

**Zeitschrift:** Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel

**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft Basel ; Naturforschende Gesellschaft Baselland

**Band:** 6 (2002)

**Artikel:** Der geologische Bau der Gegend von Titterten und seine Geschichte  
(mit einer Exkursion)

**Autor:** Laubscher, Hans

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-676652>

#### 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:** 01.01.2026

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

# Der geologische Bau der Gegend von Titterten und seine Geschichte (mit einer Exkursion)

HANS LAUBSCHER

**Zusammenfassung:** Die Geologie und damit wesentliche Züge der Landschaft in der Gegend von Titterten-Reigoldswil (BL) sind durch eine Reihe von Deformationsereignissen entstanden, die bis ins Paläozoikum zurückreichen. Der tief in die Kruste hinabgreifende spätpaläozoische Trog der Nordschweiz ist dabei wiederholt reaktiviert worden. Für die untersuchte Gegend wichtig ist sein Einfluss auf die tertiären Ereignisse. Im Eozän-Unteroligozän wurde das Gebiet im Zusammenhang mit den ersten Bewegungen im Rheingraben in eine Anzahl enger Gräben und Halbgräben zerlegt, die über den alten Trogstrukturen oftmals ihre Gestalt ändern. In besonderem Masse reaktiviert wurden die alten Trogstrukturen im Untermiozän, als sie in den überlagernden mesozoischen Sedimenten zu Flexuren ausgestaltet wurden. Diese Flexuren dienten im oberen Mittelmiozän während der dünnhäutigen Jurafäaltung als Auslöser für Überschiebungen und Falten. In der Gegend von Titterten besonders auffällig ist die Landskron-Linie, eine ESE von der Landskron gegen die Eptinger Bucht zielende, fiederförmig gestaffelte Anordnung von kurzen Flexursegmenten. Bei Titterten wurden zwei dieser Segmente während der Jurafäaltung abgesichert und um 30–40° im Uhrzeigersinn verdreht. Sie erscheinen heute als Rifenstein- und Horn-Flexuren. Ebenfalls vom Untergrund abgerissen und verdreht wurden Teile von eo-oligozänen Gräben. Überdies prägen verschiedene Überschiebungen das Landschaftsbild. Etwas verwirrend sind dabei die «out-of-sequence»-Überschiebungen, an denen jüngere Gesteine des Untergrunds auf ältere Gesteine früherer Überschiebungen verfrachtet wurden. Vom mittleren Pliozän an wurde das Gebiet weiträumig gehoben. Dabei entstand die heutige Durchtalung.

**Abstract:** The geology and, as a consequence, the landscape of the Titterten-Reigoldswil region in the Canton of Baselland (Switzerland) owe their present configuration to a series of tectonic events that reach back to the late Paleozoic. The late Paleozoic deep crustal trough of Northern Switzerland was repeatedly reactivated. Particularly important for the area is its influence on the Tertiary tectonics. In the Eocene-early Oligocene, in connection with early events in the Rhine graben, the area was dissected by a series of narrow grabens and halfgrabens, which often change their shape above the old trough structures. A particularly important event of reactivation occurred in the early Miocene when the Mesozoic sediments above some of the trough structures were deformed into flexures. These flexures were lines of nucleation for thrusts in the middle Miocene thin-skin Jura fold-thrust belt. In the Titterten area the «Landskron line» is especially prominent. This line consists of a line-up of short en échelon flexures which trends from the southern end of the Rhine graben in an east-southeasterly direction toward the «embayment of Eptingen» where the main frontal thrust of the eastern Jura rather drastically swings from an ESE into a NE direction. Near Titterten, two of these short flexures were sheared off during the thin-skin Jura deformation in the middle Miocene, translated to the north and dextrally rotated between 30 and 40 degrees. They are represented today by the Rifenstein and Horn flexures west of Titterten. Similarly detached and rotated were segments of Eo-Oligocene grabens. Moreover, a series of thrusts are responsible for the present distribution of landscape elements such as steep slopes and narrow crests, mostly wooded, on one hand, and gently rolling hills, mostly meadows, on the other hand. From the middle Pliocene on the region was uplifted and dissected by a number of canyonlike valleys.

## Einleitung

Plattentektonik ist heutzutage in aller Leute Munde. Dabei ist auch allgemein bekannt, dass eine der Plattengrenzen durch die Alpen verläuft. Auf einer Weltkarte sieht das alles wohldefiniert und ordentlich aus. Wenn es allerdings um die feineren Punkte geht, wie man nämlich eine Plattengrenze durch lokale Beobachtung erkennen kann, wie es um ihre erdgeschichtliche Entwicklung bestellt ist, tauchen ernsthafte Probleme auf. Es zeigt sich, dass Plattengrenzen breite Zonen sind, deren Ränder sich im Ungewissen verlieren. Dies gilt zum Beispiel für den Nordrand der alpinen Plattengrenze. Seit vielen Millionen von Jahren verläuft ein solcher diffuser Rand der alpinen Plattengrenze durch die Gegend von Basel (Laubscher 2001a). Er hat insbesondere in der Gegend von Titterten seine Spuren hinterlassen.

Die Gegend von Titterten bietet auf engem Raum eine unglaublich reichhaltige und regional bedeutsame Geologie. Titterten ist zudem ein beliebtes Ausflugsziel für Basler und Baselbieter. Man fährt mit dem Autobus entweder

bis Arboldswil oder ganz hinauf nach Titterten und spaziert über die aussichtsreiche Hochfläche südlich Chastelen und das Horn hinunter nach Reigoldswil (Abb. 1, 2). Man kann dieses Ziel auf verschiedenen Wegen erreichen, zum Beispiel auch über die Ruine Rifenstein.

An der Lage der Ruine Rifenstein erkennt man dann leicht, dass Titterten in geologischer Hinsicht ein ganz besonderer Ort ist (Abb. 1). Die Ruine liegt auf einem senkrechten Grat von Hauptrogenstein, der quer zum Streichen der Juraketten jener Gegend liegt. Die geologischen Karten zeigen zudem, dass ungefähr parallel zur Rifenstein-Querstruktur ein paar hundert Meter weiter östlich die Hornflexur verläuft, an welcher der bewaldete Hauptrogenstein des Horns gegen Osten absinkt und dem hauptsächlich aus Effinger- und Birmenstorfer-Schichten bestehenden Wiesengelände von Titterten Platz macht. Blickt man von der Strasse Bretzwil–Reigoldswil gegen Osten, so sieht man über dem Querriegel von Rifenstein zunächst die bewaldeten Ausläufer des Horns und dahinter das Dorf Titterten in seinem Wiesengelände (Abb. 1).



**Abb. 1:** Blick von der Strasse Bretzwil–Reigoldswil (s. Abb. 2) gegen Osten. Das Dorf Titterten liegt hoch über Reigoldswil und über dem bewaldeten Doggerkomplex des Horns in einem hauptsächlich aus unterem Malm (Mergel und dünnbankige Kalke; s. Abb. 4) bestehenden Wiesengelände. Gegen Süden lehnt es sich an die im Hintergrund erkennbaren Hügel der Muschelkalk-Schuppenzone an. Besonders auffällig ist die von senkrechtem Hauptrogenstein gebildete Querrippe von Rifenstein, die den Dogger des Horns im Südwesten abschliesst.

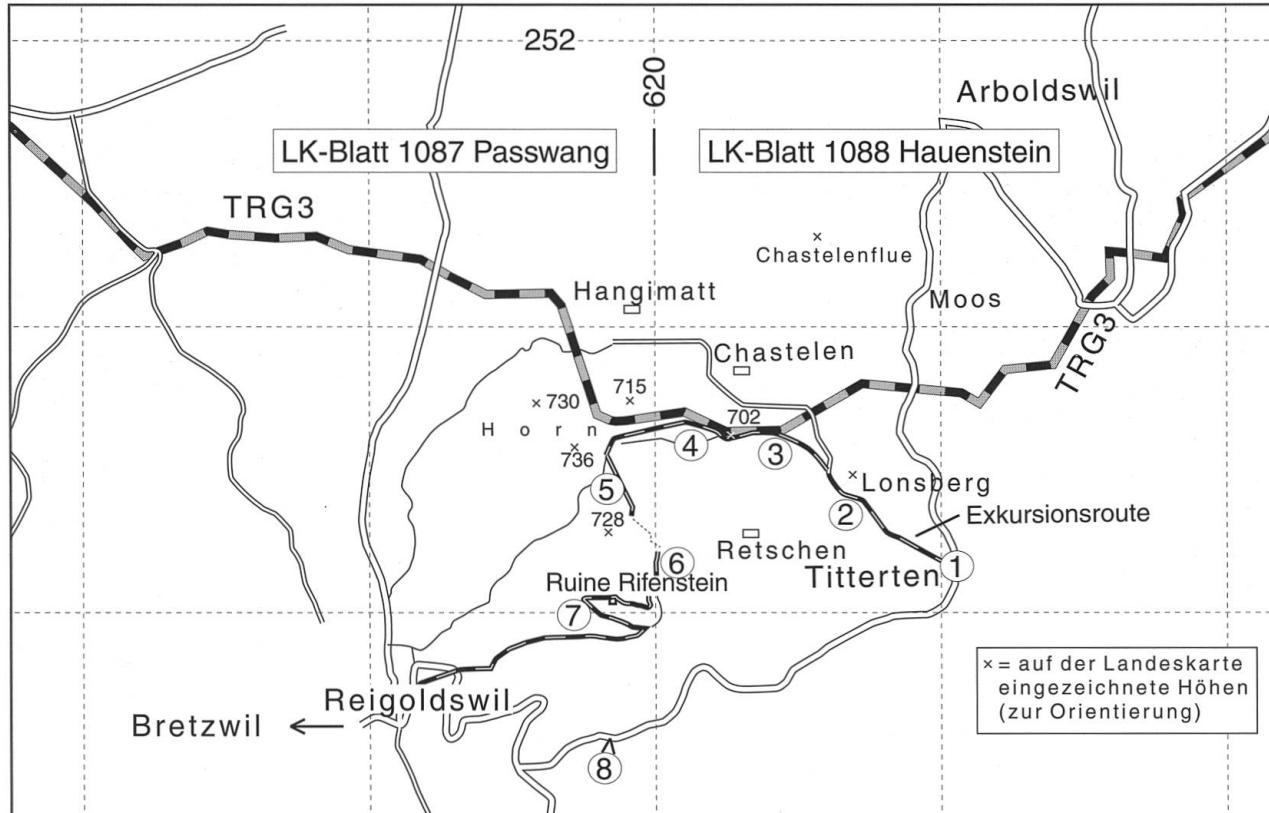
Diese geologische Situation hat den Forschern seit jeher Mühe bereitet. Das Problem wurde nicht kleiner durch den Umstand, dass zwischen Titterten und Reigoldswil eine alte Blattgrenze der Siegfriedkarte und eine entsprechende neuere der Landeskarte verläuft (Blätter 1087 Passwang und 1088 Hauenstein, Abb. 2). Traditionellerweise legt man die Grenzen geologischer Kartierungen an die Blattgrenzen topographischer Karten, und so kommt es, dass der Ostteil des Gebietes von Titterten auf der geologischen Karte des Hauensteingebiets von Mühlberg (1914, 1915), vgl. auch Hauber (1960), der Westteil aber auf Blatt 3 des Geologischen Atlas der Schweiz liegt (Koch et al. 1936).

Ich selbst habe mich seit Jahrzehnten immer wieder mit dem Problem Titterten befasst, zuletzt im Rahmen der Neukartierungen der Landeskartenblätter 1087 Passwang und 1088 Hauenstein. Bei den Vorbereitungen für die Erläuterungen zu diesen Karten bin ich dabei auf

eine Modellvorstellung gekommen, die, wie mir scheint, einigermassen einleuchten sollte. Dieses Modell ist in jüngster Zeit noch etwas ergänzt und präzisiert worden durch die Grabungen für die Transit-Gasleitung TRG3, insbesondere in Abschnitten von vorher aufschlusslosem Lehm- und Schuttgelände.

Ein Teil der Ausführungen ist an den Fachmann gerichtet, der sich schon mit der Entwicklung dreidimensionaler geologischer Strukturen befasst hat. Selbst manchem Geologen bereiten sie vermutlich Schwierigkeiten. Trotzdem möchte ich nicht darauf verzichten, da sie neue Ansätze für Analyse und Synthese der Juratektonik enthalten, die andere Juratektoniker interessieren dürften. Um den weniger versierten Leser nicht zu verwirren, sind sie kleingedruckt.

Endlich ist es ein weiteres Ziel dieser Zeilen, den Leser vorzubereiten auf eine Exkursion, die dann am Ende des Artikels beschrieben wird.



**Abb. 2:** Strassen und Ortsbezeichnungen im Bereich Reigoldswil–Titterten–Arboldswil. TRG3 = Transitgasleitung. x = markante Erhebungen.

## Ein Überblick über den geologischen Bau des Gebietes von Titterten-Reigoldswil

Abb. 3 ist eine vereinfachte geologisch-tektonische Karte. Sie stellt die Gegend von Titterten in einen regionalen Rahmen (vgl. dazu Schweiz. Geol. Komm., ed., 1980). Sie liegt im Grenzbereich von Tafel- zu Faltenjura. Die Front des Falten- oder Kettenjuras weist hier eine auffällige Einbuchtung auf («Bucht von Eptingen»). Im Westen von Titterten folgt sie ungefähr der «Landskron-Linie» in südöstlicher Richtung gegen Eptingen zu und schwenkt darauf in eine nordöstliche Richtung um. Man wird wohl nicht fehlgehen, wenn man als Grund für diese Unregelmässigkeiten Strukturen vermutet, die von älteren Deformationen herrühren, welche die recht junge Jurafaltung (ca. 10–6 Ma) geerbt hat.

Nach den Erkenntnissen, welche die Explorationsarbeiten für mögliche Standorte der Entsorgung von Atommüll (NAGRA, vgl. Sprecher und Müller 1986) gebracht haben, gehen diese Unregelmässigkeiten zum Teil bis ins obere Paläozoikum (ca. 290–260 Ma) zurück. Damals entstand in Europa ein Netz von tief in den Erdmantel hinunterreichenden Brüchen und Verbiegungen (Arthaud und Matte 1977). Für die Nordschweiz wichtig ist der «Nordschweizerische Permokarbonatrog» (Sprecher und Müller 1986, Diebold 1983, 1990) oder «Trog von Konstanz-Frick» (Laubscher 1986, Laubscher und Noack 1997). Die seismische Information reicht zwar gegen W nur bis etwa in die Gegend von Frick, doch gibt es indirekte Daten an der Oberfläche, die eine Fortsetzung bis in die Gegend von Titterten und darüber hinaus bis ins Burgund vermuten lassen (vgl. Ziegler 1990).

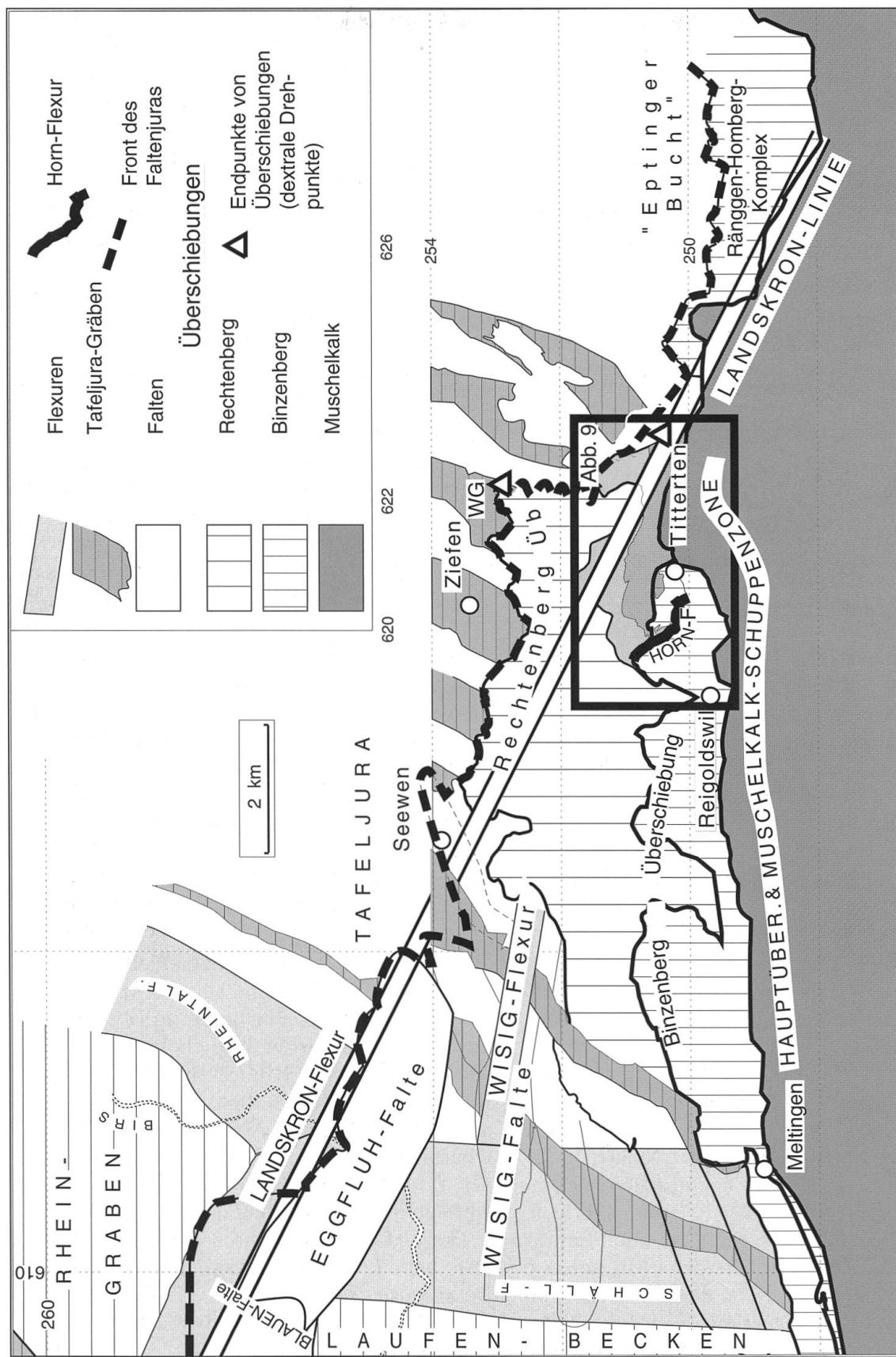
Nördlich der Front des Faltenjuras liegt der Tafeljura. Er wurde während des Obereozän-Unteroligozäns (ca. 40–30 Ma) in zahlreiche schmale Gräben zerlegt, zwischen denen die Sedimentgesteine in ungefalteten, wenn auch oft verkippten Tafeln stehen blieben. Im Untermiozän (ca. 24–20 Ma) entstand dann ein Netz von leichten Verfaltungen (Flexuren), das auch die tiefere Erdkruste erfasste und mindestens von Basel bis Waldshut reicht. Dabei wurden unter anderem die Ränder des Permokarbonatros von

Konstanz bis Frick nach den seismischen Daten der Nagra reaktiviert (Laubscher 1986, 2001a). Dies gilt anscheinend auch für ihre vermuteten Fortsetzungen gegen W, zum Beispiel in die Gegend von Titterten hinein.

Die jungmiozäne, dünnhäutige («thin-skinned») Jurafaltung (ca. 10–6 Ma) drang in dieses zerbrochene und von Flexuren durchzogene Tafelland vor. Die Frage, was dabei mit diesen alten Strukturen geschah, beschäftigt die Forschung schon seit über 100 Jahren (vgl. beispielsweise Steinmann 1892). Die Diskussion dieser Frage bildet auch einen wesentlichen Anteil der vorliegenden Arbeit. In früheren Arbeiten habe ich darauf hingewiesen, dass dabei offenbar die unterschiedlichsten Komplikationen entstanden sind, die nur durch sorgfältiges Abwägen der lokalen Beobachtungen fallweise rekonstruiert werden können (zum Beispiel Laubscher 1998, 2001b). Oft, aber nicht immer, wurden die älteren Brüche zu so genannten Horizontalverschiebungen umfunktioniert, meist verbunden mit Querstauchungen (transpressiven Falten). Manchmal verhielten sie sich auch passiv und wurden von den Überschiebungen einfach zerriissen. Die Gegend von Titterten liefert besonders aufschlussreiche Illustrationen zu diesem Thema.

Abb. 4 vermittelt einen Überblick über die Schichtfolge, die in der Gegend von Titterten zu finden ist. Die mesozoischen Sedimente, die von der Untertrias bis in den oberen Jura reichen, sind in zahlreichen Arbeiten beschrieben (zum Beispiel Hauber 1960) und in jüngerer Zeit auch modernen Analysen unterzogen worden (zum Beispiel Wetzel et al. 1993, Allenbach 2000). Unsicherheiten, insbesondere ihre für die Profilkonstruktion wichtigen Mächtigkeiten betreffend, bleiben allerdings bestehen. Außerdem wird man bemerken, dass die seit langem bei der Kartierung gebräuchlichen Formationsnamen verwendet werden. Der Grund dafür liegt darin, dass sie immer noch am dienlichsten bei der Einordnung von Feldbeobachtungen sind.

Als wesentlich komplizierter erweist sich das Tertiär wegen der oben geschilderten Bewegungen. Nach einer Schichtlücke, die vom Oberjura bis ins Untereozän reicht, folgen mit Diskordanz die vor allem in den Tafeljuragräben



**Abb. 3:** Die regionale Lage der Gegend von Titterten. Rheingraben und Tafeljura im Nordosten werden von den Falten und Überschiebungen des Keitenjuras im Südwesten getrennt entlang einer Linie, die ungefähr in ESE-Richtung von der Landskronflexur zur «Eptinger Bucht» verläuft (Landskron-Linie). Eingerahmt ist das engere Gebiet von Titterten.

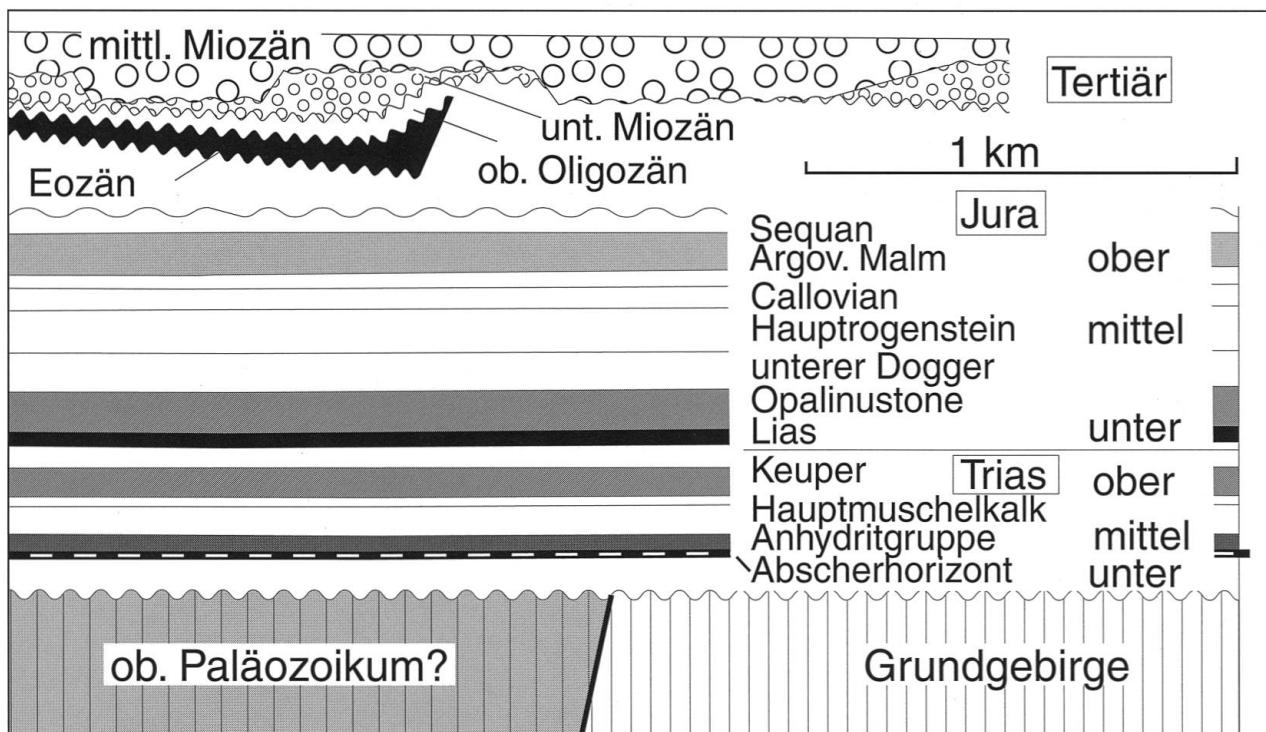


Abb. 4: Schichtfolge in der Gegend von Titterten.

abgelagerten Eozän-Unteroligoänschichten. Es sind dies meist rot gefärbte Tone, mit oder ohne Bolmerzkörner, sowie Süßwasserkalke und, für die Entstehung der Gräben besonders wichtig, oft grobe Konglomerate und Brekzien von Malmkalken (vergleiche Senn 1928).

Im Rheingraben folgt darauf eine mächtige Folge von oligozänen Sedimenten. In den Tafeljuragräben und ihrer Umgebung dagegen sind nur Reste von bunten Mergeln und Süßwasserkalken vorhanden, die vielleicht noch dem obersten Oligozän, vielleicht aber auch schon dem mittleren Miozän angehören (Häuber 1960, Laubscher 2001c). Ihre Datierung ist schwierig, weil die oft reichlich vorhandenen Schneckenfaunen von fraglichem Leitwert sind und weil sie lithologisch kaum von anderen kontinentalen Ablagerungen zu unterscheiden sind. Die Lage ist einfacher, wo noch Reste der über einer Diskordanz folgenden geringmächtigen oberen Meeressolasse vorhanden sind (Tenniker Muschelaggglomerat, Buxtorf 1901; unteres Miozän, ca. 20–18 Ma). Die darauf, wiederum mit Diskordanz, folgenden mittelmiozänen Sedimente bestehen aus den meist rotgefärbten

Helizidenmergeln sowie Ablagerungen von Schwarzwaldflüssen mit Geröllen meist mesozoischer Gesteine aus dem Dach des Schwarzwalds (Juranagelfluh). Datierungen aufgrund moderner Sägerstratigraphie haben Alter zwischen ca. 15 und 11 Ma ergeben (Engesser und Mödden 1997, Kälin 1993, Berger 1992).

Abb. 5 stellt die hauptsächlichen tektonischen Elemente der Gegend von Titterten vor. Sie zeigt, wie die paläogenen Tafeljuragräben durch die miozänen Überschiebungen des Kettenjuras zerrissen und versetzt wurden. Auf Abb. 6 ist überdies eine unten im Detail diskutierte Rückrotation der überschobenen Flexuren des Horns und von Rifenstein sowie des damit vergesellschafteten Grabenkomplexes von Wildenstein dargestellt. Abb. 7 vermittelt einen Überblick über die sich manchmal schneidenden Überschiebungen, und Abb. 8 stellt die Abfolge ihrer Entstehung dar.

Diese Übersichtsfiguren sollten behilflich sein bei der Interpretation der geologischen Detailkarte Abb. 9. Diese vermittelt ein Bild von der zunächst eher verwirrenden Verteilung der Gesteinseinheiten.

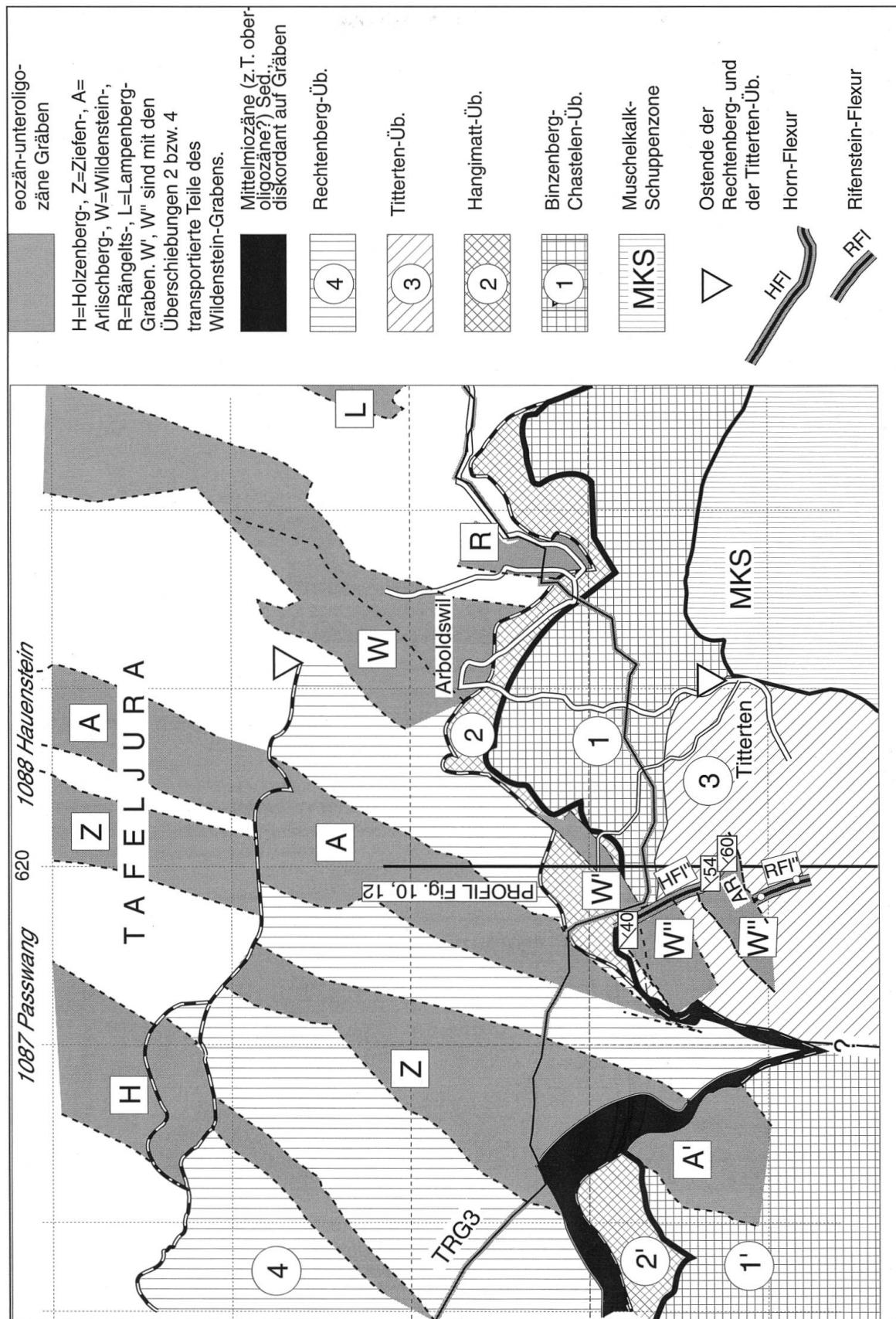
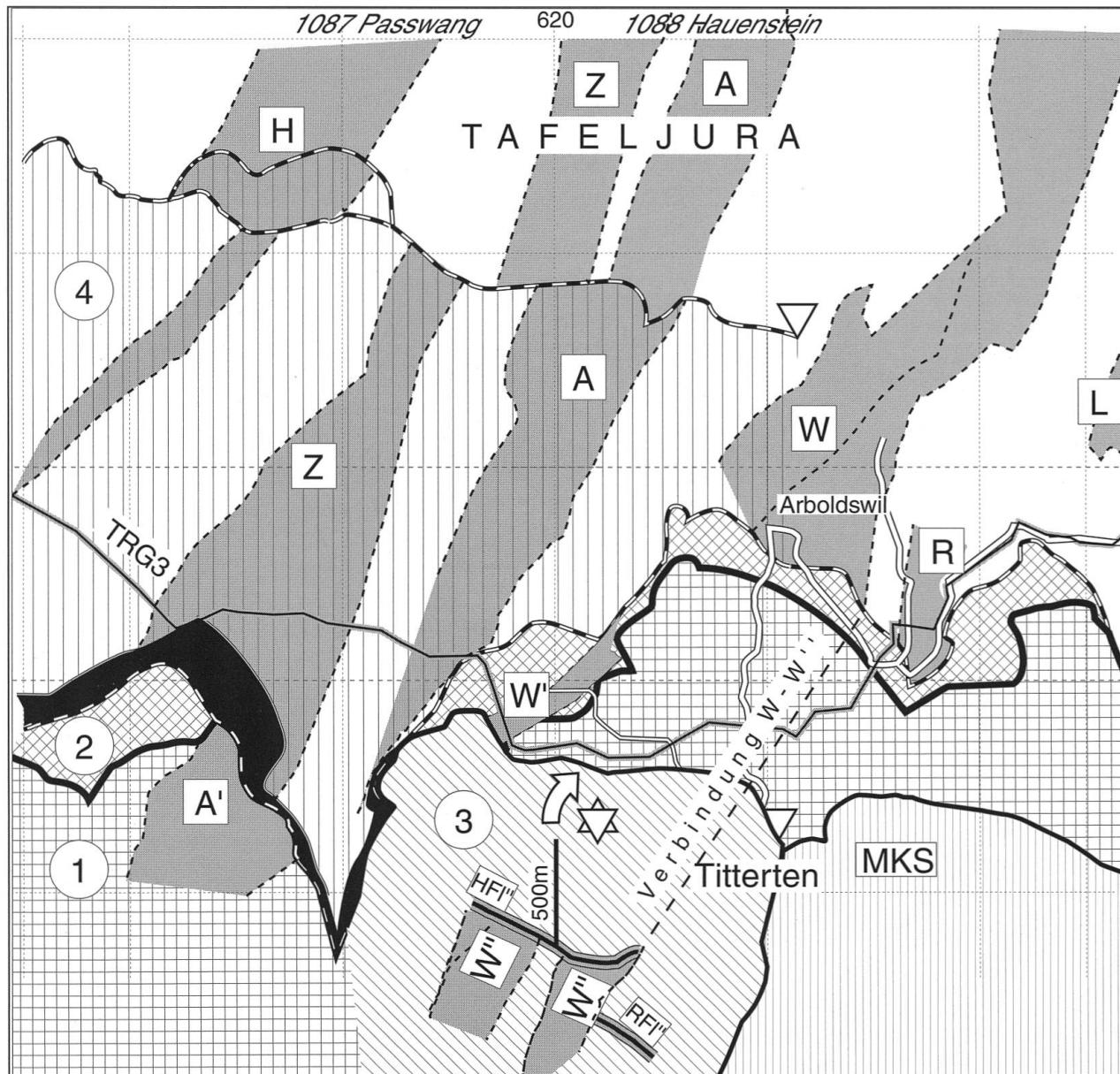


Abb. 5: Die wichtigsten tektonischen Elemente der Gegend von Titterten.



**Abb. 6:** Kopie der Abb. 5, aber mit um einen Drehpunkt (Stern westlich Titterten) um  $40^\circ$  entgegen dem Uhrzeigersinn (sinistral) zurückgekroptierten Elementen (W; HFI, RFI). Zudem sind diese Elemente nach Süden zurückversetzt um den nach Abb. 10 für die Koordinate 620 geschätzten Schubbetrag von 500 m. W', W'' und W passen so gut zueinander. Weitere Erklärung im Text.

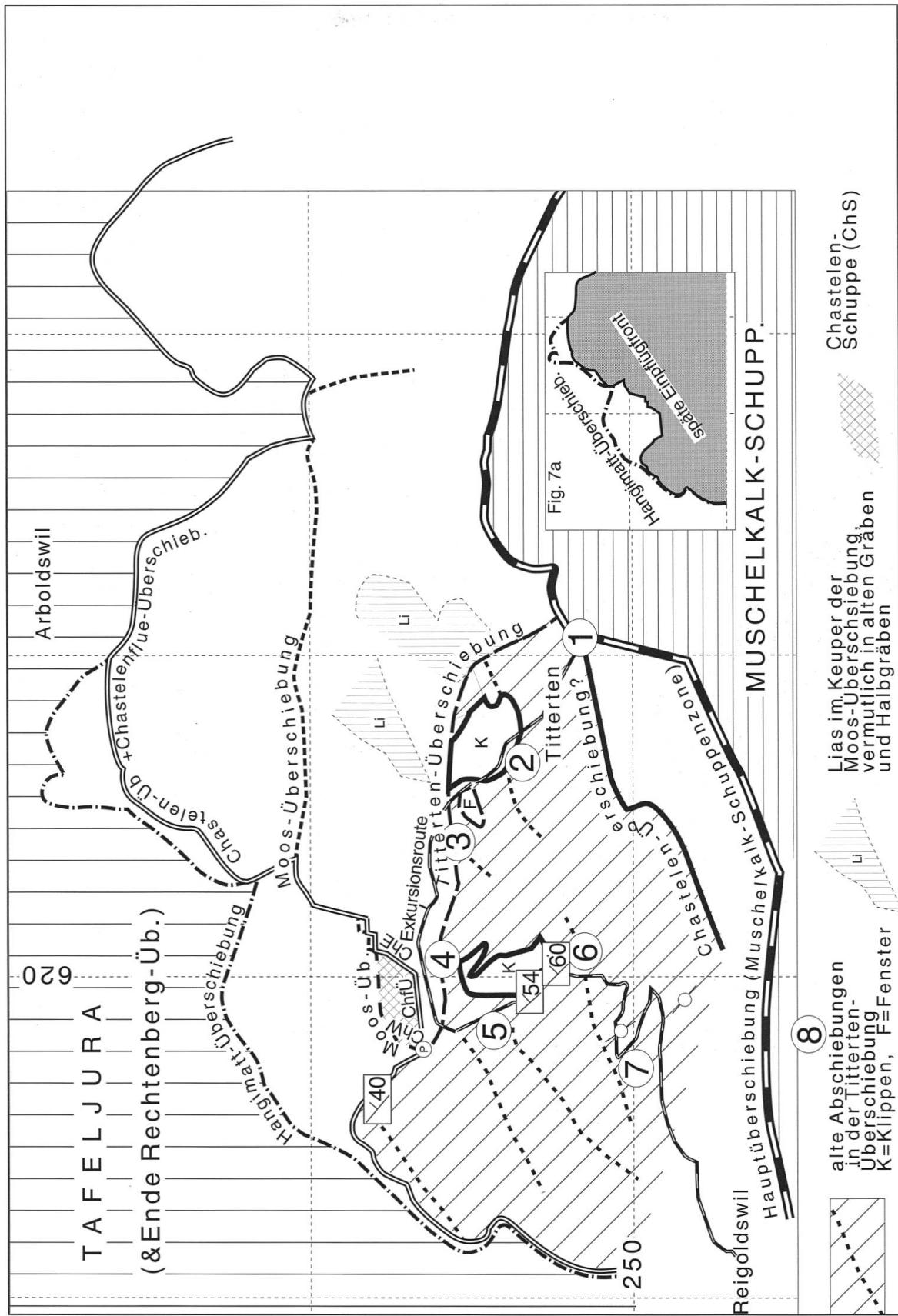
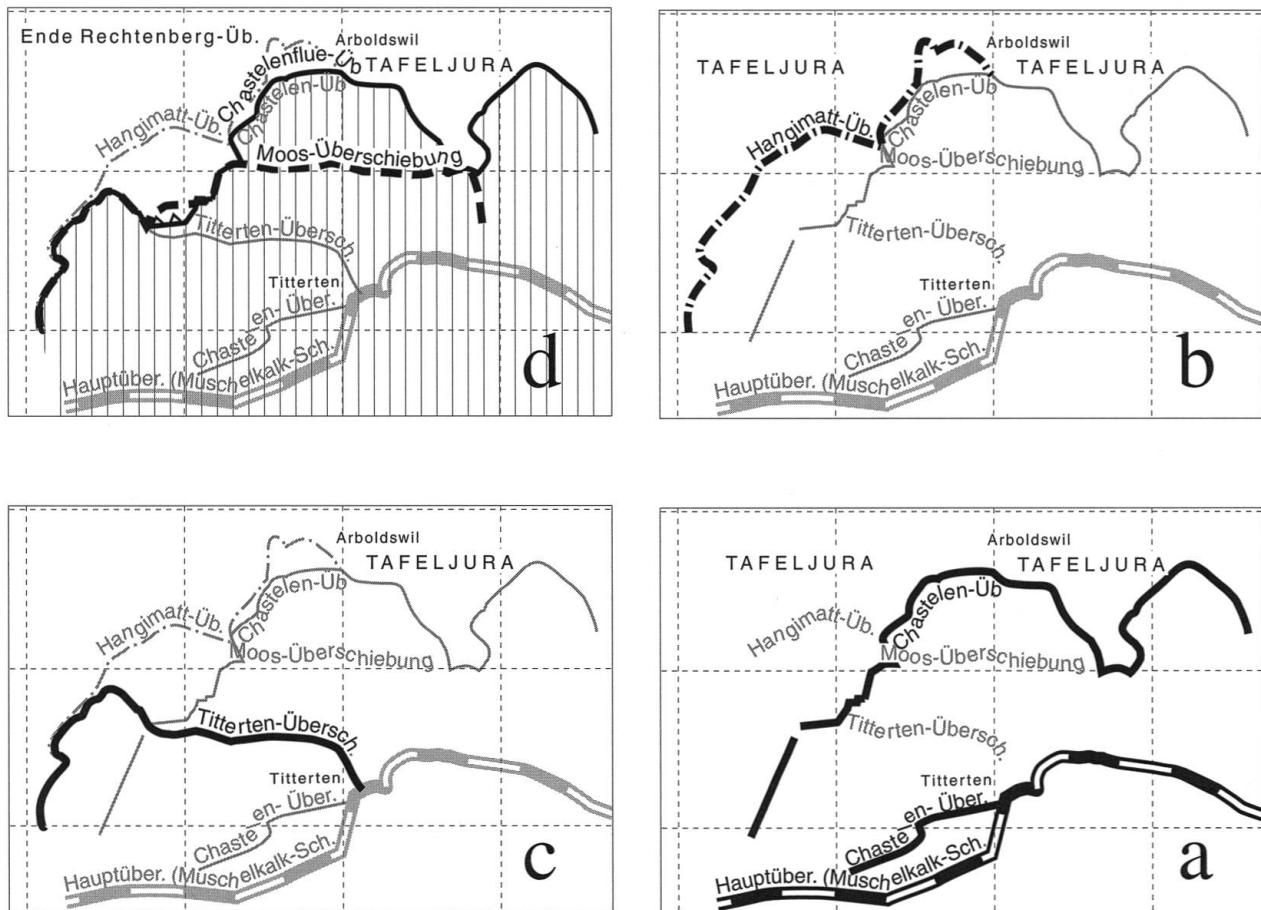
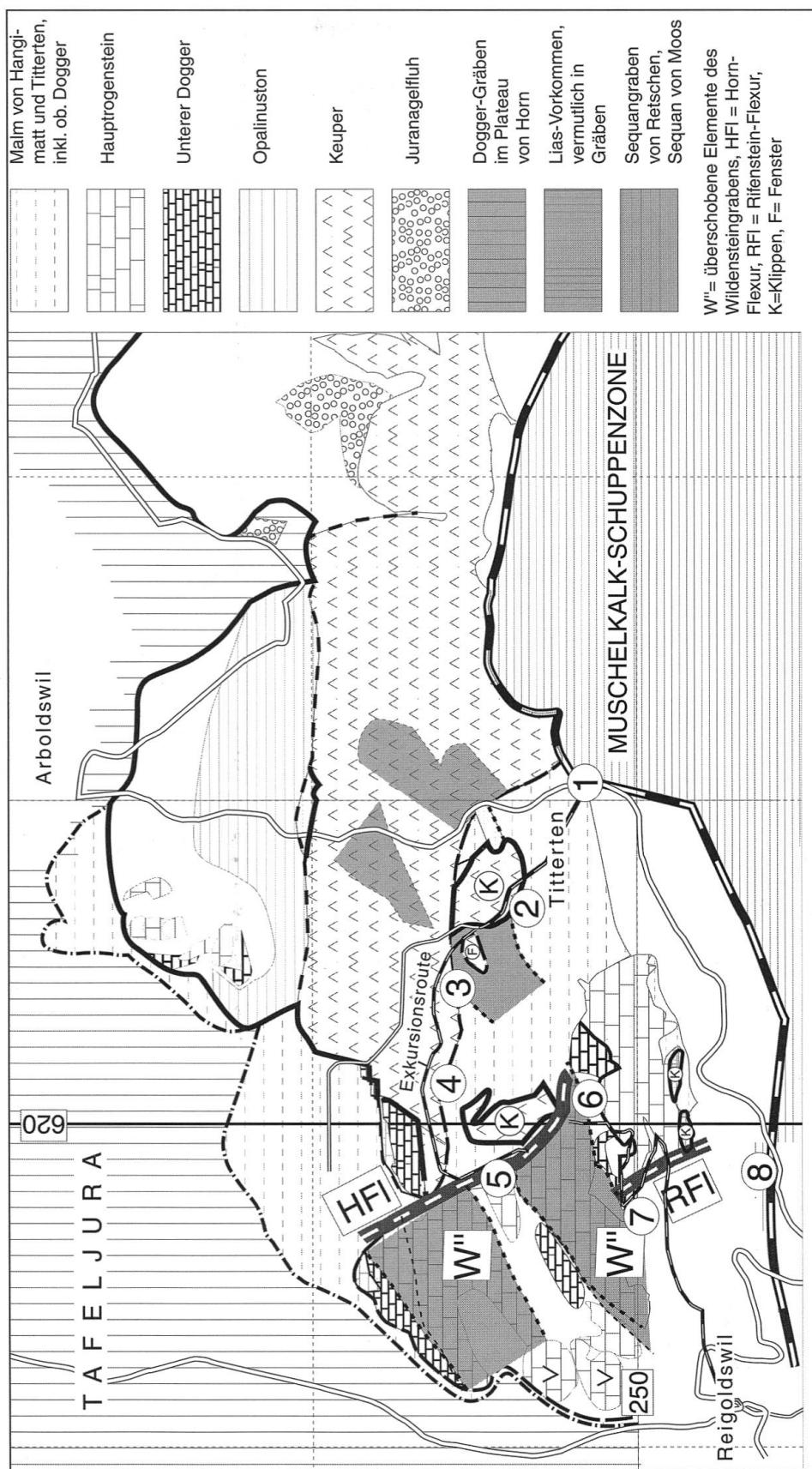


Abb. 7: Karte der Überschiebungen und ihrer Bezeichnungen. ChÜ = Chastelen-Überschiebung; ChW= sinistrale Transferschiene Chastelen-W; ChE= sinistrale Transferschiene Chastelen-E, welche die Chastelen-Schuppe (ChS) begrenzen. Die eingefügte Abb. 7a hebt die Beziehung Hangimatt-Chastelen-Überschiebung besonders hervor.



**Abb. 8:** Die zeitliche Abfolge der Überschiebungen von Abb. 7. Die jeweils aktive Überschiebung erscheint schwarz, die andern sind grau gezeichnet. Aus Platzgründen sind die beiden jüngsten Überschiebungen zusammen in (d) eingezeichnet. Die Zeitabstände können auf folgende Weise geschätzt werden: Die gesamte Jurafaltung dauerte etwa 4 Ma (von 10 Ma bis 6 Ma). Der gesamte Zusammenschub des Juras im Bereich der Koordinate 620 ist ca. 10 km. Pro km Zusammenschub sind also ca. 400 000 Jahre zu veranschlagen. Für die Chastelen-Überschiebung (2.5 km) ergibt dies also ca. 1 Ma, für die Titterten-Überschiebung (500 m) ca. 200 000 Jahre. Die jüngste Überschiebung (Chastelenflue-Überschiebung) scheint sich aus verschiedenen Elementen zusammenzusetzen und eine Hineinpflügung in die Hangimattscholle bewirkt zu haben (vertikal schraffiert). Vergleiche auch Abb. 7a. Weitere Erklärung im Text.



**Abb. 9:** Leicht vereinfachte geologische Karte der Gegend von Titterten. Für die leichtere Identifikation der verschiedenen Überschiebungen vergleiche Abb. 7.

## Für die Gegend von Titterten charakteristische spezielle Komplikationen

Unter den vielerlei tektonischen Phänomenen der Gegend von Titterten sind zwei von besonderem Interesse, weil sie bisher kaum Beachtung gefunden haben: Rotationen um vertikale Achsen und «out of sequence»-Überschiebungen.

### *Rotationen um vertikale Achsen*

Mutmassliche Rotationen von überschobenen Grabensegmenten und Flexuren um eine vertikale Achse sind auf Abb. 6 dargestellt. Sie scheinen gegenüber äquivalenten Elementen im Tafeljura verdreht zu sein (vgl. die Abb. 5, 6). Dies gilt insbesondere für die Grabenteile W" im Überschiebungselement 3. Während die Gräben im Tafeljura im Durchschnitt NNE streichen, ist ihre Richtung im Element 3 eher ENE. Eine Drehung des Elementes 3 um ca. 30–40° im Uhrzeigersinn (dextrale Drehung) würde diese Richtungsänderung zur Folge haben (vgl. Abb. 6). Allerdings sind die Tafeljura-gräben nicht etwa geradlinig, sie enthalten auch abweichende Elemente, und so könnte man die abweichende Richtung in Element 3 auch ohne dessen Rotation erklären. Frappierend ist indessen die Feststellung, dass auch die vermutlich untermiozänen Flexuren von Rifenstein und Horn gegenüber der ESE-Richtung der Landskronflexur um einen ähnlichen Betrag dextral rotiert scheinen (Abb. 6). Damit gewinnt eine solche aufgrund rein tektonischer Argumente postulierte Rotation erheblich an Wahrscheinlichkeit. Rotationen um vertikale Achsen werden sonst meist aufgrund paläomagnetischer Daten gefordert, aber unabhängig davon sollte es Gegenstand rein geologisch-kinematischer Analyse sein, solche Rotationen als Teil des Bewegungsbildes zu modellieren.

Es gibt viele Indizien für dextrale Rotationen begrenzter Blöcke am Jura-Nordrand, vgl. dazu z. B. Laubscher (2001b). Im Bereich von Abb. 5 sind zusätzlich zu nennen die Abnahme der Überschiebungswerte von Element 4 gegen E und sein Ende am Rand des Wildensteingrabens sowie das Ostende des Titterten-Elements 3 im Dorf Titterten.

### *«Out-of-sequence»-Überschiebungen*

Normalerweise findet man bei Überschiebungen ältere Schichten auf jüngere überschoben. Dies liegt unter anderem daran, dass bei einer Gebirgsbildung die Deformation sukzessive gegen das Vorland zu fortschreitet. Die Überschiebungen sind dann umso jünger, je weiter sie gegen das Vorland zu liegen, sie sind dann «in sequence», d.h. in der richtigen Reihenfolge. Dies ist aber durchaus nicht immer der Fall, besonders auch im Jura (vergleiche zum Beispiel Laubscher 1998). In der Gegend von Titterten gibt es mindestens zwei Überschiebungen, bei denen eine ältere Überschiebung von einer jüngeren durchschnitten wird (Titterten-Überschiebung und Moos-Überschiebung, Abb. 7, 8). Dabei wurden stellenweise jüngere Schichten (Malm) aus dem Liegenden über ältere Schichten (Trias) des Hangenden der vorhergehenden Überschiebung (Chastelen-Überschiebung, Abb. 7, 8) gelegt.

Auf Abb. 9 sieht man, dass der jüngere Malm von Titterten (Birmenstorferschichten, Effingerschichten, Sequan, Einheit 3 auf Abb. 5) auf den älteren Keuper-Lias von Chastelen (Einheit 1 auf Abb. 5) überschoben ist. Reste der alten Chastelen-Überschiebung liegen noch als Klippen von Keuper auf dem Malm von Titterten. Der ältere Lias-Keuperkomplex von Chastelen war offensichtlich schon früher auf den Malm von Hangimatt (Einheit 2 auf Abb. 5) überschoben worden.

Der Malm von Titterten gehört also einer jungen «out-of-sequence»-Überschiebung an. Zur selben Einheit gehört aber auch der Dogger von Horn, der über die Hornflexur mit dem Malm von Titterten verbunden ist.

### **Profile durch die Gegend von Titterten**

Zur Ergänzung des räumlichen Bildes der Tektonik konstruiert man geologische Profile. Für die Gegend von Titterten stehen dafür nur die Beobachtungen an der Oberfläche zur Verfügung. Man muss diese auf irgend eine Weise in die Tiefe extrapoliieren. Für den seichten Bereich ist dies relativ einfach, und man begnügt sich deshalb meist mit der Konstruktion solcher seichter

Profile (Abb. 10). Anderseits bleibt die Aufgabe zu lösen, wie die Beobachtungsdaten in einer Weise ergänzt werden können, dass wenigstens ein plausibles Modell der in grössere Tiefen reichenden Bewegungsgeschichte, der Kinematik, entsteht. Ein solcher Versuch ist auf Abb. 12 unternommen. Diese Figur ist aber nicht nur grundlegend für die Kinematik. Sie dient auch zum Verständnis der etwas komplizierten Stratigraphie des Tertiärs. Zur Orientierung vergleiche die Legende zu dieser Figur. Einzelheiten folgen im Kleingedruckten.

Zunächst aber ist es ratsam, sich vertraut zu machen mit dem Seichtbereich der Tektonik von Titterten.

#### **Ein Profil durch den seichteren Untergrund der Gegend von Titterten (Koordinate 620'000, Abb. 10, vgl. Abb. 5, 9)**

Schreitet man bei der Beschreibung der Abb. 10 von N (Vorland, Tafeljura) nach S (Kettenjura) fort, so findet man zunächst zwei Abschiebungen, welche zur Grabentekonik des Tafeljuras gehören. Als erste Einheit des Kettenjuras folgt die Malmschuppe von Hangimatt. Als Hintergrundkulisse ist die Halbkuppe der Chastelenfluh von Osten hineinprojiziert (weiss umrandet). Sie gehört zum frontalen Teil der Chastelen-Überschiebung. Dieser frontale Teil liegt hier tiefer als die weiter südlich folgenden Elemente der Chastelen-Scholle, weil diese Elemente durch die out-of-sequence-Überschiebungen von Moos und von Titterten gehoben wurden.

Gleicherweise in das Profil übernommen sind die nördlich Chastelen kartierbaren (Abb. 5), zur Hangimatt-Überschiebung gehörenden Abschiebungen (Hangendblock der Abschiebungen gegen Südosten verworfen). Auf der TRG3 waren ebenfalls Abschiebungen mit gleichem Verwerfungssinn erkennbar (Abb. 5).

Weiter südlich wird die Hangimatt-Scholle überdeckt durch die Chastelen-Schuppe (ChS), die frontal aus überkipptem Dogger (etwas Hauptrogenstein und unterer Dogger, inklusive die in der TRG3 schön aufgeschlossenen Murchisonae-Schichten) besteht, an denen noch

etwas Opalinuston klebt. An steiler Störfläche (ChE auf Abb. 7; temporär gut aufgeschlossen im TRG3-Graben) folgt etwas oberer Keuper. Dieser wird von der out-of-sequence-Überschiebung von Titterten abgeschnitten.

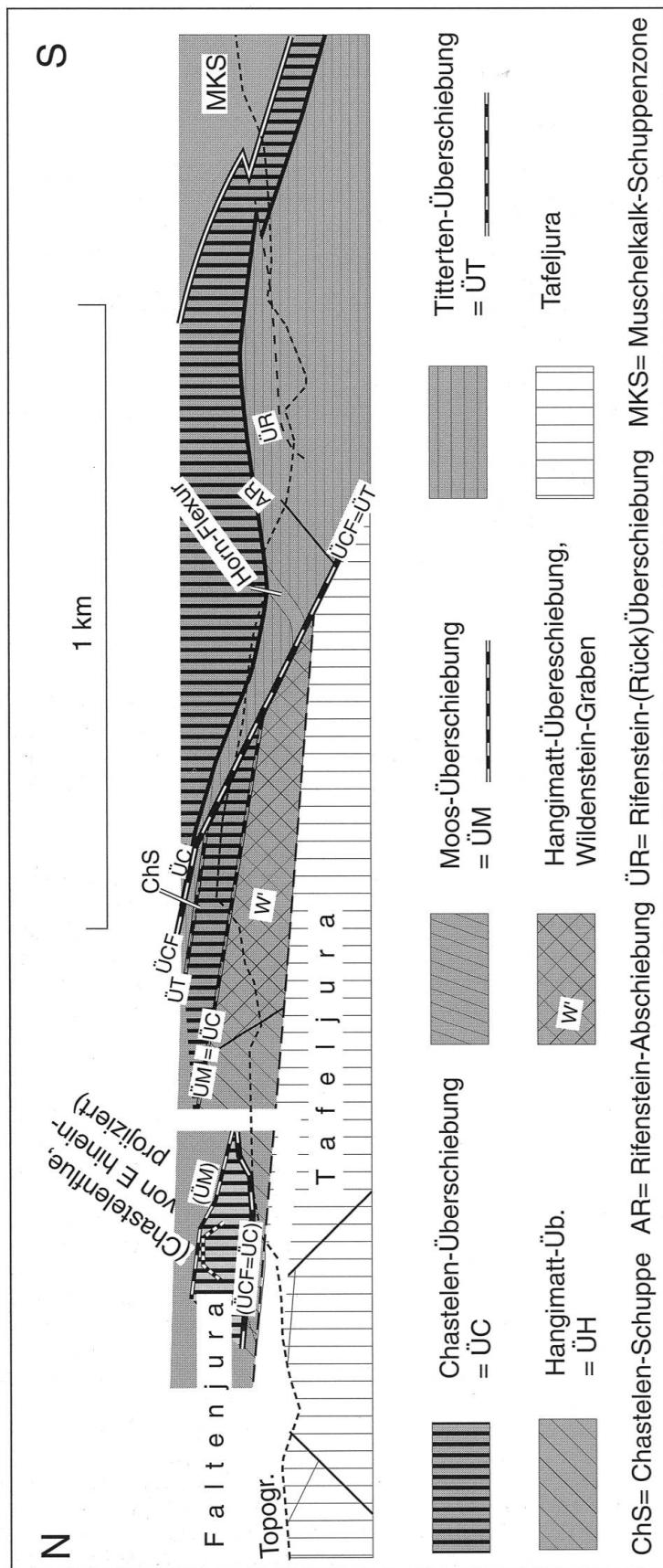
Auf dem Profil Abb. 10 ist noch die westlichste der Chastelenklippen auf dem Malm von Titterten zu erkennen (vgl. auch Abb. 7). Weiter südlich gelangt man über die Hornflexur in den Hauptrogenstein von Horn. Dieser stösst an der Abschiebung von Rifenstein (AR auf Abb. 5, 11), die als SE-Begrenzung des Grabens von Wildenstein angesehen wird (Abb. 6), an den unteren Dogger des Tälchens von Rifenstein.

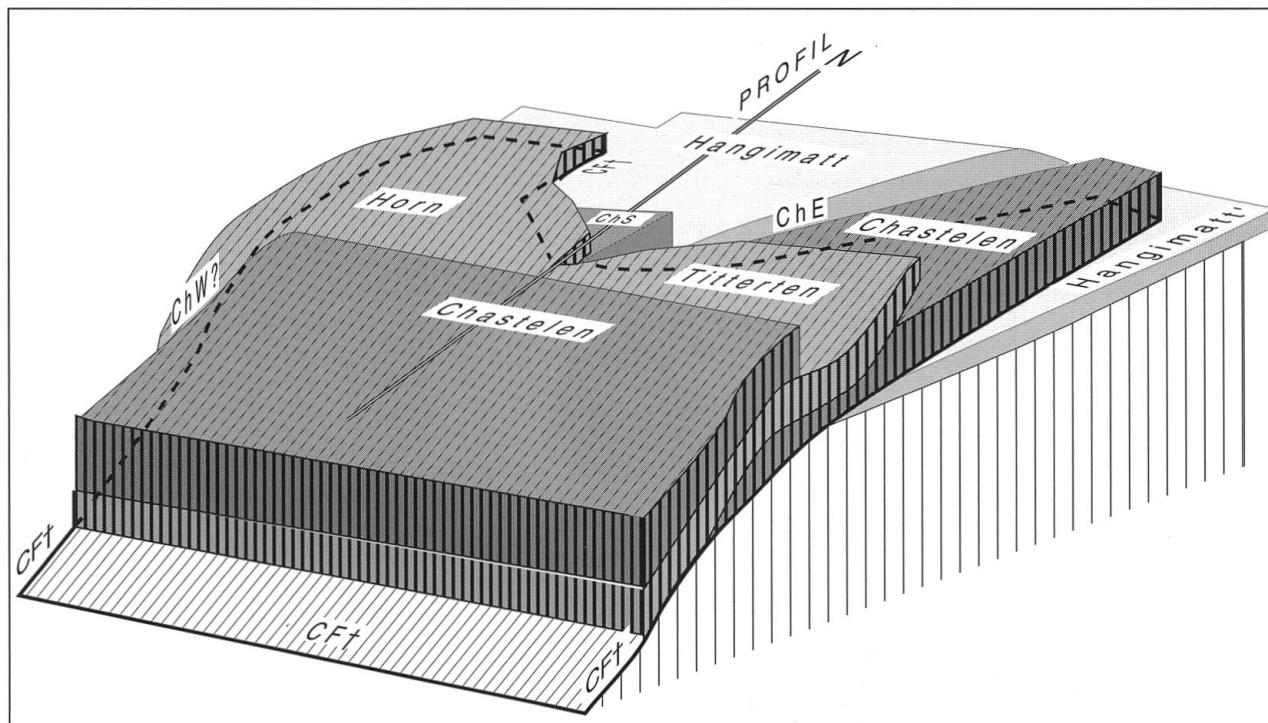
Nach den Karten (Abb. 7, 7a, 8) befindet sich die Chastelen-Schuppe in einer anomalen Lage. Sie wird durch Störungen im E wie im W abgeschnitten. Man steht hier also einem 3D-Phänomen gegenüber, das auf Profilen nicht darstellbar ist.

Auf Abb. 11 ist deshalb der Versuch unternommen, in einem schematischen Blockdiagramm die Situation zu veranschaulichen. Von Norden her kommend, trifft man zunächst auf die Hangimatt-Scholle. Sie ist besonders breit und mächtig nördlich unter der Chastelen-Schuppe (ChS). Gegen E und W wird sie unter der Chastelenflue-Überschiebung stark ausgedünnt, als ob hier die Hangendscholle in die Hangimattscholle hineingeplügt worden sei. Besonders drastisch ist die Auswirkung unter der Chastelenflue selbst (daher der Name), vgl. dazu die von Osten in das Profil Abb. 10 hineinprojizierte Chastelenflue.

Deren auffällig tiefe Lage hatte seinerzeit Hauber (1960) dazu veranlasst zu vermuten, sie sei durch Schweregleitung in ihre heutige Lage gerutscht. Die hier vertretene Auffassung stützt sich auf die Beobachtung, dass die höhere Lage der Chastelen-Scholle südlich der Chastelenflue durch die out-of-sequence-Überschiebungen von Titterten und Moos bedingt ist. Außerdem lässt sich die Basis der Chastelenflue via Chastelen-E-Transferzone mit dem Dach der Chastelen-Schuppe und von dort mit der Basis des Doggers von Horn verknüpfen, der via Horn-Flexur in den Malm von Titterten hinüberführt. Es lässt sich auf diese Weise eine zusammenhängende Tektonik konstruieren.

Über der Chastelen-Schuppe liegt die out-of-sequence-Scholle von Titterten (Malm)-Horn (Dogger). Man ist zunächst versucht, besonders im Gelände, den isolierten Dogger der Chastelen-Schuppe mit dem Dogger von Horn zu korrelieren, der annähernd auf gleicher Höhe liegt. Dieser Korrelation steht aber entgegen die Verbindung von Horn-Dogger mit Titterten-Malm. Die Trennung





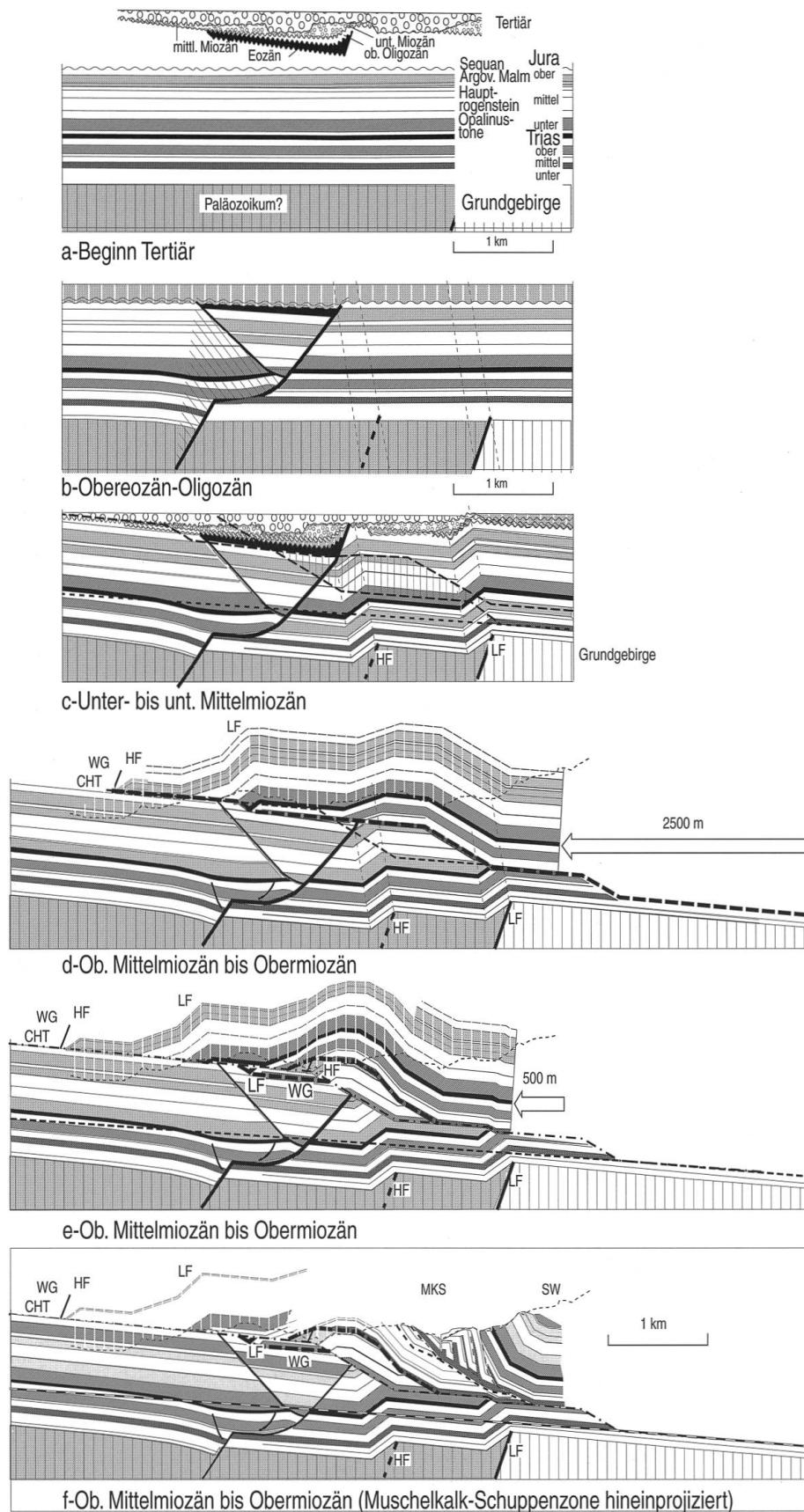
**Abb. 11:** Schematisches Blockdiagramm zur 3D-Visualisierung der Chastelenflue-Überschiebung. CFt = Chastelenflue-Überschiebung (dicke, schwarze Linie, gestrichelt, wo verdeckt), ChS = Chastelen-Schuppe, ChE = Chastelen-Ost Transfersegment, ChW = vermutete Chastelen-West-Transferstörung, TW = vermutete Titterten-West-Transferstörung, Hangimatt = ausgedünnte Hangimattschuppe unter der Chastelenflue. Erläuterungen im Text.

der beiden Doggerkomplexe durch die späte Chastelenflue-Überschiebung erzeugt demgegenüber das auf Abb. 11 dargestellte kohärente Bild. Bei der Betrachtung der geologischen Karten Abb. 7, 8 und des Blockdiagramms Abb. 11 drängen sich weitere Vermutungen auf. Die Westgrenze der Chastelen-Schuppe scheint nach der Feldevidenz eine Transferzone zu sein (ChW). Diese Westgrenze fällt ungefähr zusammen mit der westlichsten Klippe von Chastelen-Keuper auf der Titterten-Scholle. Es ist möglich, dass die Chastelenscholle von Anbeginn durch ChW begrenzt war, vielleicht ausgelöst durch den Wildensteingraben, der vor der Entstehung der Chastelen-Überschiebung in diese Gegend hineinzielte (vgl. Abb. 6). Analog dazu darf man sich fragen, ob vielleicht nicht auch die Titterten-Hornschorle mit ihrer dextralen Rotation im W durch eine sinistrale Transferzone (TW auf Abb. 11) begrenzt gewesen sei, zum Beispiel ausgelöst durch den Arlischberggraben (vgl. Abb. 6). Der Rutsch- und Schutthang nördlich von Reigoldswil erlaubt es nicht, diese Frage zu beantworten. Regionaltektonisch würde sich die verlockende Vorstellung von einer sinistralen Transferzone Reigoldswil–Titterten ergeben, die im Osten mit dem sinistralen Vordringen der Muschelkalk-Schuppenzone bei Titterten beginnt und über die Chastelen-West-Transferlinie

zur Titterten-West-Linie bei Reigoldswil (vgl. Abb. 3, 8) zeitlich fortschreitet.

Auf Abb. 11 ist die Annahme dargestellt, dass hier die Chastelenflue-Überschiebung der Titterten-Überschiebung folge. Dies ist die einfachste Lösung. Sie geht allerdings aus den Beobachtungen nicht eindeutig hervor. Es ist auch möglich, dass sie etwas unter die Chastelen-Schuppe hinuntergedrückt wurde.

Südlich der Hornflexur wird der untere Dogger des Tälchens von Rifenstein in den topografisch tiefer liegenden Partien normal überlagert von der intern etwas gestörten, südfallenden Hauptrogensteinserie östlich von Ruine Rifenstein. In den topografisch höher liegenden Partien ist aber der untere Dogger etwas über den Hauptrogenstein gegen Süden rücküberschoben. Diese kleine Rücküberschiebung von Rifenstein (ÜR) ist nördlich der Strasse Reigoldswil–Titterten noch in Form von zwei kleinen Hauptrogensteinklippen erkennbar, die über den obersten Dogger geschoben wurden (Abb. 9). Die an diesen anschliessende Lehmzone ist aufschlusslos. Sie könnte zunächst noch etwas Tone des Callovo-Oxfordian enthalten; diese dürften aber alsbald von den Anhydritmergeln der Muschelkalk-Schuppenzone abgelöst werden. Es ist zu vermuten, dass die Überschiebung des Keupers von Chastelen hier in



**Abb. 12:** Modell der tektonischen Entwicklung (Kinematik) der Gegend von Titterten. Das Profil Abb. 10 ist bis in das Grundgebirge hinein extrapoliert (bilanzierte Konstruktion, siehe Text) und sukzessive in frühere Deformationsstadien rückdeformiert. Von oben nach unten gelesen ergibt sich damit die allmähliche Überlagerung der verschiedenen tektonischen Ereignisse, die die Gegend von Titterten geprägt haben. Nicht modelliert aber hineinskizziert sind die Muschelkalk-Schuppenzone, die im Süden von Titterten liegt, sowie die späten Überschiebungen von Moos und Chastelenflue. Vergleiche dazu Abb. 8.

die Basis der Muschelkalk-Schuppenzone mündet, dass also der Komplex von Titterten-Horn ein Halbfenster innerhalb der Chastelenüberschiebung bildet.

### Die wichtigsten tektonischen Elemente der Gegend von Titterten nach ihrem Alter (Profilansicht)

Die auf Abb. 9 dargestellte Verteilung der Gesteinseinheiten ist also bestimmt durch eine Reihe von tektonischen Ereignissen, deren Abfolge vor allem aus der Analyse der betroffenen Sedimente hervorgeht. Dabei muss man die Evidenz der weiteren Umgebung berücksichtigen. Am einfachsten zieht man zur Veranschaulichung der tektonischen Ereignisse die Profilserie Abb. 12 bei; eine genauere Besprechung der Konstruktion dieser Figur folgt weiter unten (kleingedruckt).

Zusammenfassend ergibt sich dabei folgende Entwicklungsreihe. Am ältesten sind die Eozängräben des Tafeljuras (Abb. 12 a, b), dann folgen die vermutlich untermiozänen Flexuren (Abb. 12c). Beide Elemente werden zerrissen und verstellt durch die Elemente der dünnhäutigen Jurafäaltung, deren Strukturen in den Evaporiten der Trias abgeschart wurden (Abb. 12 d, e; für neuere Literatur vgl. Laubscher 1997, 1998). Diese Strukturen umfassen in der weiteren Umgebung von Titterten im wesentlichen vier Überschiebungseinheiten (Abb. 6), von denen in der Modellierung Abb. 12 zwei berücksichtigt sind, nämlich die Chastelen- (Abb. 12d) und die Titterten-Überschiebung (Abb. 12e). Nicht dargestellt sind die jüngsten Überschiebungen von Moos und Chastelenflue (Abb. 8) sowie die jüngste Hebungsgeschichte mit der Eintiefung der heutigen Täler.

Dokumentiert ist das Alter dieser Elemente durch folgende Sedimente (vergleiche dazu Hauer 1960, Gürler et al. 1987, Laubscher 1998):

- **Die Tafeljuragräben** (Abb. 12b) sind angefüllt mit roten bis gelben, oft Bohnerz enthaltenden, bisweilen grünen bis grauen Tonen, seltener mit oft rötlich gefärbten Süsswasserkalken (manchmal mit Bohnerzkörnern). Eingestreut sind manchmal Lagen grober Konglomerate

und Breccien aus Jurakalken. Die Altersangaben beruhen auf Analogie mit fossilführenden Ablagerungen.

- **Die Flexuren** (Abb. 12c) spielen im Jura eine bedeutende, meist aber versteckte Rolle. Im besonderen zielt die Landskronflexur in ESE-Richtung gegen das Gebiet von Titterten («Landskron-Linie», Abb. 3). Östlich der Rheintalflexur macht sie sich vor allem bemerkbar auf bilanzierten Profilen (vgl. Meyer 1990, Bitterli 1992). Endlich lässt das regionale Kartenbild ihren Einfluss bei den Unregelmäßigkeiten in der Überschiebungsfront bei Titterten vermuten. Durch die Jurafäaltung verstellt Elemente der Landskronflexur dürften die merkwürdigen Querflexuren des Horn und von Rifenstein sein. Das Alter der Flexuren lässt sich nur mit Hilfe regionaler Vergleiche bestimmen. So weisen sowohl die Rheintalflexur im Westen wie auch die Mandachflexur im Osten des Tafeljuras auf ein aquitanes (untermiozänes) Entstehungsalter hin.
- **Die Tafeljuragräben** werden diskordant überdeckt durch eine dünne Lage von untermiozäner Oberer Meeresmolasse (OMM), die aber in der Gegend nur in Relikten vorhanden ist (Abb. 12 b, c). Es handelt sich um helle Sande mit kleinen Geröllen, seltener um das von der Tenniker Fluh bekannte Muschelaggglomerat (Buxtorf 1901). Allerdings weisen die etwas vollständiger dokumentierten Verhältnisse am Rande des Rheingrabens auf eine schon ältere diskordante Überlagerung der Gräben im mittleren Oligozän hin; diese ist auf Abb. 12b dargestellt. Ob gewisse dünne Lagen von bunten Mergeln und Süsswasserkalken, die an einigen Stellen des Tafeljuras und der südlich anschliessenden Gebiete noch als kleine Reste auftreten, dem unteren Oligozän, dem oberen Oligozän oder dem mittleren Miozän angehören, lässt sich zurzeit nicht endgültig entscheiden. Auf Abb. 12e sind solche möglicherweise oligozänen Relikte eingezzeichnet.
- Wiederum diskordant folgt die Obere Süsswassermolasse (OSM).
- **Die Elemente des Faltenjuras** erfassen die Obere Süsswassermolasse (OSM), deren jüngste Ablagerungen ca. 11 Ma alt sind (Kälin 1993). Maximalalter dieser Elemente ist demnach das obere Mittelmiozän; das in der Gegend nicht belegte Minimalalter dürfte etwa 6 Ma sein (vgl. Laubscher 1992, 2001a).
- **Hebung und Talbildung:** Nach Daten im Bereich des Bresse- beziehungsweise Saône-Grabens (Petit et al. 1996) dürfte die jüngste Bewegungsphase, der auch die heutige Erdbebenaktivität zuzuschreiben ist, nach dem mittleren Pliozän begonnen haben (Deformation der Sundgauschotter, vgl. Liniger 1970, Laubscher 2001a). Diese Phase erfasst im Gegensatz zur dünnhäutigen Jurafäaltung die gesamte Erdkruste.

## Ein kinematisches Modell der Tektonik von Titterten

In der Profilansicht Abb. 12, die schon beigezogen wurde für eine kurze Orientierung über die Reihenfolge der Ereignisse, welche der komplizierten Stratigraphie des Tertiärs zugrunde liegen, ist eine bilanzierte Rekonstruktion dargestellt. Unter «bilanzierten Profilen» versteht man solche, in denen alle Schichten in ungefähr gleichem Masse zusammengestaucht sind (zum Beispiel Suppe 1985, Kligfield et al. 1986, Noack 1989, 1995, Philippe et al. 1996). Es ist die einzige Methode, um die Oberflächendaten eingerätschen verlässlich in die Tiefe extrapoliieren zu können.

Für eine rasche Orientierung des Ablaufs der tektonischen Entwicklung mag die Legende zu Fig. 12 dienen. Die Erläuterungen im Text gehen näher auf die oft umständlichen Begründungen ein und erscheinen deshalb im Kleindruck.

### Zur Methodik der kinematischen Analyse

Verfaltete oder sonstwie aus ihrer ursprünglichen Lage verfrachtete Schichtfolgen müssen «zurückgeglättet» oder «retrodeformiert» werden, wenn man die Bedeutung der Deformationen erkennen will. Anderseits ersieht man aus der Umkehrung dieser Rückglättung den Deformationsvorgang, die «Kinematik», der die Schichtfolge unterworfen wurde. Rückglattungen sind stets eine schwierige Aufgabe, da auch die gewissenhafteste geologische Aufnahme Lücken und Unsicherheiten aufweist. Man ist gezwungen, die zur Verfügung stehenden Daten zu einem mehr oder weniger plausiblen Idealbild oder «Modell» zu ergänzen. Diesem Zwecke dient vor allem der Ansatz der Profil-Bilanzierung. Damit versucht man die ideale Vorstellung zu verwirklichen, dass bei der Deformation sowohl die Länge der Schichtflächen wie auch das Volumen (im Profil der Flächeninhalt) des Schichtpakets erhalten bleiben. Dies trifft nur dann zu, wenn die Dichte nicht verändert und kein Material aus dem Schichtpaket herausgelöst und wegtransportiert wird (Materialbilanz) und wenn die Verfaltung ausschliesslich durch schichtparalleles Gleiten erzeugt wird. Ausserdem muss das Profil in der Richtung der tektonischen Bewegung liegen. In dieser Reinheit ist das Ideal nie verwirklicht, und man muss diese allzu einschränkenden Bedingungen immer etwas lockern. Vor allem dürfen leicht deformierbare Gesteine wie Tone, Mergel oder Evaporite so deformiert werden, dass nur der Flächeninhalt, nicht aber die Schichtlängen erhalten bleiben.

Die empirische Grundlage für den Ansatz der Bilanzierung liegt in der Beobachtung, dass in den

obersten paar Kilometern der Erdkruste schichtparalleles Gleiten der dominierende Mechanismus der Faltenbildung ist. Das beruht darauf, dass in diesem sog. «Sprödbereich» der Reibungswiderstand auf den Schichtflächen am geringsten ist.

Die Beobachtung zeigt überdies, dass im Sprödbereich Faltung in der Regel verknüpft ist mit Überschiebungen. Diese folgen einer Scherfuge, die aus schichtparallelen Segmenten sowie die Schichten unter einem Winkel von 20 bis 30° schneidenden Rampensegmenten zusammengesetzt ist. Beim Überschiebungsvorgang der Hangendscholle über eine starr bleibende Liegendscholle verbiegen sich die Schichten zu «fault-bend folds» (zum Beispiel Suppe 1985). Diese Art der Faltung wurde schon von Buxtorf (1916) für die Anfangsphase der Grenchenberg-Verfaltung vorgeschlagen, allerdings ohne genaue geometrische Analyse. Sie ist seitdem als weit verbreitete Deformationsart in Faltensträngen weltweit und insbesondere im Jura erkannt worden.

Die Bilanzierung von Profilen ist die wirksamste Methode, um aus zerstreuten Beobachtungsdaten eine zusammenhängende, geologisch plausible Gesamtgestalt zu interpolieren und extrapoliieren. Man muss dabei, wie erwähnt, die starren Bedingungen gewöhnlich etwas lockern, um den Beobachtungen gerecht zu werden. Das erfordert viele zeitraubende Versuche (Methode der Annäherung durch Versuch und Irrtum). Deshalb ist eine ganze Reihe von Computerprogrammen entwickelt worden, um das Vorgehen zu erleichtern. Für die Konstruktion von Abb. 12 wurde das Programm «Geosec» (zum Beispiel Kligfield et al. 1986) verwendet. Dieses erlaubt es, einzelne Areale eines Schichtstosses als «Komponenten» zu definieren und nach den Regeln der Bilanzierung zu deformieren.

In der Praxis versucht man zunächst, einfache Komponenten eines probeweisen Profils in die undeformierte Lage zurückzuglätteten und zu entscheiden, ob das Resultat eine vertretbare Möglichkeit darstellt. Mit «Versuch und Irrtum» variiert man dann das Profil, bis dies der Fall ist. Offensichtlich bleibt also etlicher Spielraum für das Urteil des Konstrukteurs. Das ist auch gut so, weil die vielen Lücken, Unsicherheiten und Fehler im ursprünglichen Datensatz wie auch der idealisierende Ansatz der Methode allzugrosse Genauigkeit und Determiniertheit nicht zulassen. Trotz alledem erlaubt es die geschilderte Methode, nachvollziehbare kinematische Modelle herzustellen.

Wie gross der Extrapolationsschritt ist von den Oberflächendaten bis zum bilanzierten, bis ins Grundgebirge reichenden Profil, geht hervor aus einem Vergleich der Abb. 10 und 12.

Bei der Konstruktion von Juraprofilen, also auch von Abb. 12, gilt es zunächst, die Lage des nicht an der Faltung beteiligten Grundgebirges zu definieren. In Abb. 12 betrifft dies vor allem die Lage der älteren Flexuren und des regionalen Südfallens (Abb. 12b, c).

Die Gestalt dieser Flexuren ist i.a. schlecht bekannt. Die beste Information gewinnt man aus den Aufschlüssen im Bereich der Hornflexur (Abb. 5, 6, 9). Diese dürfte allerdings bei der Jurafaltung noch etwas deformiert worden sein, da auf den seismischen Profilen der NAGRA geringere Fallwerte und überdies kleinere Brüche angedeutet sind (Laubscher 1986), und so ist auf Abb. 12 eine schematische Neigung von  $30^\circ$  angenommen. Was die Lage der Hornflexur in der Tiefe betrifft, so ist auf Abb. 6 schon eine versuchsweise Rückglättung (Rückrotation) ausgeführt. Diese Rückrotation stellt eine Bewegung aus der Profilebene von Abb. 12 heraus dar. Rotationen um vertikale Achsen sind deshalb auf Profilen nicht darstellbar, ihre Bedeutung muss auf Karten abgelesen werden. Auf Abb. 12 wurde deshalb für die Lokalisierung der Hornflexur unter den Überschiebungen die rückrotierte Lage nach Abb. 6 verwendet.

Der schematisch eingezeichnete Wildensteingraben (Abb. 12b) ist nach den folgenden Kriterien gestaltet: Das Einfallen der randlichen Verwerfungen dieser Gräben ist selten messbar, doch lässt sich an einigen Stellen ein Winkel von  $50\text{--}60^\circ$  feststellen. Die randlichen Verwerfungen scheinen in mehreren Fällen zu konvergieren, bevor sie das Grundgebirge erreichen. Es lässt sich deshalb eine Abscherung in den Evaporiten des mittleren Muschelkalks vermuten. Diese dürfte allerdings begrenzt sein, da auch leichte Versetzungen des Grundgebirges vorzuliegen scheinen. Da das Profil die Gräben schief schneidet, verringert sich der dargestellte Einfallswinkel auf etwa  $40^\circ$ . Im schräg schraffierten Bereich sowie im Innern des Grabens sind kleinere zusätzliche Störungen zu erwarten; diese sind aber nicht projizierbar und deshalb in der schematischen Darstellung weggelassen. Ausser Zweifel ist aber, dass unter den später bewegten Schichten des Faltenjuras (Abb. 12 d-f) solche Gräben vorausgesetzt werden müssen. Was das durchschnittliche regionale Einfallen des Autochthons unter dem Faltenjura betrifft, so gelangt man durch Abschätzungen im Tafeljura auf etwa  $2^\circ$ . Dieses regionale Einfallen wird unterbrochen durch die Flexuren, wobei die Lage und Bedeutung der Landsbergflexur nach der Lage der Synklinale von Waldenburg (SW auf Abb. 12f) geschätzt wurde.

Damit sind die wichtigsten Rahmenbedingungen festgelegt, und die kinematische Modellierung der dünnhäutigen Jurafaltung kann versucht werden. In Abb. 12d wird die auf 2.5 km geschätzte ältere Chastelenüberschiebung gezeigt, auf Abb. 12e folgt die jüngere Titterten-Überschiebung. Auf ihr wird die Scholle der Chastelenüberschiebung (Chastelenscholle) passiv verfrachtet und verbogen. Man bemerkt, dass die Titterten-Überschiebung in der Tiefe «in sequence» ist, dass aber ihre Rampe den flachen Teil der Chastelen-Überschiebung schneidet und deshalb an der Oberfläche «out of sequence» ist.

Nicht in die bilanzierte Konstruktion einbezogen wurde die ältere Muschelkalk-Schuppenzone. Sie

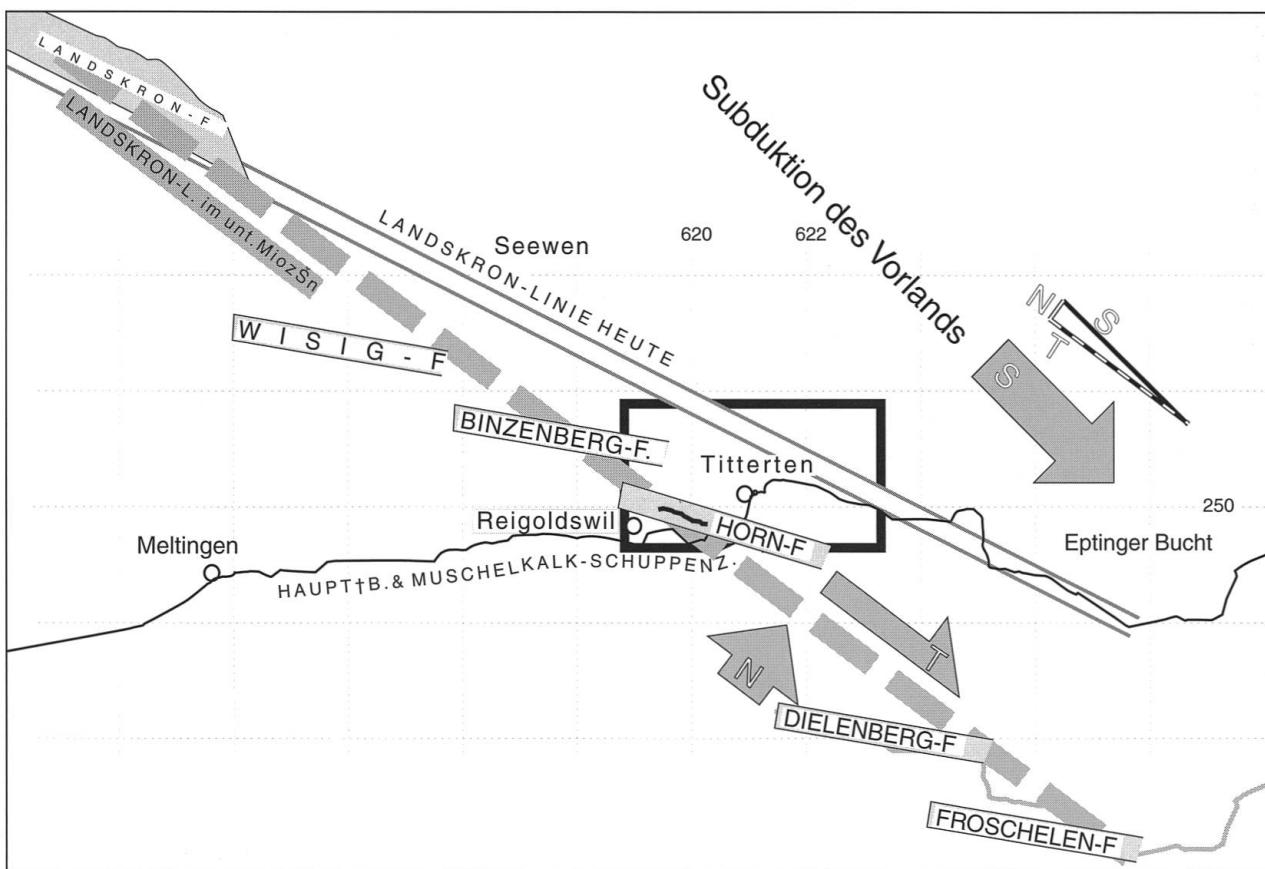
wurde von Westen in das Profil hineinprojiziert. Auch wurde die Konstruktion mit der Titterten-Überschiebung abgebrochen. Die aufwendige Versuch-Irrtum-Prozedur hätte kaum wesentliche neue Erkenntnisse gebracht, die über die aus den Abb. 8-11 hervorgehenden hinausgeführt hätten.

Die Konstruktion der kinematischen Profilserie Abb. 12 hat sowohl eine wissenschaftliche («Was lässt sich aus einem begrenzten Datensatz nach welchen Ansätzen herauslesen?») als auch eine praktische Bedeutung («Wenn ich in diesem Gebiet eine Bohrung abteufen oder einen Tunnel bauen will, was muss ich gewärtigen?»).

### Eine Zusammenfassung regionaler Aspekte (Abb. 13)

Wie eingangs bemerkt, weisen die Besonderheiten der Geologie von Titterten auf verschiedene regionale Einflüsse hin. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die «Landskron-Linie» (Abb. 3, 12). Unter «Linie» versteht man eine etwas unscharfe, mehr oder weniger lineare Anordnung von Einzelstrukturen. So verbindet die Landskron-Linie die Landskron-Flexur am Südrand des Rheingrabens mit der Randüberschiebung der MKS in der «Eptinger Bucht» (Abb. 3). Zudem fällt auf, dass an der Landskron-Linie ungefähr die Ostenden der Wisigfalte, der Rechtenberg-Überschiebung (vgl. Laubscher 1995) und der Überschiebungen von Titterten liegen. Alle diese Strukturen weisen eine Abnahme der Verkürzungsbeträge von West nach Ost auf und zeigen damit dextrale Rotationen längs der Landskron-Linie an. Auch die ungefähre en-échelon-Anordnung der Strukturen an der Landskron-Linie lässt dextrale Scherung vermuten.

Eine etwas klarere Einsicht in die Bedeutung der Landskron-Linie gewinnt man, wenn man die verschiedenen Überschiebungen und Falten wieder nach Süden ausglättet, wie dies zum Beispiel auf den Profilen Abb. 12 schätzungsweise ausgeführt ist. Dann nimmt die Landskron-Linie eine etwas ausgeprätere SE-Richtung an, und man erhält für die Zeit der Flexurbildung einen noch ausgeprägter dextral gestaffelten Gürtel von Flexur-Elementen. Überdies gesellen sich zu den genannten noch mutmassliche Elemente, die in der Muschelkalk-Schuppenzone



**Abb. 13:** Der Gürtel von gestaffelten («en-échelon») Flexurelementen, der vermutlich der heutigen «Landskron-Linie» (siehe Abb. 3) zugrunde liegt. S = Subduktionsschritt des Vorlands, N = Normalkomponente, T = Tangential- oder Scherkomponente.

aufreten, nämlich die postulierten Flexuren von Dielenberg und Froschelen (Abb. 13).

Solche «en échelon»-Anordnungen entstehen an schief zu einem Zusammenschub gerichteten Hindernissen. Im Falle der Landskron-Linie scheint eine gegen NW gerichtete Zusammenpressung beziehungsweise eine gegen SE gerichtete Subduktion des Vorlands an einer vielleicht im Paläozoikum vorgebildeten Struktur gewirkt zu haben. Dabei wurde nach diesen Überlegungen der Schub in Komponenten zerlegt («strain partitioning»), und zwar in eine Normal- oder Kompressions-Komponente senkrecht zur Linie und eine dextrale (im Uhrzeigersinn wirkende) Tangential- oder Scher-Komponente parallel zur Linie. Dieser Beanspruchungsplan passt sehr gut in die Lage des Alpenvorlands zur Zeit der Flexurbildung im unteren Miozän. Sie fällt nämlich

zusammen mit der Bildung der Helvetischen Decken in den Alpen und der untermiozänen Ausgestaltung des voralpinen Molassebeckens (Laubscher 2001a). Die exakte Richtung der Subduktion ist allerdings nicht bekannt. Sie könnte auch etwas mehr süd-südöstlich verlaufen sein, womit die Normalkomponente etwas bedeutender gewesen wäre.

## Geologie und Landschaft

Schlecht zurückwitternde Schichten wie die Jurakalke erscheinen bekanntlich im Landschaftsbild als Rippen und Gräte, Steilstufen und Waldbezirke, während tonige Schichten im allgemeinen an weichgeschwungenen Hügeln und an Wiesengelände erkennbar sind. Diese

Regel gilt auch für die Gegend von Titterten. Aber die komplizierte Tektonik hat aus diesen einfachen Landschaftselementen ein zerstückerliches Flickwerk gebastelt. Einer der Reize tektonischer Analyse besteht darin, dass man in dieser Flickendecke die architektonische Gestaltungskraft von Jahrtausenden erkennen kann. Fasst man die mehr regionalen Züge ins Auge, so sind gewiss die Flexuren als Nachwirkungen paläozoischer Grabenstrukturen in erster Linie zu nennen. Sie haben die heute so auffälligen Oberflächengestalten wie die Stufen und Rippen von Horn und Riffenstein verursacht. Die weiteren Schritte bei der Ausgestaltung der Tektonik und damit auch des Landschaftsbildes sind in den Abb. 8, 11 und 12 dargestellt. Als wichtiger Schritt folgte dann die hier nicht diskutierte Hebung des Gebietes seit dem Pliozän (Laubscher 2001a). Damit setzte ein wichtiger Erosionszyklus ein, der die heute sichtbare Verteilung der Gesteine erst herausgegraben hat.

### Schlussbemerkungen

Der Zweck dieses Artikels war es unter anderem, eine Einführung in die Geologie der Gegend von Titterten für den geologisch interessierten Wanderer zu vermitteln. In dieser Gegend lässt sich in fast einmaliger Weise die Entwicklung einer Landschaft aufgrund sich überlagernder tektonischer Ereignisse illustrieren, und zwar in einem unglaublich gedrängten Rahmen. An andern Orten muss man hunderte, ja tausende von Kilometern zurücklegen, um Ähnliches zusammenzutragen. Gleichzeitig lässt sich am Beispiel Titterten etwas zeigen, das ich gerne als «vertiefte Heimatkunde» zu bezeichnen pflege. «Vertieft» in dem Sinne, dass unsere Heimat auch in der Tiefe des geologischen Untergrundes und in der Tiefe der geologischen Zeit verwurzelt ist.

Der geologische Werdegang der Gegend von Titterten ist alles andere als einfach, und um ihn zu verstehen ist eine gewisse Anstrengung unumgänglich. Um diese in einem einigermassen zumutbaren Rahmen zu halten, sind detaillierte Beschreibungen und Begründungen im Kleinruck eingeschoben. Sie sind an den Fachmann

gerichtet und können vom allgemein interessierten Leser übergangen werden.

### Verdankungen

In der Regio Basiliensis tätige Doktoranden des Geologischen Instituts der Universität Basel haben mir wertvolle Hinweise über Aufschlüsse und Literatur gegeben. Von verschiedener Seite habe ich Hilfe erhalten beim Kampf mit den Computern. Das Bundesamt für Wasser und Geologie hat die Feldarbeit mit Entschädigung der Spesen unterstützt. Ihnen allen sei herzlich gedankt.

### Literatur

- Allenbach, R. (2000): Synsedimentary tectonics during the Oxfordian in northern Switzerland. Unpubl. Dissertation Univ. Basel.
- Arthaud, F. & P. Matte (1977): Late Paleozoic strike-slip faulting in southern Europe and northern Africa: Result of a right-lateral shear zone between the Appalachians and the Urals. Bull. Soc. Geol. Amer., 88: 1305–1320.
- Berger, J. P. (1992). Correlative chart of the European Oligocene and Miocene: Applications to the Swiss Molasse Basin. Eclogae geol. Helv. 85, 3: 573–610.
- Bitterli, T. (1992). Die Anwendung der tektonischen Materialbilanz im östlichen Faltenjura. Unpubl. Dissertation Univ. Basel.
- Buxtorf, A. (1901): Geologie der Umgebung von Gelterkinden. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 11.
- Buxtorf, A. (1916): Prognosen und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel und die Bedeutung der letzteren für die Geologie des Juragebirges. Verh. natf. Ges. Basel, 27: 184–254.
- Diebold, P. (1983): Der Permokarbon-Trog der Nordschweiz. Nagra informiert 5/3-4: 19–15.
- Diebold, P. (1990): Die tektonische Entwicklung der Nordschweiz. Nagra informiert 12/2: 47–54.
- Engesser, B., & C. Mödden, 1997: A new version of the Biozonation of the Lower Freshwater Molasse (Oligocene and Agenian) of Switzerland and Savoy on the basis of fossil mammals. Actes du Congrès BiochroM'97, J.-P. Aguilar, S. Legendre & J. Michaux (Eds). Mém. Trav. E.P.H.E., Inst. Montpellier, 21: 475–499.
- Gürler, B., L. Hauber & M. Schwander (1987): Die Geologie der Umgebung von Basel. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 160.
- Hauber, L. (1960): Geologie des Tafel- und Faltenjura

- zwischen Reigoldswil und Eptingen (Kt. Basel-Land). Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 112.
- Kälin, D. (1993): Stratigraphie und Säugetierfaunen der Oberen Süßwassermolasse der Nordschweiz. Unpubl. Dissertation ETH Zürich Nr. 10152.
- Kligfield, R., P. Geiser & J. Geiser (1986): Construction of geologic cross sections using microcomputer systems. *Geobyte* 12: 60–66.
- Koch, R., E. Lehner, A. Waibel & M. Mühlberg (1936): Blätter Laufen, Bretzwil, Erschwil, Mümliswil. Geologischer Atlas der Schweiz, 3. Herausgegeben von der Geologischen Kommission der Schweiz. *Naturf. Ges.*
- Laubscher, H. & T. Noack (1997): The deep structure of the Basel Jura. In: Pfiffner, O. A., P. Lehner, P. Heitzmann, St. Mueller & A. Steck (Editors): Deep structure of the Swiss Alps: results of NFP 20: 54–58. Birkhäuser Verlag, Basel, 380 p.
- Laubscher, H. (1986): The eastern Jura: Relations between thinskinned and basement tectonics, local and regional. *Geol. Rundschau* 73: 535–553.
- Laubscher, H. (1992): Jura kinematics and the Molasse Basin. *Eclogae. geol. Helv.* 85: 653–675.
- Laubscher, H. (1995): Neues zur Geologie der Grenzzone Tafeljura-Faltenjura im Gebiet von Ziefen-Reigoldswil (Baselbieter Jura), *Eclogae Geol. Helv.*, 88: 219–234, 1995.
- Laubscher, H. (1997): The décollement hypothesis of Jura folding after 90 years. *Bull. angew. Geol.* 2: 167–182.
- Laubscher, H. (1998): Der Ostrand des Laufenbeckens und der Knoten von Grellingen: Die verwinkelte Begegnung von Rheingraben und Jura. *Eclogae geol. Helv.* 91: 275–291.
- Laubscher, H. (2001a): Plate interactions at the southern end of the Rhine graben. *Tectonophysics* 343: 1–19.
- Laubscher, H. (2001b): Probleme der Transformation und Reaktivierung alter Strukturen: Die Klus von Thierstein im Jura als Beispiel. *Eclogae Geol. Helv.* 94: 351–362.
- Laubscher, H. (2001c): Die tektonische Bedeutung der durch TRG3 geschaffenen neuen Aufschlüsse auf Landeskartenblatt 1087 Passwang Archäologie und Museum, 43: 37–42.
- Liniger, H. (1970): Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 55 Bonfol, Erläuterungen. 39 pp. Kümmerli & Frey A.G., Bern.
- Meyer, M. (1990): Geologie und Tektonik im Gebiet von Seewen–Himmelried–Bretzwil. Unpubl. Diplomarbeit, Univ. Basel.
- Mühlberg, F. (1914): Geologische Karte des Hauenstein-Gebietes (Waldenburg-Olten) 1:25'000. Spezialkarte Nr. 67, Bern.
- Mühlberg, F. (1915): Erläuterungen zur geologischen Karte des Hauenstein-Gebietes (Waldenburg-Olten) 1:25'000. Spezialkarte Nr. 67, Bern.
- Noack, T. (1989): Computergestützte Modellierung geologischer Strukturen im östlichen Jura; Konstruktion balancierter Profile, Gravimetrie, Refraktionsseismik. Unpubl. Diss. Univ. Basel.
- Noack, T. (1995): Thrust development in the eastern Jura Mountains related to pre-existing extensional structures. *Tectonophysics* 252: 419–431.
- Petit, Ch., M. Campy, J. Chaline & J. Bonvalot (1996): Major paleohydrographic changes in Alpine foreland during the Pliocene-Pleistocene. *Boreas* 25: 131–143.
- Philippe, Y., B. Colletta, E. Deville & A. Mascle (1996): The Jura fold-and-thrust belt: a kinematic model based on map balancing. In Ziegler, P.A., & F. Horvath (Editors), *Peri-Tethys Memoir 2: Structure and prospects of Alpine basins and forelands*. Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, 170: 235–262.
- Schweiz. Geol. Komm., ed. (1980): *Tektonische Karte der Schweiz* 1:500 000.
- Senn, A. (1928): Über die Huppererde von Lausen und das geologische Alter der Zeininger Bruchzone. *Eclogae geol. Helv.* 21: 163–180.
- Sprecher, C. & W. H. Müller (1986): Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Reflexionsseismik 82. Nagra Tech. Ber. 84–15.
- Steinmann, G. (1892): Bemerkungen über die tektonischen Beziehungen zwischen der oberrheinischen Tiefebene zu dem nordschweizerischen Kettenjura. *Berichte d. Naturf. Ges. zu Freiburg i. B.*, VI,4: 150–159.
- Suppe, J. (1985): *Principles of structural geology*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ., 537 pp.
- Wetzel, A., V. Allia, R. Gonzalez & P. Jordan (1993): Sedimentation und Tektonik im Ostjura. *Ecl. Geol. Helv.* 86: 313–332.
- Ziegler, P. A. (1990): *Geological Atlas of western and central Europe*, 2nd Edition. Shell Internationale Petroleum Mij. B. V., and Geological Society, London.

## Eine Exkursion von Titterten nach Reigoldswil

Nach dieser Diskussion der Beziehungen der einzelnen Elemente untereinander sollte die komplexe Geologie der Gegend von Titterten etwas verständlicher sein. Zusammenfassend lässt sie sich anhand einer Exkursion folgendermassen beschreiben (Abb. 2, 7, 9; LK-Blätter 1087, 1088 für die Topografie).

Der Anfang der Exkursion liegt im Dorfkern von Titterten (Punkt 1 auf den Karten Abb. 2, 7). Ungefähr hier verläuft die an dieser Stelle im Detail nicht aufgeschlossene, aber als morphologische Grenze des Wiesengeländes von

Titterten gegenüber den Muschelkalk-Hügeln im Süden des Dorfes leicht erkennbare Überschiebungsfront der Muschelkalk-Schuppenzone (MKS; vgl. Abb. 1, 9, 12). Dieser Malm (Mikrite der Birmenstorfer- und Effingerschichten) ist im nördlichen Teil des Dorfes an Wegrändern und im Aushub von Neubauten zu finden. An der Strasse nach Arboldswil ist zudem noch ein kleiner Rücken von Korallenkalk des Sequans aufgeschlossen. Im Osten dieser Strasse liegt dagegen der grosse Keuperkomplex von Chastelen. Er enthält an verschiedenen Stellen etwas Lias, vermutlich zum Teil in alten Gräben und Halbgräben. Auf älteren Karten ist die Situation zu einfach eingezeichnet, weil erst die TRG3 in diesem verlehmt Gebiet genügende Aufschlüsse geschaffen hat, allerdings leider nur lokal. Der Keuper von Chastelen erstreckt sich auf der Ostseite der Landstrasse bis zur Muschelkalk-Schuppenzone, ohne ein Anzeichen der Malmscholle von Titterten. Diese endet hier augenscheinlich.

Folgt man gegen NW dem Weg zum Hof Chastel, so tritt man am Lonsberg (Punkt 2) in eine Klippe von Keuper über dem Malm von Titterten ein, an deren Sohle sandiger und schwärzlicher mittlerer Keuper erkennbar ist. Die Klippe gehört zum Chastelen-Keuper, sie ist aber mit der out-of-sequence-Überschiebung von Titterten über diesen hinausgehoben worden. Am NE-Hang des Lonsbergs schaut noch etwas Sequan heraus, dessen Dach durch die Klippe des Lonsbergs gebildet wird, während die Basis zur Titterten-Überschiebung gehört.

Die Exkursionsroute folgt weiter dem Weg, der nach Westen abzweigt und gegen die Waldhügel des Horns führt. Zur Linken (S) liegen die ebenfalls bewaldeten Sequanrippen des Malm von Titterten, der offenbar interne Komplikationen aufweist. Diese Komplikationen mögen zum Teil bei der Jurafaltung entstanden sein, doch hat man den Eindruck, die Sequanvorkommen seien in einen verdrehten Tafeljuragaben eingebettet. Zur Rechten liegt Keuper von Chastelen, ebenfalls mit internen Komplikationen, wie die Grabungen für die Transitgasleitung TRG3 gezeigt haben. Solche treten gehäuft auf bei Punkt 4. Sie wa-

ren temporär gut aufgeschlossen im Graben der TRG3. Sie gehören wenigstens teilweise einer sinistralen Verschiebungs- oder Transferzone an (ChE), die auch noch den Dogger der Chastelen-Schuppe (ChS) versetzt. Diese Transferzone begrenzt im Westen den Keuper von Chastelen, vergleiche dazu Abb. 11. Im Nordteil der Chastelen-Schuppe befindet sich die bewaldete Hauptrogenstein-Rippe, gegen S gefolgt von überkipptem und überschobenem Unterem Dogger. Von diesem waren im TRG3-Graben besonders gut aufgeschlossen die fossilführenden Murchisonae-Schichten. Südlich des Weges ist wiederum etwas Keuper zu sehen, allerdings wegen ungenügender Aufschlüsse in nicht genau erkennbarer tektonischer Lage. Ich vermute, dass er – wie auf der Karte dargestellt – zum Hangenden der out-of-sequence-Überschiebung von Titterten gehört, also wie der Lonsberg eine Klippe bildet.

Bei der Profilkonstruktion erweist sich die Chastelen-Schuppe als dünner Span, von dem man auf den ersten Blick vermuten möchte, dass er ein Splitter des Doggers von Horn sei, abgetrennt durch die Transferzone Chastelen-West (ChW). Ich ziehe aber eine etwas kompliziertere Interpretation vor (vergleiche das Blockdiagramm Abb. 11), vor allem, weil die Chastelen-Schuppe ganz anders gebaut ist als der Hauptrogenstein von Horn. Außerdem ist dieser über die Flexur von Horn mit dem Malm von Titterten verbunden, im Gegensatz zum Dogger der Chastelen-Schuppe. Endlich scheint die Chastelen-Schuppe durch die späte Chastelenflue-Überschiebung vom Dogger von Horn abgetrennt zu sein. Nach all diesen Überlegungen ist der Dogger der Chastelen-Schuppe mit dem Dogger der Chastelenflue zu korrelieren, verschoben durch die Transferzone Chastelen-E. Diese ist also vermutlich auch Westbegrenzung der Halbklippe der Chastelenflue, die im Norden erkennbar ist.

Zwischen dem Westende der Chastelen-Schuppe und dem Hauptrogenstein des Horns führt ein enger Wiesenstreifen nach N hinunter gegen die Hangimatt. In diesem Wiesenstreifen wurde, wiederum durch die TRG3, ein Teil der Schuppenzone von Hangimatt aufgeschlossen, die grösstenteils aus Malm besteht, aber noch

etwas oberstes Callovien enthält. Sie ist auf den eigentlichen Tafeljura überschoben, enthält aber noch Grabenstrukturen, in denen Sequan in die älteren Schichten eingelassen ist (W' auf Abb. 5; Abb. 10).

Der Weg führt weiter über die Hornflexur in das Waldgebiet des Horns (Punkt 5). Die Flexur mit teils recht steilem Nordostfallen ist an verschiedenen Stellen gut erkennbar, besonders dort, wo auf den Karten (Abb. 5, 7) Fallzeichen eingesetzt sind.

Vom Horn führen verschiedene Fusswege nach Reigoldswil hinunter. Je nach Wahl kann man die verschiedenen auf der Karte angegebenen Komplikationen in Augenschein nehmen. Besonders interessant ist ein Abstecher zur Ruine Rifenstein. Um sie von Punkt 5 aus zu erreichen, kann man dem gegen SSE führenden Weg folgen, muss dann allerdings ein Stück weglos dem Waldrand entlang gehen, um zu dem von Retschen herführenden Weg zu gelangen (Punkt 6). Südlich von Punkt 6 durchquert man die randliche Abschiebung des südlichen Horngabens oder Rifensteingrabens, welche die Grenze zwischen dem bewaldeten Hauptrogenstein des Horns und dem Wiesengelände aus Unterem Dogger bildet. Auf den Abb. 5 und 6 ist der Rifensteingraben als W" bezeichnet und als überschobener und dextral verdrehter Teil des Wildensteingrabens interpretiert.

Der Untere Dogger ist etwas gegen S rückverschoben. Man erkennt dies daran, dass das Wiesengelände einen Teil der im S folgenden Hauprogenstein-Rippe oben abschneidet.

Südlich von Punkt 6 folgt man der rechts hangauf führenden Abzweigung in den Hauptrogenstein der Ruine Rifenstein (Punkt 7). Zunächst streicht der Hauprogenstein noch etwa E-W, unmittelbar vor der Ruine schwenkt er jedoch in N-S-Richtung um mit senkrecht bis überkipptem Einfallen (Rifenstein-Flexur). Wie dies genau geschieht, ist allerdings nicht erkennbar.

Von Punkt 7 aus folgt man dem Fussweg, der durch schlecht aufgeschlossenen Unterem Dogger rund um die Hauprogensteinfluh von Rifenstein ins Tal hinunter und von dort durch aufschlussloses Wiesengelände nach Reigoldswil führt.

Als Ergänzung empfiehlt sich noch ein Abstecher zu Punkt 8 an der Strasse Reigoldswil-Titterten. Von diesem Punkt aus geniesst man einen ausgezeichneten Einblick in die Rifenstein-Flexur. Auch kann man zwei kleine Hauprogenstein-Klippen auf Callovo-Oxfordian erkennen, die zur Rücküberschiebung von Rifenstein gehören (Abb. 9, 10). Endlich lässt sich von diesem Punkt aus eine Anschaugung der Überlagerung von altem Wildensteingraben (heute Rifensteingraben), jüngerer Rifensteinflexur und noch jüngerer Rücküberschiebung gewinnen.

*Prof. Dr. Hans Laubscher  
Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Basel  
Bernoullistrasse 32  
4056 Basel*