©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Jb. Geol. B.-A.	ISSN 0016-7800	Band **134**	Heft 2	S. 319-328	Wien, Oktober 1991

Überlegungen zur Deckenkinematik im Engadiner Fenster

Von RODERICH MATTMÜLLER*)

Mit 7 Abbildungen und 1 Tabelle

Tirol
Graubünden
Samnaungruppe
Ötztaler Alpen
Silvrettagruppe
Unterengadiner Fenster
penninische Decken
Ötztaldecke
Struktur
Kinematik

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 144, 145, 170, 171, 172

Inhalt

Zusammenfassung 319
Abstract 319
1. Stand der Forschung 320
2. Geländearbeiten und Auswertung 320
3. Mineralstreckung und kinematische Deutung 321
4. Junge Westbewegung? 323
5. Zeitliche Einordnung 326
6. Vergleich mit Paläomagnetik-Daten 327
Literatur 327

Zusammenfassung

Eine intensive Untersuchung der Streckungslineation der tektonischen Einheiten im Mittelabschnitt des Fensters erbrachte Anzeichen dafür, daß die bekannte und in jüngster Zeit neu gewichtete Westbewegung der Ötztaldecke in drei weit auseinanderliegenden Phasen abgelaufen ist:

Die beiden älteren Phasen (mittlere Kreide und Alttertiär) sind nur im Ostalpin selbst bzw. in Reliktstrukturen der höchsten penninischen Einheiten überliefert. Die jüngste Phase (Obermiozän?) beeinflußte offenbar den schon herausgehobenen Dekkenstapel im Osten des Fensters. Dazwischen liegen die großzügig von Nord nach Nordwest schwenkenden Hauptbewegungen, die die tieferen nordpenninischen Einheiten gestapelt und letztlich die Krustenverdickung des nördlichen Astes des Alpenbogens verursacht haben.

Der ermittelte Bewegungspfad stimmt gut mit den paläomagnetischen Auswertungen überein.

Considerations on Nappe Kinematics in the Engadine Window

Abstract

Field investigations on the stretching lineation in all tectonic units of the Engadine Window yielded hints at west-directed movements in three phases:

The oldest of these (mid cretaceous and lower tertiary) are preserved in the highest tectonic units, the Austroalpine and the upper penninic zones. The youngest phase (upper miocene?) seems to have influenced the stretching lineation of the finished tectonic pile in the eastern part of the window. Between them are the foreland-directed motions to north and northwest, that piled up the lower penninic units and that are responsable for crustal thickening of the northern branch of the alpine arc.

The traced path of motion is in good accordance with paleomagnetic findings.

*) Anschrift des Verfassers: RODERICH MATTMÜLLER, Paläontologisches Institut der Universität Tübingen, Sigwartstraße 10, D-7400 Tübingen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

1. Stand der Forschung

Theoretische Grundlage der kinematischen Interpretation in älteren Arbeiten war, daß die Senkrechte zu einer Faltenachse die Kraftrichtung (a) anzeigt. Das stimmte in vielen Fällen, zum Beispiel bei den Großfalten des Helvetikums. Auch im Engadiner Fenster stützten sich die Ansätze zur Auflösung der Kinematik anfangs auf die Faltenachsen, z.B. THUM (1966, S. 14):

„ ... Das Kristallin der Silvretta- und der Ötztalermasse ist von S nach N überschoben. Die Bewegung ist in alten E-W-Achsen noch abgebildet. Eine jüngere NE-SW streichende Achsenrichtung zeigt einen später erfolgten Vorstoß des Ötztaler Kristallins in NW-Richtung an (Schliniger Überschiebung, W. HAMMER 1923 ..), der, wie das auch W. MEDWENITSCH 1954 schon ausdrückte, durch den Vorstoß des Dinaridenkopfes bedingt war. ... "

Die vielen verschiedenen Achsenorientierungen der Kleinfalten, die im Engadiner Fenster in Wirklichkeit rund um die Windrose gehen, konnten so jedoch nicht überzeugend interpretiert werden. Entsprechend sind diese Arbeiten oft von einer Verwunderung über die dem Zuschnitt des Fensters selbst und dem großen tektonischen Rahmen nicht angepaßten Achsenrichtungen gekennzeichnet.

Inzwischen wurde bekannt, daß die Achsenrichtung meist nur anfangs senkrecht zur Kraftrichtung steht und sich mit zunehmender Verformung der a-Richtung nähern kann (verschiedene Arbeiten, v.a. SANDERSON 1973).

Zur Deckenkinematik im engeren Sinn wurden im Fenster und seiner Umrahmung bisher nur wenige Forschungen betrieben, so von THÖNI (1980) an der Basis der Ötztaldecke, von FRISCH im östlichen Teil des Fensters (RING et al., 1988, 1989) und von RING (1989) in dessen Westteil.

THÖNI kommt zu dem Ergebnis, daß die Schlinigüberschiebung und damit die Ötztaldecke eine mehrphasige Bewegungsgeschichte erlebt haben muß: Auf rd. 90 MJ datierte Mylonite markieren den ältesten Abschnitt. Die Hauptphase wird als alttertiäre Westbewegung im Gefolge eines NW-Schubes der Silvrettadecke aufgefaßt und junge Nachbewegungen im Jungtertiär vermutet.

Das von FRISCH und RING entwickelte Modell geht aus von einer ältesten WSW-Bewegung und nachfolgendem Umschwenken der Schubrichtung über NW nach NE. Das Modell sollte für alle Zonen gelten; so wurden zum Beispiel die Spuren der Westbewegungen in der tiefsten Einheit, der Pfundser Zone, denen in der höchsten, der Aroser Zone gleichgesetzt und beide der auf rund 90 MJ datierten „Schliniger" Bewegung der Ötztaldecke zugeordnet (Abb. 2).

Dieses Modell ging zwar auch in umfassendere Arbeiten ein, z.B. RATSCHBACHER et al. (1989), widersprach allerdings unter anderem den schon vorher bekannten Fossildatierungen, die das Fortdauern der Sedimentation in der Pfundser Zone mindestens bis ins Maastricht (TORRICELLI, 1956), sowie in der Fimberzone bis ins Untereozän belegten (RUDOLPH, 1979, 1982; OBERHAUSER 1983). In RING et al. (1989) wird das Modell schließlich dementsprechend abgewandelt: Der Bereich der im Fenster aufgeschlossenen Einheiten soll bei anhaltender Westbewegung erst nach dem Untereozän erreicht worden sein.

2. Geländearbeiten und Auswertung

Ansatz zur Entschlüsselung der Kinematik war die Vorstellung, daß Unterschiede in der Transportrichtung in verschiedenen Stockwerken des Fensters möglicherweise sehr klein sein könnten. Deshalb wurde zunächst ein engeres Arbeitsgebiet im Zentrum ausgewählt, in dem dann über mehrere Geländesommer hinweg möglichst viele Strukturdaten bei großer Aufschlußdichte

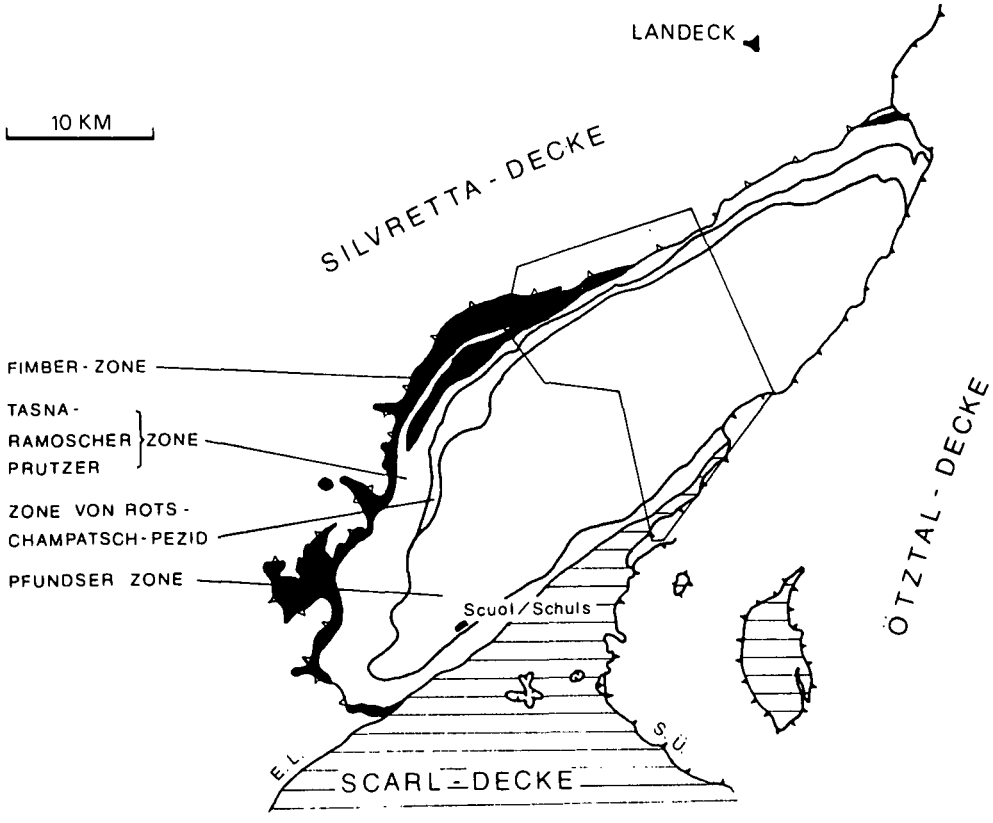


Abb. 1.
Baueinheiten im Engadiner Fenster, vereinfacht nach OBERHAUSER (1982).
Die Aroser Zone ist hier nicht auskartiert, sondern als höchste Einheit in der Fimberzone enthalten.
Vieleck = Umriß des engeren Arbeitsgebiets. E.L. = Engadiner Linie, S.Ü. = Schlinig-Überschiebung.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

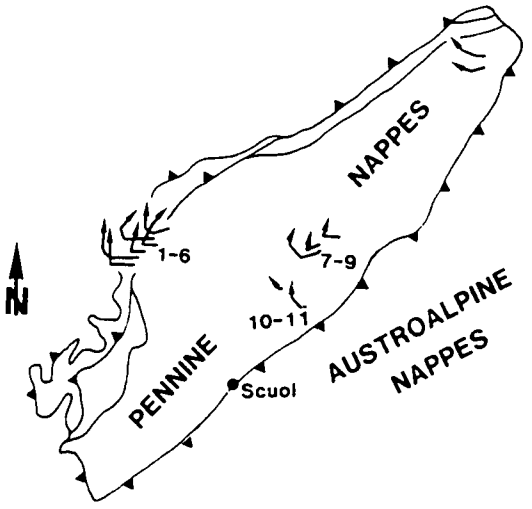


Abb. 2.
Streckungsinkremente als kinematischer Pfad im Engadiner Fenster nach RING et al. (1989).

gemessen wurden (Abb. 1). Diese Taktik kam dann auch anderen strukturellen Untersuchungen, z.B. der Frage des Deckenbaues, zugute (Veröffentlichung im Jb. Geol. B.-A. in Vorbereitung).

Zur Auswertung wurde das vektorielle Mittel aller vergleichbaren Meßwerte eines „Karten-Aufschlusses" mit dem Programm TXS (W. MAILÄNDER, Tübingen) berechnet und als Kennwert in der Karte dargestellt. Als Karten-Aufschluß wird das vom Maßstab abhängige Gebiet bezeichnet, das von einem Struktursymbol belegt wird. Z.B. belegt ein Struktursymbol von 4 mm Länge bei einem Darstellungsmaßstab von 1 : 25 000 ein Gebiet von 100 m Durchmesser. Alle Werte aus diesem Bereich werden nun in dem Symbol zusammengefaßt. Entsprechend werden beim 12 mal kleineren Maßstab 1 : 300.000 alle vergleichbaren Werte eines Gebiets von 1200 m Durchmesser gemittelt.

Die Vorteile dieses Verfahrens gegenüber der vielfach üblichen Darstellung eines einzigen Meßwertes für jeden Aufschluß oder gar gegenüber dem Zusammentragen aller Werte aus einer Schicht oder Decke in ein einziges Diagramm sind klar:

1. mitteln sich die durch jüngere Bewegungen verursachten örtlichen Abweichungen heraus,
2. behält man die räumliche Verteilungsinformation.

Auf diese Weise bekommt man ein ziemlich klares Strukturbild. Man kann das mit dem in der Seismik üblichen Stapeln von Signalen vergleichen, bei dem das konsistente Signal aus dem Grundrauschen herausgefiltert wird. In vielen Fällen richteten sich die Kennwerte benachbarter Aufschlüsse – gleich ob von Flächen oder Linearen stammend – schon bei Einbeziehung von 5 Messungen je Aufschluß parallel, wogegen sie bei Anwendung der „Ein Aufschluß – ein Meßwert-Methode" noch 20°–30° voneinander abwichen, wobei die eigentlichen Trends völlig im „Grundrauschen" der chaotischen Nachbewegungen durch Einengung, Dehnung, Setzung und isostatischen Ausgleich untergegangen wären. Das bedeutet bei den geringen Änderungen der Richtung der Streckungslineation in den verschiedenen Stockwerken des Fensters, daß sie mit dieser Methode ganz einfach nicht erkannt werden können, wogegen die mit der Stapelmethode gewonnenen Richtungen eine Bedeutung haben und prinzipiell interpretierbar sind.

3. Mineralstreckung und kinematische Deutung

Aus einem Datenbestand von über 800 Messungen wurden die Kennwerte für die Streckungslineation im Arbeitsgebiet berechnet, wobei sich die Messungen meist auf Kalzitkristalle auf den Gesteinsoberflächen beziehen, die für Änderungen der Scherrichtung extrem empfindlich sind. Das heißt, daß die Streckungsrichtung mit der letzten Scherrichtung nahezu identisch sein muß. Abb. 3 zeigt die Verteilung der Streckungslineation im engeren Arbeitsgebiet, außerdem die Gewölbeachse und die Haupt-Mylonitzonen. Im folgenden Text werden die einzelnen Abschnitte des kinematischen Pfades der Übersicht halber mit einer Numerierung mittels eingeklammerter römischer Zahlen versehen:

Nach allgemeinen plattentektonischen Vorstellungen für die Alpen sind die höchsten Decken von den ältesten Bewegungen betroffen. Das ist zwar nicht lückenlos für jede Decke bewiesen, jedoch weisen das Ende der Sedimentation von den höheren zu den tieferen Baueinheiten sowie die Alter der Flysche einen in diesem Sinn eindeutigen Trend auf. Auch der kinematische Ablauf im Engadiner Fenster zeigt einen eindeutigen Trend: Die Richtungen der Streckungslineation der einzelnen Schuppenzonen passen sozusagen aneinander und ergeben zusammen einen nach Nordosten gekrümmten, bogenförmigen Bewegungspfad, der es wahrscheinlich macht, daß die Baueinheiten des Fensters in der oben genannten Reihenfolge gestapelt wurden. In der Karte weist die Wölbung des Bogens allerdings nach Südwest, was durch die Lage des „Aufschlusses" Engadiner Fenster bedingt ist.

Somit müssen die am Rand des Silvrettakristallins gefundenen WSW–ENE-Streckungen (IV) als Ergebnisse der ältesten tektonischen Bewegungen gedeutet werden, soweit sie sich aus einer mineralischen Streckungslineation ableiten lassen. Scherindikatoren wurden nicht gefunden.

Dagegen konnte in allen tieferen Einheiten die Streckungslineation eindeutig mit Scherindikatoren verknüpft werden. Es zeigt sich, daß die finale Richtung der Lineation innerhalb jeder Schuppenzone gleich bleibt: Der genannte Bogen beginnt mit einer in den Schuppen der Aroser Zone überlieferten NNE-Bewegung (V) und endet in der Pfundser Zone mit einer NW-Bewegung (VII). Dadurch wird sehr schön abgebildet, wie die Baueinheiten des Engadiner Gewölbes nacheinander überschoben und tektonisiert wurden, wobei sich die finalen Scherrichtungen in den einzelnen Schuppenzonen in kleinen Sprüngen änderten. Offenbar tektonisierte die höhere Einheit jeweils die tiefere und behielt ihre eigene, ältere Struktur weitgehend bei. Dem entspricht die mehrfach vorgefundene Asymmetrie der Scherzonen im Fenster, wobei stets stark verformte Gesteine der tieferen Einheit an weniger stark verformte Gesteine der höheren Einheit stoßen und die Verformung der höheren Decke nach oben hin wieder ansteigt. Diese Sachverhalte sollen mit weiteren Strukturuntersuchungen in einer eigenen Veröffentlichung behandelt werden.

Die in der Aroser Zone gefundene NNE-Streckungslineation (V) läßt sich mit einer Boudinage korrelieren, die vor allem in Sandsteinbänken in Form von fasergefüllten Dehnungsrissen auftritt. Durch verschiedene Rißgenerationen entstehen „Schokoladentafeln" (cho-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

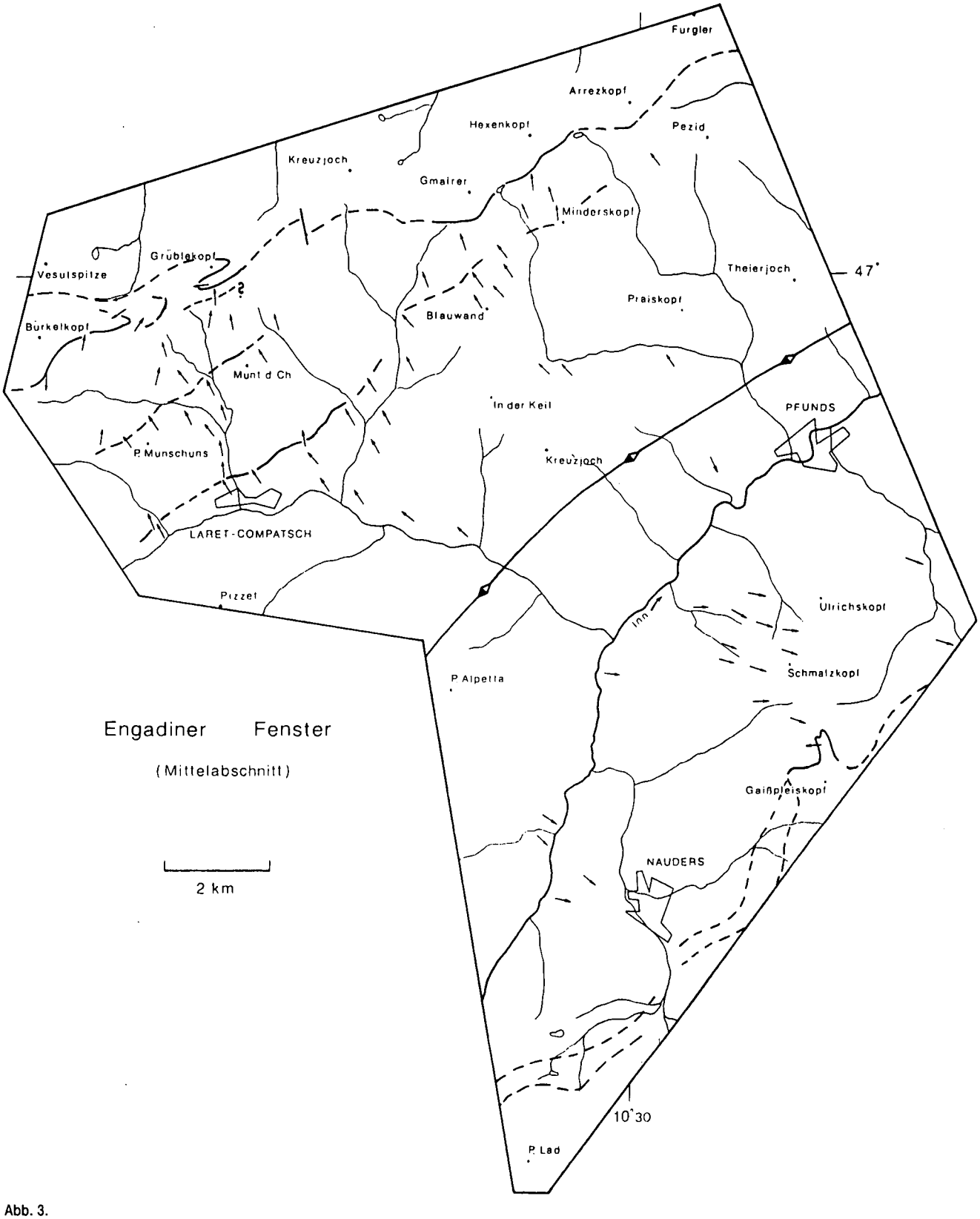


Abb. 3.
Richtungen der mineralischen Streckungslineation, Mylonitzonen und Gewölbeachse im engeren Arbeitsgebiet.
Mylonitzonen sind nur soweit eingetragen, wie im Gelände gefunden.

colate tablet boudinage; RAMSAY & HUBER, 1983), deren Auswertung grundsätzlich dieselbe kinematische Folge ergibt, wie die oben ausgeführte Interpretation der Streckungslineation (Abb. 4). Um Verwechslungen gleichgerichteter Riss-Systeme verschiedenen Alters und in verschiedenen Aufschlüssen zu vermeiden, orientiert man sich dabei an der meist erkennbaren und regional konstanten Hauptboudinage. Trotzdem bleibt die Korrelation in einigen Fällen gewagt, da die Ausbildung der Risse je nach den örtlichen Umständen sehr unterschiedlich ist und teilweise oder sogar ganz unterdrückt oder um Zwischenstadien vermehrt ist.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

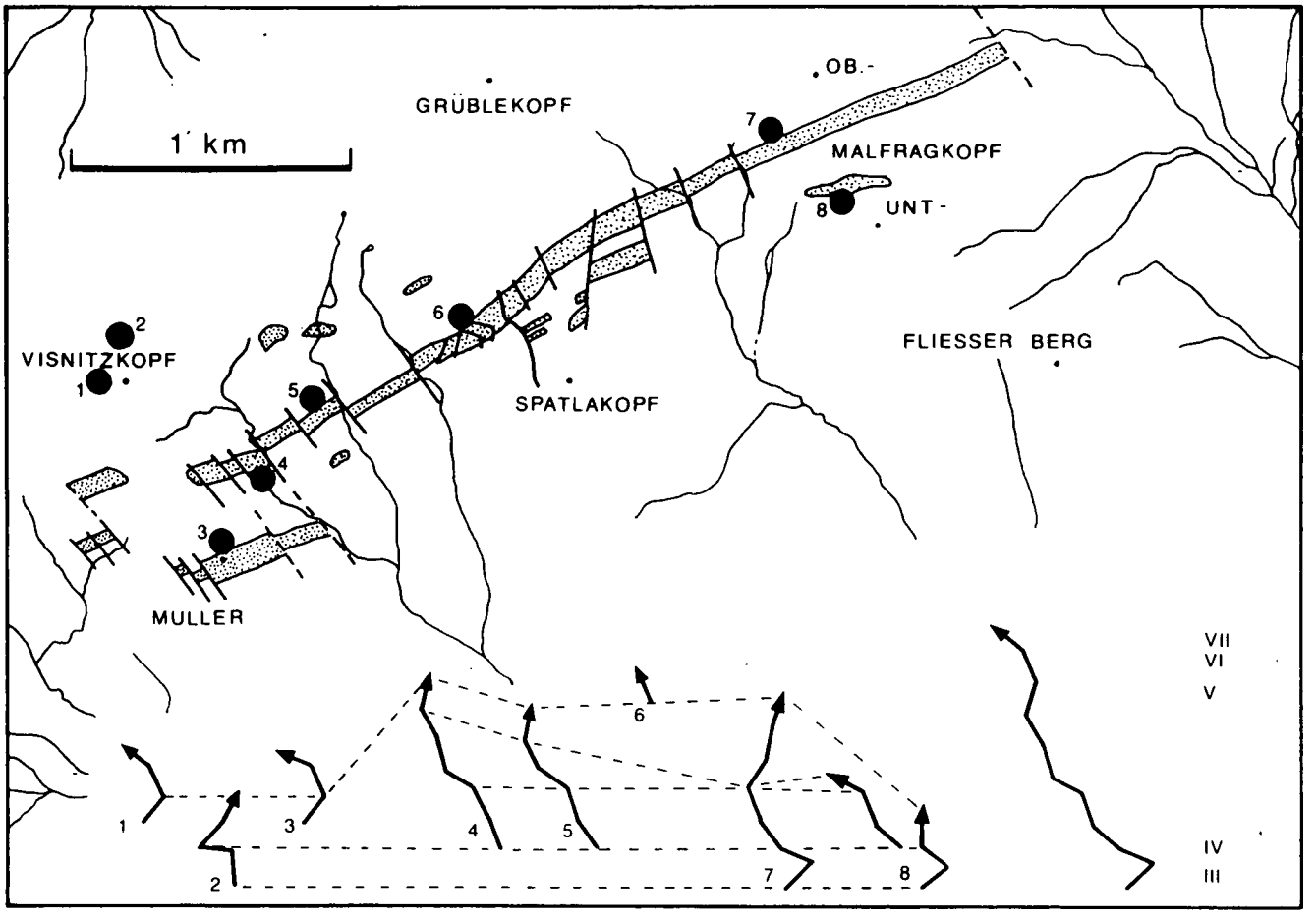


Abb. 4.
Ableitung des Bewegungspfades von Schokoladetafeln im Steinsberger Lias (3–8) und in Flysch-Sandsteinen (1+2).
Punktiert = Steinsberger Lias. Rechts eine Zusammensetzung der einzelnen Abschnitte mit Numerierung.

Die Auswertung setzt voraus, daß die Dehnungen i.a. auf Scherbewegungen in nördliche und westliche Richtungen zurückgehen. Interessant ist, daß vor der NNE-Richtung noch mindestens zwei ältere Bewegungsrichtungen in den kinematischen Pfad eingefügt werden können: Der oben an den Anfang gestellten (finiten!) WSW-Streckung (IV), die in den Gesteinen der Silvrettadecke und deren unmittelbarer Unterlage auftritt, scheint eine in den Rissen überlieferte WNW-Streckung zu entsprechen; selten sind außerdem Hinweise auf eine noch ältere Streckung in nordsüdlicher Richtung (III) erhalten.

Im Vergleich zur Interpretation der mineralischen Streckungslineation ist der Wechsel von der WNW- zur NNE-Richtung (zwischen IV und V) durch verschiedene Übergänge gemildert, so daß wieder ein Bogen entsteht, dessen Wölbung sich diesmal nach Westen richtet. Der Unterschied beruht darauf, daß die Risse beliebige Stadien des Bewegungsablaufs überliefern können, gestreckte Kristalle dagegen nur relative Endstadien.

4. Junge Westbewegung?

Die Mylonitzonen NW der Gewölbeachse umgrenzen Gebiete, die bezüglich der Streckungslineation fast homogen sind. Nur in der Pfundser Zone erscheint SE des Inns eine zweite, westnordwestliche Scherrichtung. Auf den ersten Blick scheint sie den oben genannten Bogen fortzusetzen, es sei jedoch daran erinnert, daß der Bogen durch das Aneinanderfügen der Streckungsrichtungen immer tieferer Schuppenzonen zustandekam. Jenseits der Gewölbeachse gelangt man aber wieder in höhere Stockwerke der Pfundser Zone, die eine NW-Streckung zeigen müßten, wie das in der Gegend von Schuls auch der Fall ist (Abb. 5). Die nach NW weisende Streckungslineation ist also durch die WNW-weisende überprägt – umgekehrt kann es nicht sein, weil die Bewegung den Scherindikatoren nach eindeutig ist. Denselben Zusammenhang ergeben Schokoladentafeln, z.B. am Saderer Joch. Die WNW-weisenden Bewegungszeiger gehören also zur jüngsten im Fenster feststellbaren Deckenbewegung (IX) und gehören eindeutig nicht zu den Westbewegungen der höheren Zonen. Sie sind im Ostteil des Fensters weit verbreitet und beziehen sich nach ihrer Verteilung offenbar auf die Ötztaldecke. Das wird im Überblick des ganzen Fensters besonders deutlich (Abb. 5).

Die im Osten ebenfalls auftretende WSW-Richtung bildet keine eigene Bewegungsphase ab. Sie ist an weniger geplättete Gesteine der tieferen Stockwerke und die nach Nordosten abtauchende Wölbungsachse gebunden. Entsprechende Korrekturen auf dem Schmidt-'schen Netz drehen die WSW-Richtung nach „flach" WNW, während die „steilen" WNW-Richtungen vor dem Rand der Ötztaldecke „flacher" werden. Damit sind die abweichenden Scherrichtungen in der NE-Ecke des

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

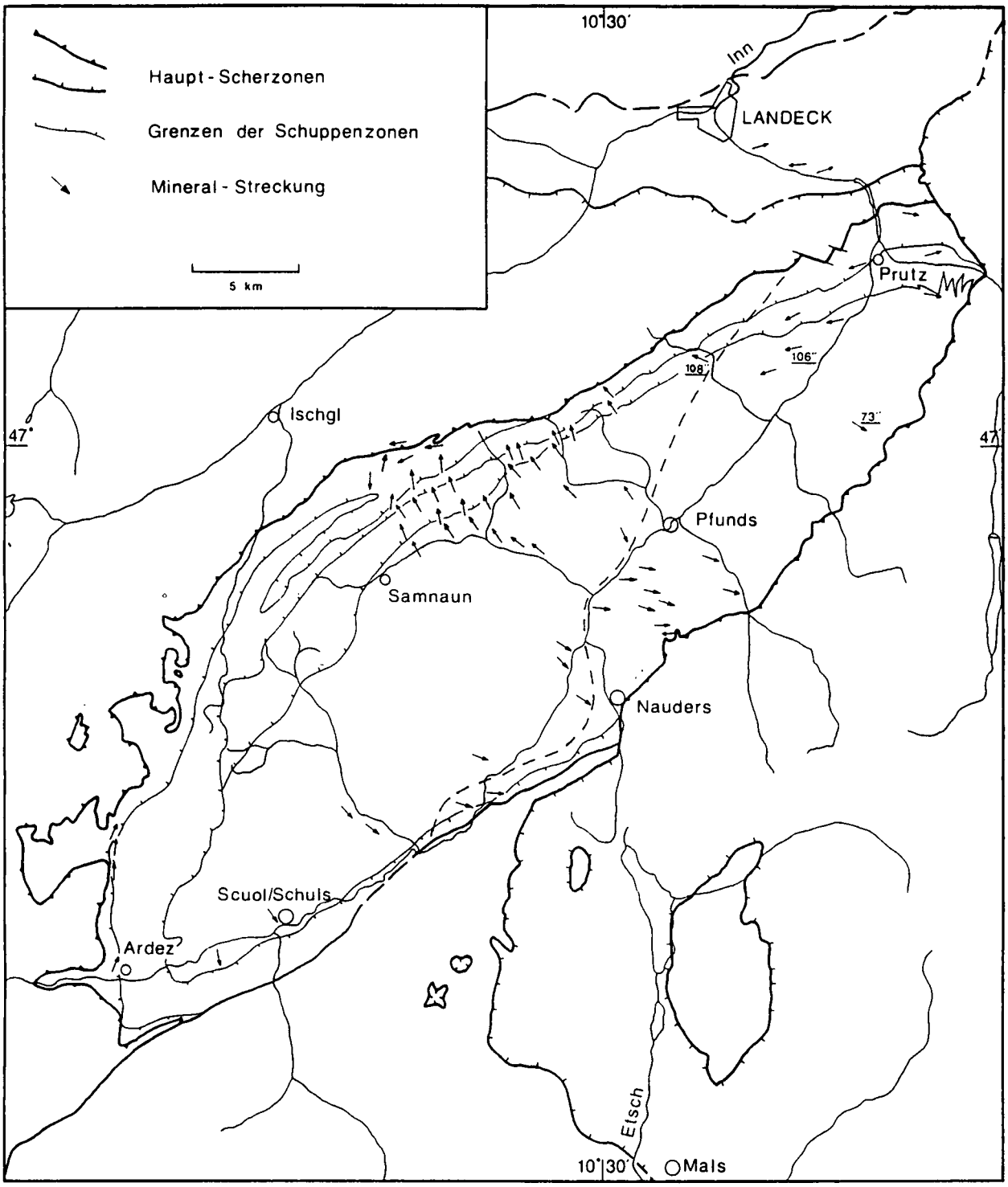


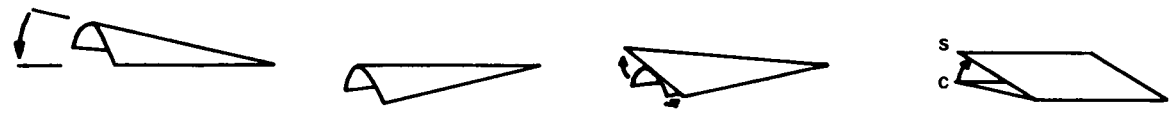
Abb. 5.
Streckungslineation im Engadiner Fenster.
Die Strichellinie trennt einen Bereich finiter WNW-Streckung ab, der mit der ehemaligen Ausdehnung der Ötztaldecke identisch ist. Aufschlußnummern beziehen sich auf Tab. 1.

Fensters auf die WNW-Richtung zurückgeführt. Die „flach" nach NW weisende Streckungslineation vor dem Rand der Silvrettadecke wird dagegen steiler und gleicht sich dem allgemeinen Bild in der Pfundser Zone an. Diese 3 Fälle sind in Tab. 1 dargestellt.

ESE–WNW-orientierte Streckungen findet man nicht nur in der Pfundser Zone, sondern in allen Einheiten jeweils vor dem heutigen Erosionsrand der Ötztaldecke, so in der Pezid Zone und der Prutzer Zone. Das bedeutet, daß sich dieses Strukturelement auf die heutige Anordnung der Decken bezieht. War das Deckengebäude also schon fertig, als diese Einheiten ihre heutige Prägung erhielten? Zur Erklärung des o.a. Sachverhalts wird eine Bewegung nach (!) der erosiven Zerstörung des ostalpinen Daches vorgeschlagen, da die Silvretta-Scarl-Decke und die höheren penninischen Einheiten, wären sie noch darauf gelegen, die tieferen Einheiten vor der Überprägung geschützt hätten. Das

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Tabelle 1.
Beispiele für die Korrektur von Meßwerten.
Lage der Aufschlüsse: siehe Abb. 5.



Karten-Aufschl.	s2	l_{str}	sc-Winkel*	Drehung um horizontierte Wölbungsachse (≈ 56/14) bis c auf der Achse liegt.	Drehwinkel (gesamt)	s2,korr.	l_{str},korr.
73''	116/24	122/23	15°		5°	155/15	118/13
106''	314/67	258/28	15°		85°	195/21	102/16
108''	354/49	293/32	0°		43°	54/10**	128/01

* Annahme aufgrund von Messungen in benachbarten Aufschlüssen. ** ideal: -/0

heißt, die Ötztaldecke überfuhr, vielleicht im Obermiozän, ein schon damals bestehendes, älteres Fenster, dessen Ränder etwas weiter östlich gelegen waren.

Ein weiteres Argument dafür ist vor allen Dingen das tektonische Linienmuster am heutigen Fensterrand (vgl. Abb. 1, Abb. 5): Unter der Ötztaldecke verschwinden nicht nur die Umrisse von Scarldecke und Silvrettadekke, sie scheint auch die Engadiner Linie abzuschneiden und sogar die Inntalwölbung selbst: Die Großstrukturen in seinem Innern laufen schief gegen den Rand der Ötztaldecke und die seltsam stumpfe Begrenzung am nordöstlichen „Ende" macht das umlaufende Streichen der inneren Strukturen nicht mit. Im Norden ist die Ötztaldecke dem Kalkalpin aufgeschoben, was ebenfalls zeigt, daß die Ötztaldecke noch bis in die jüngste Zeit beweglich war, wenn auch in diesem Fall eher nach Norden (SCHMIDEGG, 1964). Insgesamt wird klar, daß der Rand des Ötztalkristallins gegen das Engadiner Fenster nicht einfach die Fortsetzung der Schlinigüberschiebung sein kann und daß die von SCHMID & HAAS (1987) dafür angegebene Überschiebungsweite von über 40 km nicht nur die altalpidische Phase betrifft, sondern den gesamten Versatz der Ötztaldecke bis heute.

Zwei dazu mögliche Einwände seien im folgenden kurz besprochen:

1) Auch die Fimberzone läuft im Westen schief gegen den Fensterrand (vgl. Abb. 1).
   Anmerkung: Hierbei laufen aber die begleitenden tieferen Zonen randparallel und der Rand ist stets die Silvrettadecke. Das Auskeilen bedeutet wahrscheinlich nur, daß die Fimberzone an diesen Stellen aussetzt.
2) Das schräge Abschneiden der Strukturen ist nur ein Zusammenlaufen der Überschiebungsbahnen in eine einzige; die Zonen des Fensters sind Schuppen, deren internes Ende am Rand der Ötztaldecke liegt (BOYER & ELLIOTT, 1982 u. Abb. 6).
   Anmerkung: Um mit dieser Anordnung das Strukturbild des Engadiner Fensters aufzubauen, müssen Aufwölbung und Abtragung allerdings genau die Höhe des internen Endes der Schuppen treffen. Tiefer greifende Abtragung würde den Punkt, an dem die Überschiebungsflächen sich verzweigen, vom Rand der Ötztaldecke weg verlegen – bei geringerer Abtragung müßte sich noch die zweithöchste Schuppe unterm Rand durchverfolgen lassen. Weiter wurde nicht berücksichtigt, daß der Rahmen des Fensters uneinheitlich ist. Die Kartierungen von UCIK (Veröffentlichung in Vorbereitung) zeigen, daß die Schuppenzonen keineswegs gegen die Ötztaldecke hin

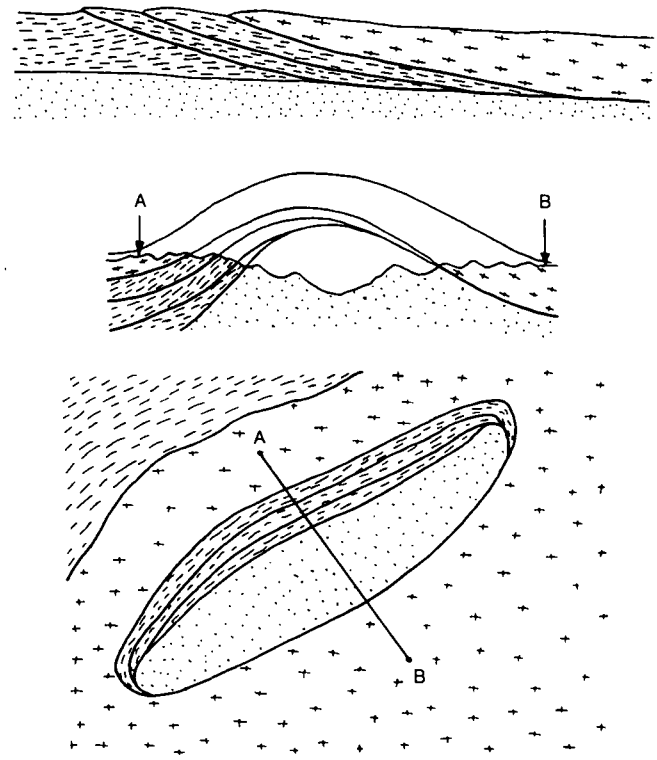


Abb. 6.
Struktur des Fensters, umgezeichnet nach einem Vorschlag von BOYER & ELLIOTT (1982).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

auskeilen, sondern in voller Breite darunter abtauchen, und zwar ausgerechnet dort, wo auch die begleitende Silvrettadecke unter die Ötztaldecke verschwindet (Abb. 1).

Wegen der vielen Randbedingungen, von denen dieser Vorschlag einer schon primär einseitigen Tektonik abhängt, erscheint er nicht plausibel. Unabhängig von der Streckungslineation deutet das Linienmuster auf einen sekundären, westgerichteten Zuschub einer älteren, vielleicht symmetrischen Tektonik.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß diese Ausführungen ein Modell beschreiben, das der Verfasser auf dem jetzigen Stand der Forschung so sieht – mögen andere eine bessere Erklärung finden!

5. Zeitliche Einordnung

Somit gibt es in ungefährer Übereinstimmung mit THÖNI (1980) Anzeichen für zwei oder drei Westbewegungen der Ötztaldecke:

1) Eine mittelkretazische Bewegung (II), bei der das Oberostalpin intern zerlegt wird, z.B. an der Ducan-Überschiebung oder der Schliniger Überschiebung (THÖNI, 1983, 1988; SCHMID & HAAS, 1987). Metamorphose-Daten aus der Platta-Decke machen es wahrscheinlich, daß auch die südlichen Teile des Südpenninikums dabei überfahren wurden (PHILIPP, 1982; DEUTSCH, 1983). Die nördlicheren Teile können nicht betroffen gewesen sein, da die Sedimentation dort bis ins Untereozän dauerte. Dem widerspricht eine Rb/Sr-Datierung aus (heute) nördlichen Bereichen der Arosazone und aus der Falknis-Sulzfluh-Decke (RING, 1989). Die Proben stammen allerdings aus schwachmetamorphen Gesteinen, für die die Anwendung radiometrischer Verfahren problematisch ist.
2) Die festgestellten Ost–West-Streckungen (IV), die sich am Kristallinrand als Streckungslineation und innerhalb der Aroser und Tasnazone in Form von teils fasergefüllten Boudinage-Rissen erhalten haben. Allgemein werden derartige Gesteinsverformungen als Spuren von (Scher-) Bewegungen gedeutet. Dem möchte ich mich mit Vorbehalt anschließen. Ost–West-Streckung muß vielleicht nicht immer Ost-West-Bewegung bedeuten, obwohl dies – wie schon erwähnt – nicht von der Hand zu weisen, wenn nicht wahrscheinlich ist. ELLIS & WATKINSON haben 1987 einen – nicht ganz geglückten, aber wichtigen – Versuch gemacht, hier weiterzukommen (vgl. dazu die Kommentare PATRICK, 1988, GIRARD et al., 1988, sowie BAMFORD et al., 1988). Wenn die erwähnten, in derselben tektonischen Position gefundenen Fossilien signifikant sind, muß für diese Deformationsphase nach-untereozänes Alter gefordert werden (≈<52 MJ). Ob ein Zusammenhang mit der mittelkretazischen Westbewegung besteht, kann diskutiert werden: Dagegen sprechen jedenfalls die Nord–Süd-gerichteten, älteren Boudinagen (III) und zweitens die Anzeichen für isostatische Reaktion der alpinen Kruste während der Oberkreide, die in einer Abkühlung der mittelostalpinen Dekke nachweisbar ist (FRANK et al., 1987) und zusammen mit einer Dehnungstektonik zu ostwärtigen Abschiebungen (z.B. KROHE, 1987; NEUBAUER, 1988) und zur Anlage der Gosaubecken führte (hiezu anderer Meinung: LEISS, 1990). In THÖNI (1980) wird schon diese Bewegung als Folge des Nordvorstoßes des Südalpenkopfes dargestellt.
3) Eine junge Bewegung nach der Aufwölbung und Entstehung des Fensters, vielleicht im Obermiozän (5–10 MJ, IX). Aus geröllpetrographischen Untersuchungen ist bekannt, daß die Basis der Silvrettadekke spätestens im Sarmat vom Inn angeschnitten wurde (WIESENEDER in GRAUL, 1939; GRIMM, 1957). Möglicherweise ist diese späte Bewegung ebenfalls im Zusammenhang mit einem Vorstoß (?) des Südalpins zu sehen.

Einer Gleichsetzung aller dieser Phasen im Sinne von RING et al. (1989) kann also nicht gefolgt werden, da sie vom augenblicklichen Stand der Kenntnis aus als unwahrscheinlich gelten muß. Die notwendige Umdeutung der Streckungslineation im Osten des Fensters schließt jedoch nicht aus, daß eine ältere westgerichtete Deformation (IV, nicht II!) auch das Nordpennin betroffen hat. Dafür gibt es verschiedene, allerdings schwache Anzeichen:

1) In einem einzigen Aufschluß der Pfundser Zone wurde eine Faltung gefunden, die älter sein muß als diejenige, die der dargestellten nordwestlichen Streckungslineation zugeordnet ist. Eine Scherrichtung läßt sich daraus nicht ableiten.
2) Von FRISCH (in RING, 1989) und auch vom Verfasser in der Pfundser Zone gemessene „Schokoladetafeln" zeigen eine kinematische Folge, die vom Westen nach nördlichen Richtungen umschwenkt. Da alle Messungen aus dem Ostteil des Fensters stammen, könnten diese Nordbewegungen aber wiederum an die jüngste Westbewegung angehängt werden. Für die Einengung in den kinematischen Ablauf fehlen bislang Belege.

Möglicherweise muß man also mit einer Überlagerung zweier gleichgerichteter Bewegungen rechnen. Die Hauptbewegungen, die die penninischen Decken und Schuppenzonen im Bereich des Fensters gestapelt haben, sind jedoch eindeutig die auf das Vorland gerichteten Nord- und Nordwestbewegungen ab unterem Eozän und während des Oligozäns (V–VII).

Es ist außerdem anzunehmen, daß die junge WNW-Bewegung (IX) nicht an die NW-Bewegung (VII) anschließt, sondern daß zwischen ihnen eine zeitliche Lücke klafft:

Im Gebiet des Engadiner Fensters kommt es nach der Überschiebungstektonik und vor der regionalen Aufwölbung noch zu einer flachwelligen Faltung mit Ost–West-laufenden (≈80°), nicht eingeregelten (!) Achsen. Einengungsrichtung und Alter lassen vermuten, daß die flachwellige Faltung mit der Überschiebung der helvetischen Decken zu tun hat. Meine Vorstellung geht dahin, daß die nicht koaxiale Tektonik im Vorland von einer schwachen koaxialen Tektonik in den höheren Decken begleitet wird.

Man muß also zwischen nordwestgerichteter Überschiebung und jüngster WNW-Bewegung der Ötztaler Masse noch eine – vielleicht unbedeutende – nordsüdliche Einengung (VIII) annehmen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

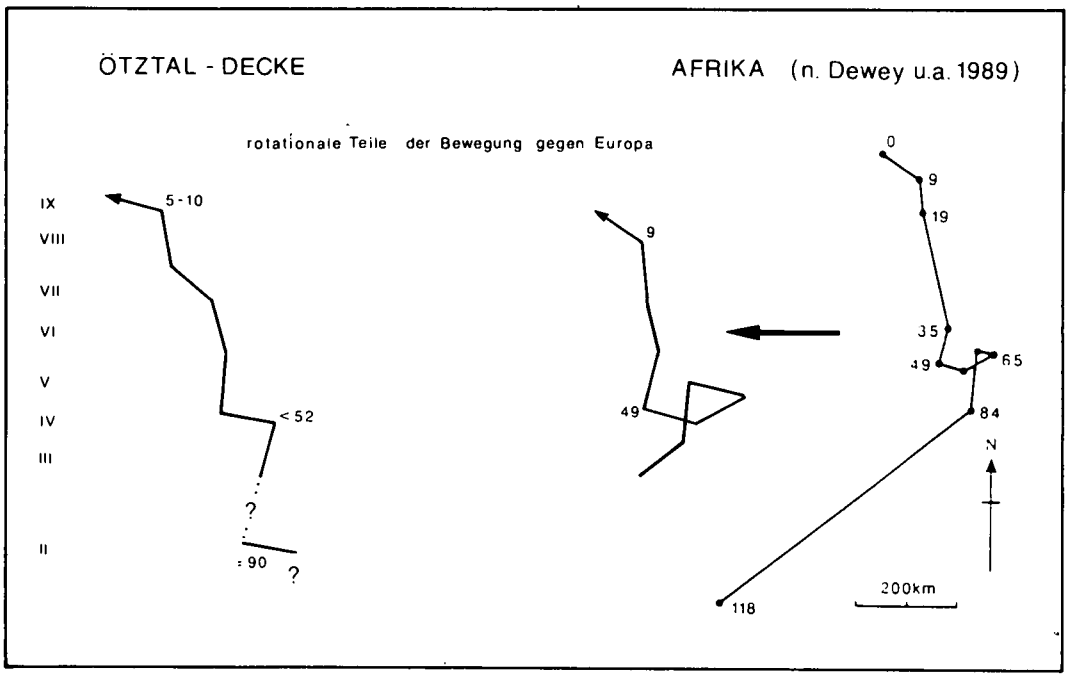


Abb. 7.
Bewegungspfad der Ötztaldecke im Vergleich mit dem Afrikas gegen Europa.
Arabische Zahlen: Alter in Millionen Jahren.
Ableitung der Einzelschritte (E.F. = Engadiner Fenster): I = ?; II = mittelkretazische Stapelung des Ostalpins; III = Boudinage (E.F.); IV = Boudinage (E.F.); V–VII = Boudinage und Mineralstreckung (E.F.); VIII = flachwellige Faltung (E.F.); IX = Boudinage und Mineralstreckung (E.F.).

6. Vergleich mit Paläomagnetik-Daten

Der oben genannte Bogen (Abb. 3) und die älteren Schritte auf dem kinematischen Pfad stellen die rotationalen Komponenten der Gesamtbewegung der Oberplatte dar. Für den direkten Vergleich mit Paläomagnetik-Daten muß deren „translatorischer" Anteil abgezogen werden. Eine Schwierigkeit besteht darin, daß für Silvretta-Scarl- und Ötztaldecke nicht genug paläomagnetische Daten vorhanden sind und daher Daten aus dem eigentlichen Hinterland, nämlich der Adriaplatte, bzw. der Afrikanischen Platte herangezogen werden müssen. Die Bewegungen der abgescherten Einheiten müssen aber nicht notwendig dieselben sein, wie die des Hinterlandes. Inwieweit ein solcher Vergleich also sinnvoll ist, steht zur Diskussion. DEWEY et al. (1989) gehen davon aus, daß Afrikanische und Adriaplatte spätestens ab Eozän verschiedene Wege verfolgt haben. Es ist allerdings fraglich, ob der Unterschied beider Wege groß war. LOWRIE (1986) kommt z.B. auf eine rotationale Abweichung von nur 15° während des Tertiärs. Eine Auswertung von Herdflächenlösungen mediterraner Bebenzentren als Anzeiger für die heutigen Bewegungen beider Platten relativ zu Europa erbrachte dagegen eine beinah rechtwinklige Abweichung (ANDERSON 1987).

Abbildung 7 vergleicht den für die Ötztaldecke ermittelten Bewegungspfad mit der Bewegung Afrikas gegen Europa, wie er sich nach einer Auswertung paläomagnetischer Daten darstellt (aus PLATT et al., 1989, nach DEWEY et al., 1989). Bezugspunkt ist Turin. Auf eine eigene Berechnung – etwa für Bozen, was im Hinblick auf das Engadiner Fenster passender wäre – wurde wegen der Schwierigkeit verzichtet, paläomagnetische Originaldaten nach ihrer Aussagekraft zu beurteilen. Der dargestellte Gesamtpfad setzt sich zusammen aus den im Engadiner Fenster gefundenen kineamtischen Anzeigern und den diskutierten Daten aus der Literatur. Obwohl er weit differenzierter ist, als bislang veröffentlichte Pfade, wird ein Anspruch auf Vollständigkeit nicht erhoben! Der jüngste Abschnitt des Pfades (IX) ist aus den schon diskutierten Gründen vermutlich vom Vergleich auszuschließen, da er nur eine Spezialbewegung der Ötztaldecke abbildet. Trotzdem und trotz aller Bedenken und Einschränkungen, die für die Afrikanische Platte als „Hinterland hinter dem Hinterland" berücksichtigt werden müssen, ergibt sich eine gute Übereinstimmung in Bewegungsrichtung, Drehsinn, Drehwinkel und Zeit.

Vielen Dank

... an Walter MAILÄNDER, der mir mit „TXS" das erste in Tübingen verfügbare, leistungsfähige Tektonik-DV-Programm zur Verfügung stellte.

... für die Erteilung von Fahrgenehmigungen auf Forst- und Almstraßen an die Gemeinden Samnaun und Nauders, sowie an Herrn Westreicher von der Bezirksforstinspektion Ried i. Oberinntal.

... an Rudolf OBERHAUSER (Wien) und Stefan VOGLER (Marburg) für Korrekturlesungen.

Literatur

ANDERSON, H.: Is the Adriatic an African promontory?. – Geology, **15**, 212–215, 4 Abb., 1 Tab., Boulder/USA 1987.

BAMFORD, M. & FORD, M.: Comment on "Orogen-parallel extension and oblique tectonics: The relation between stretching lineations and relative plate motions." – Geology, **16**, 859, Boulder/USA 1988.

BOYER, S.E. & ELLIOTT, D.: Thrust systems. – Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., **66**, 1196–1230, 34 Abb., Tulsa/USA 1982.

DEUTSCH, A.: Datierung an Alkaliamphibolen und Stilpnomelan aus der südlichen PLATTA-Decke (Graubünden). – Ecl. geol. Helv., **76**, 295–308, Basel 1983.

DEWEY, J.F., HELMAN, M.L., TURCO, E., HUTTON, D.W.H. & KNOTT, S.D.: Kinematics of the western Mediterranean. – In: Alpine Tectonics. – Spec. Publs. Geol. Soc. London, **45**, 265–283, London (Blackwell) 1989.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

ELLIS, M. & WATKINSON, A.J.: Orogen-parallel extension and oblique tectonics: The relation between stretching lineations and relative plate motions. – Geology, **15**, 1022–1026, 4 Abb., Boulder/USA 1987.

FRANK, W., KRALIK, M., SCHARBERT, S. & THÖNI, M.: Geochronological data from the Eastern Alps. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Hrsg.): Geodynamics of the Eastern Alps. – 272–279, Wien (Deuticke) 1987.

GIRARD, P., SCHWERDTNER, W.M. & MARESCHAL, J.C.: Comment on "Orogen-parallel extension and oblique tectonics: The relation between stretching lineations and relative plate motions." – Geology, **16**, 857–859, 2 Abb., Boulder/USA 1988.

GRAUL, H.: Schotteranalytische Untersuchungen im oberdeutschen Tertiärhügelland. Mit einem geröllpetrographischen Abschnitt von H. WIESENEDER. – Abh. Bayer. Akad. Wiss., Math.-nat. Abt., N.F. **46**, 56 S., 9 Abb., 1 Karte, München 1939.

GRIMM, W.-D.: Stratigraphische und sedimentpetrographische Untersuchungen in der Oberen Süßwassermolasse zwischen Inn und Rott (Niederbayern). – Beih. Geol. Jb., **26**, 97–199, 8 Taf., 14 Abb., 1 Tab., Hannover 1957.

KROHE, A.: Kinematics of the Cretaceous nappe tectonis in the Austroalpine basement of the Koralpe region (Eastern Alps). – Tectonophysics, **136**, 171–196, Amsterdam 1987.

LEISS, O.: Neue Aspekte zur Geodynamik und Beckenbildung als Ergebnis der Beckenanalyse von synorogenen Kreidevorkommen innerhalb der Nördlichen Kalkalpen. – Geol. Rdsch., **79/1**, 47–84, 17 Abb., 1 Tab., Stuttgart 1990.

LOWRIE, W.: Palaeomagnetism and the adriatic promontory; a reappraisal. – Tectonics, **5**, H. 5, 797–807, 3 Abb., 4 Tab., Washington/USA (AGU) 1986.

NEUBAUER, F.: Bau und Entwicklungsgeschichte des Rennfeld-, Mugel- und des Gleinalmkristallins (Ostalpen). – Abh. Geol. B.-A., **42**, 1–137, Wien 1988.

OBERHAUSER, R.: Das Unterengadiner Fenster. – In: Der geologische Aufbau Österreichs, 291–299, 5 Abb., Wien (Springer) 1982.

OBERHAUSER, R.: Mikrofossilfunde im Nordwestteil des Unterengadiner Fensters sowie im Verspalaflysch des Rätikon. – Jb. Geol. B.-A., **126**, 71–93, 6 Taf., 5 Abb., Wien 1983.

PATRICK, B.B.: Comment on "Orogen-parallel extension and oblique tectonics: The relation between stretching lineations and relative plate motions." – Geology, **16**, 670–671, Boulder/USA 1988.

PHILIPP, R.: Die Alkaliamphibole der Platta-Decke zwischen Silser See und Lunghinpaß (Graubünden). – Schweiz. Min. Petr. Mitt., **62**, 437–455, Zürich 1982.

PLATT, J.P., BEHRMANN, J.H., CUNNINGHAM, P.C., DEWEY, J.F., HELMAN, M., PARISH, M., SHEPLEY, M.G., WALLIS, S. & WESTON, P.J.: Kinematics of the alpine arc and the motion history of Adria. – Nature, **337**, 158–161, 3 Abb., 1989.

RAMSAY, J.G. & HUBER, M.: The techniques of modern structural geology. Vol.1: Strain analysis. – 307 S., London, New York, u.a. (Academic Press) 1983.

RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., NEUBAUER, F., SCHMID, S.M. & NEUGEBAUER, J.: Extension in compressional orogenic belts: The eastern Alps. – Geology, **17**, 404–407, 4 Abb., Boulder/USA 1989.

RING, U.: Tectonogenesis of the penninic/austroalpine boundary zone: The Arosa Zone (Grisons-Rätikon area, Swiss-Austrian Alps). – Tübinger Geowiss. Arb., Reihe A, **1**, 178 S., Tübingen 1989.

RING, U., RATSCHBACHER, L. & FRISCH, W.: Die Kinematik der Arosa Zone und Implikationen für die Entwicklung der Ostalpen. – Erlanger geol. Abh., **116**, 101–106, 4 Abb., Erlangen 1988.

RING, U., RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., BIEHLER, D. & KRALIK, M.: Kinematics of the alpine plate-margin: structural styles, strain and motion along the Penninic-Austroalpine boundary in the swiss-austrian Alps. – J. Geol. Soc. London, **146**, 835–849, 11 Abb., London 1989.

RUDOLPH, J.: Geologische Untersuchungen im obersten Fimbertal. – Dipl. Arb. Univ. Freiburg, 33 S., Freiburg i.Br. 1979.

RUDOLPH, J.: Tieferes Tertiär im oberen Fimbertal. – Neues Jb. Geol. Palaeont., MH, **1982**, 181–183, Stuttgart 1982.

SANDERSON, D.J.: The development of fold axes oblique to the regional trend. – Tectonophysics, **16**, 55–70, Amsterdam 1973.

SCHMID, S.M. & HAAS, R.: The transition from near-surface thrusting to intra-basement decollement during west-directed movement of the Ötztal basement along the Schlinig thrust (Austroalpine west of the Tauern window). – Tectonics, **8**, H. 4, 697–718, Washington/USA (AGU) 1989.

SCHMIDEGG, O.: Geologische Verhältnisse im Bereich des Kaunertalkraftwerkes der Tiroler Wasserkraftwerke A.G.. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **57**, H. 1, 114–117, 1 Prof., 1 Karte , Wien 1964.

THÖNI, M.: Zur Westbewegung der Ötztaler Masse. Räumliche und zeitliche Fragen an der Schlinigüberschiebung. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **26**, 247–275, 1 Abb., 1 Karte, Wien 1980.

THÖNI, M., mit Beiträgen von HOINKES, G.: The thermal climax of the early alpine metamorphism in the austroalpine thrust sheet.. – Mem. Sci. Geol., **36**, 211–238, Padova 1983.

THÖNI, M.: Rb-Sr isotopic resetting in mylonites and pseudotachylites: Implications for the detachment and thrusting of the austroalpine basement nappes in the eastern Alps. – Jb. Geol. B.-A., **131**, H. 1, 169–201, 22 Abb., 1 Prof., Wien 1988.

THUM, I.: Zur Geologie des Unterengadiner Fensters (im Raume Spiß – Nauders/Oberinntal). – 169 S., 1 Karte, Diss. Univ. Wien 1966.

TORRICELLI, G.: Geologie der Piz Lad – Piz Ajüz-Gruppe (Unterengadin). – Jb. Natf. Ges. Graubünden, **85**, 83 S., Chur 1956.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 23. Mai 1991.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 134

Autor(en)/Author(s): Mattmüller Carl Roderich

Artikel/Article: Überlegungen zur Deckenkinematik im Engadiner Fenster 319-328