORVATH). Mém. Mus. National Hist. Nat. 170, 235–262.

STEINMANN, G. 1892: Bemerkungen über die tektonischen Beziehungen zwischen der oberrheinischen Tiefebene zu dem nordschweizerischen Kettenjura. Ber. natf. Ges. Freiburg i. B., VI,4, 150–159.

WAIBEL, A. 1925: Geologie der Umgebung von Erschwil (Gebiet der Hohen Winde). Beitr. Geol. Karte Schweiz, N.F. 55, 2.

WOODWARD, N. B., BOYER, S.E.& SUPPE, J. 1989: Balanced geological cross-sections: An essential technique in geological research and exploration. Short Course in Geology, volume 6. Amer Geophys. Union, Washington, D. C., 132 pp.

Manuskript eingegangen 3. September 2000
Revidierte Fassung angenommen 15. August 2001