



Die miozäne Tektonik der östlichen Kalkalpen: Kinematik, Paläospannungen und Deformationsaufteilung während der „lateralen Extrusion“ der Zentralalpen

KURT DECKER, HERWIG PERESSON & PETER FAUPL*)

10 Abbildungen

*Österreich
Kalkalpen
Miozän
Tektonik*

*Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 66, 70, 71, 93, 94, 95, 98, 99, 100*

Inhalt

Zusammenfassung	5
Abstract	6
1. Einleitung	6
1.1. Methodische Grundlagen	7
2. Die Deformation an sinistralen Blattverschiebungen	7
2.1. Das Königssee-Lammertal-Traunsee-Blattverschiebungssystem	7
2.1.1. Der südliche Störungsabschnitt	7
2.1.2. Der nördliche Störungsabschnitt	11
2.1.3. Versatzbeträge und Rahmenbedingungen	11
2.2. Blattverschiebungen und Überschiebungen im Raum Windischgarsten SW der Weyerer Bögen	11
2.2.1. Versatzbeträge und Rahmenbedingungen	11
2.3. Blattverschiebungssysteme östlich der Weyerer Bögen	13
2.3.1. Die Weyerer Blattverschiebung	13
2.3.2. Die Göstlinger Blattverschiebung	13
2.3.3. Die Rahmenbedingungen der Göstlinger und Weyerer Blattverschiebung	14
3. Die koaxiale Deformation in den Bereichen zwischen den sinistralen Blattverschiebungen	15
4. Diskussion und Schlußfolgerungen	16
Dank	17
Literatur	17

Zusammenfassung

Die miozäne Deformation der östlichen Kalkalpen während der Extrusion der Zentralalpen in den pannonischen Raum ist gekennzeichnet durch:

- 1) Sinistrale Scherung an ENE- bis NNE-streichenden Blattverschiebungen (RATSCHBACHER et al., 1991b; LINZER et al., im Druck) und kinematisch damit verbundene NE-gerichtete Überschiebungen.
- 2) Durch koaxiale Deformation mit E-W-gerichteter Extension bei zuerst N-S-gerichteter und später vertikaler Verkürzung. Blattverschiebungen und Überschiebungen erreichen Versatzbeträge von mehreren Kilometern. Deformationsstil, Kinematik und Orientierung der Blattverschiebungen trennen einen konvergenten Bereich westlich der Weyerer Bögen von einem divergenten Bereich östlich davon. Typisch für den konvergenten Bereich sind die transpressiven Strukturen an der Königssee-Lammertal-Traunsee-Blattverschiebung. Im Torrener Joch-Blattverschiebungsduplex und der Eisgraben-flower structure sind Einheiten bis zu 2 km vertikal gehoben. Westlich der Weyerer Bögen sind sinistrale Blattverschiebungen kinematisch mit NE-gerichteten Überschiebungen, die mehrere Kilometer Schubweite erreichen, verbunden. Die bedeutendsten Überschiebungen liegen unmittelbar vor dem Indenter des Bösensteinkristallins, das SW der Weyerer Bögen mit der Grauwackenzone und den Kalkalpen kollidiert. Östlich der Weyerer Bögen zeigen die Weyerer und Göstlinger Blattverschiebungen transtensive Abschnitte mit divergenten Blattverschiebungsduplexen und E-gerichteten Abschiebungen, die mehrere hundert Meter Sprunghöhe erreichen.

Die miozänen Paläospannungen in den Kalkalpen wechseln von einem älteren Blattverschiebungsregime (σ_1 und σ_3 horizontal) zu einem jüngeren Regime horizontaler Extension (σ_1 vertikal, σ_3 horizontal E-W). Das ältere Spannungsfeld ist im Nordteil der Kalkalpen und in deren Vorland durch N-S-gerichtete maximale Hauptspannungen (σ_1) charakterisiert, die der N-gerichteten Bewegung der Adriatischen Platte relativ zu Europa entsprechen. Im Südteil der Kalkalpen wird diesem Feld eine NE-SW-gerichtete Einspannung überlagert, die durch die Ausweichbewegung der Zentralalpen nach Osten induziert wird. Ausdruck dieses sich von N nach S ändernden Spannungsfeldes in den Kalkalpen sind nach NW konkave Blattverschiebungen. Die Umstellung der Spannungen zu horizontaler E-W-Extension (σ_1 vertikal) bewirkt die Reaktivierung der sinistralen Blattverschiebungen als ostgerichtete Schrägabschiebungen.

*) Anschrift der Autoren: Dr. KURT DECKER, Mag. HERWIG PERESSON, Univ.-Prof. Dr. PETER FAUPL, Institut für Geologie der Universität Wien, Universitätsstraße 7, A-1010 Wien.

Miocene Tectonics in the Eastern Calcareous Alps: Kinematics, Paleostress and Distribution of Deformation During the "Lateral Extrusion" of the Central Alps

Abstract

Miocene deformation of the eastern part of the Calcareous Alps during eastward lateral extrusion of the Central Alps depicts:

- 1) sinistral shearing along ENE- to NNE-trending strike-slip faults with up to 15 kilometers offset (RATSCHBACHER et al., 1991b; LINZER et al., in press);
- 2) coaxial E-W-directed extension resulting from N-S-convergence and subsequent vertical shortening.

The regions W and E of the Weyer arc structure differ by the orientation and the deformational style of the strike-slip faults. In the western region, N-S-convergence dominates and results in sinistral transpression along ENE-trending strike-slip faults. Transpression is indicated by flower structures and contractional strike-slip duplexes. Sinistral faults are kinematically linked to top-to-NE-motion along SW-dipping reverse faults. The area E of the Weyer arc structure is characterized by transtensional strike-slip faults with divergent strike-slip duplexes and E-directed normal faults. Structural complexity in the Weyer arc area arises from NNE-directed indentation of a triangular crystalline block into the Northern Calcareous Alps triggering top-to-NNE thrusting within the Northern Calcareous Alps in front of the indenter.

The Miocene stress state changes from a strike-slip regime with horizontal σ_1 and σ_3 to horizontal extension with vertical σ_1 and E-W-trending σ_3 . N-S-oriented σ_1 trajectories of the older stress field along the northern Eastern Alps depict the far-field stresses related to the N-S-directed convergence of Europe and Apulia. In the southern part of the Calcareous Alps a significant component of sinistral shear is added to the overall N-S-compressional stress which is exerted by the eastward extruding Central Alps. Accordingly, the orientation of σ_1 changes from N-S in the N to NE-SW in the S and northward-concave strike-slip faults develop. Subsequently, strike-slip faults are reactivated with E-directed (oblique) normal slip.

1. Einleitung

Die miozäne tektonische Entwicklung der Ostalpen ist von der ostgerichteten Ausweichbewegung großer Fluchtschollen in den pannonischen Raum geprägt (Abb. 1). Dieser Vorgang wird durch die fortschreitende N-S-gerichte-

te Verkürzung zwischen dem rheologisch starren europäischen Vorland und dem südalpinen (Adriatischen) Block erklärt („continental escape“; RATSCHBACHER et al., 1989; NEUBAUER & GENSER, 1990). In dem weiterführenden Modell der lateralen Extrusion (RATSCHBACHER et al., 1991 a, b)

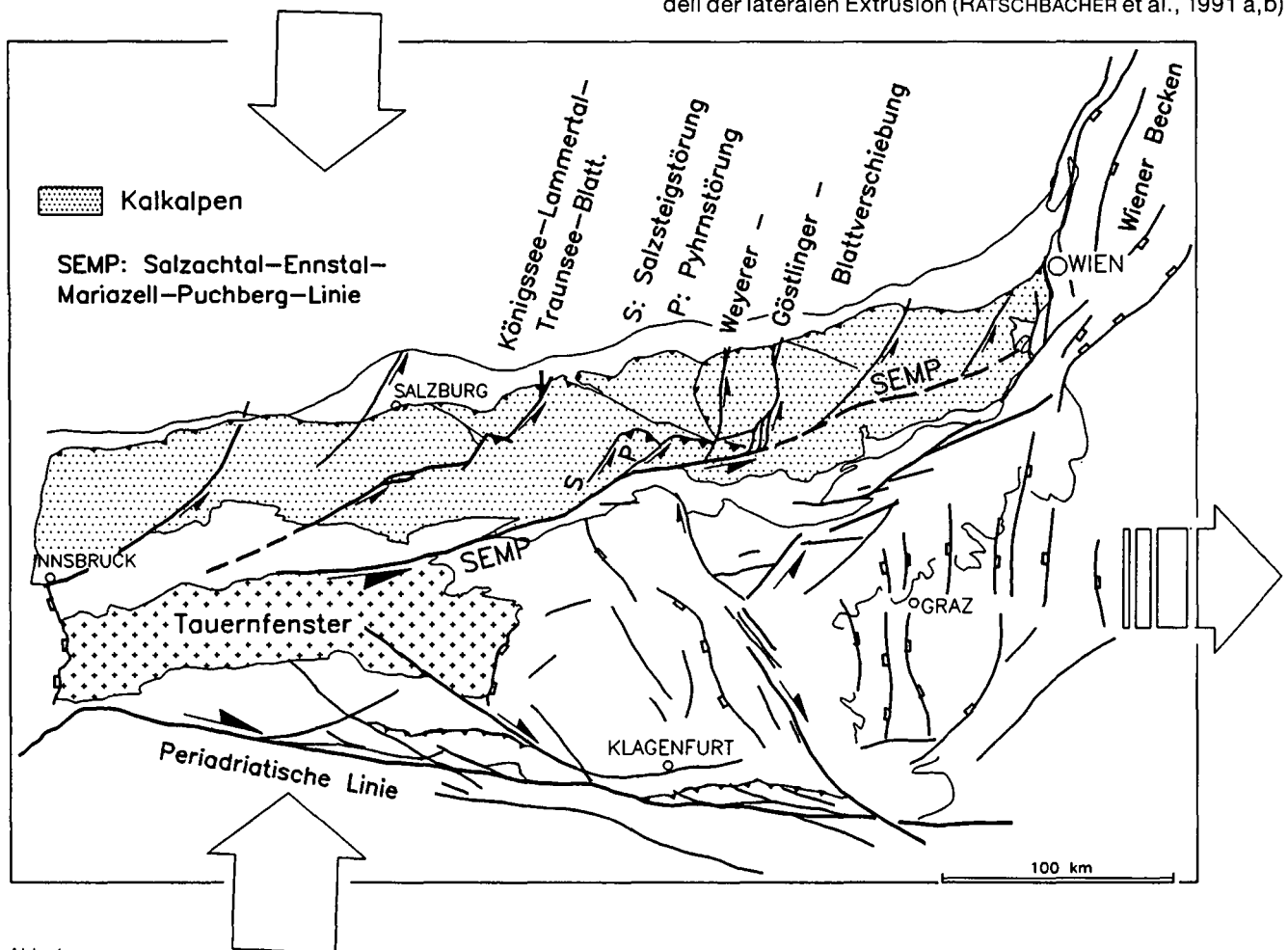


Abb. 1. Tertiäre Störungssysteme im Mittel- und Ostabschnitt der Ostalpen. S-N-gerichtete Konvergenz wird durch das Ausweichen großer keilförmiger Fluchtschollen nach Osten kompensiert. Die Hauptbewegung der zentralalpinen Einheiten erfolgt an der Periadriatischen Linie und der Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Linie („SEMP“, LINZER et al., 1990). Ein Teil der Bewegung an der Salzachtal-Ennstal-Störung wird an sinistralen Blattverschiebungen in die Kalkalpen übertragen. Verändert nach NEUBAUER & GENSER (1990) und RATSCHBACHER et al. (1991b); Legende siehe Abb. 2.

wird das ostgerichtete Ausweichen auf eine Kombination von N-S-Verkürzung und gravitativem Kollaps der in den Ostalpen verdickten Kruste zurückgeführt.

Von der Ausweichbewegung in den Pannonischen Raum sind vor allem zentralalpine Einheiten betroffen. Die Relativbewegung dieser Einheiten gegen das südliche Widerlager findet an der dextralen periadriatischen Scherzone statt (NEUBAUER & GENSER, 1990; RATSCHBACHER et al., 1991b; EICHHÜBL, 1992; POLINSKI & EISBACHER, 1992). Im N bildet das sinistrale Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Blattverschiebungssystem („SEMP“-Blattverschiebung im Sinne von LINZER et al., 1990; 1991) die Grenze zwischen den ausweichenden zentralalpinen Einheiten und dem Hauptteil der Kalkalpen. Von diesem Seitenverschiebungssystem zweigen zahlreiche sinistrale, NE-streichende Blattverschiebungen ab, die einen Teil der Ostbewegung in die nördlicheren tektonischen Einheiten transferieren (Abb. 1; RATSCHBACHER et al., 1991b; LINZER et al., im Druck). Die Kalkalpen bilden somit eine Übergangszone zwischen den nach Osten bewegten Zentralalpen und dem unbeeinflussten Vorland. In den Kalkalpen sind sinistrale Blattverschiebungen kinematisch mit bedeutenden N- bis NE-gerichteten Überschiebungen oder E-gerichteten Abschiebungen verbunden (LINZER et al., 1990; DECKER & JARNIK, 1992). An konvergenten Biegungen der Königssee-Lammertal-Traunsee-Störung treten positive flower structures und Blattverschiebungsduplexe auf, in denen tiefere Einheiten bis zu 2 km gehoben wurden. Divergente Störungsabschnitte, etwa am Göstlinger Blattverschiebungssystem, sind durch großmaßstäbliche Abschiebungen charakterisiert.

Die Deformation in den Bereichen zwischen den großen Störungen in den Kalkalpen und im Vorland der Kalkalpen (Flysch, Helvetikum und Molasse) verläuft koaxial. Dies wird durch Kleinstrukturen wie konjugierte Blattverschiebungen, Abschiebungen und fasergefüllte Zerrspalten belegt. Wir beschreiben die Aufteilung der Verformung („strain partitioning“) in den östlichen Kalkalpen in

- 1) sinistrale einfache Scherung in schmalen Störungszonen und
- 2) in eine koaxiale reine Scherung zwischen solchen Störungen.

Von den Strukturen in koaxial deformierten Bereichen wurden die Spannungszustände rekonstruiert, die zur Zeit der tertiären Extrusion in den Kalkalpen geherrscht haben.

Die laterale Extrusion der Ostalpen beginnt im oberen Oligozän und erreicht ihren Höhepunkt im unteren und mittleren Miozän (Diskussion und Literatur bei RATSCHBACHER et al., 1991b). Die Bewegung an der Salzachtal-Ennstal-Störung ist durch Sedimente in pull-apart Becken mit oberem Untermiozän datiert (Karpation, 16–17 Ma: STEININGER et al., 1989). Für die von der Salzachtal-Ennstal-Störung abzweigenden Blattverschiebungen ist daher ein ähnliches Alter anzunehmen. Die Bewegung an diesen Störungen erfolgte nach den letzten Überschiebungen von Flysch und Kalkalpen auf die Molasse. Diese jüngsten Überschiebungen erfolgten in Oberösterreich und Salzburg nach dem Egerien (FUCHS, 1980, p. 155ff.), in Niederösterreich nach dem Eggenburgien (KRÖLL & WESSELY, 1967; SAUER et al., 1992, p. 46f.).

1.1. Methodische Grundlagen

Die Grundlagen dieser Arbeit bilden tektonische Interpretationen geologischer Karten und die Methoden der

Mikrotektonik im Sprödbereich (HANCOCK, 1985). Diese beinhalten die Analyse von Falten, Scherflächen (PETIT, 1987), Zerrspalten (RAMSAY & HUBER, 1983) und Klüften (HANCOCK, 1985). Kriterien zur Bestimmung des Schersinnes sind s-c-Gefüge, Scherbänder, Riedel'sche Flächen, Faserkristallite, Styloflächen etc. (RIEDEL, 1929; PETIT, 1987). Ziel der Störungsflächenanalysen sind Aussagen über die Kinematik (Verkürzungs- und Streckungsrichtungen, Transportrichtungen) und die Dynamik (Paläospannungen) tektonischer Prozesse. Kinematische Richtungen wurden mit der P-T-Achsenmethode (TURNER, 1953; PERESSON, 1992), Paläospannungsrichtungen mit der Methode der direkten Inversion (ANGELIER, 1979; SPERNER et al., im Druck) von Scherflächen mit geringem Versatz bestimmt. Paläospannungen werden durch die Orientierung der Hauptnormalspannungen ($\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$) angegeben. Eine detaillierte Diskussion über die Methodik geben ETCHECOPAR et al. (1981), ONCKEN (1988), und MESCHÉDE & DECKER (1993). Die Datengrundlagen sind auf Anfrage von den Autoren erhältlich.

2. Die Deformation an sinistralen Blattverschiebungen

Wir erläutern die Deformation an großen, sinistralen Scherzonen in den Kalkalpen an den Beispielen der Königssee-Lammertal-Traunsee-Störung sowie des Göstlinger und Weyerer Blattverschiebungssystems (Abb. 1). Diese Störungen schneiden sowohl den postgosauischen Deckenbau der Kalkalpen als auch ältere Blattverschiebungen, wie die Wolfgangseestörung und die Hochwartstörung, für die post-eozänes Alter gesichert ist (PLÖCHINGER, 1964).

2.1. Das Königssee-Lammertal-Traunsee-Blattverschiebungssystem

Das sinistrale Königssee-Lammertal-Traunsee-Blattverschiebungssystem durchschneidet die Kalkalpen auf 110 km Länge (Abb. 2). Im Streichen ändert sich die Orientierung und, damit verbunden, der Deformationsstil mehrmals. Das Störungssystem versetzt den Kalkalpen-südrand im Bereich der Loferer Steinberge an mehreren subparallelen Störungen um insgesamt 10 bis 15 km. Lineamente auf Satellitenbildern weisen auf eine westsüdwestliche Fortsetzung des Systems in der Grauwackenzone zwischen Kitzbühel und Saalbach hin. Die Blattverschiebung konvergiert in den Kitzbüheler Alpen mit der ebenfalls sinistralen Salzachtalstörung (Abb. 1).

2.1.1. Der südliche Störungsabschnitt

Im Bereich Loferer Steinberge – Königssee – Torrener Joch – Bluntautal streicht die Hauptstörung ENE-WSW (Abb. 3). Die Deformation im Störungsbereich ist sinistral-transpressiv mit einer erheblichen Verkürzungskomponente senkrecht zur Hauptstörung. Im Eisgraben westlich des Königssees markieren steilstehende unter- und mitteltriassische Schichten (Werfener Schichten, Gutensteiner Dolomit, Wettersteindolomit) den Störungsbereich. Diese Gesteine sind gegenüber den mächtigen Dachsteinkalken im Norden und Süden um etwa 750 m gehoben. Die Begrenzung der Struktur bilden sinistrale Blattverschiebungen, die eine asymmetrische, nach oben

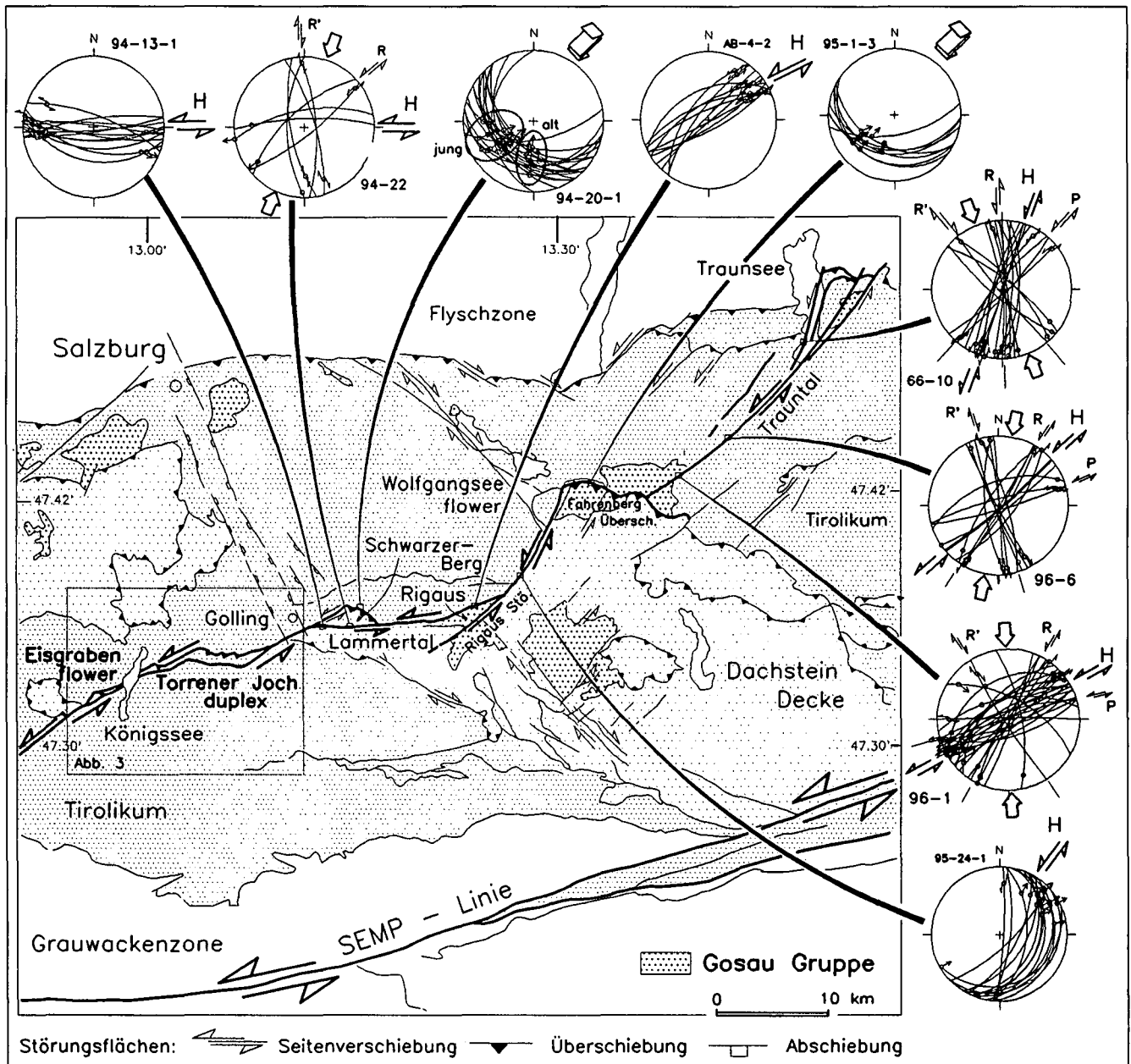


Abb. 2.

Tektonische Karte des Königssee-Lammertal-Traunsee-Blattverschiebungssystems.

Seine Streichrichtung ändert sich um etwa 40° von ENE im Südteil auf NNE im Nordteil der Kalkalpen. Sinistrale Transpression im S steht einfacher sinistraler Scherung ohne transpressive Komponente im N gegenüber. Die Platznahme der nördlichen Dachsteindecke an der Fahrenberg-Überschiebung erfolgte nach der Bildung einer vom Lammertal in das Trauntal durchlaufenden Blattverschiebung. Die Störung schneidet die post-Eozäne Wolfgangseestörung.

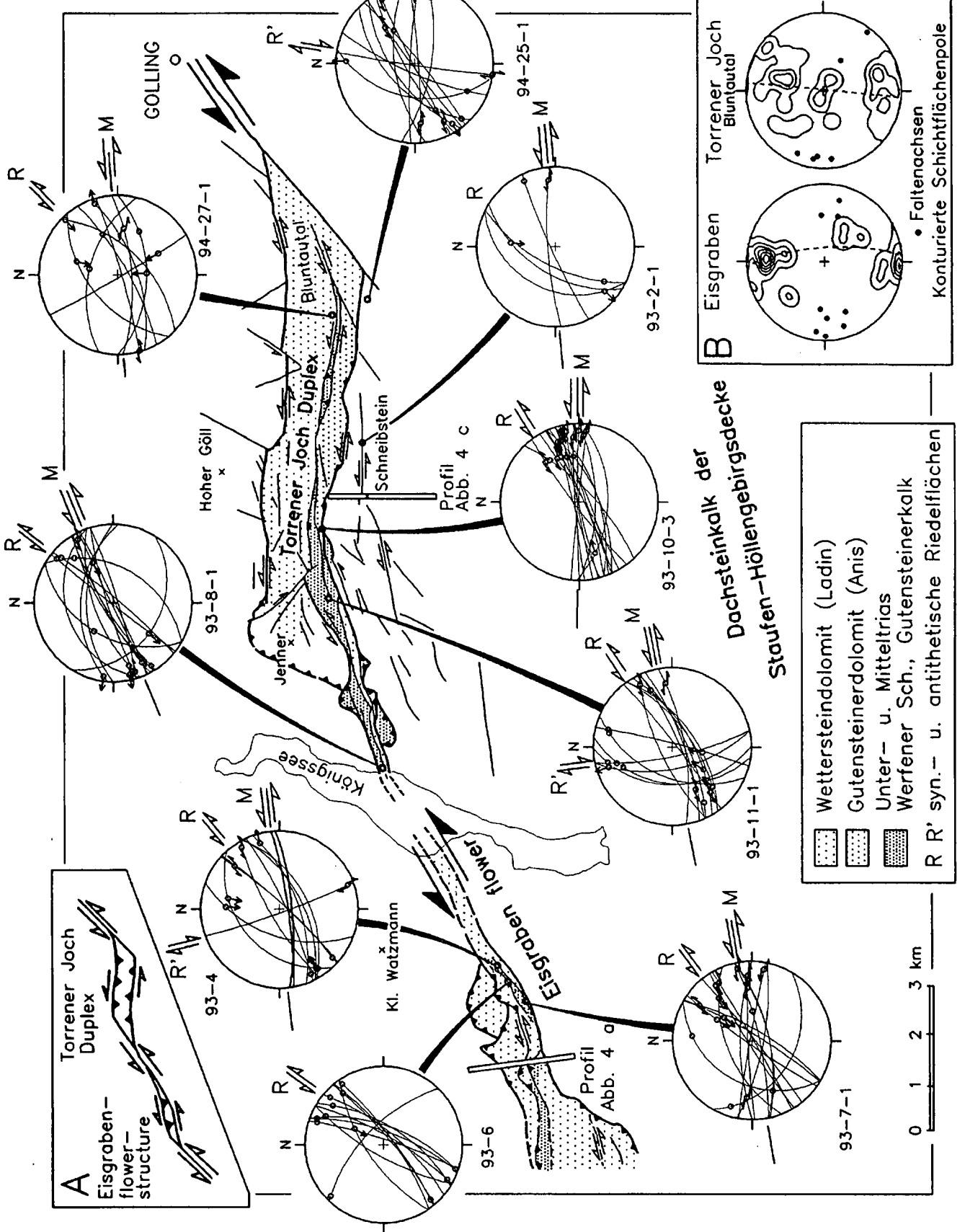
Kasten: Kartenausschnitt in Abb. 3; Diagramme: Harnischflächen (Großkreise) und Bewegungslinear mit Versatz (Pfeile) dargestellt im SCHMIDT'schen Netz, untere Halbkugel; H: Hauptstörung; R, R': Synthetische und antithetische Riedel-Scherflächen; P: P-Scherflächen.

konvexe Geometrie zeigen (Abb. 4). Die Bewegung geht von horizontal-sinistral am unteren, subvertikalen Teil der Störungsflächen in schräge sinistrale Aufschiebungen im höheren und flacheren Abschnitt über. Die Störungszone erweitert sich nach oben von 50 m Breite in 900 m Seehöhe auf 650 m in 2000 m Höhe. Nördlich des Eisgrabens ist dunkler Gutensteiner Kalk auf hellen Wettersteindolomit an einer nach Norden flacher werdenden Störung aufgeschoben (LEBLING, 1935). Die Geometrie der Störungszone, ihr Gefügemuster und der Vertikalversatz definieren eine klassische positive flower structure (HARDING, 1985), die vom Königssee aus ausgezeichnet einzusehen ist (Abb. 3, 4; „Eisgraben-flower structure“).

Das Königssee-Blattverschiebungssystem setzt sich nach E in die E-W-streichende Torrener Joch-Zone fort,

die die beiden ENE-WSW-streichenden Störungsabschnitte im Eisgraben und bei Golling verbindet (Abb. 3). Das Störungsmuster im Bereich Torrener Joch - Bluntal zeigt die Geometrie eines konvergenten Blattverschiebungsduplex (WOODCOCK & FISCHER, 1986). Die etwa 1 km breite Torrener Joch-Zone enthält permotriadische Gesteine, die als stratigraphische Basis der Dachsteinkalke des Hohen Göll und des Hagengebirges angesehen werden (PLÖCHINGER, 1990). Die Serien wurden somit um etwa 2000 m relativ zum Dachsteinkalk gehoben. Im Bereich des Duplexes treten auch Kalke in Hallstätter Fazies auf (LEIN, pers. Mitteilung; LEBLING, 1935; LANGENSCHIEDT, 1981). Wandbildende, E-W-streichende sinistrale Harnischflächen und zugehörige synthetische und antithetische Riedelscherflächen („high-angle Riedels“; MANDL,

Abb. 3. Strukturkarte der Eisgraben flower structure und des konvergenten Torrener Joch-Duplex westlich des Königssees, Berchtesgaden (nach LEBLING, 1935; PLÖCHINGER, 1955). Unter- und mitteltriadische Serien sind zwischen Dachsteinkalken der Staufeu-Höllengebirgsdecke um 750 m (Eisgraben, Abb. 4a) beziehungsweise 2000 m (Torrener Joch) vertikal gehoben. Riedelsche Flächen mit Winkel $> 15^\circ$ zur Hauptstörung belegen Transpression, E-W-streichende Schichtflächen und Faltenachsen weisen auf Verkürzung normal zur Hauptstörung (Abb. B). Legende zu den Diagrammen in Abb. 2.



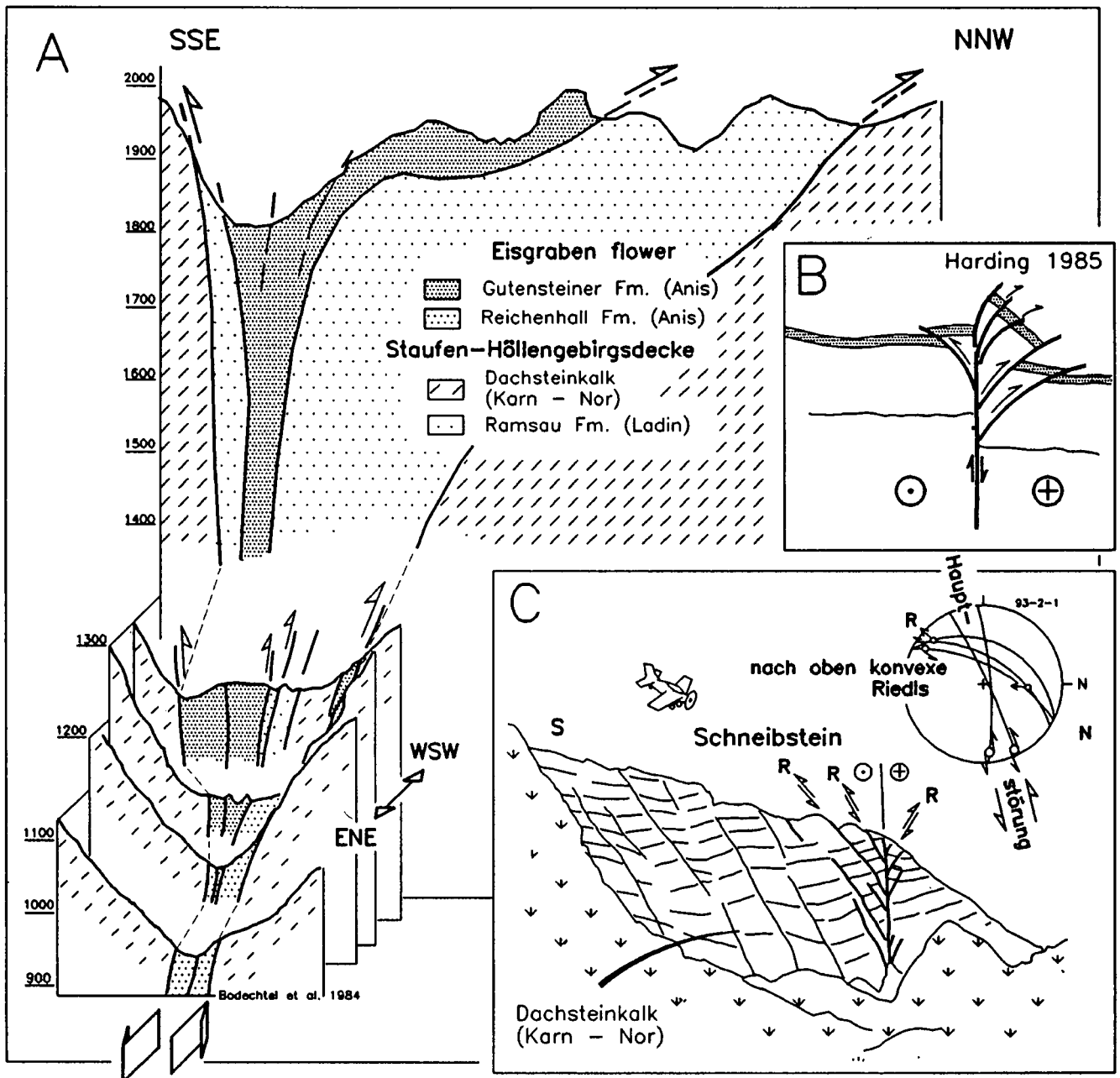


Abb. 4.
 A) Serienprofile durch die Eisgraben-flower structure, teilweise nach BODECHTEL et al. (1984). Unter- und Mitteltriasgesteine sind um ca. 750 m vertikal gehoben und auf Dachsteinkalk aufgeschoben. Die Überschiebungsflächen sind nach oben konvex und definieren eine asymmetrische positive flower structure.
 B) Modell einer positiven flower structure nach HARDING (1985).
 C) Ansicht der flower structure an der Schneibstein-Störung S des Torrener Joches. Von der Hauptstörung zweigen nach oben konvexe Riedel-Scherflächen mit Seitenverschiebungs- und Aufschiebungslinien ab (Diagramm 93-2-1).

1988), die hohe Winkel mit den Hauptstörungen einschließen, belegen den transpressiven Charakter der Deformation (Abb. 3, Diagramme 93-11-1 und 94-25-1). Subparallel zu den Begrenzungstörungen streichende Faltenachsen und Schichtflächen sind weitere Belege einer starken Verkürzung senkrecht zur Hauptstörung (Abb. 3b). An der E-W-streichenden sinistralen Schneibstein-Störung, die die Torrener Joch Scherzone im S begleitet, kann in den Dachsteinkalken des Schneibsteines eine weitere flower structure beobachtet werden (Abb. 4c).

Im Lammertal, östlich der Salzach, setzt sich das Störungssystem in einer E-W-streichenden Blattverschiebung fort, die die Lammereinheit im N gegen das Oster-

horntirolikum begrenzt (Abb. 2). Die Störung verläuft von Golling über den Südhang des Schwarzen Berges nach Rigaus. Hier werden die Serien der Rigauer Gosau vom Osterhornblock abgetrennt. Riedel-Scherflächen in hohem Winkel zur Hauptstörung belegen sinistrale Transpression (Abb. 2, Diagramm 94-22). Von der Hauptstörung zweigen beim Schwarzen Berg mehrere ENE-streichende Blattverschiebungen ab. Diese Blattverschiebungen werden als kartenmaßstäbliche Riedel-Scherbrüche zur Hauptstörung interpretiert. Sie sind kinematisch mit der Überschiebung des juvavischen Wettersteindolomites und Dachsteinkalkes des Schwarzen Berges auf die Roßfeldschichten des Tirolikums verbunden. Strukturanalysen belegen eine Änderung der Überschiebungsrichtung

von N auf NE (Abb. 2, Diagramm 94–20–1). Die ältere N-gerichtete Aufschiebung kann der Transpression und der Verkürzung normal zur Hauptstörung zugeordnet werden. Die jüngere NE-gerichtete Überschiebung erfolgte parallel zum Streichen der großen sinistralen Störung, die die Schwarzenberg-Masse nach NW begrenzt (Abb. 2, Diagramm 94–20–1). Diese Störung hat bei fortschreitender Deformation die Funktion einer Leitschiene für diese Überschiebung übernommen. Im Bereich des Gosauvorkommens von Rigaus ändert sich die Streichrichtung der Hauptstörung von E–W auf WS–ENE. Die Hauptstörung wird schließlich von der jüngeren, NE-streichenden Rigauer Störung abgeschnitten (DECKER & JARNIK, 1992).

2.1.2. Der nördliche Störungsabschnitt

Die Rigauer Störung begrenzt die Dachsteindecke gegen die Osterhorneinheit. Die sinistrale Scherzone fällt östlich der Postalm mit 45° gegen SE ein (Abb. 2, Diagramm 95–24–1). Sie folgt der vorgosauischen Überschiebung der Dachsteindecke auf das Tirolikum und schneidet die Wolfgangseestörung ab. Mitteleozäne Buntmergelseerie aus dem Ultrahelvetikum der Wolfgangsee-flower structure werden sinistral um 3 km versetzt (PLÖCHINGER, 1964; PERESSON, 1992). Die Seitenverschiebung setzt sich im Ischtal in der SE-streichenden Überschiebung der Dachsteindecke fort. Die Bewegung an dieser Aufschiebung ist gegen NE, parallel zum Streichen der Rigauer Störung, gerichtet (Abb. 2, Diagramm 95–1–3). Die Überschiebung deckt den südlichsten Teil der Traunseestörung ab. Die Platznahme des nordwestlichen Teiles der Dachsteindecke erfolgte also nach den Linksseitenbewegungen an der Lammertalstörung und der Traunseestörung. Die Geometrie beider Großstörungen deutet auf eine ursprüngliche vom Lammertal in das Trauntal durchlaufende Hauptstörung hin. Das Verbindungsstück wurde von der nordwestlichen Dachsteindecke überschoben.

Der nördlichste Abschnitt des Königssee–Lammertal–Traunsee-Störungssystems verläuft durch das Trauntal und ist durch mehrere subparallele, nach N konkave sinistrale Störungen charakterisiert (Abb. 2). Die Streichrichtungen ändern sich von NE im Süden auf NNE im Norden (Abb. 2, Diagramme 96–1, 96–6, 66–10). Das Strukturinventar belegt einfache sinistrale Scherung ohne transpressive Komponente. Im Bereich des Traunsees verzweigen sich die Hauptstörungen in mehrere untergeordnete Blattverschiebungen einer horsetail structure, deren Geometrie für auslaufende sinistrale Seitenverschiebungen typisch ist (SCHOLZ, 1990; CRUIKSHANK et al., 1991). Eine dieser Störungen streicht in nördlicher Richtung in den Traunsee, mehrere andere Äste laufen durch das Traunsteingebiet. Der gesamte sinistrale Versatz des Nordrandes der Kalkalpen durch das Blattverschiebungssystem beträgt 5–7 km. Die Störung endet innerhalb von 10 km in der Flyszone.

2.1.3. Versatzbeträge und Rahmenbedingungen

Der Gesamtbetrag der Linksseitenverschiebung an der Königssee–Lammertal–Traunsee-Störung beträgt am Südrand der Kalkalpen 10 bis 15 km und 5–7 km am Nordrand. Der Versatzbetrag nimmt von Süden nach Norden ab (vgl. LINZER et al., im Druck). Das Ausmaß der N–S-Verkürzungen entlang des südlichen transpressiven Abschnittes kann durch die bekannte Hebung der Unter- und Mitteltrias im Torrener Joch-Duplex mit 2 km abgeschätzt werden. Dieser Betrag entspricht etwa dem der Über-

schiebung der zur Lammereinheit gehörenden Serien des Schwarzen Berges auf das nördlich davon gelegene Tirolikum.

Die Königssee–Lammertal–Traunsee-Störung zeigt auf ihrer gesamten Länge von 110 km eine generelle Änderung der Streichrichtung um etwa 40° von ENE im Süden auf NNE am Kalkalpennordrand. Als Ursache dieser großmaßstäblichen Krümmung nehmen wir eine Änderung der Einspannungsrichtung von N–S im Nordteil der Kalkalpen auf NE–SW im Südteil an. Die Bewegung des nördlichen Störungsabschnittes erfolgte unter N–S-gerichteter Kompression, die der generellen Konvergenzrichtung zwischen südalpinem Block und Europäischem Vorland entspricht (DECKER et al., 1993). Im südlichen Teil der Kalkalpen wird dieses Spannungsfeld von einer NE–SW-gerichteten Einspannung überlagert, die durch ostgerichtete Bewegung der zentralalpiner Einheiten induziert wird. Diese Scherspannung nimmt von S nach N, mit zunehmender Entfernung von den zentralalpiner Einheiten, ab. Der südliche Abschnitt des Störungssystems im Bereich des Königssees und des Lammertals wird wesentlich von der Scherkomponente (σ_1 NE–SW), der Nordteil der Traunseestörung nur durch die N–S-Kompression (σ_1 N–S) beeinflusst (PERESSON et al., 1993).

2.2. Blattverschiebungen und Überschiebungen im Raum Windischgarsten SW der Weyerer Bögen

Südlich von Windischgarsten treten zwei große Blattverschiebungen auf, die kinematisch mit den Überschiebungen der Warscheneckdecke und der Haller Mauern (Mürzalpendecke) verbunden sind. Die NE-streichende Salzsteigstörung bildet im Stodertal die Grenze der Totengebirgsdecke zur Warscheneckdecke. Diese Linksseitenverschiebung endet in der Überschiebung der Warscheneckdecke auf die Gosau von Windischgarsten. Die Überschiebung erfolgt gegen NE, parallel zur Bewegung an der Salzsteigstörung (Abb. 5, Diagramme 98–18–1, 98–20–1). Die südlichere Pyhrnstörung zeigt eine sehr ähnliche Kinematik. Die ENE-streichende sinistrale Blattverschiebung geht gegen NE in die parallel zur Seitenverschiebung gerichtete Überschiebung der Haller Mauern über (Mürzalpendecke; Abb. 5, Diagramme 99–3–1, 99–4–1). Charakteristisch für die Pyhrnstörung sind zahlreiche, mehrere Kilometer lange, strike-slip Duplexe, die aus Gesteinen der Admonter Schuppenzone, der Dachsteindecke, sowie aus Hallstätter Elementen und Gosauerien bestehen (LEIN, 1987). Die östlichsten Schollen von Dachsteindecke S dieser Scherzone, die faziell mit Serien der Dachsteinsüdwände vergleichbar sind (POBER, 1984), belegen einen sinistralen Mindestversatz von 28 km. Das Ennstal–Gesäuse-Blattverschiebungssystem wird bei Liezen von der Pyhrnstörung um etwa 30 km sinistral versetzt (Abb. 1). Ein weiteres wesentliches Bauelement im Windischgarstener Becken westlich der Weyerer Bögen sind ost- bzw. westgerichtete Abschiebungen. Diese Brüche versetzen die Pyhrnstörung und die Überschiebungen der Warscheneckdecke und sind daher jünger.

2.2.1. Versatzbeträge und Rahmenbedingungen

Südwestlich der Weyerer Bögen kollidiert der Block des Bösensteinkristallins, der an der sinistralen Pyhrnstörung und der dextralen Pöislinie nach NE bewegt wird, mit den

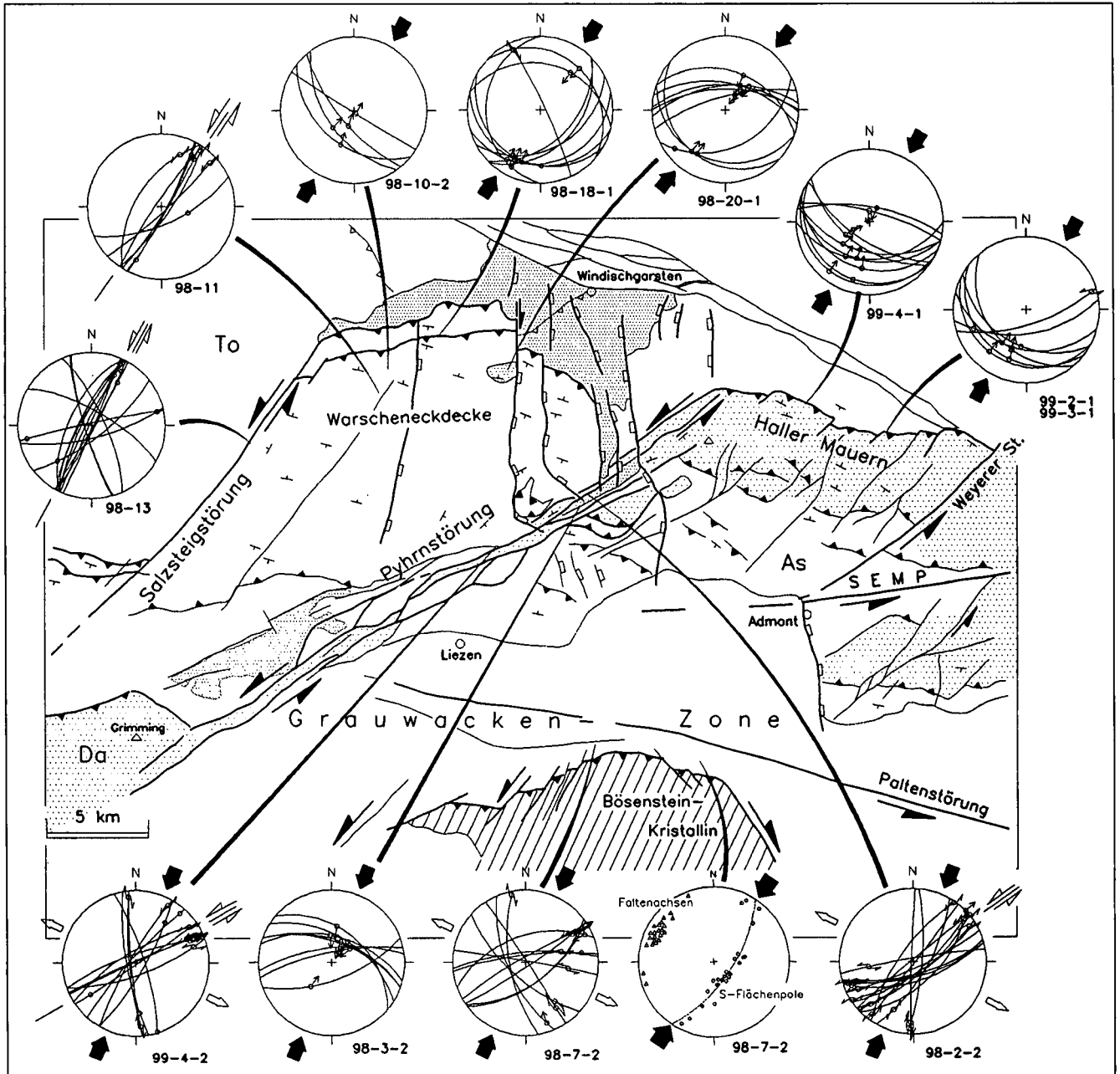


Abb. 5.
 Tektonische Karte der Warscheneck- und Müritzalpendeckung südlich Windischgarsten (zum Teil nach LEIN, 1987). Die NE-gerichtete Überschiebung der Warscheneckdecke auf die Gosau von Windischgarsten ist kinematisch mit der sinistralen Salzsteig-Störung, die Überschiebung der Haller Mauern mit der linksseitigen Pyhrnstörung verbunden. Die Bewegungen stehen im Zusammenhang mit der Kollision des Bösenstein-Kristallins mit der Grauwackenzone und den südlichen Kalkalpen. Jüngere, E- bzw. W-gerichtete Abschiebungen schneiden die Pyhrnstörung und die Überschiebung der Warscheneckdecke.
 Legende (siehe Abb. 2): Da: Dachsteindecke; As: Admonter Schuppenzone; To: Totengebirgsdecke. Dichte Punktensignatur: Gosau von Windischgarsten und Wörschach; helle Punktensignatur: Dachsteindecke und äquivalente Einheiten.

Kalkalpen (Abb. 5). Das Bösensteinkristallin ist in diesem Bereich auf die Grauwackenzone nach NE aufgeschoben (METZ, 1964). Der Rechtsseitenversatz an der Pölslinie ist mit 12 km (Versatz der Wölzer Glimmerschiefer) wesentlich geringer als der Versatz an der Pyhrnstörung (30 km). Das Bösensteinkristallin wird also während der Kollision gegenüber den Kalkalpen bedeutend linksseitig verschoben (Abb. 8).
 Der resultierende Bewegungsvektor (N 40° E) stimmt mit der Richtung der Überschiebung des Kristallins und der Verkürzung in den Kalkalpen überein. Der Bereich stärkster Verkürzung liegt NE des Kristallins im Bereich der Warscheneckdecke und der Haller Mauern. Der Verformungsbetrag nimmt nach E rasch ab. Die Bewegung an

der Pölslinie ist durch das an der Störung liegende Tertiär des Fohnsdorfer Beckens mit Miozän bestimmt (METZ, 1976).
 Nördlich der Überschiebungen der Warscheneck- und Müritzalpendeckung, in der Reichraminger und Ternberger Decke, treten nur wenige kleinere NE-streichende Linksseitenverschiebungen auf.
 Die Windischgarstener Blattverschiebung, die weiter westlich von der sinistralen Traunseestörung versetzt wird, wird SW der Weyerer Bögen nicht von sinistralen Störungen geschnitten.
 Die miozäne Deformation ist im Raum Windischgarsten im wesentlichen auf den Südschnitt der Kalkalpen beschränkt (Abb. 8).

2.3. Blattverschiebungssysteme östlich der Weyerer Bögen

2.3.1. Die Weyerer Blattverschiebung

Die Weyerer Störung verläuft von Admont nach NNE und schneidet die in den Weyerer Bogen einrotierte Lunzer Decke (Abb. 6). Die Linksseitenverschiebung streicht im südlichen Abschnitt bei St. Gallen und Altenmarkt NNE, schwenkt weiter nördlich auf N-S, und endet nahe dem Nordrand der Kalkalpen in einer horsetail structure mit NNE-streichenden Teilstörungen. Der Versatz beträgt hier etwa 1,5 km. Der N-S-streichende Störungsabschnitt ist durch stark divergente Bewegungen gekennzeichnet, die durch E-gerichtete Abschiebungen kompensiert werden. Als Abschiebungen und Scherzonen werden bevorzugt nach E einfallende ältere Überschiebungen und inkompetente Schichten aktiviert. Eine derartige, mehrere Zehnermeter mächtige ostfallende Scherzone mit ausgeprägten Scherbändern ist in roten Jurakalken W Kleinreifling aufgeschlossen (Abb. 6, Diagramm 70-20).

2.3.2. Die Göstlinger Blattverschiebung

Das NNE-streichende sinistrale Göstlinger Blattverschiebungssystem zweigt bei Hieflau von der E-W-streichenden sinistralen Gesäusestörung ab und ist über

45 km bis an den Kalkalpennordrand bei Ybbsitz verfolgbar (LINZER et al., 1990; Abb. 6). Bei Gams und bei Göstling spaltet die Blattverschiebung in divergente N-S-streichende Teilstörungen auf, die mehrere Blattverschiebungsduplexe definieren (LINZER et al., 1990). Die Störungen bei Gams wurden von KOLLMANN (1964) als Abschiebungen kartiert (Abb. 6). Bei Göstling und im Bereich der Oisbergmulde streicht die Störung N-S. Dieser Abschnitt verbindet die NNE-streichenden sinistralen Blattverschiebungen nördlich und südlich davon. Die Störungsgeometrie bedingt eine hohe Komponente divergenter Bewegung im Bereich dieses N-S-streichenden Abschnittes, die von ENE-gerichteten listrischen Abschiebungen im Oisberg kompensiert wird (Abb. 7). Die begleitenden Kleinstrukturen, konjugierte Abschiebungen, N-S-streichende Zerrspalten, Extensionsklüfte, konjugierte Scherklüfte und hybride Klüfte (HANCOCK, 1985) zeigen ebenfalls E(NE)-W(SW)-gerichtete subhorizontale Dehnung an (Abb. 7). Eine grobe Abschätzung des Betrages der ENE-WSW-gerichteten Extension im Profil der Abb. 7 ergibt etwa 25 % Extension (0,6 km auf 3 km Profillänge).

Eine charakteristische Eigenschaft des Göstlinger Störungssystems ist der von S nach N abnehmende Betrag des sinistralen Versatzes an der Hauptstörung (LINZER et al., im Druck). 4 km Linksseitenversatz der Königsbergüberschiebung im Bereich von Göstling stehen etwa

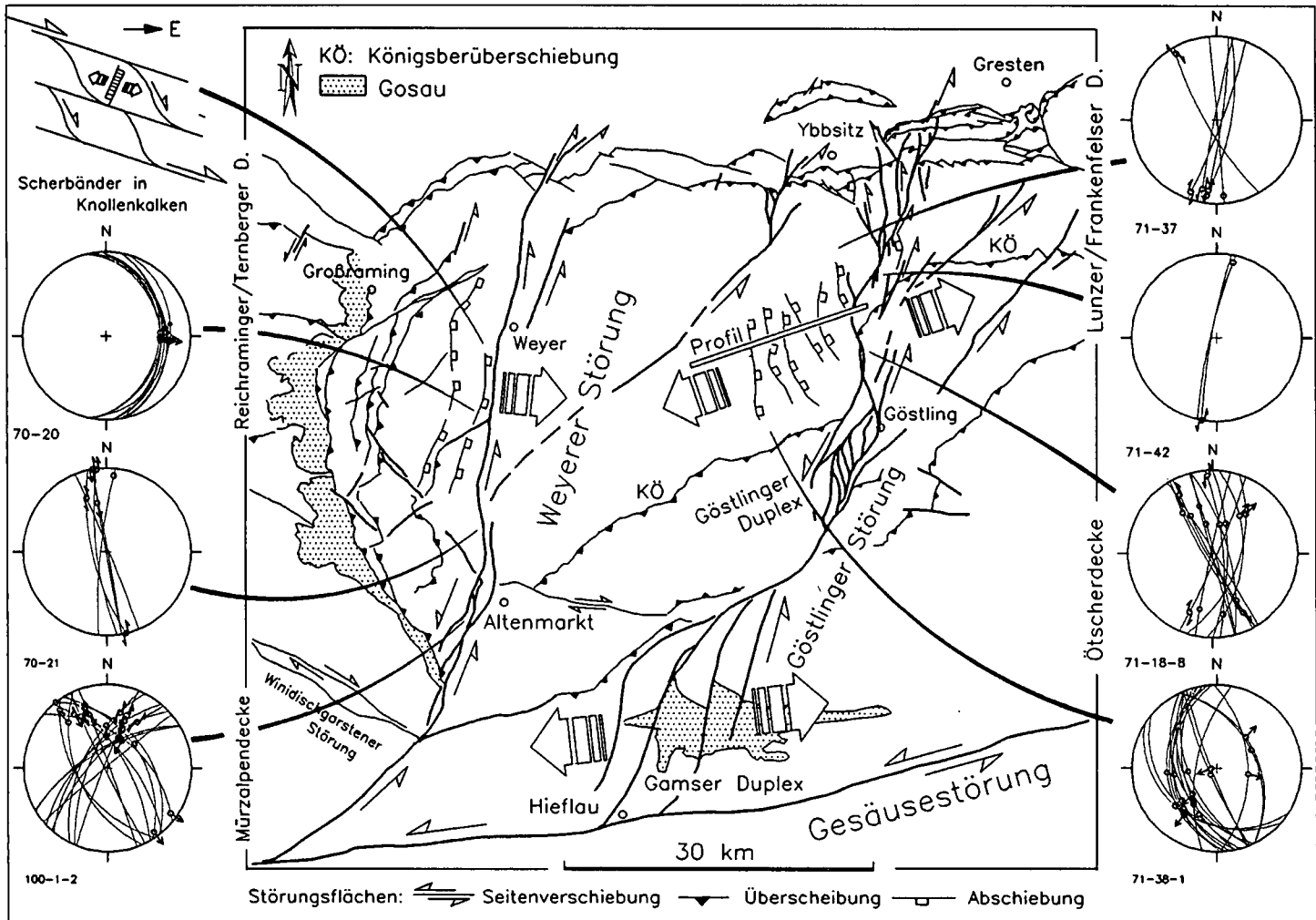


Abb. 6. Tektonische Übersicht über das Weyerer und Göstlinger Blattverschiebungssystem. Beide Blattverschiebungen streichen im mittleren Abschnitt NNE bis N. Divergenz in diesen Abschnitten wird durch ostgerichtete Abschiebungen kompensiert. An der Göstlinger Blattverschiebung sind bei Gams und S Göstling divergente Blattverschiebungsduplexe ausgebildet. Nach geologischen Karten von BRÜGGEMANN et al. (1991), FAUPL (in Vorber.), KOLLMANN (1964), RUTTNER & SCHNABEL (1988); Profil siehe Abb. 7.

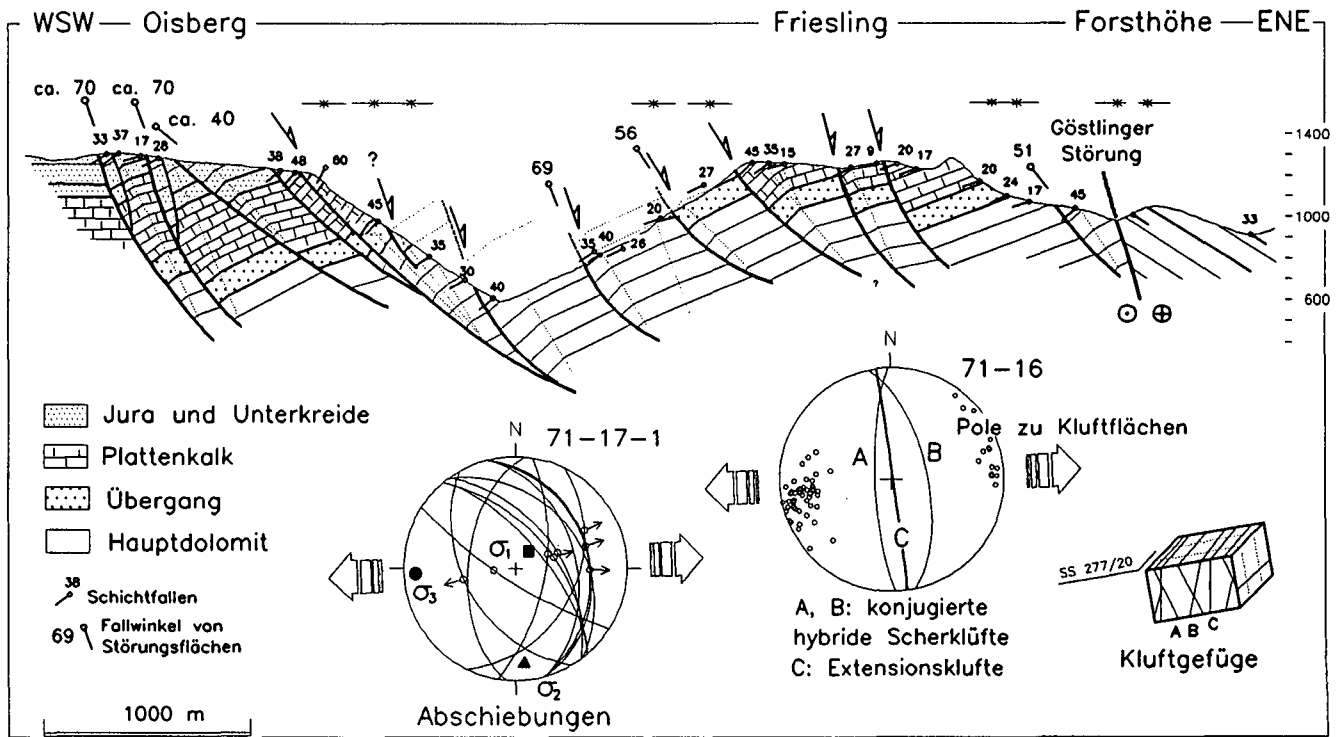


Abb. 7. Abschiebungen im divergenten Abschnitt der Göstlinger Blattverschiebung NW Göstling (Lage des Profils in Abb. 6). Etwa E-W-gerichtete Dehnung wird durch große listrische Abschiebungen und Kleinstrukturen (fasergefüllte Spalten, Extensionsklüfte und hybride Scherklüfte) kompensiert.

1,5 km Versatz der Frankenfelder Deckenstirn im N gegenüber. Die Differenz wird von mehreren, NE-streichenden sinistralen Blattverschiebungen, die bei Göstling von der Hauptstörung abzweigen, aufgenommen.

Die Königsbergüberschiebung wird von diesen Störungen um 0,1 bis 1 km versetzt. Die Göstlinger Hauptstörung endet am Nordrand der Kalkalpen in einer horsetail structure ähnlich der Traunseestörung.

2.3.3. Die Rahmenbedingungen der Göstlinger und Weyerer Blattverschiebung

Ein Vergleich der Weyerer und Göstlinger Blattverschiebung, E der Weyerer Bögen, mit Strukturen W davon, zeigt markante Unterschiede in der miozänen Strukturprägung dieser beiden Bereiche (Abb. 8).

Dem divergenten Weyerer und Göstlinger Blattverschiebungssystem, das die gesamten Kalkalpen durchschneidet, stehen im SW der Weyerer Bögen die Salzsteig- und Pyhrnstörung gegenüber, die im Südteil der Kalkalpen kinematisch in große NE-gerichtete

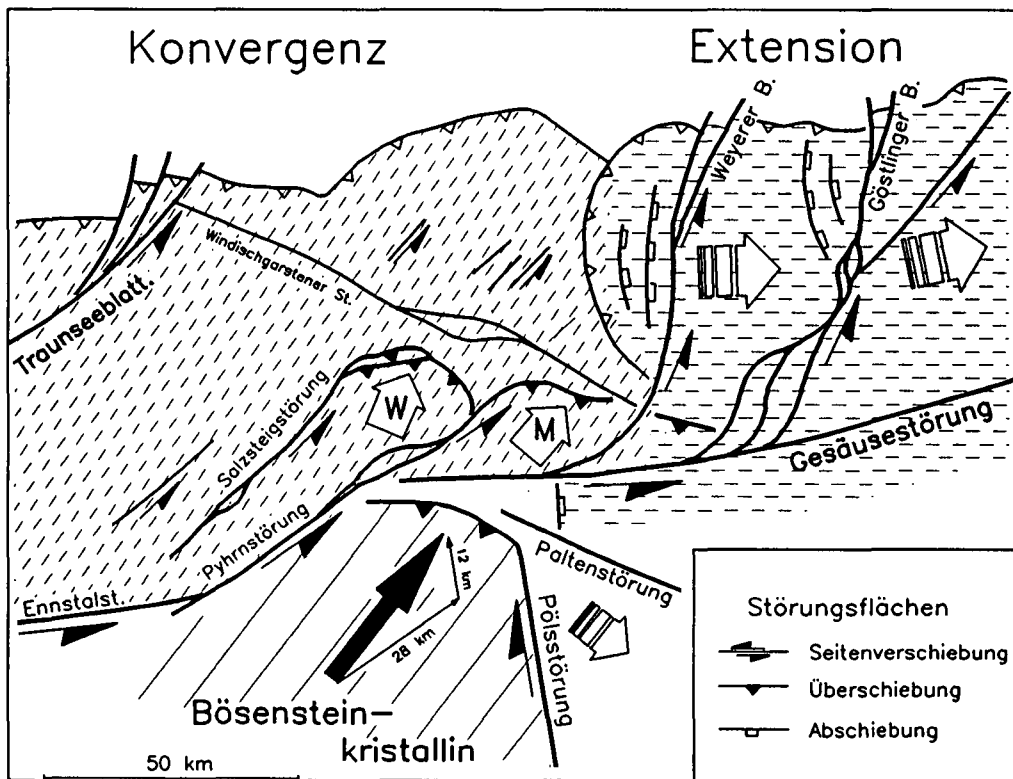


Abb. 8. Modell zur miozänen Deformation im Bereich westlich und östlich der Weyerer Bögen. Das Bösenstein-Kristallin wird an der sinistralen Pyhrnstörung (30 km Versatz) und der dextralen Pöslinie (12 km Versatz) in die Grauwackenzone und die Kalkalpen gedrückt. Vor diesem Block bilden sich sinistrale Störungen, die in die Überschiebungen der Warscheneck- (W) und Mürzalpendecke (M) übergehen. Die Hauptdeformation beschränkt sich auf den Raum südlich der Windischgarstener Störung. Im Gegensatz dazu entwickeln sich östlich der Weyerer Bögen divergente Blattverschiebungen und ostgerichtete Abschiebungen.

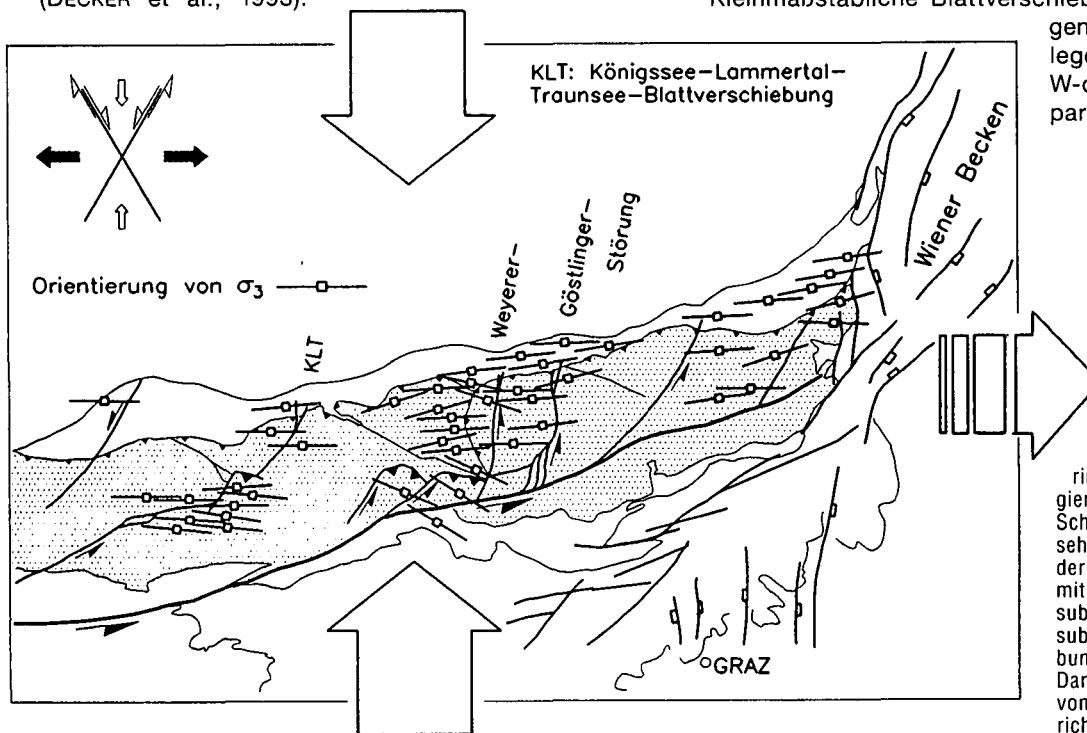
Überschiebungen übergehen. Der Meridian der Weyerer Bögen trennt somit einen westlichen Bereich konvergenter Bewegung von einem östlichen, der durch divergente Bewegungen an der Weyerer und Göstlinger Blattverschiebung charakterisiert ist (Abb. 8). Ein Grund für den unterschiedlichen Deformationscharakter in diesen beiden Kalkalpenabschnitten ist die Kollision des Bösensteinkristallins mit der Grauwackenzone und den Kalkalpen SW der Weyerer Bögen.

3. Die koaxiale Deformation in den Bereichen zwischen den sinistralen Blattverschiebungen

In Bereichen zwischen den großen Blattverschiebungssystemen und im Vorland der Kalkalpen bilden sich zeitgleich mit der Bewegung an den sinistralen Blattverschiebungen kleinmaßstäbliche Strukturen, die N-S-gerichtete Kompression und E-W-orientierte Extension anzeigen. Überschneidungskriterien lassen erkennen, daß diese Kleinstrukturen jünger als der postgosauische Falten- und Deckenbau und älter als Strukturen einer E-W-gerichteten Kompression sind. In dieser relativen Deformationsabfolge sind sie gleich alt wie die Linksseitenverschiebungen (DECKER et al., 1993). Folgende Strukturen wurden analysiert:

1) Seitenverschiebungen mit geringem Versatz

Dies sind meist NNE-streichende sinistrale und NNW-streichende dextrale Seitenverschiebungen sowie reaktivierte, unterschiedlich orientierte ältere Harnische (Abb. 9). Paläospannungsanalysen von diesen Störungen ergeben Orientierungen von σ_1 subhorizontal N-S, σ_3 subhorizontal E-W und σ_2 subvertikal ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$). Die Orientierungen der Hauptnormalspannungen definieren ein Blattverschiebungsregime und ein Spannungsfeld, das im nördlichsten Abschnitt der Kalkalpen und in deren Vorland sehr homogen ist (DECKER et al., 1993).



Kleinmaßstäbliche Blattverschiebungen, Abschiebungen und Zerrspalten belegen eine einheitlich E-W-orientierte Extension parallel zu σ_3 .

Abb. 9. Paläospannungsanalysen von Harnischen mit geringem Versatz (meist konjugierte Seitenverschiebungen; Schema links oben) ergeben sehr konstante Orientierungen der Hauptnormalspannungen mit σ_1 subhorizontal N-S, σ_3 subhorizontal E-W und σ_2 subvertikal (Blattverschiebungsregime). Dargestellt ist die Orientierung von σ_3 , die der Streckungsrichtung entspricht.

Die beschriebenen Großstörungen, wie der Nordabschnitt der Traunseestörung, der Weyerer und der Göstlinger Blattverschiebung, wurden in diesem Spannungsfeld angelegt.

2) Konjugierte Abschiebungen

Neugebildete Abschiebungen und als Abschiebungen reaktivierte Blattverschiebungen zeigen E-W-gerichtete subhorizontale Extension an (Abb. 10). Überschneidungskriterien belegen, daß die Abschiebungen jünger sind als die N-S-Kompression anzeigenden Blattverschiebungen. Die errechneten Orientierungen von σ_1 sind generell subvertikal, σ_3 ist subhorizontal E-W-orientiert. Vor allem im östlichsten Bereich der Kalkalpen bewirkte die Umstellung der Spannungen eine weitgehende Reaktivierung von NNE-streichenden Blattverschiebungen als Abschiebungen. Eine solche Bewegungsabfolge ist für die Randbrüche des Wiener Beckens belegt (SCHOPPER, 1992).

3) Fasergefüllte Zerrspalten

N-S-streichende, subvertikale Zerrspalten (RAMSAY & HUBER, 1983; HANCOCK, 1985) mit fasrigen Kalzitkristallen belegen ebenfalls subhorizontale E-W-Extension (Abb. 10). Die Spalten sind normal auf σ_3 orientiert. Die einheitlichen Orientierungen der Spalten und der Kalzitfasern lassen erkennen, daß sich die Öffnungsrichtung während der Spaltenbildung nicht geändert hat. Die durch solche Zerrspalten kompensierte E-W-Dehnung beträgt 1 bis maximal 6 %.

Alle diese Kleinstrukturen belegen eine Änderung des Spannungsfeldes von einem Blattverschiebungs- zu einem Abschiebungsregime (Vertauschen von σ_1 und σ_2).

Die Summe der Deformationen ist N-S-Verkürzung, subvertikale Verdünnung und signifikante E-W-Streckung der östlichen Kalkalpen.

Die über weite Bereiche sehr konstante Orientierung der Kleinstrukturen und der davon abgeleiteten Extensionsrichtungen zeigen eine weitgehend koaxiale Verformung an und sprechen gegen signifikante Rotationen der Blöcke zwischen den begrenzenden Großstörungen.

Kleinmaßstäbliche Blattverschiebungen, Abschiebungen und Zerrspalten belegen eine einheitlich E-W-orientierte Extension parallel zu σ_3 .

4. Diskussion und Schlußfolgerungen

1 N-S-Verkürzung und die tertiäre Deformation der östlichen Kalkalpen

Die Ausweichbewegung der Kalkalpen zum pannonischen Raum erfolgt an NE-streichenden sinistralen Seitenverschiebungen (LINZER et al., 1990; RATSCHBACHER et al., 1991b) und an NE-vergenten Überschiebungen. Dieses jungtertiäre Bewegungsbild unterscheidet sich entscheidend von der obereozänen/oligozänen Kinematik. Im Alttertiär wird N-S-Konvergenz durch N-gerichtete Überschiebungen und dextrale NW-streichende Blattverschiebungen kompensiert (z.B. Wolfgangseestörung, PERESSON, 1992; Windischgarstener Blattverschiebung; Hochwartstörung, SPERNER, 1991). Diese älteren Blattverschiebungen werden von den jüngeren, sinistralen Seitenverschiebungen abgeschnitten und, aufgrund ihrer kinematisch ungünstigen Orientierung, während der Ostbewegung nicht reaktiviert.

2 Bereiche unterschiedlicher Strukturprägung in den östlichen Kalkalpen

Die miozäne Strukturprägung verläuft in den östlichen Kalkalpen unterschiedlich. Zwei Bereiche werden unterschieden:

- 1) Der Abschnitt westlich der Weyerer Bögen ist durch N-S-gerichtete Konvergenz gekennzeichnet. Charakteristisch sind (E)NE-streichende transpressive Blattverschiebungen (Königssee-Lammertal-Blattverschiebung) und Blattverschiebungen, die kinematisch mit Überschiebungen verbunden sind (Schwarzer Berg-Überschiebung im Lammertal und Fahrenbergüberschiebung der Dachsteindecke, Abb. 2; Mürzalpen-, Warscheneckdecke SW der Weyerer Bögen, Abb. 5).
- 2) Östlich der Weyerer Bögen dominiert E-W-gerichtete Divergenz. Divergente NNE-streichende Blattverschiebungen und große Abschiebungen sind charakteristisch. Als Ursache für diese strukturellen Unterschiede wird von RATSCHBACHER et al. (1991b) die Nähe zum freien pannonischen Raum

angegeben. Wesentliche Unterschiede in der Strukturprägung E und W der Weyerer Bögen resultieren aus der Kollision des Bösenstein-Kristallinblockes mit der Grauwackenzone und den Kalkalpen S Windischgarsten (Abb. 8). Die Überschiebungen der Haller Mauern (Mürzalpendecke) und der Warscheneckdecke liegen vor diesem kollidierenden Block.

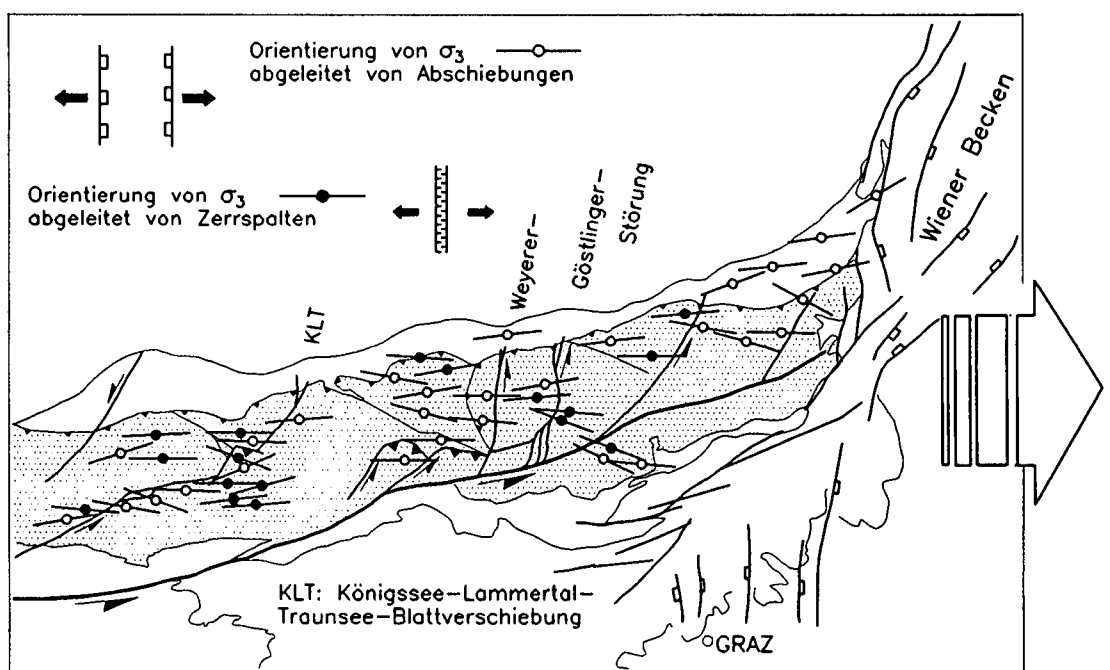
3 „Strain-partitioning“ und die Spannungszustände in den östlichen Kalkalpen während der tertiären Extrusion

Die miozäne Verformung der Kalkalpen ist in sinistrale einfache Scherung an großen Störungszonen und in die koaxiale Verformung der Bereiche zwischen solchen Scherzonen aufgeteilt. Kleinstrukturen innerhalb dieser Blöcke zeigen

- 1) ältere subhorizontale N-S-Verkürzung und E-W-Streckung und
- 2) jüngere subvertikale Verkürzung und subhorizontale, E-W-gerichtete Dehnung an.

Die Summe dieser beiden Deformationen ergibt eine Streckung in E-W-Richtung (Abb. 9, 10). Kleinstrukturen summieren sich zu einem Dehnungsbetrag in der Größenordnung von ca. 5 %. Aus den koaxial verformten Bereichen kann für das tertiäre Ausweichen und die Anlage der sinistralen Blattverschiebungen ein Spannungsfeld mit horizontalem, N-S-orientiertem σ_1 und horizontal E-W-gerichtetem σ_3 rekonstruiert werden (DECKER et al., 1993). Diese Spannungsrichtungen gelten allerdings nur für den Nordteil der Kalkalpen. Im Südabschnitt werden sie von der sinistralen Scherung überlagert, die durch die ostgerichtete Ausweichbewegung der Zentralalpen induziert wird. σ_1 ist etwa NE-SW orientiert (HERMANN, 1990; PERESSON et al., 1993). Die Scherkomponente nimmt von S nach N ab. Aus der Änderung der Spannungszustände von S nach N resultieren gekrümmte, nach NW konkave Blattverschiebungen wie die Königssee-Lammertal-Traunsee-Störung, deren Streichrichtung sich um 40° von ENE im Süden auf NNE am Kalkalpennordrand ändert. Ähnlich gekrümmt sind die südlichen Teile der Weyerer und Göstlinger Blattverschiebung (Abb. 3).

Abb. 10. Paläospannungsanalysen von Abschiebungen und als Abschiebungen reaktivierten Seitenverschiebungen ergeben Orientierungen von σ_1 subvertikal und σ_3 subhorizontal E-W. Sehr ähnliche Orientierungen von σ_3 liefert die Auswertung fasergefüllter Zerrspalten. Dargestellt ist die Orientierung von σ_3 , die der Streckungsrichtung entspricht.



4 Versatzbeträge

Die Versatzbeträge an den sinistralen Hauptstörungen liegen generell im Kilometerbereich und nehmen von S nach N ab (Königssee–Lammertal–Traunsee-Störung: 10–15 km im S, 5–7 km im N; Weyerer Blattverschiebung: 1,5 km am Kalkalpenordrand; Göstlinger Blattverschiebung: 4 km im mittleren Abschnitt, 1,5 km Versatz des Kalkalpenordrandes; vgl. LINZER et al., im Druck). Alle Störungen enden nahe dem Nordrand der Kalkalpen in der Flyschzone. Die Größenordnung des Versatzes an der Salzachtal–Ennstal–Gesäuse-Störung liegt im Bereich von 60 km (LINZER et al., 1990). Für die Pyhrnstörung können 30 km Linksseitenversatz angegeben werden. Die Beträge der NE-gerichteten Überschiebungen erreichen mehrere Kilometer (Fahrenbergüberschiebung der Dachsteindecke: mindestens 3 km; Schwarzer Berg-Überschiebung: 2 km).

Dank

Diese Arbeit wurde vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt P 8123 Geo) und durch das Ost-West-Programm des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (OWP-65) finanziell unterstützt. Unser herzlicher Dank gilt Wolfgang FRISCH, Gert LINZER und Lothar RATSCHBACHER (Univ. Tübingen) für ausführliche Diskussionen über das Prinzip der lateralen Extrusion. Wir danken Richard LEIN, Friedrich STEININGER (Univ. Wien), und Fred RÖGL (Naturhistor. Museum Wien) für Ihre Anregungen. Maria HEINRICH, Wolfgang SCHNABEL (Geol. Bundesanstalt) und die ÖMV-AG stellten unveröffentlichte Karten zur Verfügung. Gerhard ARZMÜLLER und Marion JARNIK haben unsere Geländearbeit unterstützt. Peter EICHHÜBL (University of California at St. Barbara), Wolfgang FRISCH (Univ. Tübingen) und Franz NEUBAUER (Univ. Salzburg) danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

- ANGÉLIER, J.: Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. – *Tectonophysics*, **56**, T17–T26, Amsterdam 1979.
- BODECHTEL, J., JASKOLLA, F., KOHLHAMMER, G., TOMSCHI, H.P. & VOLK, P.: Zur Tektonik des Gebietes westlich des Königssees/Berchtesgadener Alpen. – *Geol. Rdsch.*, **73**, 337–349, Stuttgart 1984.
- BRÜGGEMANN, H., DECKER, K., ESTERLUS, M. & PAVLIK, W.: Geologische Arbeitskarte 1 : 25.000 Bezirk Amstetten und Waidhofen/Ybbs. – Unveröff. Manuskriptkarte, Proj. NC-009g/89–91, Geol. B.-A., Wien 1989/91.
- CRUIKSHANK, K.M., ZHAO, G. & JOHNSON, A.M.: Analysis of minor fractures associated with joints and faulted joints. – *J. Struct. Geol.*, **13**, 865–886, Oxford 1991.
- DECKER, K. & JARNIK, M.: Structural analysis of the Rigaus, Fahrenberg and Nussensee Gosau (Northern Calcareous Alps, Salzburg – Oberösterreich). – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.*, **38**, 93–106, Wien 1992.
- DECKER, K., MESCHEDÉ, M. & RING, U.: Fault slip analysis along the northern margin of the Eastern Alps (Molasse, Helvetic nappes, North- and South-Penninic flysch, and the Northern Calcareous Alps). – *Tectonophysics*, **223**, 291–312, Amsterdam 1993.
- EICHHÜBL, P.: Deformation adjacent to the Periadriatic Line and implications for lateral extrusion of the Eastern Alps. – *Terra Abstr.*, **5**, 235, 1993.
- ETCHECOPAR, A., VASSEUR, G. & DAIGNIÈRES, M.: An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis. – *J. Struct. Geol.*, **3**, 51–65, Oxford 1981.

- FUCHS, W.: Das inneralpine Tertiär. – In: OBERHAUSER, R. (Red.): *Der geologische Aufbau Österreichs*, 452–483, Wien (Springer) 1980.
- HANCOCK, P.L.: Brittle microtectonics: principles and practice. – *J. Struct. Geol.*, **7**, 437–457, Oxford 1985.
- HARDING, T.P.: Seismic characteristics and identification of negative flower structures, positive flower structures and positive structural inversion. – *Am. Ass. Petrol. Geol., Bull.*, **69**, 582–600, Tulsa 1985.
- HERMANN, U.: Tektonik und Kinematik der Salzachtal-Störung zwischen St. Johann und Taxenbach (Salzburg, Österreich). – *Dipl.-Arb. Univ. Tübingen*, 92 p., Tübingen 1989.
- KOLLMANN, H.A.: Stratigraphie und Tektonik des Gosaubeckens von Gams (Steiermark, Österreich). – *Jb. Geol. B.-A.*, **107**, 71–159, Wien 1964.
- KRÖLL, A. & WESSELY, G.: Neue Erkenntnisse über Molasse, Flysch und Kalkalpen auf Grund der Ergebnisse der Bohrung Urmannsau 1. – *Erdöl-Erdgas Zs.*, **83**, 342–353, Wien – Hamburg 1967.
- LANGENSCHIEDT, E.: Die Geologie zwischen Fagstein und Königssee in den Berchtesgadener Alpen. – *Dipl.-Arb. Univ. Marburg*, 148 p., Marburg 1981.
- LEBLING, C.: Geologische Verhältnisse des Gebirges um den Königs-See. – *Abh. Geol. Landesunters. Bayr. Oberbergamt*, **20**, 46p., München 1935.
- LEIN, R.: Zur Verbreitung der Hallstätter Zone beiderseits des Pyhrn-Passes. – *OÖ. Geonachrichten*, **2**, 21–37, Linz 1987.
- LINZER, H.G., FRISCH, W. & RATSCHBACHER, L.: Kinematisches Modell der Nördlichen Kalkalpen (Vortragsskizzenfassung). – *Symposium für Tektonik, Strukturgeologie und Kristallingeologie*, Graz 1990.
- LINZER, H.-G., RATSCHBACHER, L. & FRISCH, W.: Strike-slip faulting in orogen parallel motion, II: Displacement transfer and accommodation at different structural levels in the late-stage history of the Alps. – *Geol. Soc. Am. Abstr. Prog.*, **23**, A 197, Washington, D.C. 1991.
- LINZER, H.-G., RATSCHBACHER, L. & FRISCH, W.: Transpressional collision structures in the upper crust: the fold-thrust belt of the Northern Calcareous Alps. – *Tectonophysics*, Amsterdam (im Druck).
- MANDL, G.: Mechanics of Tectonic Faulting. – *Dev. Struct. Geol.*, **1**, 407 p., Amsterdam 1988.
- MESCHEDÉ, M. & DECKER, K.: Störungsflächenanalyse entlang des Nordrandes der Ostalpen – ein methodischer Vergleich. – *Zs. dt. Geol. Ges.*, **144**, 419–433, Hannover 1993.
- METZ, K.: Die Nordgrenze des Bösensteinkristallins nach neuen Wegaufschlüssen zwischen Trieben und Rottenmann/Steiermark. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1964**, 140–148, Wien 1964.
- METZ, K.: Der geologische Bau der Wölzer Tauern. – *Mitt. naturwiss. Verein Steiermark*, **106**, 51–75, Graz 1976.
- METZ, K.: Bruchsysteme und Westbewegungen in den östlichen Zentralalpen. – *Mitt. österr. geol. Ges.*, **69** (1976), 27–47, Wien 1978.
- NEUBAUER, F. & GENSER, J.: Architektur und Kinematik der östlichen Zentralalpen – eine Übersicht. – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **120**, 203–219, Graz 1990.
- OBERHAUSER, R. (Red.): *Der geologische Aufbau Österreichs*. – 699 p., Berlin (Springer) 1980.
- ONCKEN, O.: Aspects of the reconstruction of the stress history of a fold and thrust belt (Rhenish Massif, Federal Republic of Germany). – *Tectonophysics*, **152**, 19–40, Amsterdam 1988.
- PERESSON, H.: Computer aided kinematic analysis of fault sets. – *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.*, **38**, 107–119, Wien 1992.
- PERESSON, H.: Kinematische Analyse der Wolfgangseestörung (Kalkalpen, Oberösterreich). – *TSK IV – Tektonik-Strukturgeologie-Kristallingeologie*, Frankfurter geowiss. Arb., Ser. A, **11**, 277–279, Frankfurt 1992.

- PERESSON, H., DECKER, K., JARNIK, M. & GEISER, M.: Deformation along curved strike-slip faults: From transpression to simple-shear along the KLT (Königssee – Lammertal – Traunsee) fault of the Austrian Alps. – *Terra Abstr.*, **5**, 243, Oxford 1993.
- PETIT, J.P.: Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. – *J. Struct. Geol.*, **9**, 597–608, Oxford 1987.
- PLÖCHINGER, B.: Die tektonischen Fenster von St. Gilgen und Strobl am Wolfgangsee (Salzburg, Österreich). – *Jb. Geol. B.-A.*, **107**, 11–69, Wien 1964.
- PLÖCHINGER, B.: Erläuterungen zu Blatt 94 Hallein. – 76 p., Wien (Geol. B.-A.) 1990.
- POBER, E.: Stratigraphische und sedimentologische Untersuchungen in der Gosau von Wörschach (Steiermark). – Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien, 149 p., Wien 1984.
- POLINSKI, R.K. & EISBACHER, G.H.: Deformation partitioning during polyphase oblique convergence in the Karawanken Mountains, southeastern Alps. – *J. Struct. Geol.*, **14**, 1203–1213, Oxford 1992.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I. (Eds.): *The Techniques of Modern Structural Geology: Volume I, Strain Analysis.* – 307 p., Oxford (Acad. 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, Boulder, Co., 1989.
- RATSCHBACHER, L., MERLE, O., DAVY, P. & COBBOLD, P.: Lateral extrusion in the eastern Alps, part I: boundary conditions and experiments scaled for gravity. – *Tectonics*, **10**, 245–256, Washington, D.C., 1991a.
- RATSCHBACHER, L., FRISCH, W. & LINZER, H.-G.: Lateral extrusion in the eastern Alps, part II: structural analysis. – *Tectonics*, **10**, 257–271, Washington, D.C., 1991b.
- RIEDEL, W.: Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. – *Centralbl. Min., Abt. B*, **1929**, 354–368, 1929.
- RUTTNER, A. & SCHNABEL, W.: Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50.000, Blatt 71 Ybbsitz (6809). – Wien (Geol. B.-A.) 1988.
- SAUER, R., SEIFERT, P. & WESSELY, G.: Guidebook to Excursions in the Vienna Basin and the Adjacent Alpine-Carpathian Thrust-Belt in Austria. – *Mitt. Geol. Ges.*, **85**, 1–264, Wien 1992.
- SCHOLZ, C.H.: *The mechanics of earthquakes and faulting.* – 439 p., Cambridge (Cambridge Univ. Press) 1990.
- SCHOPPER, T.W.: Strukturgeologische Untersuchungen als Hilfe für die tektonische Deutung des Bewegungsmechanismus des Wiener Beckens. – *Mitt. österr. Geol. Ges.*, **84**, 101–134, Wien 1992.
- SPERNER, B.: Analyse der Deckenkinematik mit Hilfe von Spröd-daten an einem Beispiel aus den Nördlichen Kalkalpen (nieder-österreichische Kalkvoralpen). – *Dipl.-Arb. Univ. Tübingen*, 128 p., Tübingen 1990.
- SPERNER, B., OTT, R. & RATSCHBACHER, L.: Fault-striae analysis: a program packet in PASCAL for data representation and reduced stress-tensor calculation. – *Computers & Geosciences (im Druck)*.
- STEININGER, F.F., RÖGL, F., HOCHULI, P. & MÜLLER, C.: Lignite deposition and marine cycles. The Austrian Tertiary lignite deposits – A case history. – *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl.*, **197**, 309–332, Wien 1989.
- TOLLMANN, A.: *Geologie von Österreich. – Band 2, Außerzentralalpiner Anteil.* – 2: 710 p., Wien (Deuticke) 1985.
- TURNER, F.J.: Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of three marbles. – *Am. J. Sci.*, **251**, 276–298, New Haven, CT, 1953.
- WOODCOCK, N.H. & FISCHER, M.: Strike-slip duplexes. – *J. Struct. Geol.*, **8**, 725–735, Oxford 1986.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 26. Juli 1993

