

**Analyse und Interpretation des Baues der Frankenfeser Decke  
(südlich St. Pölten, Österreich)  
Structural analysis and interpretation of the "Frankenfeser Decke"  
(south of St. Pölten, Austria)**

Walter Baumgartner

Mit 17 Abbildungen und 1 Tabelle im Text

Anschrift:

Dr. Walter Baumgartner  
Geologisches Institut der Universität Wien  
Universitätsstraße 7/III, A-1010 Wien, Österreich.

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.	23	S. 79—111	Wien, Sept. 1976
---------------------------------------	----	-----------	------------------

## Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung, Abstract . . . . .	81
2. Einleitung . . . . .	81
3. Regionale Geologie . . . . .	82
4. Tektonische Analyse . . . . .	83
4.1. Großfalten (Falten erster Ordnung) . . . . .	85
4.2. Kleinfalten (Falten höherer Ordnung) . . . . .	85
4.2.1. Lage der Aufschlüsse . . . . .	85
4.2.2. Faltenklassen . . . . .	85
4.2.3. Faltenformen . . . . .	89
4.2.4. B-Achsen . . . . .	90
5. Interpretation . . . . .	91
5.1. Falten erster Ordnung . . . . .	91
5.2. Falten höherer Ordnung . . . . .	94
5.2.1. Faltenmodelle bei schichtparalleler Einengung . . . . .	95
5.2.1.1. Parallelfalte . . . . .	96
5.2.1.1.1. Biegegleitfalte . . . . .	96
5.2.1.1.2. Biegefalte . . . . .	98
5.2.1.1.3. Mischtypen aus Biegegleit- und Biegefalten . . . . .	98
5.2.1.2. Chevronfalte . . . . .	99
5.2.1.3. Vergleich Chevronfalte — Parallelfalte . . . . .	100
5.2.2. Vergleich Geländebefunde — Modell . . . . .	101
5.3. B-Achsenverteilung . . . . .	103
5.3.1. Sandersons Modell zur Interpretation von B-Achsen- verteilungen . . . . .	103
5.3.2. Vergleich natürliche B-Achsenverteilung — Modell . . . . .	105
6. Schlußfolgerungen . . . . .	106
7. Anhang . . . . .	107
8. Literatur . . . . .	110

## 1. Zusammenfassung

In der Frankenfeser Decke der Nördlichen Kalkalpen (südlich St. Pölten, Österreich) wurden das Auftreten verschiedener Kleinfaltentypen, deren unregelmäßige B-Achsenverteilung und deren Stellung im regionalen Bau detailliert untersucht und durch Modelle interpretiert. Danach ist das Auftreten von verschiedenen Kleinfaltentypen von der Position in der Falte nächst niederer Ordnung („Großfalte“) abhängig. Die unregelmäßige B-Achsenverteilung der Kleinfalten wird durch Berücksichtigung des in der Achsenebene der Falten wirkenden Deformationsplanes leicht interpretierbar. Dieser Deformationsplan bewirkt generell eine Rotation der B-Achsen in die Transportrichtung der Falte. Der regionale Bau zeigt mächtige Synklinalen und geringmächtige Antiklinalen. Dies ist ein Effekt der Kompetenzdifferenzen der einzelnen Serien während der Anlage der Internstrukturen.

### Abstract

In the "Frankenfeser Decke" of the Northern Calcareous Alps (south of St. Poelten, Austria) the following tectonic phenomenons were analysed and interpreted by models. The appearance of different minor fold types depends on the position of these folds relative to the fold of the next lower order. The irregular B-axis distribution is interpreted by the rotation of the axis due to stretching within the axial plane of the folds. The effect of thick synclines and very thin anticlines (on the regional scale) is caused by differences in competence of the various different formations during the progressive deformation.

## 2. Einleitung

Im Pielachtal zwischen Kirchberg/Pielach und Frankenfes (30 km SW St. Pölten, NÖ.) sind entlang der Bundesstraße 231 und der Mariazeller Bahn (St. Pölten—Mariazell) in verschiedenen Geländeanschnitten (im Meter-Bereich) schön gefaltete Jurahornsteinkalke aufgeschlossen. Diese „Kleinfalten“ waren der Ausgangspunkt für Untersuchungen, die folgendes konstatierten:

1. In den verschiedenen Aufschlüssen (der Jurahornsteinkalke) treten in ein und demselben Schichtglied eng benachbart verschiedene Faltentypen auf, meist Parallel- und Chevronfalten\* (Knickfalten).

2. Die B-Achsenverteilung entspricht im großen und ganzen dem allgemeinen E-W-Trend. Detailuntersuchungen zeigen jedoch starke Streuung der B-Achsen in der Streichrichtung, wobei die Maxima (mit ESE und SW Streichrichtung) einen Winkel von ca.  $120^\circ$  einschließen.

3. Der regionale Bau (nordvergente Falten im km-Bereich) ist durch mächtige Synklinal- und sehr geringmächtige Antiklinalzonen in den Gesteinen hangend des Hauptdolomits charakterisiert.

Daraus ergab sich die Frage, wie all diese Phänomene zu erklären und in Beziehung zu bringen sind, im besonderen: Welche Faktoren sind maßgeblich, daß eng benachbart verschiedene Faltentypen entstehen können? Wie kann die unregelmäßige B-Achsenverteilung interpretiert werden?

\* bedeutet, daß dieser Begriff oder Sachverhalt im Anhang näher erläutert wird.

Wieso sind die Mulden so auffällig mächtig, während die Antiklinalen sehr geringmächtig entwickelt sind.

Es wird versucht, diese Fragen mit Hilfe von mathematischen Modellen zu lösen. Diese beruhen meist darauf, daß ein (oft vereinfachter) Ausgangszustand angenommen wird — z. B. eine einfache, normalverteilte B-Achsenverteilung oder ein schwach sinusförmig gefaltetes Schichtpaket. Man berechnet dann, welche Deformationen durch verschiedene Verformungspläne (Strainverhältnisse) zu erwarten sind. Die Ergebnisse werden mit den Feldbeobachtungen verglichen, bei übereinstimmenden (oder ähnlichen) Resultaten kann dann zumindest eine Deutung über den Deformationsplan (der Feldbeobachtungen) gegeben werden. Die Modelle wurden größtenteils von HUDLESTON, RAMBERG, RAMSAY und SANDERSON entwickelt. Eine wesentliche Voraussetzung für die Benutzung von Modellen ist, daß ein richtiges Modell lediglich praktisch brauchbar sein muß und nicht die Vorgänge exakt beschreibt, wie sie wirklich vor sich gehen („keine Wirklichkeit im Sinne von Wahrheit“, MÜLLER 1973).

Die Arbeit gliedert sich in:

3. Regionale Geologie: Eine kurze Beschreibung, aus der Literatur kompiliert.

4. Tektonische Analyse: Beschreibung der Klein- und Großfalten (Faltentypus, B-Achsenverteilung).

5. Interpretation: Die einzelnen Erscheinungen an Klein- und Großfalten werden interpretiert, oft mittels mathematischer Modelle im oben beschriebenen Sinne.

6. Schlußfolgerungen.

7. Anhang: In diesem werden weniger gebräuchliche und zum Teil neue Begriffe und Vorstellungen — die größtenteils aus den Arbeiten der oben zitierten Autoren stammen — beschrieben.

### 3. Regionale Geologie

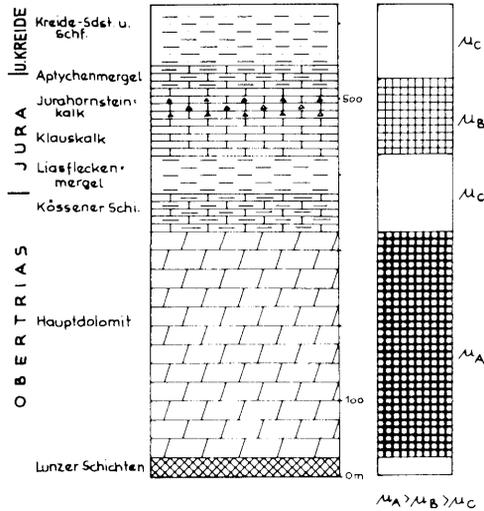
Die Jurahornsteinkalke des Pielachtals zwischen Kirchberg/Pielach und Frankenfels sind nach SPENGLER (1931) und SCHWENK (1949) ein Bestandteil der Frankenfelser Decke (siehe Abb. 1, Schichtfolge der Frankenfelser Decke nach Angaben von SCHWENK, 1949, und HARTL, 1950).

Lithologisch sind die Jurahornsteinkalke helle, graubraune, dichte Kalke mit gut ausgeprägter Bankung im 2- bis 25-cm-Bereich. Sie weisen stark wechselnde Führung von grauen bis roten Hornsteinen, die bis zu 10 cm starke schichtparallele Lagen im Kalk bilden können, auf. Stellenweise schalten sich ockergelbe, dünnbankige (cm), welligschichtige Kalkmergel ein.

Das Alter der Jurahornsteinkalke ist nach SPENGLER (1931) Malm, nach SCHWENK (1949) Kimmeridge.

Der regionale Bau der Frankenfelser Decke wird in diesem Bereich von SCHWENK (1949) und HARTL (1950) durch stark isoklinal gefalteten, nordvergenten Faltenbau charakterisiert (Abb. 2). Nach TOLLMANN (1966) ist die Frankenfelser Decke durch enge, lange überkippte bis liegende Falten gekennzeichnet. Die nächste südlich gelegene tektonische

Einheit, die Pielachschuppe, stellt den gegen Norden verschleppten (heute verdeckten) Südrand der Frankenfesler Decke dar.

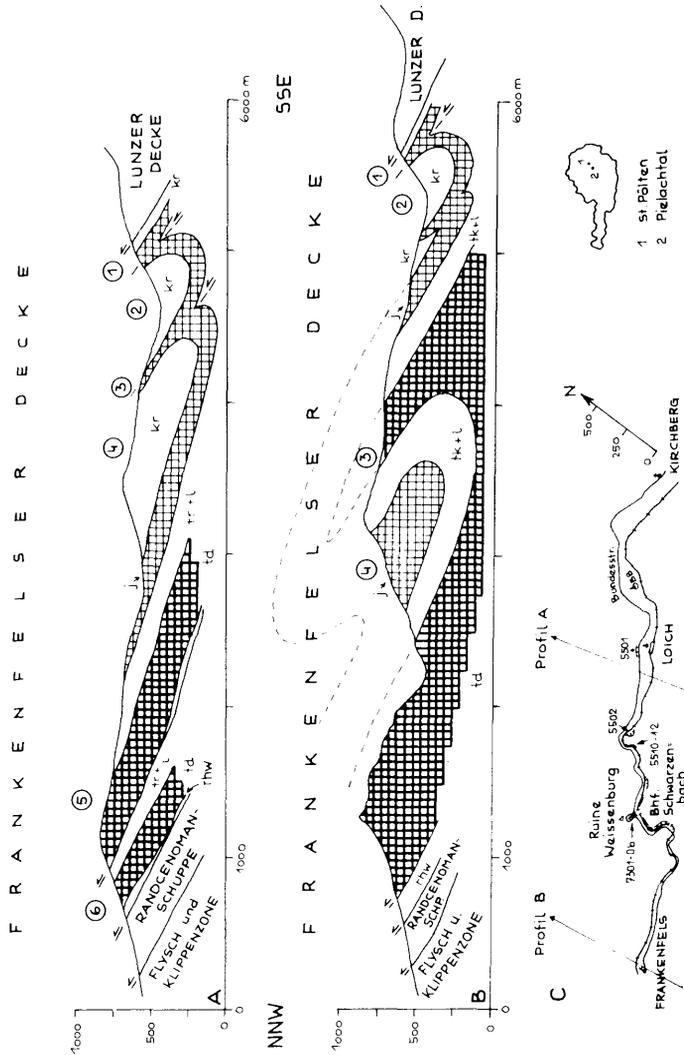


**Abb. 1:** Vereinfachtes stratigraphisches Profil der Frankenfesler Decke nach Angaben von SCHWENK (1949) und HARTL (1950). Im Bild rechts schematische Darstellung der wahrscheinlichen Kompetenzdifferenzen von bestimmten zusammengefaßten Serien, charakterisiert durch ihre Viskositäten.

#### 4. Tektonische Analyse

Dieses Kapitel gliedert sich in die Beschreibung der Großfalten, Kleinfalten und der B-Achsenverteilung. Die Unterscheidung Großfalten (Dimension im 1000-m-Bereich) und Kleinfalten (Dimension 0,2—2 m) erfolgt rein nach der Größenordnung. Es fallen somit die in einem Aufschluß beobachtbaren Falten in die Größenordnung der Kleinfalten. Da ein Zusammenhang zwischen den beiden Falten vermutet wird, sollen im folgenden die Großfalten als Falten erster oder niederer Ordnung, die Kleinfalten als Falten höherer Ordnung — nach dem von RAMSAY (1967, 355) beschriebenen Prinzip — bezeichnet werden. Auf Grund der beschränkten Aufschlußverhältnisse ist eine unmittelbare Beziehung zwischen Klein- und Großfalten nicht sichtbar, so daß die Kleinfalten Falten zweiter, dritter oder noch höherer Ordnung\* sein können. Über die Zusammenhänge der Falten verschiedener Ordnung vergleiche den Anhang.

Die Beschreibung der Kleinfalten erfolgt nach RAMSAY (1967) und HUDLESTON (1973), die ein von der genetischen Entwicklung unabhängiges System angeben. Dieses beruht auf der Beschreibung einzelner gefalteter Flächen und der Beziehung benachbarter Flächen zueinander. Danach können verschiedene Faltenformen\* und -klassen\* angegeben werden.



**Abb. 2:** Zwei für den regionalen Bau der Frankenfesler Decke typische Profile nach SCHWENK (1949; Profil A) und HARTL (1950; Profil B).

- Signaturen:
- rhw Rauhwacke (Lunzer Schichten)
  - td Hauptdolomit
  - tr Kössener Schichten
  - l Liasfleckenmergel
  - j Oberjurakalke (Klauskalk, Jurahornsteinkalk)
  - kr Sandstein und Schiefer der Kreide

Die dunkle und helle Übersignatur deutet die Kompetenzunterschiede an, vgl. Abb. 1.

Bezeichnung der regionalen Strukturen nach TOLLMANN (1966): (1) Pielachschuppe, (2) Frankenfesler Mulde, (3) Statzberg-Antiklinale, (4) Kirchberger Mulde, (5) Kirchberger Schuppe (Antiklinale), (6) Stein-klamm-Schuppe. Die Lage der Profile und der im Text erwähnten Aufschlußbereiche ist in (C) dargestellt.

#### 4.1. Großfalten (Falten erster Ordnung)

Nach den zahlreichen Profilen von SCHWENK (1949) und HARTL (1950) sind für diesen Faltenbau folgende Merkmale charakteristisch:

1. Die aus Jura- und Kreidesequenzen gebildeten Mulden (Synklinalen) sind viel mächtiger ausgebildet als die aus denselben Sequenzen ausgebildeten Antiklinalen.

2. Die mittleren Faltenflächen\* dieser Falten fallen flach gegen Süden ein.

3. Die Größenordnung dieser die regionale Geologie bestimmenden Falten liegt im 1000-m-Bereich (vgl. Abb. 2).

#### 4.2. Kleinfalten (Falten höherer Ordnung)

##### 4.2.1. Lage der Aufschlüsse

Die untersuchten Aufschlüsse liegen im Pielachtal zwischen den Bahnhöfen Loich und Schwarzenbach an der Pielach an Bahn und Straßenanschnitten. Die Lage der Aufschlüsse ist aus Abb. 2 ersichtlich. In der Arbeit erwähnte Aufschlüsse sind:

5510—12: Bahnanschnitt bei Bahnkilometer 31,6

7301—06: Straßenanschnitt südlich der Ruine Weißenburg.

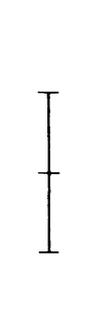
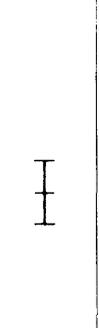
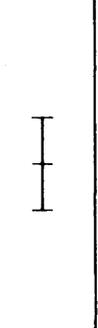
##### 4.2.2. Faltenklassen\*

Eine Gegenüberstellung der auftretenden Faltenklassen zur Krümmung der mittleren Faltenfläche zeigt offensichtlich eine Abhängigkeit zu letzterer, also zur Position innerhalb der Falte niedriger Ordnung (vgl. dazu Tab. 1).

In allen Aufschlußbereichen — mit verschiedenen starken Krümmungen der mittleren Faltenfläche — treten die Faltenklassen 1 C und 3 auf, die (rein entwickelte) Klasse 2 hingegen nur in den Aufschlußbereichen mit starker Krümmung der mittleren Faltenfläche.

So ist Aufschlußbereich 7301 bis 7304 (stark gekrümmte mittlere Faltenfläche, siehe Abb. 3a) zu beobachten, daß die auftretenden Faltenklassen 1 C und 3 sind, wobei aber beide Klassen stark der Klasse 2 angenähert sind (vgl. Abb. 4a). Die generelle Faltenklasse kann hier als Klasse 2 angegeben werden. Eine detaillierte Untersuchung zeigt, daß die dickeren Bänke als Klasse 1 C (schwach konvergente Linien gleichen Einfallens\*) ausgebildet sind, die dünneren hingegen als Klasse 3 (divergente Linien gleichen Einfallens). Abb. 4a zeigt dies deutlich: Die mächtigen Bänke A und C zeigen konvergente, die geringmächtige Bank B divergente Linien gleichen Einfallens (im Bereich I der Abb.). Wo hingegen die Bankmächtigkeiten nicht stark variieren (Bänke D, E und F), sind die Linien gleichen Einfallens parallel (reine Klasse 2).

In anderen Aufschlußbereichen (z. B. 5510 und 5511, vgl. Abb. 4b), wo die Krümmung der mittleren Faltenfläche relativ gering ist (Abb. 3b), ist die reine Klasse 2 auch bei relativer Konstanz der Bankmächtigkeiten nicht vertreten. Detailuntersuchungen zeigen auch hier die Klassen 1 C und 3, oft stark an Klasse 2 angenähert.

AUFSCHLUSSBEREICH		7301	7302	7303	7304	7305	7306		5510	5511	
FALTEN	niedere Ordnung	Lagerung	010/70 bis 010/50 (steil N)				120/20 (flach SE)	070/40 (mittel NE)		152/48 (mittel SE)	303/43 (mittel NW)
		Krümmung	stark				gering			keine	
	höhere Ordnung	Vergenz	keine				NORD	SÜD		NORD	SÜD
		Falten: klasse	a: 1C und 3 (generell 2) b: rein 2				1C und 3 (generell 2)			1C und 3 (generell 2)	
	Falten: form	a: SINUS mit Übergängen b: CHEVRON				SINUS			SINUS		
BANKUNG	Mittel	9,36	9,25	11,30	9,27	8,45	9,55				
	Standardabweichung	4,76	5,50	6,97	4,72	3,78	4,90				
	Vertrauensintervall 95% [cm]										

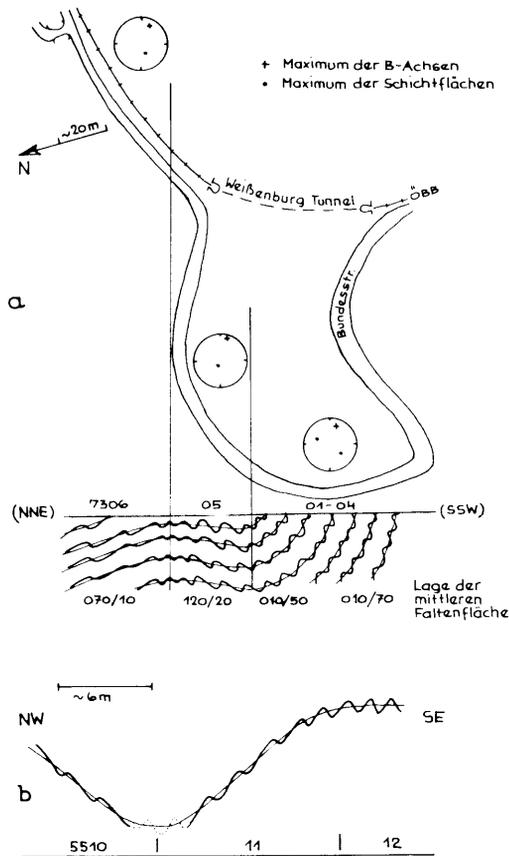


Abb. 3: Kleinfaltenvergenzen und Lage der mittleren Faltenfläche in den Aufschlußbereichen 7301—06 und 5510—12.

**Erläuterung zu Tabelle 1:**

Die Falten niederer Ordnung stellen die mittlere Faltenfläche der Falten höherer Ordnung dar.

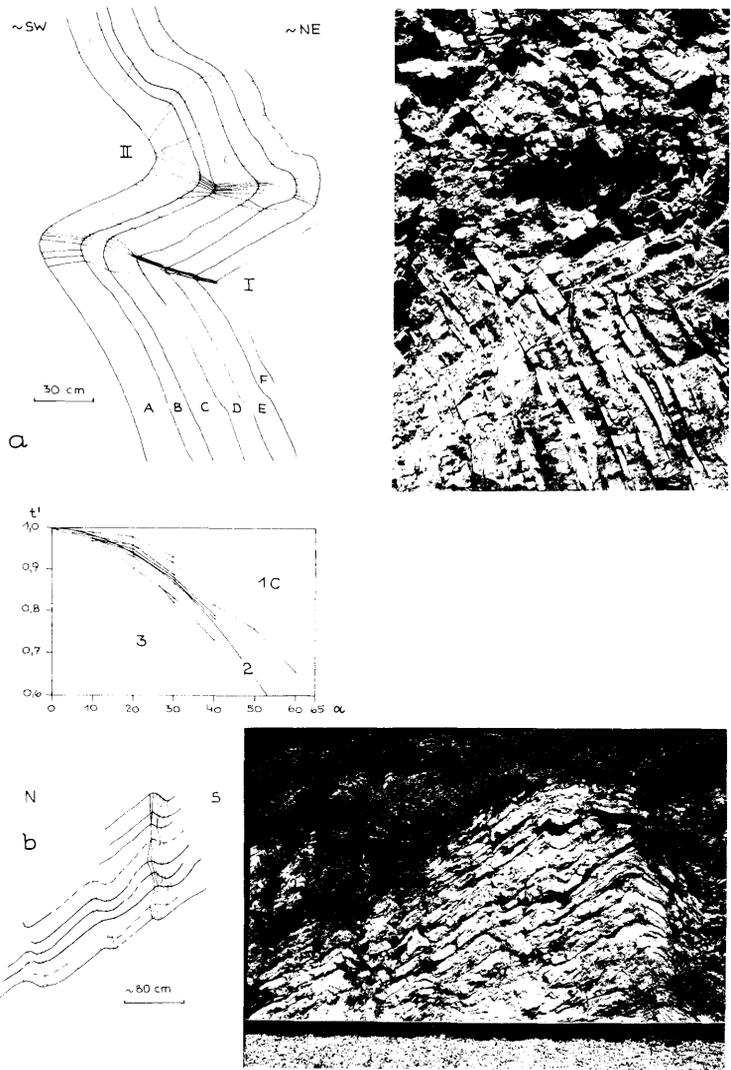
**Lagerung:** Raumlage der mittleren Faltenfläche, angegeben durch Einfallrichtung und Einfallswinkel.

**Krümmung:** Die Begriffe „stark“ und „gering“ sind relative Angaben aus dem Vergleich der verschiedenen Aufschlußbereiche.

**Faltenklasse:** (a) Zwei Falten der Klassen 1 C und 3 zusammengefaßt ergibt die Klasse 2 („allg. 2“, vgl. Abb. 4). (b) „Rein 2“ bedeutet, daß jede einzelne Falte der Klasse 2 entspricht.

**Faltenform:** vgl. Kap. A 2.2. und Abb. 5.

**Bankung:** „Mittel“ bedeutet den arithmetischen Mittelwert der Bankmächtigkeiten (aus einer begrenzten Anzahl von Messungen) im betreffenden Aufschlußbereich. Das Vertrauensintervall gibt mit 95% Sicherheit an, in welchem Bereich der Mittelwert aller Bankungen (in einem Aufschlußbereich) liegen kann. Alle Intervalle überlappen sich gegenseitig, es ist somit kein signifikantes Differieren der Populationsmittel (d. i. der Mittelwert aus allen Bankmächtigkeiten je Aufschlußbereich) feststellbar, unter der Voraussetzung, daß eine Normalverteilung vorliegt. Durch diesen Parameter wird gezeigt, daß die Bankmächtigkeiten in allen Aufschlußbereichen ungefähr gleich groß sind.



**Abb. 4:** Kleinfaltenbeispiele aus den Jurahornsteinkalken in den Aufschlüssen 7303 (im Bild oben, a) und 5511 (im Bild unten, b). In der Abbildung sind jeweils links die Schichtflächen und die Linien gleichen Einfallens der fotografierten Falten gezeichnet.

a) Stratigraphisch Hangendes gegen links; das Diagramm zeigt die Bestimmung der Faltenklassen durch den Parameter  $t'_a$  nach RAMSAY (1967).

b) Stratigraphisch Hangendes gegen oben, Kleinfaltenvergenz gegen Süden.

### 4.2.3. Faltenformen\*

Die Analyse der Faltenformen (Abb. 5) zeigt, daß die Falten Sinus- bis Chevronform haben. Auch hier scheint die Faltenform von der Krümmung der mittleren Faltenfläche abzuhängen. So treten reine Chevronfalten nur im Aufschlußbereich 7301 bis 7304 auf, und auch nur dann, wenn die Bankmächtigkeiten keine großen Schwankungen aufweisen (das sind dieselben Bereiche, wo die reine Klasse 2 entwickelt ist). In den Bereichen mit geringer Krümmung der mittleren Faltenfläche oder größerer Varianz der Bankmächtigkeiten treten hauptsächlich Sinusfalten auf (Bereiche der Faltenklassen 1 C und 3).

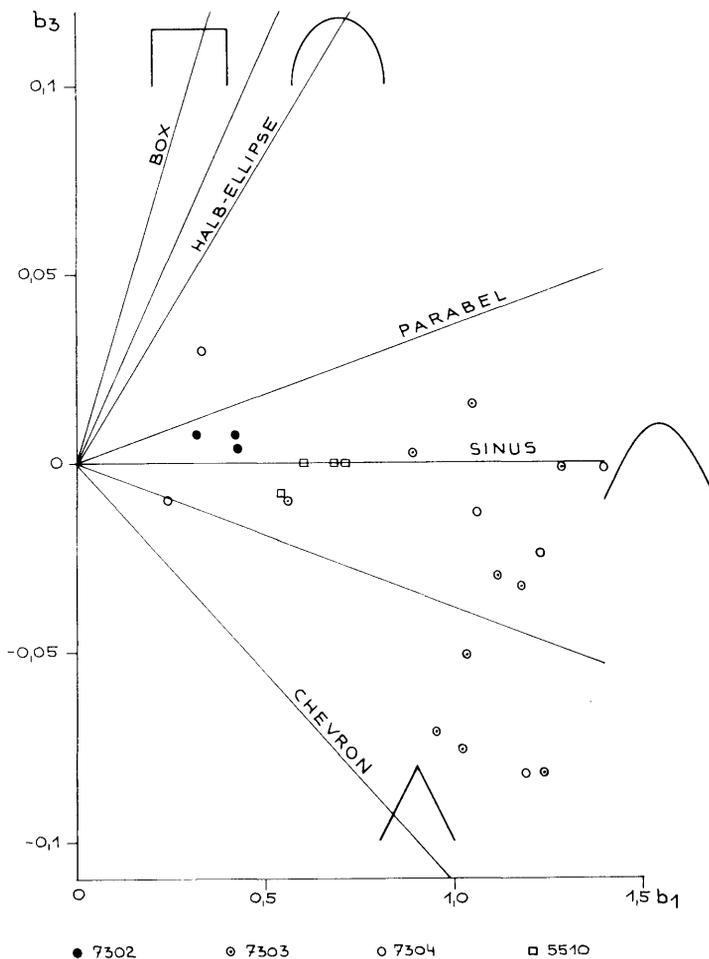


Abb. 5: Analyse der Faltenformen nach HUDLESTON (1973). Die verschiedenen Signaturen stellen verschiedene Aufschlußbereiche dar.

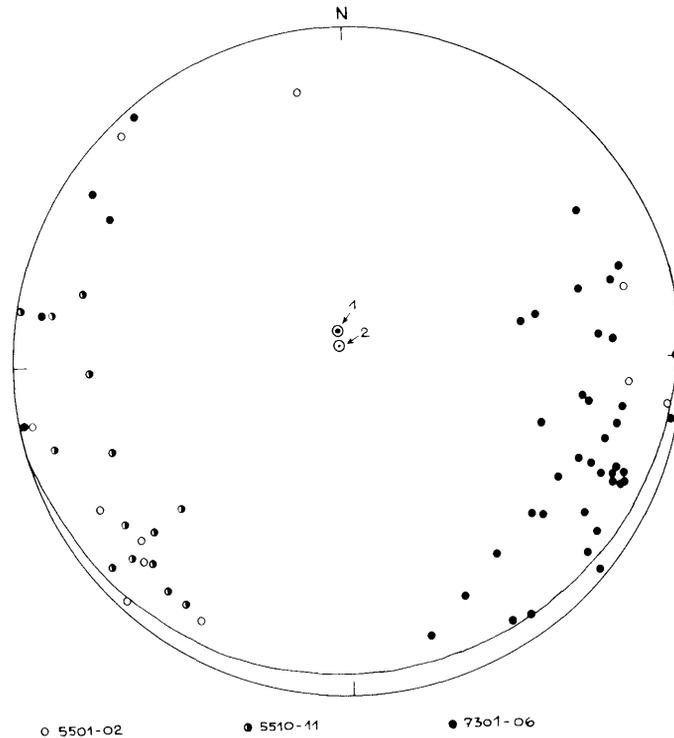
#### 4.2.4. B-Achsen

Die B-Achsenverteilung (gemessen wurden die B-Achsen der Kleinfalten) zeigt folgende Eigenschaften (vgl. dazu Abb. 6):

a) Es treten zwei Maxima auf (Hauptmaximum 111/18, Nebenmaximum 223/14), die einen Winkel von  $116^\circ$  miteinander einschließen.

b) Die B-Achsendurchstoßpunkte liegen (in erster Näherung) auf einem Großkreis (Großkreisdurchstoßungspunkt 340/83). Eine genauere Untersuchung zeigt, daß die B-Achsendurchstoßpunkte besser durch einen Kleinkreis dargestellt werden können. Dieser Durchstoßpunkt (327/86) stellt einen Konus mit apikalem Winkel von  $154^\circ$  dar (berechnet nach der Methode der kleinsten Quadrate, vgl. RAMSAY, 1967, 18 ff.).

c) Der Regelungsgrad der B-Achsen ist in den einzelnen Aufschlüssen unterschiedlich. So ist aus Abb. 6 ersichtlich, daß die B-Achsen der Aufschlußbereiche 7301—06 wesentlich geringer streuen als die der Aufschlußbereiche 5501—02 und 5510—11 (vgl. Kap. 4.3.).



**Abb. 6:** B-Achsendiagramm (Schmidtsches Netz) der Kleinfalten. Die verschiedenen Signaturen stellen verschiedene Aufschlußbereiche dar. Punkt 1 ist der Durchstoßpunkt (340/83) des Großkreises, auf dem die B-Achsendurchstoßpunkte (statistisch gesehen) liegen. Der zugehörige Großkreis ist eingezeichnet. Punkt 2 gibt den Durchstoßpunkt des entsprechenden Kleinkreises dar (Durchstoßpunkt 327/86, apikaler Winkel des Konus  $154^\circ$ ).

## 5. Interpretation

Die Interpretation der in Kap. 4 dargestellten tektonischen Erscheinungen erfolgt größtenteils mittels mathematischer Modelle. Vorerst wird der regionale Faltenbau (Großfalten), dann der Kleinfaltenbau näher untersucht. Da eine geometrische Beziehung zwischen den Falten verschiedener Ordnungen vorhanden ist — nach dem Prinzip von RAMSAY (vgl. Anhang) — müssen die Ergebnisse dieser Interpretationen ebenfalls Beziehungen zueinander aufweisen. Die Eigenschaften der Groß- und Kleinfalten werden an Faltschnitten in der ac-Ebene untersucht und interpretiert( „zweidimensionale Betrachtungsweise“). Die B-Achsen stellen demnach die „dritte Dimension“ dar. Die Verhältnisse in dieser werden im dritten Teil dieses Kapitels näher untersucht.

### 5.1. Falten erster Ordnung

Nach zahlreichen Untersuchungen von BIOT und RAMBERG (Lit. in RAMSAY 1967) kann das Gesteinsverhalten bei Faltung durch seitliche Einengung in erster Näherung durch perfekte Flüssigkeiten hoher Viskositäten dargestellt werden (Newton-Modell). Die sicherlich vorhandenen elastischen Eigenschaften werden weitgehend von den viskosen Eigenschaften überschattet.

Die Kompetenzdifferenz\* ist eine Angabe über unterschiedliches Fließverhalten der Gesteine bei Deformation — wenn man das Gesteinsverhalten nach dem Newton-Modell beschreibt. Demnach sind die kompetenten Lagen durch geringe Fließneigung (also hohe Viskosität), die inkompetenten Lagen durch bessere Fließneigung (geringere Viskosität) charakterisiert.

Zur Analyse der Großfalten ist es nun notwendig, die Kompetenzen der einzelnen Schichtglieder der Frankenfeser Decke abzuschätzen. Dies kann auf Grund der allgemeinen Kenntnisse des verschiedenartigen Verhaltens der lithologisch unterschiedlichen Schichtglieder erfolgen. Abb. 1 zeigt die Mächtigkeiten der Schichtglieder der Frankenfeser Decke und deren qualitative Angaben der Viskositäten auf Grund folgender Kompetenzunterschiede:

Hauptdolomit	kompetent
kalkig — sandig — schiefrige Serien (Jura und U.-Kreide)	inkompetent

Sicher werden die Jurakalke ein steiferes Verhalten aufweisen als die rein sandig-schiefrigen Serien (Lias und U.-Kreide), sie sind jedoch gegenüber dem Hauptdolomit als inkompetent zu betrachten. Es weist demnach der Hauptdolomit eine geringere Fließneigung (höhere Viskosität) als die restlichen Schichten auf.

RAMBERG (1964) untersuchte das Verhalten einer kompetenten Lage, die in mehrere inkompetente Lagen eingebettet ist. Bei seitlicher Einengung eines solchen Schichtpaketes treten folgende Effekte auf:

a) Die kompetente Schicht wird in symmetrische Falten verschiedener Wellenlängen gelegt, wobei es eine vorherrschende (dominante) Wellenlänge gibt, für die folgende Gleichung gilt:

$$Wd = 2\pi t \sqrt[3]{\frac{\mu_A}{6\mu_B}}$$

$\mu_A > \mu_B$

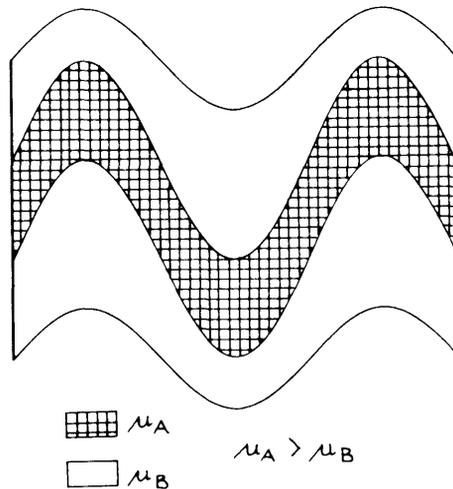
t ... Mächtigkeit der kompetenten Lage (Lage A)  
 $\mu_A$  ... Viskosität der kompetenten Lage  
 $\mu_B$  ... Viskosität der inkompetenten Lage

b) Die inkompetenten Schichten werden durch die kompetente Schicht bei der Faltung beeinflusst, und zwar derart, daß die Schichten hangend der kompetenten Schicht mächtige Mulden und geringmächtige Sättel bilden, liegend herrschen genau umgekehrte Verhältnisse (vgl. Abb. 7).

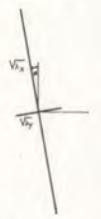
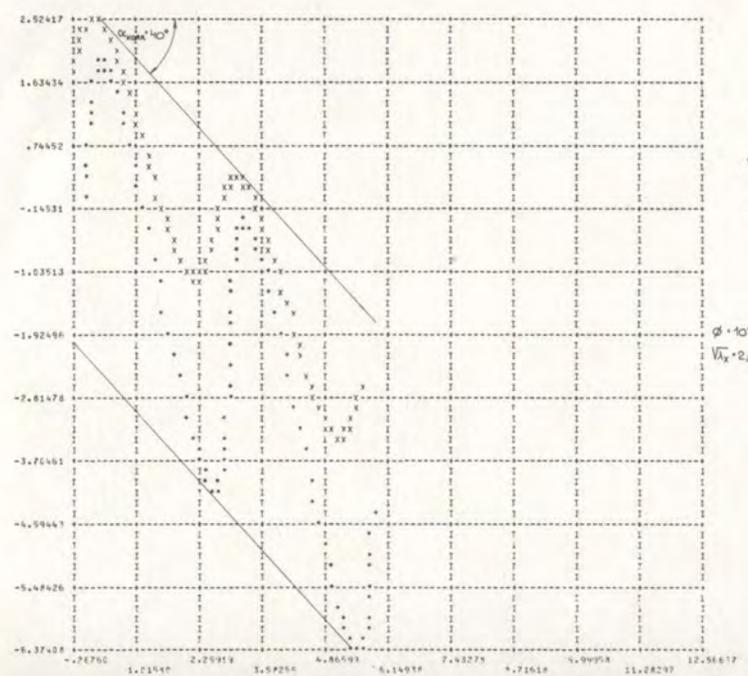
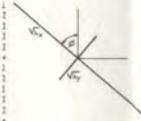
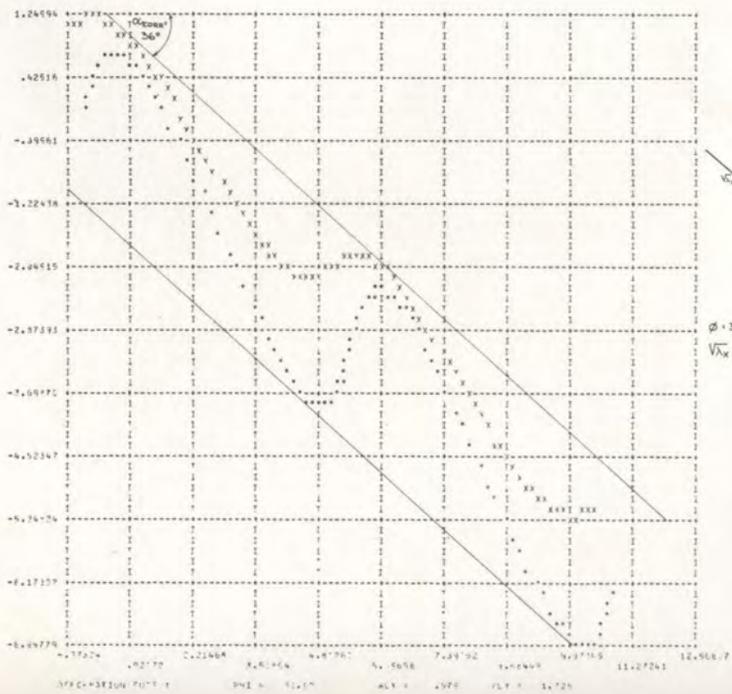
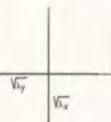
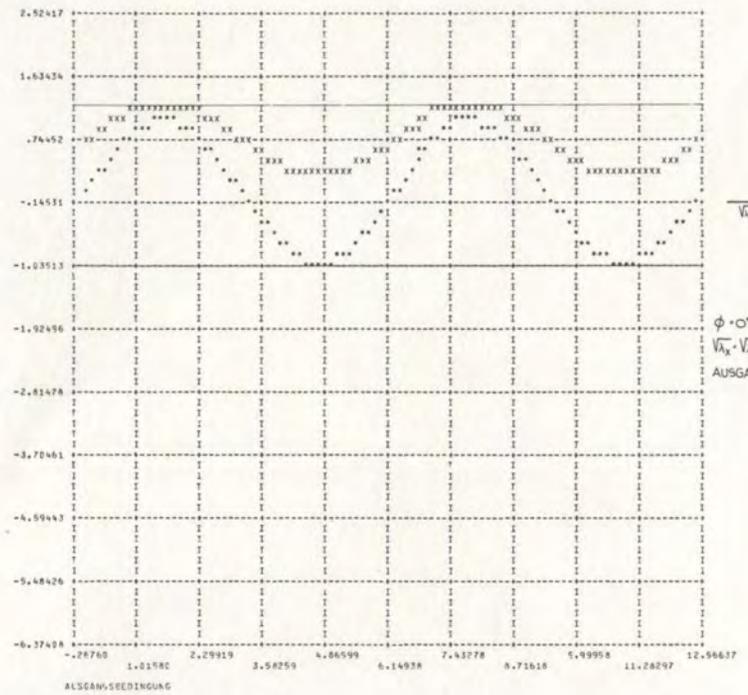
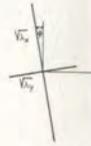
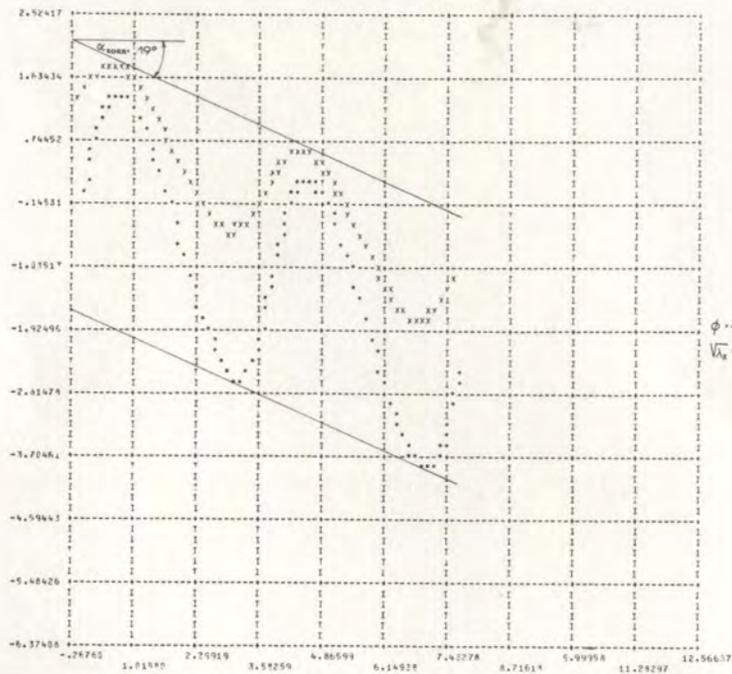
c) Der Einflußbereich („Strainkontaktzone“), in welchem der unter b) beschriebene Mulden- und Sattelbau hangend und liegend der kompetenten Lage auftritt, entspricht ungefähr der Größe der dominanten Wellenlänge.

Überträgt man nun diese Ergebnisse RAMBERGS auf das Schichtpaket der Frankenfesler Decke in noch ungefaltetem Zustand (Ausgangsbedingung), so ist bei seitlicher Einengung folgendes zu erwarten:

Der Hauptdolomit wird in symmetrische Falten gelegt. Die zu erwartende Wellenlänge (dominante Wellenlänge) der entstehenden Falten kann — da die (absoluten) Viskositäten der einzelnen Serien schwer abgeschätzt werden können — nicht angegeben werden. Daß die Wellenlängen jedoch im 1000-m-Bereich liegen, kann man einerseits aus dem heutigen regionalen Bau, aber auch aus folgenden Überlegungen abschätzen. Gäbe es keine Kompetenzunterschiede zwischen Hauptdolomit (Viskosität  $\mu_A$ ) und den übrigen Serien (Viskosität  $\mu_B$ ), so vereinfacht sich die oben ange-



**Abb. 7:** Schematische Darstellung der Verformung eines Schichtpaketes aus einer kompetenten Lage, in zwei inkompetenten Lagen eingebettet, durch schichtparallele Einengung.



gebene Gleichung auf die Form  $Wd = 3,46t$ , da  $\mu_{\lambda} = \mu_{\beta}$  (t Schichtmächtigkeit des Hauptdolomits). Bei einer Schichtmächtigkeit von ca. 500 m wird  $Wd$  ca. 1500 m. Da aber  $\mu_{\lambda}$  sehr wahrscheinlich größer als  $\mu_{\beta}$  ist, wird  $Wd > 3,46t$ , bzw.  $> 1500$  m.

Es ist daher nach den Mächtigkeitsangaben in Abb. 1 zu erwarten, daß alle Serien hangend des Hauptdolomits in dessen Einflußbereich gelegen sind, wenn man eine erste seitliche Einengung annimmt. Diese Serien werden dadurch in Falten mit mächtigen Synklinalen und geringmächtigen Antiklinalen gelegt und weisen so ein charakteristisches Merkmal des heutigen Faltenbaues auf.

Der heute deutlich nordvergente Faltenbau kann dadurch erklärt werden, daß nach der beginnenden seitlichen Einengung (horizontale und vertikale Strainachsen) der Beanspruchungsplan sich dahingehend ändert, daß die Strainachsen nun um einen bestimmten Winkel (zwischen  $10^{\circ}$  und  $45^{\circ}$ ) entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn rotiert werden („schräger Beanspruchungsplan“). Die nach diesem weiteren Deformationsplan modifizierten Falten weisen nun folgende Eigenschaften auf (vgl. Abb. 8):

a) Weitere Verdickung der Synklinalen, Verdünnung der Antiklinalen und besonders der langen Faltenschkel.

b) Je nach Deformationsgrad  $15^{\circ}$  bis  $35^{\circ}$  Südfallen der mittleren Faltenfläche.

Das Einsetzen eines solchen „schrägen Beanspruchungsplanes“ kann man gut auf das Einsetzen von Überschiebungen in den heutigen Nördlichen Kalkalpen zurückführen. Man kann dies dahingehend interpretieren, daß dann in den einzelnen Deckenkörpern neben der seitlichen („horizontalen“) Einengung durch die Überschiebung eine weitere Komponente, die der Schwerkraft der überschiebenden Decken hinzukommt und so den oben beschriebenen „schrägen Beanspruchungsplan“ erzeugt. Die dadurch entstehenden Internstrukturen sind den heutigen Großfalten sehr ähnlich, weisen aber eine relativ stark gegen Süden geneigte mittlere Faltenfläche auf.

Es ist nun aber die heutige Position der Frankenfesler Decke (und der übrigen kalkalpinen Decken) sicher nicht ident mit der Position, in der die Überschiebungen in den Kalkalpen einsetzten. Der Deckenbau der Nördlichen Kalkalpen hat ja in wesentlichen Zügen bereits vorgosauisch vorgelegen, so daß zu diesem Zeitpunkt bereits der „schräge Beanspruchungsplan“ gewirkt hat. Demnach ist es leicht vorstellbar, daß während des Transportes des Deckenkörpers (ein von der Interndeformation verschiedener Vorgang) in seine heutige Position, der gesamte Deckenkörper (und somit auch die mittlere Faltenfläche) seine heutige flach liegende Stellung bekam. Wie oben gezeigt wurde, sind  $15^{\circ}$  bis  $35^{\circ}$  einfallende

**Abb. 8:** Einige Deformationen eines Faltenzuges, bestehend aus der Faltenklassenreihe 1 A (erste Antiklinale), 3 (erste Synklinale), 1 A (zweite Antiklinale) und 3 (zweite Synklinale), dargestellt im Bild links oben. Die übrigen Bilder zeigen die durch entsprechenden Strain neu entstehenden Faltenzüge (die Strainbedingungen sind jeweils rechts im Bild angegeben). Da der vertikale und horizontale Maßstab verschieden sind, ist das wahre Einfallen der mittleren Faltenfläche etwas flacher als dargestellt. Das wahre Einfallen wird durch  $\alpha_{\text{KORR}}$  angegeben.

mittlere Faltenflächen während der Bildung der Internstrukturen zu erwarten. Das heutige Einfallen dieser beträgt ungefähr  $10^\circ$  (vgl. Abb. 2). Führt man eine Drehung um ungefähr  $20^\circ$  der in Abb. 8 dargestellten Faltenzüge durch, so erhält man ein den heutigen Gegebenheiten in der Frankenfeser Decke sehr ähnliches Bild. Die Ausdünnung der langen Faltenchenkel kann zur Ausbildung von Schwächezonen führen, an denen es bei weiteren Beanspruchungen leicht zu Durchscherungen kommen kann. Dies würde eine plausible Erklärung für die Darstellungen von HARTL (1949; Profil 10 und 11) geben. Danach bilden zwei mächtige Jura-Kreide-Mulden den Südrand der Frankenfeser Decke bei Kirchberg an der Pielach. Diese Mulden sind lediglich durch eine dünne, durchgescherte Jurakalk-Antiklinale getrennt (vgl. Abb. 2).

Zusammenfassend kann über die Bildung des regionalen Faltenbaues folgendes gesagt werden:

1. Eine erste Deformationsphase (laterale, schichtparallele Einengung) führt zur Ausbildung symmetrischer Falten des mesozoischen Schichtpaketes. Die Serien hangend des Hauptdolomits werden dabei so gefaltet, daß sie mächtige Mulden und dünne Sättel bilden.

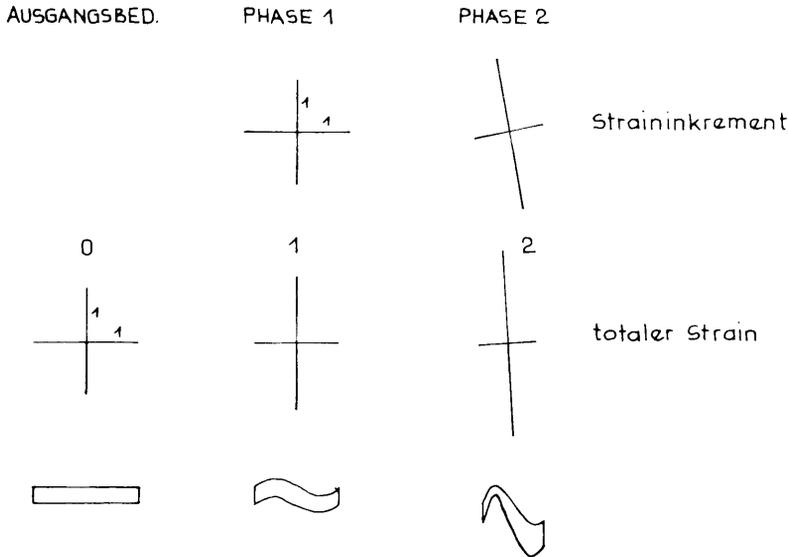
2. Eine zweite Deformationsphase modifiziert diesen Faltenbau. Durch nun schräg zur ursprünglichen Schichtung liegender „Hauptbeanspruchung“ (schräger Strain) entstehen nordvergente Falten, die Muldenzonen werden noch mächtiger, die Sattelzonen und der lange Faltenchenkel noch geringmächtiger.

3. Ein wesentlicher Faktor für die Entstehung dieser Strukturen sind die Kompetenzdifferenzen zwischen den einzelnen Serien.

4. Der eigentliche Transport der Decke hat auf die Internstrukturen nur den Einfluß, daß die Decke als Ganzes während des Transportes verschiedene Lagen einnehmen kann.

Die oben beschriebenen ersten zwei Phasen (Phase 1 und 2) müssen aber nicht als scharf zu trennende Ereignisse gesehen werden. Sie stellen einzelne Abschnitte einer progressiven Deformation\* dar und können fließend ineinander übergehen. Die wesentlichen deckeninternen Strukturen sind durch progressive Deformation entstanden, wobei ein wesentlicher Faktor zur Entstehung des beschriebenen Baustils die Kompetenzdifferenz zwischen dem Hauptdolomit und den übrigen Serien ist.

Abb. 9, die diese Vorstellung näher erläutert, ist eine schematische Darstellung einer progressiven Deformationsreihe, die Deformationen — dem oben beschriebenen Baustil entsprechend — bewirkt. Die Darstellung des entsprechenden Strains erfolgt durch seine Ellipsenachsen. Die Ausgangsbedingungen (noch keine Deformation) sind durch den Einheitskreis gekennzeichnet. Phase 1 stellt die laterale, schichtparallele Einengung dar, sie liefert die in Abb. 8a beschriebenen Faltenzüge. In der zweiten Phase werden durch weiteren Strain — mit nun schwach rotierten Achsen — die durch Phase 1 entstandenen Faltenzüge weiter deformiert. Um aus der Strainellipse der Phase 1 zu jener der Phase 2 zu gelangen, war ein bestimmter Strainzuwachs — dargestellt durch das Straininkrement — notwendig. Die Strainellipsen in Abb. 8b, c und d stellen Straininkremente in diesem Sinne dar.



**Abb. 9:** Progressive Deformationsreihe zur Deutung der Internstrukturen der Frankenfesler Decke, Erläuterung im Text.

## 5.2. Falten höherer Ordnung

In den Kapiteln 4.2.1.2. und 4.2.1.3. wurde gezeigt, daß die auftretenden Faltenklassen und Faltenformen offensichtlich von der Krümmung der mittleren Faltenfläche abhängen. Die mittlere Faltenfläche stellt ja die Falte nächst niederer Ordnung (im folgenden mit „Falte n. n. O.“ abgekürzt) dar.

Generell kann man zwei Faltentypen — nach ihrer Lage in der Falte nächst niederer Ordnung — unterscheiden:

a) Chevronfalten (Knickfalten, Faltenklasse 2, V-Form) in den Bereichen relativ großer Krümmung der mittleren Faltenfläche (also der Schanierzone der Falte nächst niederer Ordnung) und

b) Kongruente Falten („similar folds“, Faltenklasse 1 C und 3 alternierend, Sinus-Form) in den Bereichen geringer bis keiner Krümmung der mittleren Faltenfläche (also in den Schenkeln der Falte nächst niederer Ordnung). Die kongruenten Falten treten jedoch auch in den Bereichen großer Krümmung auf, wenn die Bankmächtigkeiten relativ stark variieren. Nach RAMSAY (1967, 431 ff.) ist das alternierende Auftreten von Faltenklassen 1 C und 3 typisch für kongruente Falten, die durch schichtparallele Einengung entstanden sind. Die vorerst entstehenden Parallelfalten werden durch weitere Verformung zu kongruenten Falten modifiziert. Dies ist für die Herleitung der Faltenentwicklung sehr wesentlich.

Um das Auftreten der verschiedenen Faltengruppen besser interpretieren zu können, sollen einige wesentliche Eigenschaften der Chevron- und

Parallelfalten an Hand einfacher Modelle im folgenden Kapitel 5.2.1. (Faltenmodelle bei schichtparalleler Einengung) erläutert werden. Kapitel 5.2.2. ist dann die eigentliche Interpretation der Geländebefunde an Hand der Modelle.

### 5.2.1. Faltenmodelle bei schichtparalleler Einengung

Nimmt man als den faltenbildenden Vorgang schichtparallele Einengung an, also kompressiven Stress parallel zu den Schichtflächen, so können je nach Ausgangsbedingungen (Materialbedingungen) und Deformationsmechanismus verschiedene Falten Typen entstehen. Drei wichtige Typen werden an Hand geometrischer Modelle näher erläutert. Mittels dieser soll untersucht werden, welche Eigenschaften für die verschiedenen Falten Typen wesentlich sind.

#### 5.2.1.1. Parallelfalten

Die Deformation eines ungefalteten Schichtpaketes in Parallelfalten kann durch Scherung an den Schichtflächen und Scherung innerhalb der Schichtbänke erfolgen (Biegegleitfaltung). Findet keine Scherung statt (Biegefaltung), so erfolgt eine Modifikation der einzelnen Bänke, die durch reinen longitudinalen Strain beschrieben werden kann.

##### 5.2.1.1.1. Biegegleitfalte, Parallelfalte durch Scherung an den Falten-schenkel

Abb. 10a zeigt ein vereinfachtes Biegegleitfaltenmodell mit der Annahme, daß die Länge  $l_0$  (d. i. die Länge des ungefalteten Schichtpaketes) während der Deformation konstant bleibt. Demnach hat die Bogenlänge  $b$  die Länge  $l_0$ , also

$$(1) \quad l_0 = b = r\alpha \quad (\text{alle Winkelangaben im Bogenmaß}).$$

Durch die Faltung wird das ursprünglich  $l_0$  lange Schichtpaket auf die Länge  $l_1$  eingeengt, wobei gilt

$$(2) \quad l_1 = r \sin\alpha$$

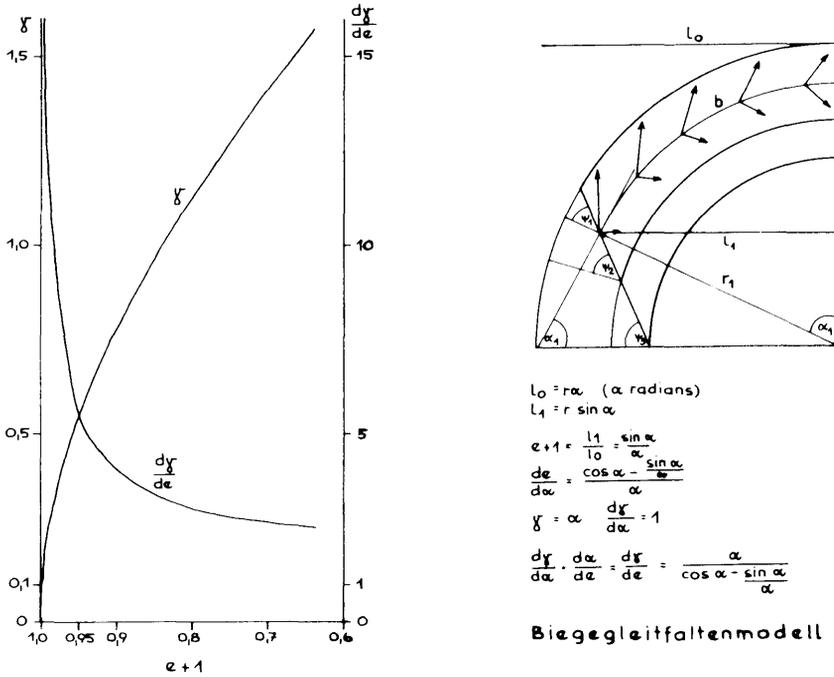
Um diese Einengung zu erreichen, hat also folgende Deformation in horizontaler Richtung stattgefunden

$$(3) \quad \sqrt{\lambda} = e + 1 = l_1/l_0 = \frac{\sin \alpha}{\alpha}$$

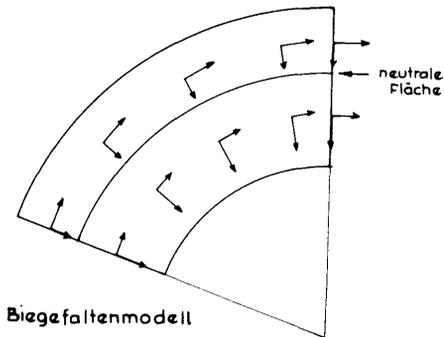
$\sqrt{\lambda}$ , bzw.  $e + 1$  sind Maßzahlen für die Größe der Einengung und geben die Länge der Strainellipsenhalbachse in horizontaler Richtung an. RAMSAY (1967, 393) zeigt, daß für den Scherstrain (für dieses Modell) gilt

$$(4) \quad \gamma = \alpha \quad (\text{gemessen im Bogenmaß}) \text{ ist der Einfallswinkel des Falten-schenkels}$$

Abb. 10a zeigt die Funktion  $\gamma = f(e)$  durch Kombination von (3) und (4). Sie gibt den während der Einengung auftretenden größten Scherstrain an, der dort auftritt, wo der Einfallswinkel  $\alpha$  am größten ist. Im folgenden ist unter dem Begriff Scherstrain und -rate stets der größte auftretende Scherstrain bzw. dessen Rate gemeint. Man sieht, daß zu Beginn der Einengung ( $e + 1 = 1$ ) der Scherstrain null ist, dann aber rasch zunimmt.



**Abb. 10:** Biegegleitfaltenmodell (a); geometrische Eigenschaften des aus zwei verschiedenen starken Lagen zusammengesetzten Modells. In der dickeren Lage sind die durch Scherung entstehenden lageninternen Strainverhältnisse (durch die Strainellippenhalbachsen) eingezeichnet.  $\psi_1, \psi_2$  und  $\psi_3$  stellen verschieden große Scherwinkel an verschiedenen Stellen der Falte dar,  $\alpha_1$  ist der zum Scherwinkel  $\psi_1$  zugehörige Einfallswinkel. Die Kurve  $\gamma$  im Diagramm gibt den Scherstrain, die Kurve  $\frac{dy}{de}$  die Scherstrainrate (Scherstraininkrement), die sich durch die totale Einengung der Falte in den Faltschenkeln entwickelt, an.  $e + 1$  ist eine Maßzahl für die totale Einengung,  $e + 1 = 1$  bedeutet 0% Einengung,  $e + 1 = 0$  100% Einengung.



**Biegefaltenmodell (b),** stark vereinfacht nach RAMSAY (1967, 398), ursprünglich aus zwei gleich starken Lagen bestehend. Der lageninterne Strain ist durch die Strainellipsenhalbachsen dargestellt.

Mit fortschreitender Einengung nimmt die Strainzunahme ab. Diese Veränderung in der Scherstrainzunahme wird deutlich durch die Scherstrainrate  $\frac{d\gamma}{de}$  aufgezeigt (vgl. Abb. 10). So sind zu Beginn der Faltung hohe (theoretisch unendlich große) Scherstrainraten notwendig, um eine Faltenbildung nach diesem Modell zu erhalten. Danach nimmt die Scherstrainrate rasch ab. Die mathematische Herleitung ist:

Aus (3) erhält man

$$(5) \quad \frac{de}{d\alpha} = (\cos\alpha - (\sin\alpha/\alpha))/\alpha$$

Aus (4) erhält man

$$(6) \quad \frac{d\gamma}{d\alpha} = 1 \quad \text{und durch Kombination von (5) und (6)}$$

$$(7) \quad \frac{d\gamma}{de} = \frac{d\gamma}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{de} = \frac{\alpha}{\cos\alpha - \frac{\sin\alpha}{\alpha}}$$

Bemerkenswert ist, daß der erforderliche Scherstrain  $\frac{d\gamma}{de}$  unabhängig von der Bankmächtigkeit und unabhängig von Schwankungen der Bankmächtigkeit ist.

In den Scharnierzonen ( $\alpha = 0$ ) herrscht kein Scherstrain, maximaler Scherstrain herrscht dort, wo  $\alpha$  am größten ist.

Weiters sind in Abb. 10a einige aus dem Scherstrain ( $\gamma$ ) resultierende Strainellipsen — wie sie sich innerhalb einer gefalteten Lage entwickeln — dargestellt. Vergleiche dazu RAMSAY (1967, Fig. 7—54).

Den Scherstress ( $\tau$ ), der an den Faltenschenkeln während der verschiedenen Faltungsstadien bzw. in den verschieden stark geneigten Schenkelabschnitten wirkt, kann man — unter der Annahme, daß der faltensformende kompressive Stress ( $\sigma_2$  und  $\sigma_1$ ) senkrecht bzw. tangential zur Achsenebene ist — wie folgt ermitteln.

In einer Ebene, die mit dem Winkel  $\alpha$  einfällt (bei horizontalem und vertikalem  $\sigma_2$  und  $\sigma_1$ ) wirkt der Scherstress

$$(8) \quad \tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha \quad (\text{vgl. RAMSAY 1967, 29 ff.}).$$

Die Werte des (größten erforderlichen) Scherstresses während verschiedener Faltungsstadien (angegeben durch den Grad der Einengung in horizontaler Richtung) erhält man durch Kombination von (8) mit (3) und sind in Abb. 12 dargestellt. Es sind dies die größten auftretenden Scherstresswerte, die an bestimmten Faltenanteilen erforderlichen Werte sind ja von  $\alpha$  abhängig.

#### 5.2.1.1.2. Biegefalte

Findet keine Scherung entlang der Schichtflächen statt, so erfolgt durch die Faltung eine Modifikation der ursprünglichen Bankmächtigkeiten, und zwar derart, daß die (bankinternen) Strainellipsenachsen tangential und

senkrecht zu den gefalteten Lagen stehen. Vergleiche Abb. 10b, welche ein einfaches Biegefallenmodell darstellt, nähere Beschreibung in RAMSAY (1967, 397). Innerhalb einer bestimmten Grenze (neutrale Fläche) kommt es zu Kompression der Lagen, d. h. ihre Mächtigkeit nimmt zu bei gleichzeitiger Verkürzung, außerhalb dieser Grenze kommt es zu Extension. Die entsprechenden internen Strainverhältnisse sind in Abb. 10b dargestellt.

#### **5.2.1.1.3. Mischtypen aus Biegegleit- und Biegefallen**

In der Natur werden nur in seltenen Fällen Falten (bei schichtparalleler Einengung) sich rein nach dem einen oder anderen Typ entwickeln. Normalerweise werden Mischtypen entstehen mit verschiedenen Anteilsverhältnissen an den beiden Mechanismen.

In solchen Mischtypen sind folgende falteninterne Strainverhältnisse zu erwarten:

a) In den Scharnierzonen herrschen Strainbedingungen (Kontraktion oder Extension).

b) In den Schenkeln sind die Strainachsen nicht parallel oder senkrecht zu den Schichtflächen.

c) Mit zunehmender Einengung — d. h. mit zunehmender Steilerstellung der Faltenschenkel — ändern sich die bankinternen Strainverhältnisse laufend. Einerseits werden die Strainverhältnisse größer, andererseits ändert sich auch fortwährend der Winkel zwischen Schichtlage und internen Strainachsen. Ausnahme ist jedoch die Scharnierzone, wo die internen Strainachsen immer parallel zu den Schichtflächen sind.

#### **5.2.1.2. Chevronfalte**

Auch hier ist der faltenbildende Vorgang schichtparallele Einengung durch kompressiven Stress. RAMSAY (1967) ermittelte aus einem geometrischen Chevronfallenmodell (Abb. 11) einige charakteristische Merkmale, die zur Chevronfallenbildung notwendig sind. Unter anderem sind dies:

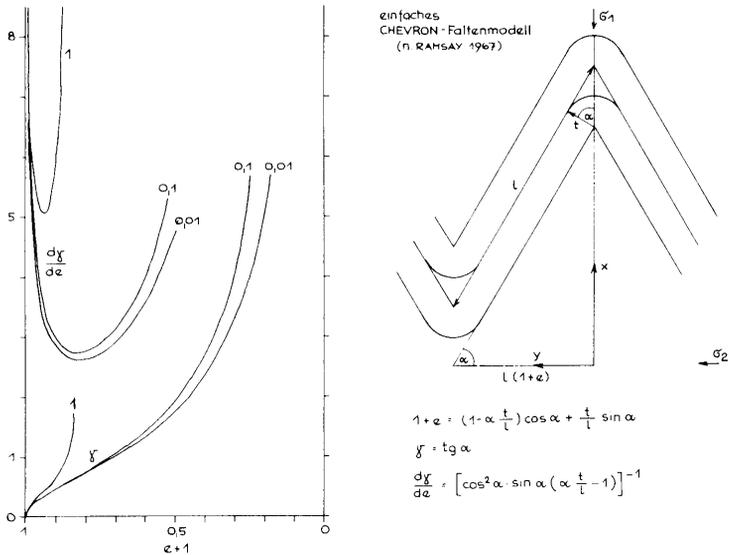
1. Die Bankmächtigkeiten müssen relativ konstant sein. Das Verhältnis Faltenschenkel zu Schenkeldicke ist allgemein größer als 10 : 1.

2. Die Scherstrainraten (des Scherstrains in den Schenkel) nehmen zu Beginn der Faltung rasch ab, dann aber wieder langsam zu (vgl. Abb. 11). Eine Untersuchung des in den Schenkeln wirksamen Scherstress zeigt, daß dieser bei zunehmender Ausbildung der Chevronfalte abnimmt, so daß — wegen der gleichzeitig zunehmenden Scherstrainraten — sich die Falte nur bis zu einem bestimmten Winkel entwickeln kann.

Weitere Eigenschaften der Chevronfalte sowie die Herleitung dieser finden sich in RAMSAY (1967, 1974). Abb. 11 zeigt auch die Kurve  $\gamma = f(e)$  und deren Ableitung, Abb. 12 stellt die Scherstresswerte während verschiedener Faltungsstadien dar. Die Herleitung der Kurven erfolgt nach den gleichen Überlegungen wie in Kap. 5.2.1.1.1. (Biegegleitfalte).

#### **5.2.1.3. Vergleich Chevronfalte — Parallelfalte**

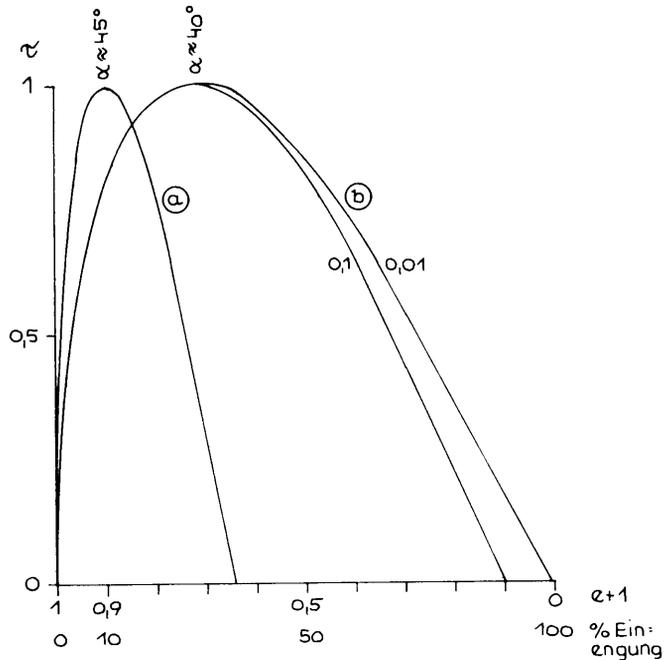
Die Bildung einer Chevronfalte geht nach RAMSAY (1967, 443 ff.) folgendermaßen vor sich:



**Abb. 11:** Chevronfaltenmodell nach RAMSAY (1967, 436). Rechts Darstellung der geometrischen Eigenschaften. Die Kurven  $\gamma$  und  $\frac{d\gamma}{de}$  stellen den Scherstrain bzw. die Scherstrainrate in der Faltenschenkeln durch entsprechende totale Einengung ( $e + 1$ ) dar. Die Werte 1, 0,1 und 0,01 beziehen sich jeweils auf das Verhältnis  $t/l$ , also Schichtdicke zu Schenkellänge.

Parallel (und senkrecht) zu den faltenden Lagen wirkt kompressiver Stress ( $\sigma_1, \sigma_2$ ), aus dem sich entlang der Bankflächen der zur Faltung erforderliche Scherstress ( $\tau$ ) entwickelt. Die Werte dieses Scherstresses zu bestimmten Faltungsstadien sind in Abb. 12 dargestellt. Zu Beginn der Faltung (0% Einengung) kann sich kein Scherstress entwickeln, solange die Schichten nicht leicht gekrümmt sind. Kommt es nun durch den kompressiven Stress zu einer Wellung des Schichtpaketes, so setzt die eigentliche Faltung ein und setzt sich solange fort, solange der kompressive Stress groß genug ist, um den erforderlichen Scherstress zu erzeugen.

Wie Abb. 12 zeigt, treten die maximalen Scherstresswerte nach ca. 30% Einengung der Schichten auf. Brechen nun die notwendigen Stressbedingungen früher zusammen, so kann sich der Chevronfaltenstil nicht entwickeln. Abb. 12 zeigt auch die zur Parallelfaltenbildung durch Biegegleitung notwendigen (maximalen) Scherstresswerte, bezogen auf den Grad der Einengung. Maximaler Scherstress muß hier bereits nach 10% Einengung vorhanden sein. Er nimmt dann rasch ab und wird nach 36% Einengung gleich null (maximale Einengung einer reinen Parallelfalte, vgl. DE SITTER 1958).



**Abb. 12:** Variation des Scherstresses an den Faltenschenkeln von Biegegleitfalten (Parallelfalte, Kurve a) und Chevronfalten (Kurve b, die Werte 0,1 und 0,01 geben das Verhältnis  $t/l$  an, vgl. Abb. 11), bezogen auf die totale Einengung der Falte ( $e + 1$ ). Die in den Maxima der Kurven angegebenen Winkel  $\alpha$  stellen das Einfallen der Faltenschenkel bei entsprechender totaler Einengung dar.

Es sind also für die Parallelfaltenbildung durch Biegegleitung nur einen kürzeren Zeitraum (bezogen auf die Einengung) hohe Stresswerte als zur Chevronfaltenbildung erforderlich. Verständlich wird dies bei der Betrachtung der Scherstrainraten, die als „momentane Schergeschwindigkeit“ angesehen werden können, vgl. dazu Abb. 10 und 11. Obwohl bei der Parallelfalte der Scherstrain (bei laufender Einengung) zunimmt, darf der Scherstress bereits nach 10% Einengung abfallen, da die erforderlichen Scherstrainraten sehr klein werden (je kleiner die Geschwindigkeit, desto geringere Kraft ist notwendig). Hingegen nehmen bei der Chevronfalte Scherstrain und -rate zu, so daß längere Zeit hoher Stress erforderlich ist.

Betrachtet man die Strainbedingungen zur Bildung (symmetrischer) Parallel- und Chevronfalten, so ist ganz offensichtlich, daß die Strainachsenlagen während der Faltenbildung konstant bleiben müssen. Das bedeutet aber, daß — nach obiger Ausführung — zur Ausbildung (symmetrischer) Parallelfalten nur einen relativ kurzen Zeitraum (ca. 10%, bezogen auf die Einengung) konstante Strainachsenlagen erforderlich sind. Zur Chevronfaltenbildung ist dies wesentlich länger erforderlich (mindestens 30%, bezogen auf die Einengung).

Eine zusammenfassende Gegenüberstellung der beiden Falten Typen zeigt:

1. Sowohl für Parallelfalten (Biegegleitfalten) als auch für Chevronfalten ist als faltenbildender Vorgang schichtparallele Einengung durch kompressiven Stress maßgeblich. In beiden Fällen tritt Scherung an den Faltschenkeln als wesentlicher Deformationsmechanismus auf.

2. Zur Ausbildung geometrisch stabiler Chevronfalten sind wesentlich länger hoher Scherstress und konstante Strainachsenlagen erforderlich als zur Ausbildung geometrisch stabiler Parallelfalten (Biegegleitfalten).

### 5.2.2. Vergleich Geländebefunde — Modell

RAMSAY (1967 und 1974) untersuchte — wie oben beschrieben — detailliert, welche Faktoren maßgeblich zur Bildung von Chevronfalten sind. Danach ist eine wesentliche Voraussetzung, daß die Bankmächtigkeiten (der zu faltenden Schichten) konstant sind (möglichst geringe Variation aufweisen) und daß sie relativ geringmächtig im Verhältnis zur Schenkellänge (der Chevronfalte) sind, normalerweise ist das Verhältnis Bankmächtigkeit zu Schenkellänge kleiner als 0,1. Dies ist gut in Abb. 4a sichtbar: die Bänke D, E und F sind im Bereich I relativ konstant in ihren Bankmächtigkeiten und sind in Chevronform gefaltet.

In der Gegenüberstellung Parallelfalte — Chevronfalte wurde gezeigt, daß zur Chevronfaltenbildung wesentlich länger hoher Scherstress und konstante Strainachsenlagen („irrotationaler Strain“) notwendig sind. Man kann nun davon ausgehend die Abhängigkeit des Falten Typus von der Krümmung der mittleren Faltenfläche interpretieren.

Große Krümmung der mittleren Faltenfläche bedeutet, daß man sich in einer Scharnierzone der Falte nächst niederer Ordnung befindet. Die Falten n. n. O. sind offensichtlich ein Mischtyp zwischen Biegefalten und Biegegleitfalten (vgl. Kap. 5.2.1.1.3.), denn die Kleinfalten zeigen:

a) an den Schenkeln der Falten n. n. O. Vergenzen, die auf eine Scherbewegung in Richtung Scharnierzone weisen (entspricht dem Biegegleitfaltenmodell);

b) in den Scharnierzonen der Falten n. n. O. symmetrische Formen ohne ausgeprägte Vergenzrichtungen. Es muß also (in den beobachtbaren Bereichen) Kompression der Schichten in der Scharnierzone geherrscht haben (Biegefaltenmodell).

Mit Einsetzen der Bildung der Falten n. n. O. beginnt auch die Anlage der Kleinfalten, bedingt durch die internen Stress- und Strainverhältnisse (bezogen auf die Falte n. n. O.). Vorerst wohl überall als ca. symmetrische Parallelfalten, solange die Schenkel der Großfalten noch nicht stark geneigt sind, was ca. senkrechte bzw. tangentiale Strainachsen (bezogen auf die Schichtlagen der Falte n. n. O.) bewirkt.

Mit zunehmender Weiterentwicklung der Falte n. n. O. wird dann aber in den Schenkel der Strain ein deutlich rotationaler, d. h. die Lage der Strainachsen ändert sich fortlaufend, so daß sie dann in den Schenkelbereichen nicht mehr senkrecht bzw. tangential (bezogen auf die Schichtlagen der Falte n. n. O.) sind. Dies bewirkt eine Modifikation der ursprünglichen Parallelfalten in vergente Kongruente Falten (vgl. RAMSAY 1967,

431 ff.). Hingegen herrschen — bei Weiterentwicklung der Falte n. n. O. — in der Scharnierzone stets irrotationale Strainbedingungen und offenbar auch die notwendigen Stressbedingungen, so daß sich dort aus den Parallelfalten Chevronfalten entwickeln können.

Zum Auftreten südvergenter Kleinfalten sei bemerkt, daß solche in nordbewegten Deckenkörpern durchaus möglich sind, und zwar nicht nur an überkippten Schenkeln nordvergenter Großfalten — wie TOLLMANN (1973, Abb. 56) zeigt („scheinbare Faltenvergenzumkehr bei verkehrten Serien“) — sondern auch in nicht überkippten Schenkeln, wie es nach dem erläuterten Biegefaltenmodell durch den an den Schichtflächen herrschenden Strain leicht verständlich ist. Südvergente Kleinfalten sind danach (bei allgemeiner Nordbewegung des Deckenkörpers, welche streng von der Interndeformation zu unterscheiden ist) nicht auf verkehrt liegende Schichtfolgen beschränkt.

Das Auftreten verschiedener Kleinfaltentypen läßt sich also gut durch deren Position in der Falte nächst niederer Ordnung („Großfalte“) interpretieren. Danach bilden sich Chevronfalten in den Scharnierzonen der Falten n. n. O. aus, weil dort konstante Strainachsenlagen und hoher Stress zu erwarten sind. Sie bilden sich jedoch nur dann aus, wenn die Bankmächtigkeiten relativ konstant sind. In allen anderen Fällen entwickeln sich vorerst Parallelfalten, die durch weitere Deformation in Kongruente Falten modifiziert werden. An den Schenkeln der Falte n. n. O. werden durch den dort rotationalen Strain diese Kongruenten Falten Vergenzen aufweisen, deren Richtung von der Lagerung des „Großfaltenschenkels“ abhängt.

### 5.3. B-Achsenverteilung

Nach den Darstellungen im Kap. 3.4. (vgl. Abb. 6) entsprechen die Einzelmessungen in den einzelnen Aufschlußbereichen ungefähr dem allgemeinen E-W-Trend, bei gemeinsamer Betrachtung aller Meßwerte ergeben sich die — in Kap. 3.4. — beschriebenen Phänomene.

Eine Deutung als ursprünglich einheitliche B-Achsenverteilung (also einheitliche Streichrichtung mit einheitlicher Streuung), die durch jüngere tektonische Vorgänge (z. B. Bruchtektonik) in den verschiedenen Bereichen verschiedenartig verstellt wurde, ist unwahrscheinlich. Unter anderem deswegen, da die verschiedenen Aufschlußbereiche verschiedene Regelungsgrade aufweisen und somit bereits primär andere Streuungen gehabt haben müssen.

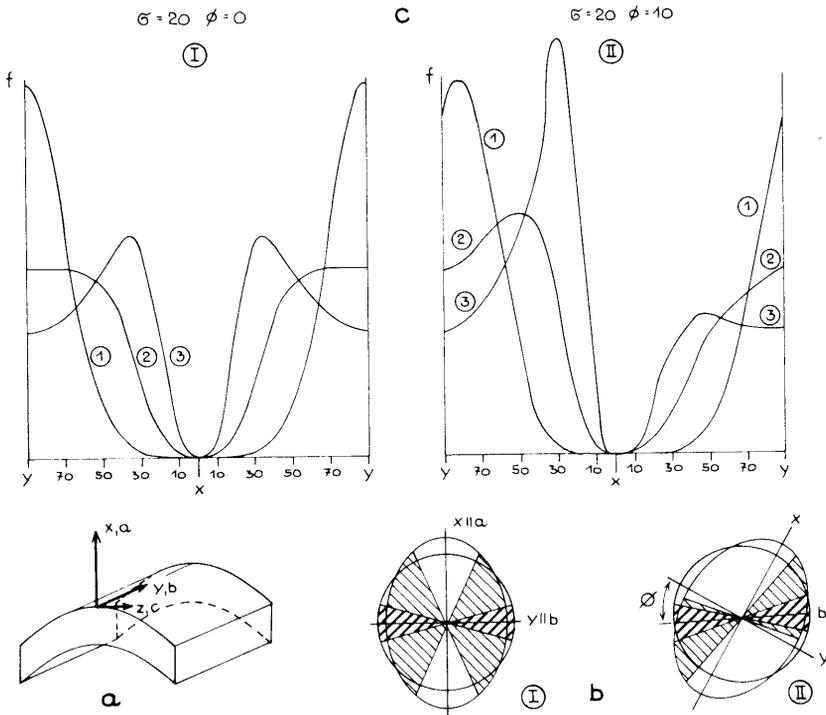
Es weist der Bereich 7301—06 mit  $k = 0,43$  eine doppelt so gute Einregelung auf wie der Bereich 5501, 02 und 10—11 mit  $k = 0,91$ . Zur mathematischen Bestimmung des Regelungsgrades  $k$  siehe BAUMGARTNER (1974), es ist auch aus Abb. 6 allein augenscheinlich, daß der erste Bereich (7301—06) eine deutlich bessere Einregelung als der zweite aufweist.

Eine plausible Deutung für solche unregelmäßigen B-Achsenverteilungen kann nach SANDERSON (1973), wie Kap. 5.3.1. zeigt, erfolgen. Dieser interpretiert das Auftreten von unregelmäßigen B-Achsenverteilungen durch Rotation der B-Achsen in der Achsenebene. Es ist ja offensichtlich,

daß bei räumlicher Betrachtung einer Falte auch ein dreidimensionaler Verformungsplan berücksichtigt werden muß, so daß nicht nur in der ac-Ebene einer Falte, sondern (im Normalfall) auch in der Achsenebene Verformungspläne wirksam sind. Durch Berücksichtigung letzterer können die Abweichungen der B-Achsen vom regionalen Trend gut interpretiert werden.

### 5.3.1. Sandersons Modell zur Interpretation von B-Achsenverteilungen

SANDERSON (1973) entwickelte ein Modell zur Deutung der Zusammenhänge zwischen B-Achsenverteilung und finitem Strainellipsoid. Dieses zeigt auf, durch welche Strainverhältnisse in der Achsenebene welche theoretischen B-Achsenverteilungen zu erwarten sind.



**Abb. 13:** (a) Zusammenhang der Strain- und Faltenachsen für die Annahme  $Y/b$  (spezieller Fall).  $X \geq Y \geq Z$  sind die Strainellipsoidachsen,  $a, b, c$  die geometrischen Faltenachsen.  
 (b) B-Achsenverteilung durch progressive Deformation in der Achsenebene bei (I) konstanter Strainachsenlage und (II) rotierten Strainachsen. Das dunkle Feld zeigt die initiale, das helle Feld die finite B-Achsenverteilung.  
 (c) Einige Häufigkeitsverteilungen von B-Achsen durch Strainbedingungen von  $X/Y = 1, 2$  oder  $3$  erzeugt.  $X \dots$  Richtung der X-Achse,  $Y \dots$  Richtung der Y-Achse des Strainellipsoides.

Abb. 13 soll kurz und schematisch die theoretischen Grundlagen des Modells aufzeigen. Ausgegangen wird von der Annahme, daß die geometrischen Achsen einer Falte primär parallel zu den Strainachsen sind, also  $a//X$ ,  $b//Y$  und  $c//Z$  — wobei  $X \geq Y \geq Z$  ist (Abb. 13a). Bei weiterer Deformation (progressiver Deformation) kommt es zur Weiterentwicklung der Falte, wobei nun die primären B-Achsen (die eine gewisse natürliche Streuung aufweisen) nach dem in der Achsenebene (d. i. die XY-Ebene des Strainellipsoides) herrschenden Deformationsplan (der durch die Strainellipse mit X und Y als Ellipsenhalbachsen dargestellt wird) deformiert werden. Abb. 13b zeigt zwei prinzipielle Möglichkeiten der weiteren B-Achsendeformation: a) Die Strainachsen bleiben während der gesamten progressiven Deformation in ihrer Lage konstant, was — je nach Deformationsstärke — neue, symmetrische B-Achsenverteilungen mit in X-Richtung rotierenden B-Achsen erzeugt. Bei solchen Deformationen besteht der Trend zur Rotation in die X-Richtung, der allgemeinen Transportrichtung. b) Die Strainachsen rotieren während der progressiven Deformation um einen bestimmten Winkel ( $\Phi$ ). Dies erzeugt eine asymmetrische B-Achsenverteilung, jedoch auch mit dem Trend zur Rotation in die X-Richtung. Deutlicher wird dies noch durch Abb. 13c gezeigt. Es zeigt a) B-Achsenverteilungen, die durch Strainverhältnisse von  $X/Y = 1, 2$  und  $3$  bei konstanten B-Achsenlagen entstanden sind. b) zeigt dasselbe, jedoch unter der Annahme einer Rotation der X- und Y-Achsen um  $10^\circ$  in der Achsenebene ( $\Phi = 10$ ).  $X/Y = 1$  bedeutet keine Deformation (die Kurve stellt die nicht deformierte, primäre B-Achsenverteilung dar). Ab  $X/Y = 2$  zeigt sich der Trend zur Rotation der B-Achsen in die X-Richtung (allg. Transportrichtung), bei konstanten Achsen mit symmetrischer, bei rotierenden Achsen mit asymmetrischer Verteilung.

Das Auftreten unregelmäßiger B-Achsenverteilungen („Querfalten“) ist also durch einen einfachen Deformationsplan — der die Strainverhältnisse in der Achsenebene wiedergibt — erklärbar. — Zu weiteren Erläuterungen siehe die Arbeit von SANDERSON (1973). Wesentlich ist, daß die Strainbedingungen in der Achsenebene gleichzeitig mit der allgemeinen Faltenbildung auftreten, so daß die soeben gebildeten B-Achsen mehr oder weniger gleichzeitig einer Rotation unterliegen.

### 5.3.2. Vergleich natürliche B-Achsenverteilung — Modell

Es kann gezeigt werden, daß die natürliche B-Achsenverteilung (aus den Geländebefunden) gut mit bestimmten theoretischen B-Achsenverteilungen übereinstimmt. Eine quantitative Auswertung der B-Achsenverteilung zur Bestimmung des Verformungsplanes in der Achsenebene ist hier jedoch nicht möglich, da eine Grundvoraussetzung, die Bestimmung von Streckungsrichtungen im Gelände (X-Achse des finiten Strainellipsoides) mangels geeigneter Indikatoren nicht möglich war. Nach folgenden Überlegungen kann eine „qualitative“ Auswertung vorgenommen werden.

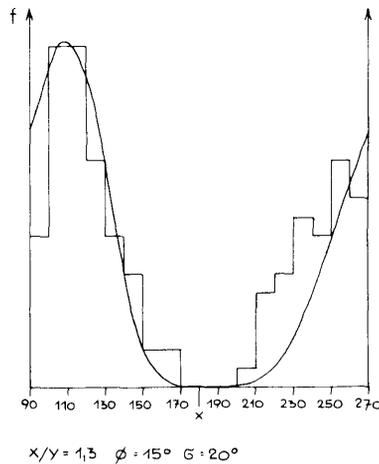
Erfolgt die Deformation der B-Achsen nach dem Modell von SANDERSON, so müssen diese in einer Ebene liegen — der Achsenebene. Eine genauere Untersuchung zeigt aber, daß dies nur im Kleinfaltenmaßstab

unbedingt richtig ist. In größeren Bereichen treten Abweichungen auf, wenn die Kleinfalten an den Schenkeln der Falte nächst niederer Ordnung Vergenzen aufweisen. Die Achsenebenen der Kleinfalten streuen dann um einen Wert, der der Achsenebene der Falte nächst niederer Ordnung entspricht. Weiters ist in der Richtung der X-Achse die B-Achsenhäufigkeit gleich null.

Abb. 14 zeigt ein Histogramm der B-Achsenhäufigkeiten (die B-Achsen liegen ja ungefähr in einer Ebene — wie in Kap. 2.4. gezeigt wurde), eingeteilt in 10°-Klassenintervalle von 90° bis 270°. Im Histogramm treten Null-Häufigkeiten in den Klassen zwischen 170° und 200° auf, es ist somit zu erwarten, daß die X-Richtung (des finiten Strainellipsoids) in diesem Bereich liegt. Abb. 14 zeigt auch die am besten zur natürlichen B-Achsenverteilung passende theoretische B-Achsenverteilung, unter der Annahme, daß die X-Achse in Richtung 180° streicht.

Es zeigt demnach diese unregelmäßige B-Achsenverteilung (unter oben getroffenen Annahmen) eine Form, die gut mit einer theoretischen B-Achsenverteilung des SANDERSONSchen Modells übereinstimmt. Demnach kann die natürliche (unregelmäßige) B-Achsenverteilung durch den in der Achsenebene wirkenden Beanspruchungsplan gedeutet werden, der eine Rotation der B-Achsen bewirkte. Spätere Überprägungen sind zur Erklärung nicht notwendig.

Dies steht in guter Übereinstimmung mit Ergebnissen von TOLLMANN (1962). Danach sprechen verschiedene Gesichtspunkte eindeutig gegen einen „Ost-West-Schub“ als selbständigen späteren Akt, weiters konnte zur Altersbeziehung der die verschiedenen B-Achsen erzeugenden Phasen



**Abb. 14:** Histogramm der B-Achsen in 10°-Klassenintervallen von 90° bis 270°. Die Kurve zeigt die dazu am besten passende theoretische B-Achsenverteilung ( $X/Y = 1,3$ ,  $\Phi = 15^\circ$ , und  $\sigma = 20^\circ$ ) unter der Annahme, daß die X-Achse in Richtung 180° streicht (vgl. Text).

festgestellt werden, daß sie (zumindest in bestimmten Bereichen der Ostalpen, so z. B. in der Lunzer- und Ötscherdecke im Raume Lunz) in knapper Folge hintereinander noch unter gleichen Bedingungen stattgefunden haben müssen. Die „Querfaltung“ (die nicht unbedingt senkrecht zur anderen Faltenrichtung sein muß) ist nach TOLLMANN in jeder Zone (Decke) ursächlich und zeitlich mit der Längsfaltung verbunden, wobei er als wesentlichen Faktor die Auswalzung des Materials beim Vorschub ansieht.

## 6. Schlußfolgerungen

Die einzelnen tektonischen Erscheinungen der verschiedenen Größenordnungen und Formen, können — wie gezeigt wurde — durch einfache Modelle interpretiert werden. Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen sind:

1. Die Ausbildung mächtiger Synklinalen und geringmächtiger Antiklinalen wird hauptsächlich durch Kompetenzunterschiede der verschiedenen Schichtglieder des Deckenkörpers bei — im wesentlichen — schichtparalleler Einengung bewirkt.

2. Durch Betrachtung der internen Verhältnisse der so entstehenden „Großfalten“ und einiger wesentlicher Eigenschaften über die Stabilität von Parallel- oder Chevronfalten läßt sich das Auftreten der verschiedenen Kleinfaltentypen in ein und demselben Schichtglied, oft eng benachbart, gut deuten.

3. Die unregelmäßige B-Achsenverteilung der Kleinfalten läßt sich durch einen einfachen Deformationsplan — der die Verhältnisse in der Achsenebene von Falten beschreibt — deuten. Danach ist die Entstehung solcher B-Achsenverteilungen unmittelbar mit der Entstehung der Kleinfalten verknüpft und nicht durch spätere Überprägungen, Querschübe, etc. zu erklären.

Es soll gezeigt werden, daß der — zumindest auf den ersten Blick — recht komplex erscheinende Bau der Frankenfelder Decke bei detaillierter Untersuchung durch die beschriebenen Modelle leicht verständlich und interpretierbar ist. Alle angeführten Überlegungen untersuchen, ob solche Deformationen überhaupt vorstellbar sind und wie sie vor sich gegangen sind. Nicht berücksichtigt wird dabei die Frage nach Art und Herkunft der die Deformationen bewirkenden Kräfte.

Es sollten sich die oben beschriebenen Modellvorstellungen auch auf andere Bereiche der Nördlichen Kalkalpen anwenden lassen.

So scheint das Modell zur Interpretation der unregelmäßigen B-Achsenverteilungen sehr geeignet, verschiedene „Querfaltenstrukturen“ zu deuten — die ja in bestimmten Bereichen ca. gleichzeitig mit der allgemeinen Faltenbildung stattgefunden haben.

Die Ausbildung ausgeprägter Mulden oder Sättel in Abhängigkeit von den Kompetenzen der einzelnen Serien tritt in zahlreichen nördlichen Decken der Nördlichen Kalkalpen auf. In den mittleren und südlichen Decken sind durch geänderte Kompetenzen der Serien (z. B. in der Dachsteinkalk-Fazies) abweichende Erscheinungsformen zu erwarten.

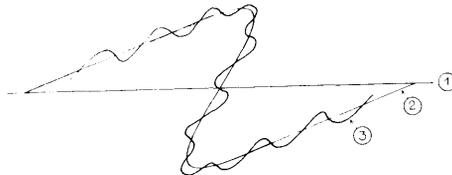
Für zahlreiche Diskussionen und Anregungen danke ich herzlichst den Herren Professor Tollmann, Dozent Frank und Dozent Frisch. Diese Arbeit stellt Publikation Nr. 29 des Forschungsschwerpunktes der österreichischen Hochschulen N 25, „Geologischer Tiefbau der Ostalpen“, dar.

## 7. Anhang

In diesem Abschnitt werden einige wesentliche Begriffe und Beziehungen über Faltung und Falten sowie Stress und Strain beschrieben. Für nähere Erläuterungen aber sei auf die angeführte Literatur verwiesen.

### A 1. Mittlere Faltenfläche (median surface, RAMSAY 1967, 353)

Das ist jene Fläche, auf der die Wendepunkte (d. i. jener Punkt, in dem die Änderung der Steigung (des Einfallens) gleich null ist) liegen. Sie definiert also die mittlere Orientierung oder generelle Lagerung einer gefalteten Fläche (Falte). Die mittlere Faltenfläche kann ebenfalls eine gefaltete Fläche sein. Sie stellt dann eine Falte höherer Ordnung dar, die Falten, durch die sie definiert sind, sind die Falten niedriger Ordnung (vgl. Abb. A.1).



**Abb. A 1:** Falten erster, zweiter und dritter Ordnung, abgeleitet von der Krümmung der mittleren Faltenfläche (nach RAMSAY 1967, Fig. 7—11).

### A 2. Geometrische Klassifizierung von Falten

Diese kann vollständig und von der Genese unabhängig durch die Beschreibung einzelner gefalteter Flächen und der Beziehung benachbarter Flächen zueinander erfolgen.

#### A. 2.1 Die Beziehung von benachbarten (gefalteten) Flächen

Danach unterscheidet RAMSAY (1967) 5 Faltenklassen (Abb. A 2). Diese Klassifizierung ist nach verschiedenen (voneinander abhängigen) Parametern möglich, z. B.:

- a) Linien gleichen Einfallens;
- b) Krümmung des inneren und äußeren Bogens;
- c) orthogonale Schichtmächtigkeit, das ist der Abstand ( $t_a$ ) zweier Tangenten mit derselben Steigung (Einfallen). Je nach Faltenklasse ändert sich dieser Abstand  $t_a$  mit der Änderung des Einfallwinkels (Tangentenneigung). RAMSAY definiert einen Parameter  $t'_a = \frac{t_a}{t_0}$ , der die proportionale Änderung des Winkels  $\alpha$  wiedergibt. Einige für die Faltenklassen charakteristischen Kurven sind in Abb. A 2 dargestellt. Die Tangenten

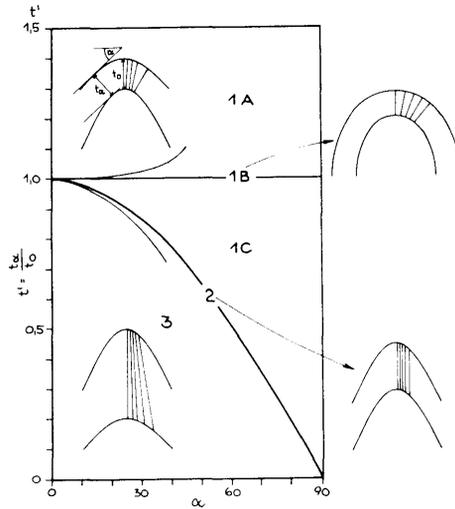


Abb. A 2: Die fundamentalen Faltenklassen nach RAMSAY (1967) und ihre entsprechenden  $t'$ -Werte.

in den Punkten mit der größten Krümmung (Faltenscharnier) bilden die Bezugslinie für den Winkel  $\alpha$  ( $\alpha = 0$ ). Bei komplexeren Faltenformen können Schwierigkeiten in der Bestimmung von  $t_0$  auftreten, vgl. dazu HUDLESTON (1973, 11).

#### A 2.2. Form einzelner gefalteter Flächen

Die Beschreibung dieser kann sehr gut und eindeutig mittels Fourier-Analyse erfolgen (HUDLESTON 1973, 15).

Eine Fourier-Reihe ( $F(x)$ ) ist die Darstellung einer periodischen, finiten Funktion  $f(x)$  durch die Summe einer infiniten Anzahl von Sinus- und Cosinus-Funktionen.

$$F(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{2n\pi x}{\lambda} + b_n \sin \frac{2n\pi x}{\lambda} \right)$$

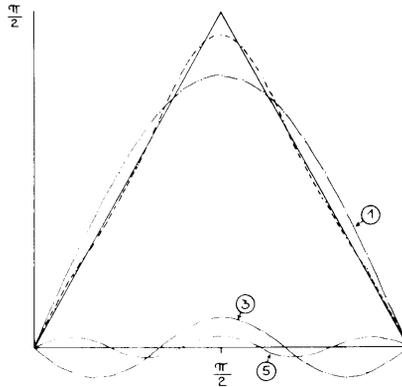
$\lambda$  = Wellenlänge der periodischen Funktion  $f(x)$

$a_n, b_n$  harmonische Koeffizienten

Abb. A 3 stellt eine periodische Funktion  $f(x) = b_1 \sin x - b_3 \sin 3x + b_5 \sin 5x$  dar (strichlierte Kurve), die in ihrer Form sehr ähnlich der Chevronfaltenform ist.

HUDLESTON zeigt, wie man aus einer Viertelwellenlänge einer Falte die drei ersten ungeraden harmonischen Koeffizienten der Sinuskomponenten ( $b_1, b_3$  und  $b_5$ ) ermitteln kann, und daß in den meisten Fällen diese drei ersten Koeffizienten für eine hinreichend genaue Beschreibung der Faltenform genügen. Vgl. dazu Abb. A 3, die Chevronform wird hinreichend genau durch die strichlierte Kurve wiedergegeben. Einen vereinfachten Berechnungsmodus beschreibt STABLER 1968. HUDLESTON empfiehlt für rasche, feldmäßige Bestimmung der Faltenform einige

Standardformen zu erstellen (mit verschiedenen Amplituden) — auf durchsichtigem Material gezeichnet — und damit die Faltenform abzuschätzen, so daß hierfür keine Berechnungen notwendig sind („visual harmonic analysis“). Für die rasche Ermittlung der Faltenform aus berechneten harmonischen Koeffizienten wird  $b_1$  gegen  $b_3$  in einem Diagramm aufgetragen (vgl. Abb. 5, in dieser sind auch die Standardformen nach HUDLESTON eingezeichnet).



**Abb. A 3:** Die Wiedergabe der Chevronfaltenform (ausgezogene Linie) durch die drei ersten ungeraden harmonischen Koeffizienten einer Fourier-Reihe (strichlierte Kurve,  $y = 1,27 \sin x - 0,14 \sin 3x + 0,05 \sin 5x$ ). (1) ... erste harmonische Komponente ( $y = 1,27 \sin x$ ), usf. Nach HUDLESTON (1973) Fig. 11c.

### A 3. Dominante Wellenlänge

BIOT und RAMBERG (siehe RAMSAY 1967, 374) untersuchten die Deformation von geschichteten, viskosen Lagen. Es wird gezeigt, daß durch schichtparallele Einengung Falten mit verschiedenen Wellenlängen entstehen. Es gibt jedoch eine vorherrschende (dominierende) Wellenlänge (dominant wavelength):

$$Wd = 2\pi t \sqrt[3]{\frac{\mu_A}{6\mu_B}} \quad \begin{array}{l} t = \text{Schichtmächtigkeit von A} \\ \mu_A = \text{Viskosität der Lage A („kompetente Lage“)} \\ \mu_B = \text{Viskosität der „Matrix“ („inkompetente Lage“)} \end{array}$$

Wesentlich ist, daß die entstehenden Wellenlängen unabhängig von den Strainraten sind. Weitere Details siehe RAMSAY (1967) und die dort angeführte Literatur.

### A 4. Fließen

Darunter versteht man permanente Deformation ohne Trennung ursprünglich benachbarter Punkte. Der Unterschied in den Fließeigenschaften ist der Kompetenzunterschied, wenn angenommen wird, daß sich die Materialien wie perfekte Flüssigkeiten (Newton-Modell) verhalten.

Die Viskosität ist ein Maß für den internen Fließwiderstand, oder in einem eingeschränkten Sinne das Verhältnis von Scherstress zu Scherstrain (DENNIS 1967).

#### A 5. Strain

Dieser beschreibt die Verbiegung, Deformation und Längenänderung von Teilchen relativ zueinander und ist vom Transport eines Körpers — ohne interner Verformung — zu unterscheiden.

Längenänderungen in deformierten Körpern werden durch den longitudinalen Strain ( $\epsilon$  oder  $\lambda$ ) beschrieben, Winkeländerungen durch den Scherstrain ( $\gamma$ ).

Das Strainellipsoid (bzw. die Strainellipse) ist die geometrische Darstellung des Strains, den ein homogener Körper durch homogenen Stress erfährt, oder des Strains an einem bestimmten Punkt, wenn entweder der Körper oder der Stress inhomogen sind. Die Deformation wird durch die Ableitung von einer Kugel (bzw. Kreis) dargestellt (DENNIS 1967).

Jeder deformierte Körper durchschreitet von seinem Anfangs- bis zum Endzustand eine Reihe von Deformationsstadien. Dieser Prozeß wird als progressive Deformation bezeichnet. Die notwendigen Schritte (Inkrementen), um den Endzustand zu erreichen (finite state of strain), kann man durch fortwährende kleine Deformationen, den Strainzuwachs (incremental strain) darstellen (RAMSAY 1967).

### 8. Literatur

- BAUMGARTNER, Walter: Mitteilung über die Benützbarkeit des Gefügeprogrammes GELI am Interfakultären Rechenzentrum der Universität Wien. — Verh. Geol. B.-A., **1974**, A 156—162, Wien 1975.
- DENNIS, John, G. (Editor): International tectonic dictionary. — International geological congress 1960, **Memoir 7**, 196 S., Tulsa, Oklahoma 1967.
- DE SITTER, L. U.: Structural Geology. — 551 S., New York (McGraw-Hill) 1958.
- HARTL, Johann: Die Kalkalpen-Flyschgrenze zwischen Hainfeld und Gresten, VII. — Unveröff. Diss., Phil. Falk. Univ. Wien, 148 S., Wien 1950.
- HUDLESTON, P. J.: Fold morphology and some geometrical implications of theories of fold development. — Tectonophysics, **16**, S. 1—46, Amsterdam, 1973.
- MÜLLER, Leopold: Sind Berechnungen und Modellversuche zur Klärung tektonischer Fragen sinnvoll? — Geol. Rdsch., **62**, S. 1—15, Stuttgart 1973.
- RAMBERG, Hans: Selective buckling of composite layers with contrasted rheological properties, a theory for simultaneous formation of several orders of folds. — Tectonophysics, **1**, S. 307—341, Amsterdam 1964.
- RAMSAY, John, G.: Folding and fracturing of rocks. — 362 S., New York (McGraw-Hill) 1967.

- RAMSAY, John, G.: Development of chevron folds. — Geological Society of America Bull., **85**, S. 1741—1754, Tulsa 1974.
- SANDER, Bruno: Gefügekunde der Gesteine. — 352 S., Wien (Julius Springer) 1930.
- SANDERSON, David J.: The development of fold axes oblique to the regional trend. — Tectonophysics, **16**, S. 55—70, Amsterdam 1973.
- SCHWENK, Harald: Die Kalkalpen-Flyschgrenze zwischen Hainfeld und Gresten, II. — Unveröff. Diss., Phil. Fak. Univ. Wien, 117 S., Wien 1949.
- SPENGLER, Erich: Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Republik Österreich, Blatt Schneeberg — St. Ägyd. — 108 S., Wien (Geol. B.-A.) 1931.
- TOLLMANN, Alexander: Die Rolle des Ost-West-Schubes im Ostalpenbau. — Mitt. Geol. Ges. Wien, **54** (1961), S. 229—247, Wien 1962.
- TOLLMANN, Alexander: Geologie der Kalkvoralpen im Ötscherland als Beispiel alpiner Deckentektonik. — Mitt. Geol. Ges. Wien, **58** (1965), S. 103—207, Wien 1966.
- TOLLMANN, Alexander: Grundprinzipien der alpinen Deckentektonik, I. — 404 S., Wien (Franz Deuticke) 1973.