

**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae  
**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft  
**Band:** 81 (1988)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Die dreidimensionale Massenbilanz : ein wichtiges Hilfsmittel zum Verständnis der regionalen Kinematik (Schuppenzone von Reigoldswil, Faltenjura)  
**Autor:** Bitterli, Thomas  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-166186>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 09.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Eclogae geol. Helv.	Vol. 81	Nr. 2	Seiten 415–431	Basel, August 1988
---------------------	---------	-------	----------------	--------------------

# Die dreidimensionale Massenbilanz – ein wichtiges Hilfsmittel zum Verständnis der regionalen Kinematik (Schuppenzone von Reigoldswil, Faltenjura)

Von THOMAS BITTERLI<sup>1)</sup>

## ZUSAMMENFASSUNG

Die dreidimensionale Modellierung der Massenbilanz ist eine bislang nur selten benützte Methode; deren Anwendung auf eine komplizierte Schuppenzone (Reigoldswil, Faltenjura) stellt diesbezüglich einen erstmaligen Versuch dar. Die daraus abgeleiteten Profilkonstruktionen und Isohypsenkarten genügen den kinematischen Grundsätzen weit besser als die rein zweidimensionale Balancierung der Profile. Die Methode liefert zudem wichtige Plausibilitätskontrollen verschiedener Arbeitshypothesen und ist zugleich ein nützliches Hilfsmittel, um bislang unerkannte Störungen aufzufinden.

## ABSTRACT

Worldwide only few examples are known where three-dimensional material balance is applied; for the first time this method is applied to a structure of complex duplexes (Reigoldswil, Jura). The resulting profiles are more plausible according to kinematic principles, than simply two dimensional balanced ones. Furthermore this method allows to judge the plausibility of multiple working hypotheses and to localize unknown faults.

## Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen eines umfassenderen Projektes (NFP-20), bei welchem die tieferen Strukturen des östlichen Jura mit Hilfe der Materialbilanz angenähert werden sollen. Sie baut auf einer Diplomarbeit im Gebiet von Reigoldswil (BITTERLI 1987) auf.

Bei der Umsetzung der lückenhaften Felddaten in kontinuierliche Modellabbildungen (v. a. Profile und Isohypsenkarten) stellt sich immer wieder dasselbe Grundproblem: Die Anzahl verfügbarer Daten (Aufschlüsse, Bohrungen, Tunnelstollen, Seismik usw.) ist viel zu gering für eine sichere Intrapolation und besonders für die Extrapolation in die Tiefe. Ohne weitergehende Annahmen lassen sich unzählige Lösungsvarianten konstruieren, die zudem stark durch den persönlichen Erfahrungsschatz geprägt sind.

Eine der wichtigsten Modellannahmen ist die ausgeglichene Massenbilanz, wonach die abgescherte Sedimentmasse vor und nach dem Zusammenschub (bzw. der Dehnung) konstant bleiben muss. Unter den speziellen Voraussetzungen, dass die Schicht-

---

<sup>1)</sup> Geologisch-paläontologisches Institut der Universität Basel, Bernoullistrasse 32, CH-4056 Basel.

mächtigkeiten gewahrt bleiben und seitlich kein Material ein- oder ausgeführt wird, reduziert sich die Aussage auf die Konstanz der Schichtlängen im Profil («balanced cross sections»). Diese Methode ist vereinzelt bereits anfangs unseres Jahrhunderts angewandt worden (z. B. BUXTORF 1916), ist ab den sechziger Jahren öfters wieder aufgegriffen (LAUBSCHER 1962, 1965) und in jüngster Zeit für spezielle Annahmen ausgefeilt worden (SUPPE 1983, 1985; MITRA 1986; PFIFFNER 1985). Ein wesentliches Hilfsmittel hierzu bilden computerunterstützte Verfahren (z. B. KLIGFIELD et al. 1986, JONES & LINSSER 1984).

Die vereinfachenden Annahmen zur Erstellung von abwickelbaren Profilen sind in Gebieten von komplexer Struktur oftmals unzulässig. Als wichtigste Fehlerquellen sind anzuführen:

- Ohne weitere Zusatzannahmen bzw. -informationen ist die Profilkonstruktion nicht definiert. Die Berücksichtigung von Daten ausserhalb der Profilsur mag teilweise Abhilfe schaffen, kann aber auch zu Fehlinterpretationen führen.
- Abwickelbare Profile müssen stets in der Bewegungsrichtung verlaufen. Die zweidimensionale Massenbilanz wird aber verfälscht durch seitlichen Massentransport (Rotationen, divergierende Bewegungen, Änderungen der Bewegungsrichtung bei mehrphasigen Vorgängen usw.) (PFIFFNER 1985).
- Horizontalverschiebungen lassen sich mit abwickelbaren Profilen nicht behandeln. Sie gehören aber in vielen Gebieten zur Regel und äussern sich in den Profilen fast durchwegs in zu geringen Kompressionsbeträgen (siehe Fig. 1) (LAUBSCHER 1972, 1981).

Einzig die Berücksichtigung der dritten Dimension kann diese Fehler einschränken. Da ein rein dreidimensionales Modell viel zu unübersichtlich und schwierig zu handha-

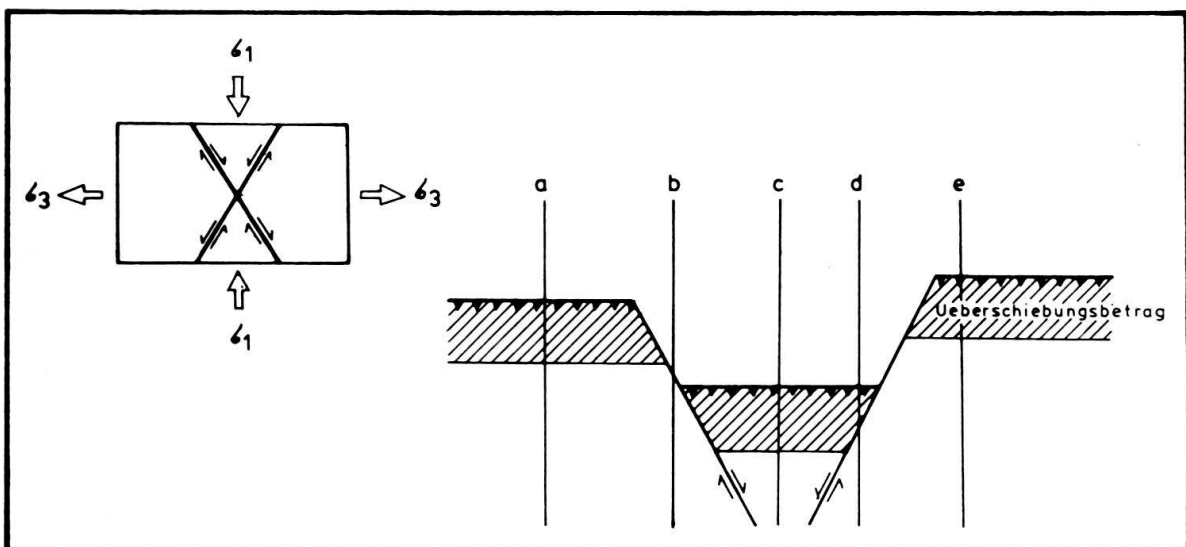


Fig. 1. Illustration des Effektes von Horizontalverschiebungen (mit zugehörigem Spannungsfeld) auf balancierte Profile. Die Spuren a, c und e zeigen die volle Verkürzung, die Spur d erfasst nur einen Teil und die Spur b überhaupt keine Kompression mehr.

ben ist, muss es mit einer Kombination von mehreren, zweidimensionalen Darstellungsarten angenähert werden, bestehend aus:

1. einem dichtgelegten Netz von Profilen entlang der Hauptbewegungsrichtung; die Profile sollten grob ausgewogen sein;
2. einem Kartenbild eines ausgewählten Schichthorizontes, unterteilt in «Blöcke». Darunter sind verhältnismässig wenig gestörte, unzerbrochene Gebiete zu verstehen, welche von mehr oder weniger breiten Bewegungszonen umgeben sind. Im vorliegenden Modell werden die Bewegungszonen diskretisiert.

Das allgemeine Problem der dreidimensionalen Abwickelbarkeit ist nicht gelöst. Der einzig gangbare Weg besteht in einem iterativen Verfahren, bei welchem mittels einer Rückwärts-Modellierung (Vorgehen von «jung» nach «alt») ein ausgeglätteter Zustand angenähert werden muss. Die jeweils erhaltenen Lösungen müssen selbstverständlich in sämtlichen Darstellungsarten widerspruchsfrei sein und müssen unbedingt auf ihre geologische Plausibilität geprüft werden. Eine wichtige Kontrolle besteht in der nachträglichen Vorwärts-Modellierung (Vorgehen von «alt» nach «jung»).

Die Methode ist keineswegs neu, aber bislang nur sehr selten angewandt worden, obwohl sie ein wertvolles, wenn auch arbeitsintensives Hilfsmittel ist (z. B. LAUBSCHER 1965, 1987). Die Anwendung der Methode in einer Schuppenzone stellt – abgesehen von der intuitiven Berücksichtigung der dritten Dimension bei der Profilkonstruktion (z. B. PFIFFNER 1985) – einen erstmaligen Versuch dar.

### **Die Schuppenzone von Reigoldswil**

Die Lage der Schuppenzone geht aus der Figur 2 hervor (Kartenblätter Hauenstein und Passwang). Sie grenzt die grossen Antiklinalstrukturen im Süden (Ullmet-Antiklinale, Passwang-Antiklinale) von den Frontalstrukturen gegen den Tafeljura zu ab, die durch seichte Falten und verhältnismässig flach ausstreichende Überschiebungen geprägt sind. Dabei handelt es sich lediglich um einen kleinen Ausschnitt des über 40 km langen, etwa E–W verlaufenden Gürtels, welcher westlich von Reigoldswil durch den Keuper überlagert wird und somit der Beobachtung entzogen ist. Kleinere Muschelkalk-Fenster westlich von Nunningen lassen jedoch eine westliche Fortsetzung unter der Vorburg-Antiklinale erahnen.

Die Verschuppung beschränkt sich weitgehend auf den Muschelkalk (siehe auch Legende in Fig. 3) und erfasst damit lediglich einen Neuntel der gesamten Sedimentmächtigkeit. Die Tektonik ist charakterisiert durch eine treppenartige Geometrie der Überschiebungsbahnen mit einem primären Abscherhorizont in der Mittleren Trias (Anhydritgruppe) und einem sekundären im Bereich des oberen Trigonodus-Dolomites bzw. des unteren Gipskeupers. Dazwischen vermittelt eine Staffel von südfallenden Rampen, die den Hauptmuschelkalk durchschlagen. Auf diese Weise tritt der Hauptabscherhorizont die Schubbeträge gegen Norden zu fortwährend an das obere Abscherstockwerk ab. Die einzelne Schuppe ist somit definiert durch je einen Abscherhorizont oben und unten sowie die Überschiebungen im Süden und Norden. Die seitlichen Begrenzungen werden entweder durch Horizontalverschiebungen gebildet oder ergeben sich durch die gegenseitige Annäherung der nördlichen und südlichen Überschiebungsbahnen.

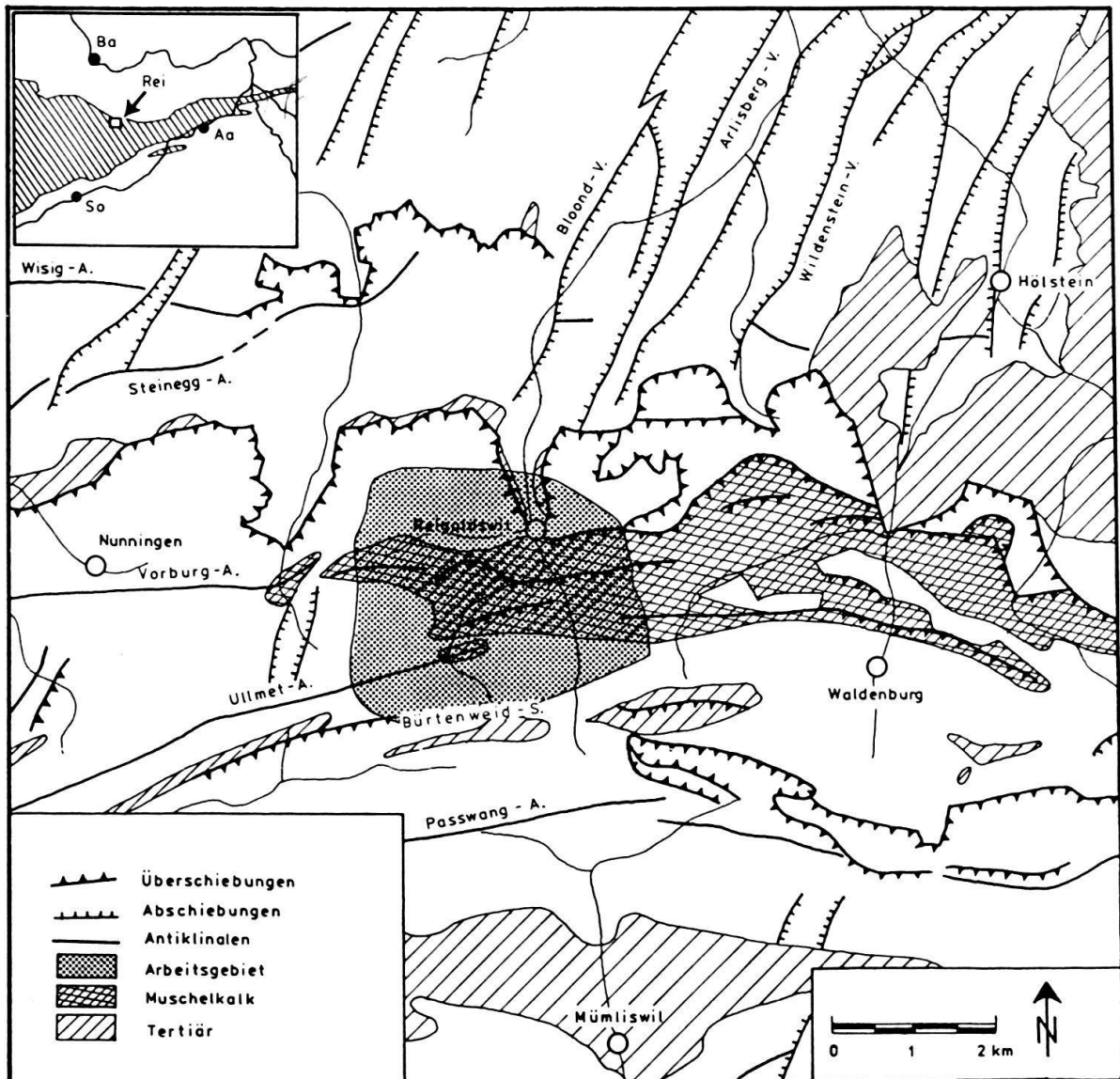


Fig. 2. Tektonische Übersichtskarte der Umgebung von Reigoldswil mit dem scheinbaren Westende der Muschelkalk-Schuppenzone. Die Modellgrenze (Burtenweid-Synklinale) ist ganz im Süden des Kartiergebietes festgelegt worden.

Die genaue Rekonstruktion der ursprünglichen Gestalt und Lage der einzelnen Schuppen ist allerdings äusserst schwierig, da dank der fortgeschrittenen Erosion die obersten Einheiten abgetragen sind und der Gehängeschutt weite Bereiche überdeckt.

## Die Modellierung

### 1. Bestimmung der Modellgrenzen

Bei der Konstruktion von abwickelbaren Profilen muss zumindest eine Pineline (Referenzlinie ohne Versatz bzw. diffuse Scherung) bestimmt werden. Der ursprünglichen Definition zufolge befindet sich diese stets im von der Verkürzung unbeeinflussten Vorland. Für die Modellierung eines derart kleinen Gebietes musste der Begriff aller-

dings im Sinne einer Hilfssenkrechten erweitert werden, entlang welcher das Schichtgleiten bis zum Abscherhorizont hinunter möglichst vernachlässigbar ist. Eine solche angenäherte Referenzlinie kann damit auch im Rückland situiert sein und kann intern durch Horizontalverschiebungen zerrissen sein. Die günstigsten Voraussetzungen bieten grosse, flache Tafeln oder Synklinalen, welche direkt die Geometrie des Abscherhorizontes widerspiegeln. Bei der dreidimensionalen Betrachtungsweise wird die Linie zu einer Fläche, aufgespannt durch die Referenzlinien der jeweiligen Profile.

Im Falle der Schuppenzone von Reigoldswil befindet sich die nächstgeeignete Synklinale (Bürtenweid-Synklinale, siehe Fig. 2) weit südlich des kartierten Gebietes (BITTERLI 1987). Sie ist von ihrer internen Struktur her schlecht bekannt, und ihre hohe Lage könnte auf eine zusätzliche Stopfung durch Muschelkalkschuppen zurückzuführen sein. Mangels besser geeigneter Strukturen wurde ihr Nordschenkel dennoch als Südbegrenzung des Modells akzeptiert.

Für die übrigen Grenzen wurden vorerst keine Bedingungen festgelegt. Sie können in einem fortgeschrittenen Modellierungsstadium zusätzlich eingeführt werden, wenn mehrere Varianten auf ihre Plausibilität hin geprüft werden sollen.

## *2. Wahl des Referenzhorizontes*

Der an sich dreidimensionale Charakter eines «Blockes» ist im Profil definitionsgemäss auf eine zweidimensionale Abbildung reduziert. Im Kartenbild wird derselbe Effekt durch die Wahl einer Referenzfläche und deren Ausglättung erreicht. Ähnlich der Vergitterung von Profilsuren kann das Modell durch die Verwendung verschiedener Referenzhorizonte verfeinert werden.

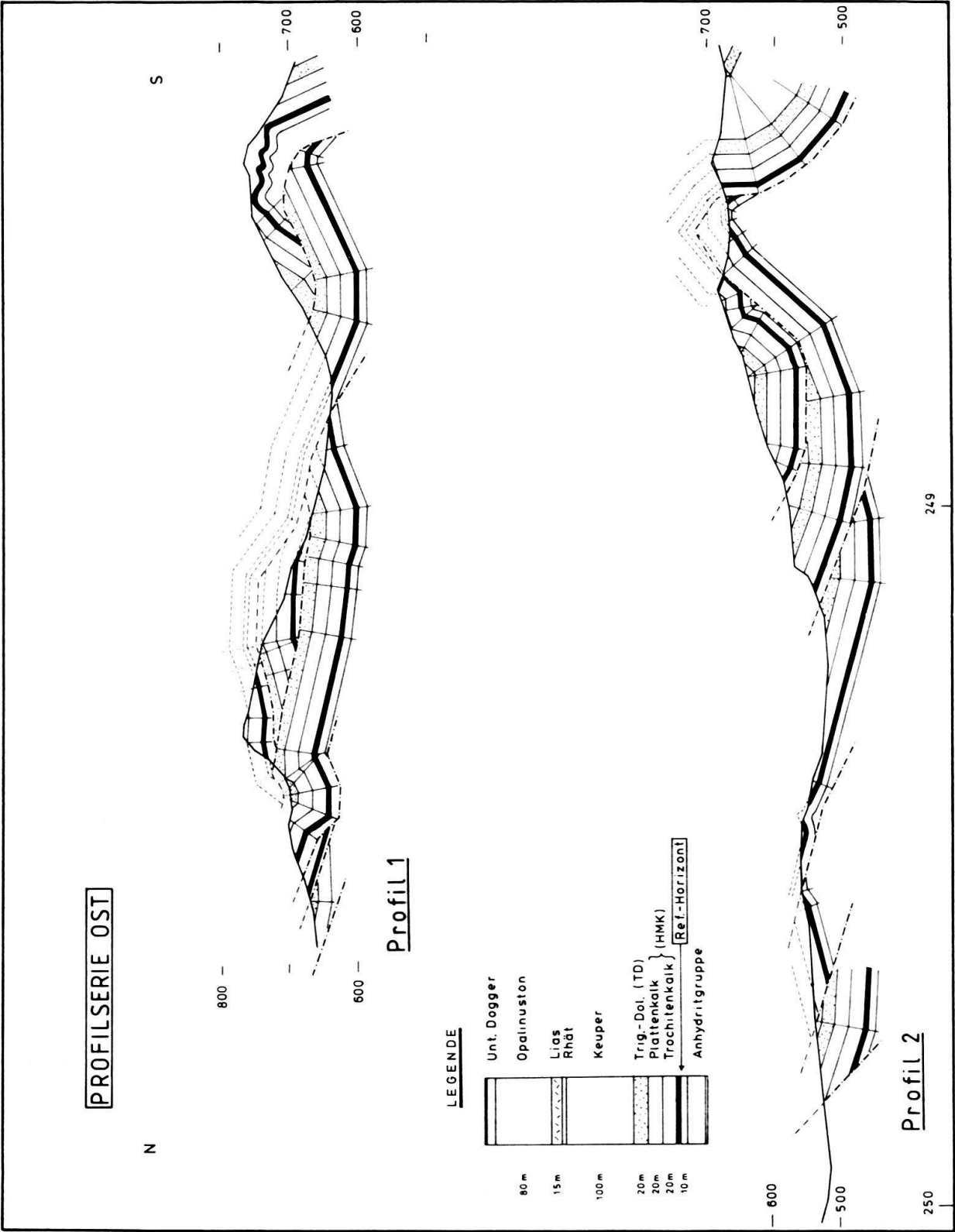
Von den Aufschlussverhältnissen her drängt sich die Basis des Hauptmuschelkalkes (Unterer Trochitenkalk) als sinnvoller Bezugshorizont auf.

## *3. Bestimmung der Blockgrenzen*

Für die Abgrenzung der einzelnen Blöcke wurde von einer Kartierung im Maßstab 1:5000 und einer darauf aufbauenden, dichtgelegten Profilerie (seitliche Distanz etwa 200 m) ausgegangen. Eine vorgängig durchgeführte, grobe Balancierung der Profile erleichtert die nachfolgende Modellierung beträchtlich. Zusätzliche Detailinformationen (z. B. Bohrungen, Tunnels, Seismik) standen nicht zur Verfügung.

Anhand von Kartierung und aufgrund von vorläufigen Profilkonstruktionen (einige Beispiele in Fig. 3a und 3b) muss versucht werden, die Ausbisse der wichtigsten Störungen festzulegen und diese auf geologisch sinnvolle Art und Weise untereinander zu verbinden (Fig. 5). Damit erhält man erste Anhaltspunkte über Anzahl, Gestalt und die gegenseitige Stellung der Schuppen (Blöcke) zueinander.

In einem zweiten Schritt müssen die Ausbisslinien der Störungen (hier v. a. Überschiebungen) auf den gewählten Referenzhorizont hinunter extrapoliert werden, dies hauptsächlich unter Zuhilfenahme der Profilkonstruktionen. Damit ist bereits eine Wahl der Nord- bzw. Südgrenze der einzelnen Blöcke getroffen. Zur Vervollständigung des Blockmosaiks (Fig. 6) sollten die einzelnen Blöcke noch seitlich gegeneinander abgegrenzt werden.





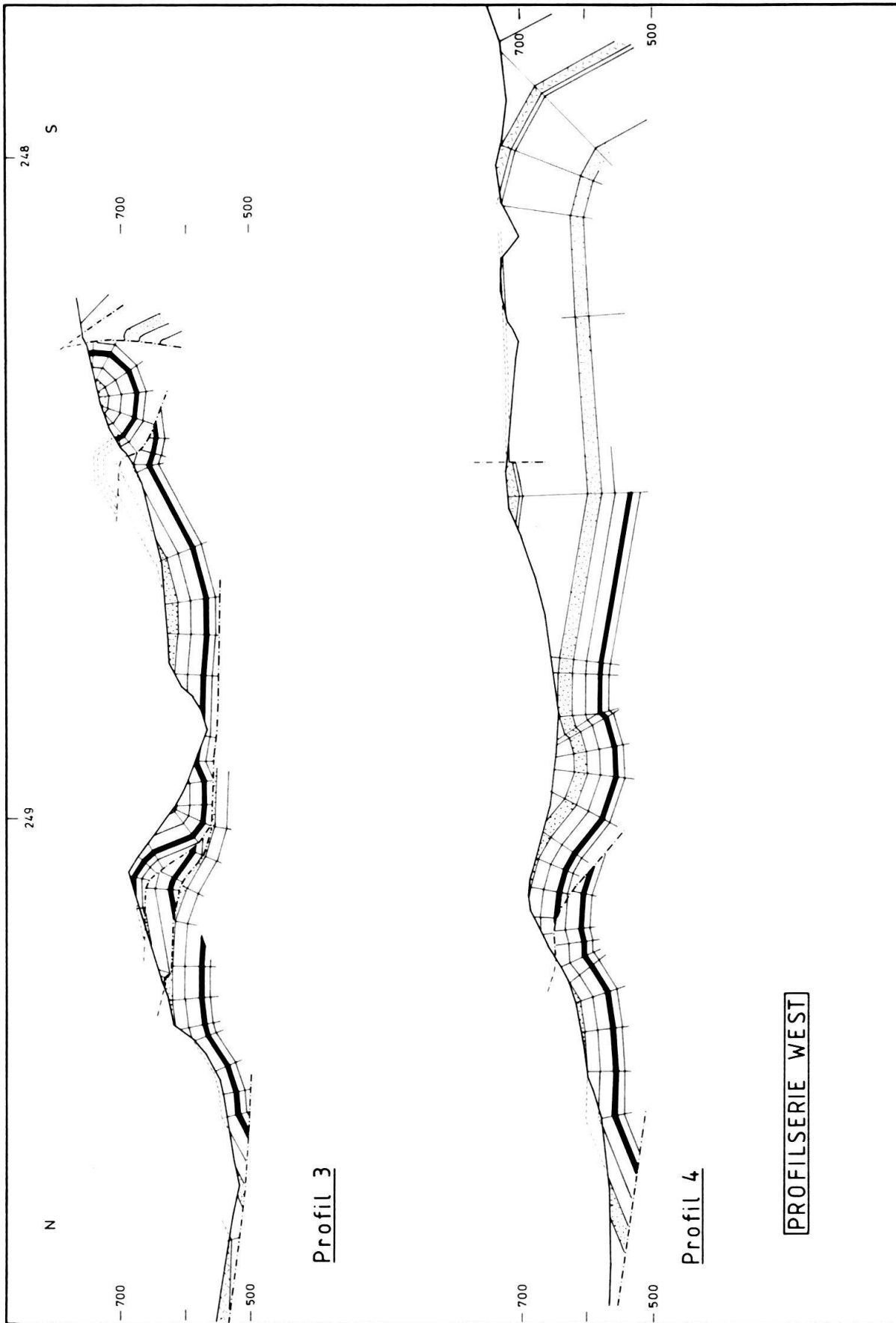
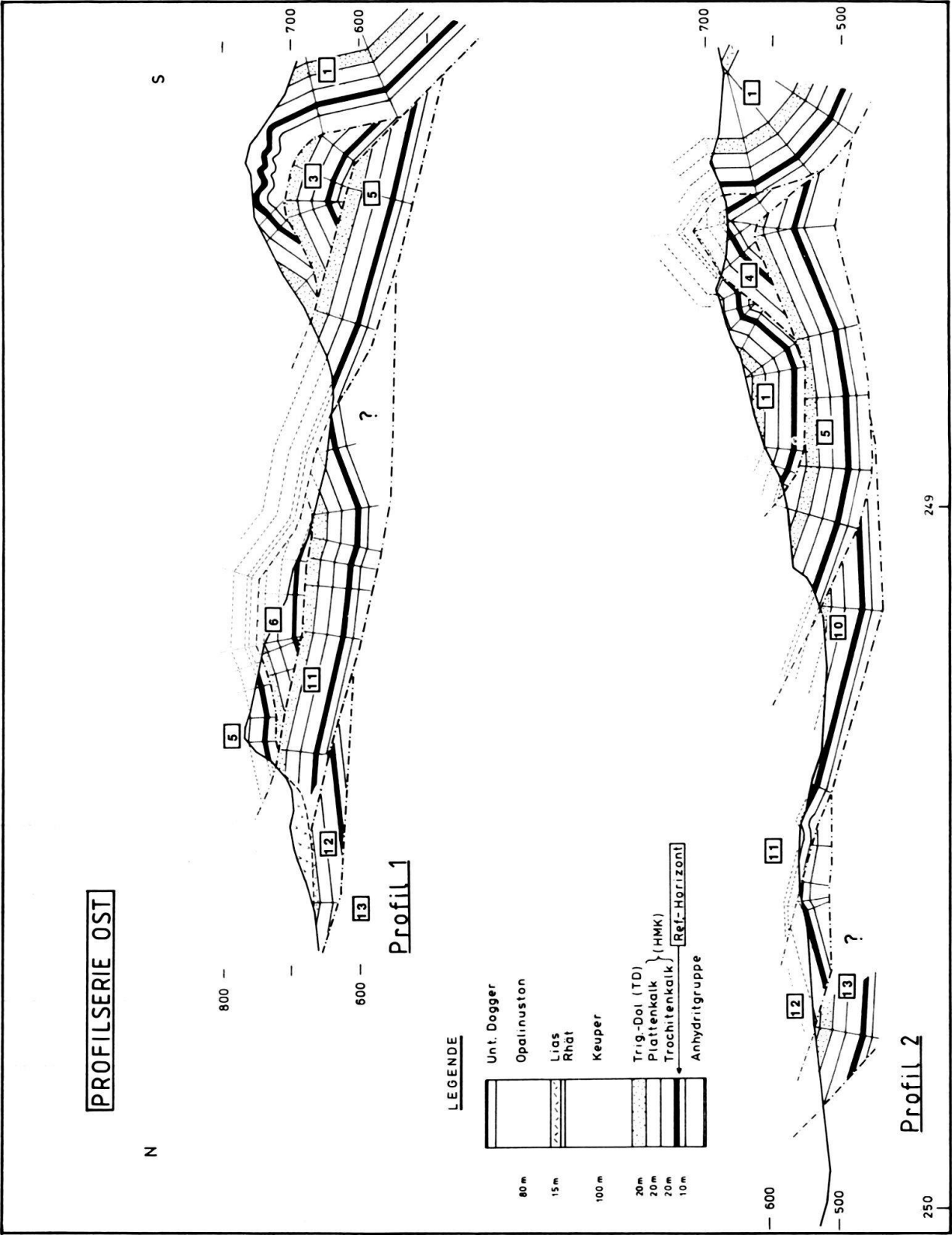


Fig. 3a, b. Vorläufige Profilserie (N-S) durch die Schuppenzone von Reigoldswil (vor der Modellierung). Die Spuren sind auf Figur 5 eingetragen.





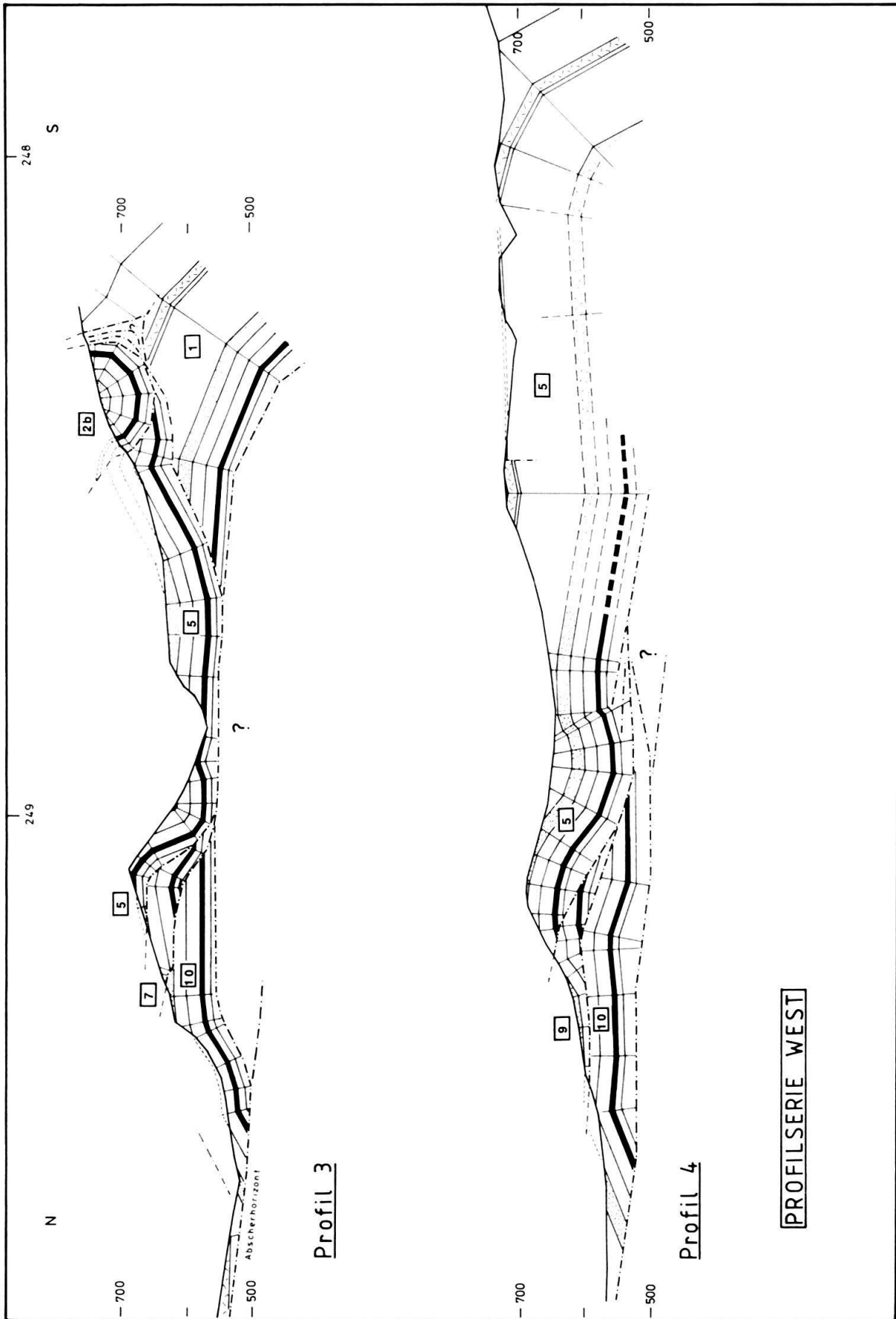


Fig. 4a, b. Profilserie (N-S) durch die Schuppenzone von Reigoldswil nach erfolgter Modellierung. Die Nummern entsprechen den festgelegten Blöcken (siehe Text).

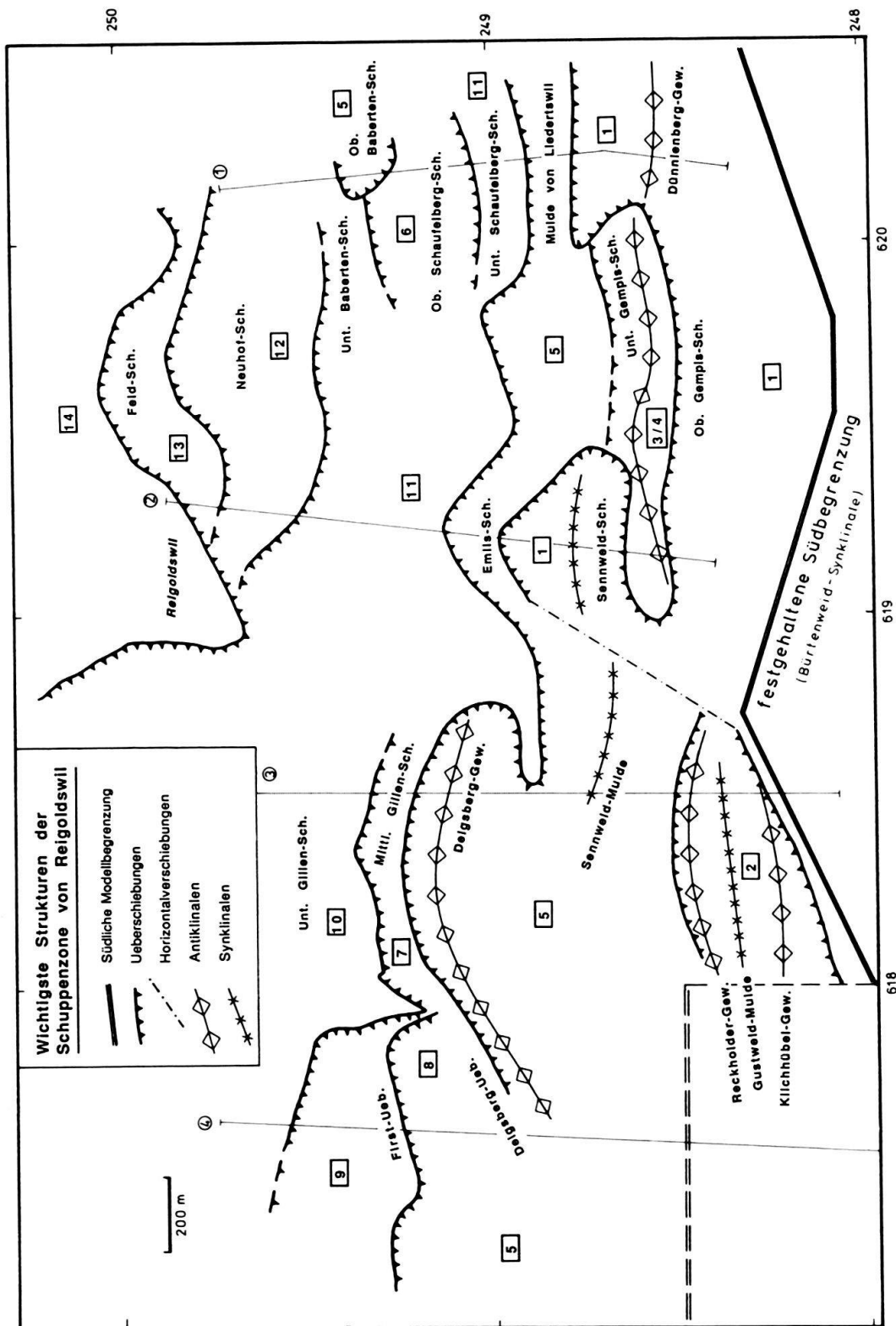


Fig. 5. Ausbisse der wichtigsten Störungen und ihr vermuteter Zusammenhang.

Als Blockgrenzen kommen somit in Frage:

- Überschiebungen (mehr oder weniger transpressiv)
- Rücküberschiebungen
- Horizontalverschiebungen
- Abschiebungen
- Störungen ohne eigentlichen, grösseren Versatz (z. B. Abgrenzung von leicht gegeneinander rotierten Blöcken, Blöcke 3 und 4)
- «Diffuse» Scherzonen können durch mehrere, diskrete Horizontalverschiebungen angenähert werden (z. B. Block 7)

Die durch die jeweiligen Abgrenzungen gebildeten Blöcke stellen reine Projektionen auf eine horizontale Ebene dar, vorläufig ohne Berücksichtigung des Faltungsanteils.

#### *4. Abschätzung der relativen Altersabfolge und der Schubrichtungen*

Um überhaupt eine geologisch plausible Lösung zu erhalten, muss nach einem Konzept vorgegangen werden. Als Leitfaden eignen sich die jeweiligen Schubrichtungen und vor allem die Aufeinanderfolge der tektonischen Ereignisse. Falls nicht schiefe Rampen vorliegen, lässt sich die Schubrichtung angenähert aus deren Einfallen und aus der Anordnung der zugehörigen Faltenstrukturen, z. T. auch aus Horizontalverschiebungen ohne transpressiven Charakter bestimmen (hier N bis NNE). Die relative Altersabfolge ergibt sich wie üblich aus der Versetzung von korrelierbaren Strukturen sowie der Verfaltung bereits früher angelegter Überschiebungsbahnen durch eine neue, vorgeschobene Rampe.

Im vorliegenden Beispiel sind zumeist die jeweils höher liegenden Überschiebungen durch tiefere Rampen verfaltet (Beispiele in Fig. 3), so dass von einer «in sequence»-Abfolge ausgegangen werden kann, gleichbedeutend mit einer von Süd nach Nord fortschreitenden Verschuppung. Ein an sich unübliches Vorgehen von Süd nach Nord (von «alt» nach «jung») schien damit gerechtfertigt, insbesondere als sich von den geologischen Kenntnissen her eine angenäherte Referenzlinie im Süden leichter festlegen lässt. Nach dem Schubladenprinzip werden also die jeweils nördlichen Blöcke unter den aufliegenden «hervorgezogen».

#### *5. Ausglättung*

Bilden die vorhergehenden Schritte eine erstmalige Eingabe, so folgt nun die eigentliche Modellierung, ein zeitaufwendiger Iterationsprozess, bei welchem jede Änderung in irgendeiner der verwendeten Darstellungsformen (Subcrop-Karten, Profile, Isohypsenkarten, Blockgrenzen im Kartenbild) in sämtlichen anderen Abbildungen nachgetragen werden muss. Die möglichen Änderungen sind innerhalb des festgelegten Grundgerüsts (Blockanzahl, -form und -grenzen, kinematischer Zusammenhang der Störungen) stark eingeschränkt, da sie mit den Originalkartierungen und teilweise auch den Profilkonstruktionen verträglich sein müssen.

Das einfachste Vorgehen besteht darin, das Kartenbild der Blockgrenzen und -lage aufzuteilen in eine:

- gegenwärtige Situation (Fig. 6)
- ausgeglättete Situation (Fig. 7)

Bei mehrphasigen Bewegungen muss zudem noch festgelegt werden, welchen Zeitraum die Ausglättung erfassen soll.

Als vorläufiger Aufhänger dient die festgehaltene Südbegrenzung (angenäherte Referenzfläche). Damit sind sämtliche Blockbewegungen im Modell nicht absolut, sondern relativ zur Bewegung der Referenzfläche zu betrachten. In diesem Sinne können auch die direkt angrenzenden Blöcke (Block 1 auf Fig. 6) ohne Änderungen in die ausgeglättete Situation übertragen werden.

Der Faltungsanteil des jeweiligen Blockes wird erst in einem zweiten Schritt berücksichtigt. Im Normalfall genügt es, ihn an den Begrenzungen des zu behandelnden Blockes anzufügen. Die Unterteilung der Blöcke in eine Projektion auf eine horizontale Ebene und einen «Faltungsanteil» (hier zu verstehen als Differenz zwischen gesamter Schichtlänge im Profil und der Projektion auf die Horizontale) erleichtert den jeweiligen Vergleich mit der gegenwärtigen Situation und den Profilkonstruktionen.

Damit kann zum nächsten Block geschritten werden, bestimmt durch die Kriterien der Altersabfolge (Block 2 in Fig. 6). Er muss der zuvor festgelegten Schubrichtung entsprechend an das bestehende Blockmosaik der ausgeglätteten Situation angefügt bzw. eingepasst werden. Ist dies innerhalb der akzeptierten Fehlermarge nicht möglich, so können folgende Änderungen versucht werden (soweit mit den geologischen Informationen verträglich):

- Korrekturen an den Blockbegrenzungen. Müssen bereits bearbeitete Blöcke abgeändert werden, so kann dies unter Umständen Anpassungen mehrerer Blöcke zur Folge haben.
- Berücksichtigung von Rotationen. Damit sind stets seitliche Kompressions- bzw. Dehnungsstrukturen verbunden. Sind diese im Gelände nicht nachweisbar, so müssen sie möglichst auf schmale Schuppen beschränkt werden.
- Einschiebung zusätzlicher Blöcke (z. B. unter Antiklinalen verborgene Zwischenschuppen, Blöcke 3 und 4).
- Aufteilung von Blöcken durch Horizontalverschiebungen, welche Verkürzungsbeiträge ins Vor- bzw. Hinterland transferieren.
- Variierung der Schubrichtungen (z. B. Transpressionen, seitliche Rampen, Rücküberschiebungen, Deltastrukturen).
- Überarbeitung des kinematischen Zusammenhangs der Störungen.

Ist der Block befriedigend eingepasst, so kann nach beschriebenem Schema der Faltungsanteil angefügt und der nächste Block angegangen werden. Selbstverständlich muss jegliche Änderung in sämtlichen Darstellungen nachgeführt werden.

Die Anzahl der Iterationen ist natürlich abhängig von der ersten Wahl der Blockgrenzen und von der geforderten Genauigkeit. Im vorliegenden Beispiel variiert sie je nach Block zwischen zwei und zehn.

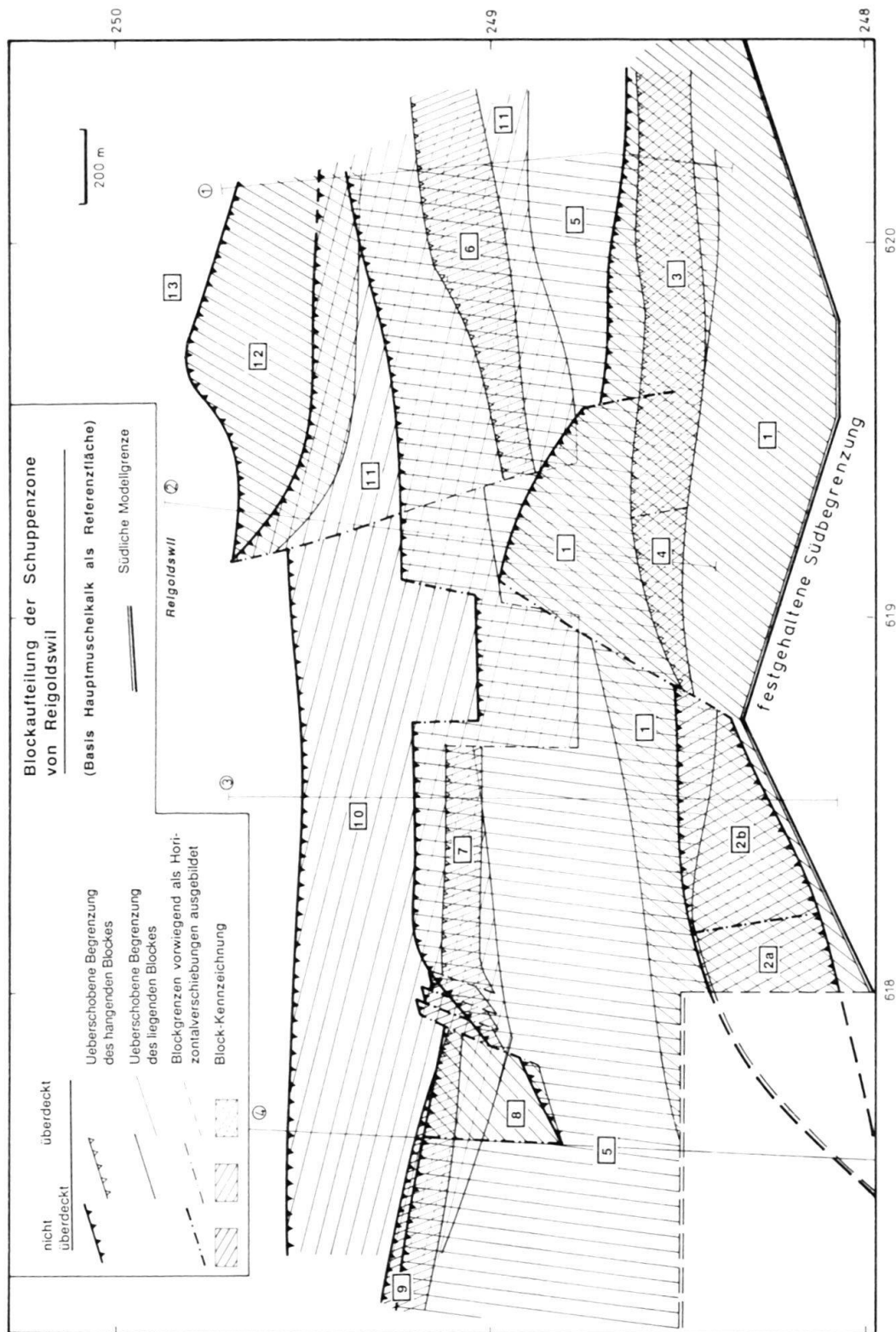


Fig. 6. Blockaufteilung der Schuppenzone: gegenwärtige Situation. Jeder Block ist mit einer eigenen Signatur versehen. Ein Vergleich mit den Profilen (Fig. 4) erleichtert die Interpretation, da bis zu drei Blöcke übereinander dargestellt sind.

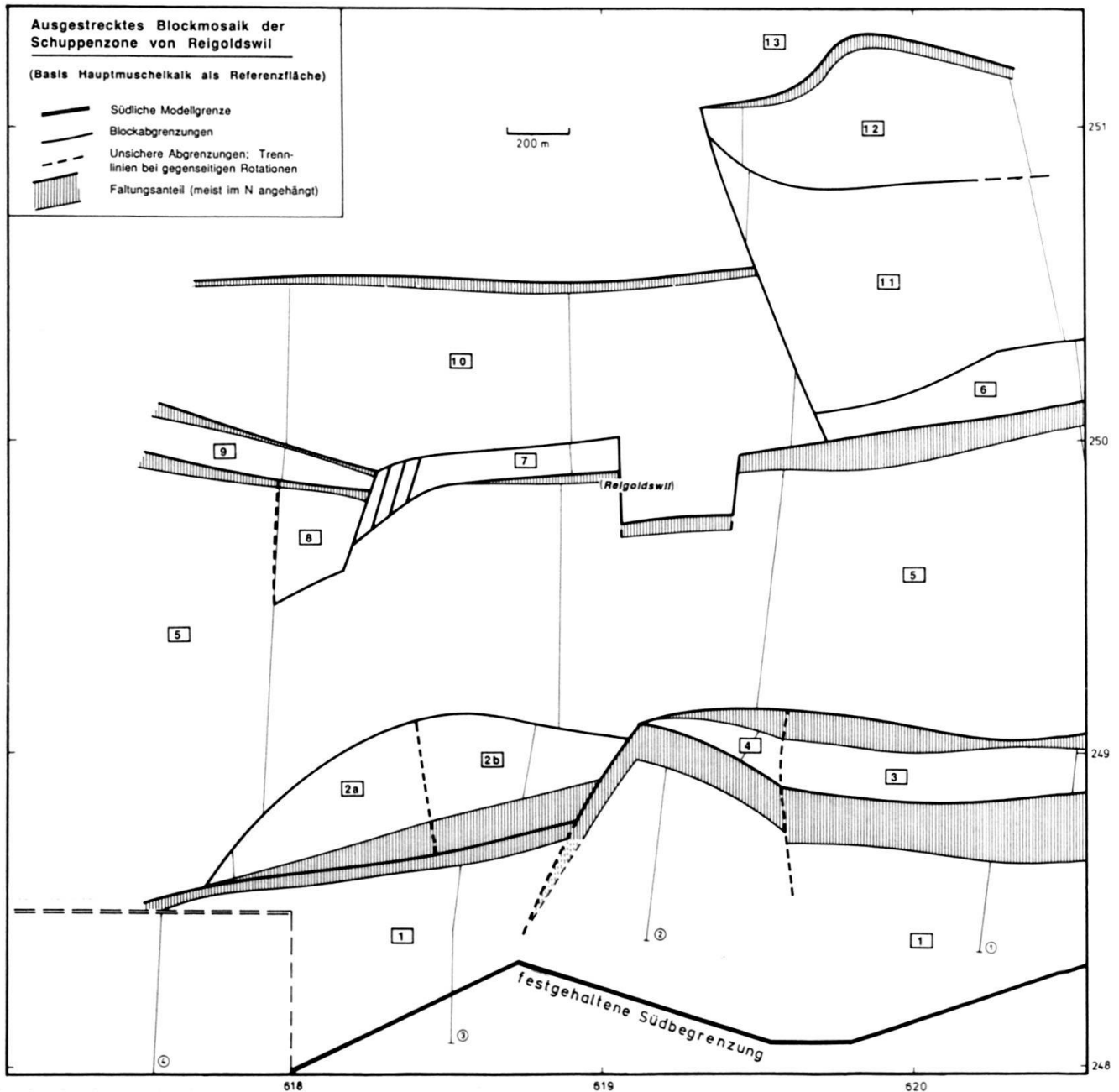


Fig. 7. Blockaufteilung der Schuppenzone: ausgeglättete Situation. Die Profilsuren sind je nach lokaler Schubrichtung und Rotation zerrissen, seitlich verschoben und abgedreht.

### Konsequenzen für die Schuppenzone von Reigoldswil

Die Figur 3 (Profile) entspricht der ursprünglichen Modelleingabe, die Figuren 4–7 (Profile und Karten) stellen das Endprodukt der erfolgten Modellierung dar. Das tolerierte Fehlermass wurde sehr klein angesetzt (nach Möglichkeit weniger als 5% der Fläche im Vergleich zur jeweiligen Blockgrösse). In einzelnen Fällen (v.a. bei Rotationen mit seitlichen «Überlappungen» bzw. «Löchern») lässt sich diese Marge nicht immer einhalten, doch auf die Gesamtfläche umgerechnet liegt der Fehler weit unter der



geforderten Limite. Naturgemäss sind die Unstimmigkeiten dort am geringsten, wo die fehlenden Aufschlüsse jegliche Manipulation erlauben. Ein kleiner Gesamtfehler ist also nicht unbedingt ein geeigneter Maßstab für die Qualität der Modellierung.

Im Vergleich zum ursprünglichen Grundgerüst hat wohl jeder Block eine mehr oder weniger grosse Änderung seiner Grenzen erfahren. Weit wesentlicher aber sind die diversen, neu postulierten Horizontalverschiebungen, welche im Gelände nur schwer auszumachen sind. Sie haben bei einigen Blöcken zur Aufteilung in mehrere Segmente geführt (z. B. Blöcke 10 und 11). Im Falle der Anpassung des Blockes 5 an den Block 1 hat sich sogar die Einführung weiterer Zwischenschuppen (Blöcke 3 und 4) aufgedrängt (vergleiche Fig. 3a und 4a); sie sind im Gelände weitgehend überdeckt. Bezüglich der Frage, ob die Zwischenschuppen 6 und 7 ursprünglich eine Einheit bildeten,

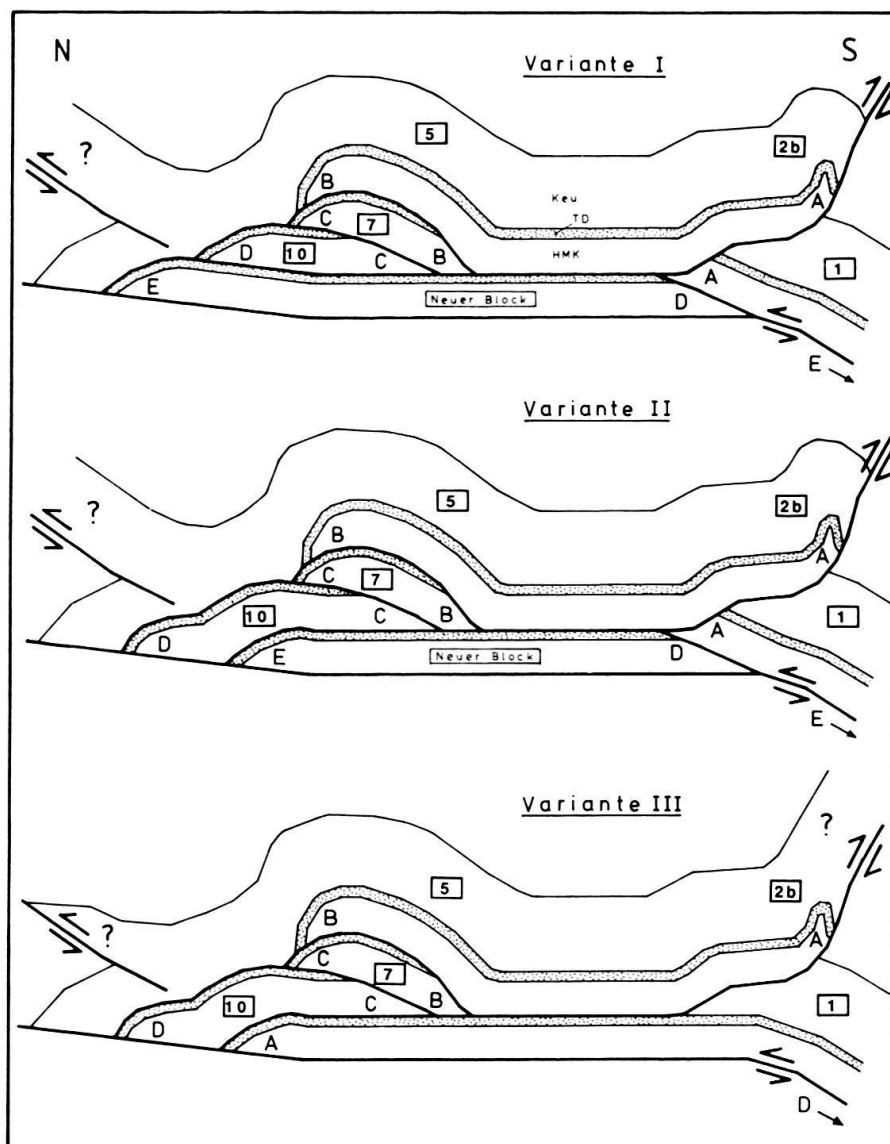


Fig. 8. Schematische Darstellung einer verborgenen Schuppe mit ihren Kopplungsmöglichkeiten (siehe Text); die Buchstaben kennzeichnen jeweils zusammengehörige Schuppenbegrenzungen. Die Profilsur entspricht etwa dem Profil 3 (Fig. 4b), verläuft im Südanteil aber etwas westlich davon.

deren Zwischenglied heute erodiert ist, liefert das Modell wenn auch nicht einen Beweis, so doch ein gewichtiges Indiz dagegen.

Die wenigen, aufgeführten Beispiele sollen zeigen, dass die Methode nicht nur zeitaufwendig ist, sondern auch tatsächlich neue Erkenntnisse zu liefern vermag. Das vielleicht überzeugendste Beispiel ist aus dem Profil 3 (Fig. 4b) zu ersehen. Noch im Nordteil des Profils steigt der generell leicht gegen Süden einfallende Abscherhorizont flexurartig um 60–70 m an und behält dieses Niveau etwa 800 m weit bei. Die Sprunghöhe stimmt in derart auffälliger Weise mit der üblichen Schuppendicke überein, dass eine «Stopfung» durch eine verborgene Muschelkalktafel wahrscheinlicher ist als eine Anhäufung innerhalb der Anhydritgruppe.

In der Figur 8 sind drei Möglichkeiten schematisch dargestellt, wie eine solch verborgene, grosse Schuppe eingefügt werden könnte. Wie aus der Darstellung ebenfalls ersichtlich ist, ergäben sich wegen des um 0,8–1 km grösseren Überschiebungsbetrages etliche Platzprobleme im (heute erodierten) Keuper. Sie können von den Oberflächen-daten her nicht durch ein einfaches Vorgehen gegen Norden erklärt werden. In der Skizze sind sie jeweils als simple Überschiebungen (bzw. Rücküberschiebung) dargestellt.

Um die Plausibilität der drei auf Figur 8 dargestellten (und weiterer) Varianten abzuschätzen, müsste die ganze Modellierung mit den neuen Ideen und Vorstellungen wiederholt werden; ein Vorgehen, das von Hand immer aufwendiger wird. Möglicherweise liesse sich dieses Dilemma durch die Entwicklung spezifischer EDV-Programme etwas mildern.

### Schlussfolgerungen

Die beschriebene Methode zur Berücksichtigung der dreidimensionalen Massenbilanz hat sich bei der Anwendung auf eine Schuppenzone als wichtiges Instrument erwiesen, die Abgrenzungen und interne Geometrie der tektonischen Einheiten besser einzugrenzen. Der Vergleich der Figuren 3 und 4 als «Vorher-nachher»-Illustrationen zeigt deutlich, dass die erfolgten Änderungen in oberflächennahen, gut aufgeschlossenen Bereichen ziemlich geringfügig sind; dass die Modellierung hingegen bei tieferen, oftmals gänzlich verborgenen Strukturen zu völlig neuen, plausiblen Lösungen führen kann. Im speziellen Falle des Jura erlaubt sie, Tiefe und Geometrie des Abscherhorizontes genauer festzulegen, und bildet damit eine wesentliche Grundlage für die Interpretation der grossräumigen Strukturen des tieferen Untergrundes.

### Verdankung

Ich möchte Prof. Dr. H. Laubscher meinen Dank aussprechen für die detaillierte und kritische Durchsicht des Manuskriptes.

## LITERATURVERZEICHNIS

- BITTERLI, T. (1987): Geologie der Schuppenzone bei Lauwil und Reigoldswil. – Unveröff. Diplomarb. Univ. Basel.
- BUXTORF, A. (1916): Prognosen und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel und die Bedeutung der letzteren für die Geologie des Jura gebirges. – Verh. natf. Ges. Basel 27, 195–254.
- BUXTORF, A., & CHRIST, P. (1936): Erläuterungen zum Geologischen Atlas der Schweiz 1:25 000, Blätter Laufen, Bretzwil, Erschwil, Mümliswil. – Schweiz. geol. Komm.
- DELHAES, W., & GERTH, H. (1936): Geologische Beschreibung des Kettenjura zwischen Reigoldswil und Oensingen. – Geol. paläont. Abh. [N.F.] 11/1.
- HAUBER, L. (1960): Geologie des Tafel- und Faltenjura zwischen Reigoldswil und Eptingen. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 112.
- JONES, P., & LINSSER, H. (1984): Faster Search for Hidden Geology. – Resource Technol. 1, 8–9.
- KLIGFIELD, R., et al. (1986): Construction of Geologic Cross Sections Using Microcomputer Systems. – Geobase 1/2, 60–66.
- LAUBSCHER, H. (1961): Die Fernschubhypothese der Jura faltung. – Eclogae geol. Helv. 54/1, 221–282.
- (1965): Ein kinematisches Modell der Jura faltung. – Eclogae geol. Helv. 58/1, 231–318.
  - (1972): Some Overall Aspects of Jura Dynamics. – Amer. J. Sci. 272, 293–304.
  - (1973): Faltenjura und Rheingraben: zwei Großstrukturen stossen zusammen. – Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.] 55, 145–158.
  - (1981): The 3D propagation of décollement in the Jura. In: Thrust and nappe Tectonics (p.311–318). – Geol. Soc. London.
  - (1987): The Kinematic Puzzle of the Neogene Northern Andes. In: SCHAEER, J.-P., & RODGERS, J. (Ed.): The Anatomy of Mountain ranges. – Princeton, New Jersey.
- LEHNER, E. (1920): Geologie der Umgebung von Bretzwil im nordschweizerischen Jura gebirge. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 47/2.
- MITRA S. (1986): Duplex Structures and Imbricate Thrust Systems: Geometry, Structural Position, and Hydrocarbon Potential. – Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol. 70/9, 1087–1112.
- MÜHLBERG, F. (1915): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Hauenstein-Gebietes (Waldenburg–Olten) 1:25 000. Spezialkarte Nr. 73. – Schweiz. geol. Komm.
- PIFFNER, O. A. (1985): Displacements along thrust faults. – Eclogae geol. Helv. 78/2, 313–333.
- SUPPE, J. (1983): Geometry and Kinematics of Fault-Bend Folding. – Amer. J. Sci. 283, 684–721.
- (1985): Principles of Structural Geology. – Prentice-Hall, New Jersey.

Manuskript eingegangen am 18. Februar 1988

Revision angenommen am 2. Mai 1988

