

# PENNINISCHE FENSTER AM ALPENOSTRAND: STRUKTUR- GEOLOGIE UND TEKTONIK

RATSCHBACHER, L.

Institut für Geologie, Universität Tübingen, Sigwartstraße 10, D-7400 Tübingen

## ZUSAMMENFASSUNG

Eine Analyse der Deformation in und um die penninischen Fenster am Alpenostrand zeigt Strukturen einer spätkretazischen Krustenverdickung, überprägt von Strukturen einer spätoligozänen und miozänen Krustenverdünnung. Letzteres Ereignis dominiert die Deformation der Gesteine der penninischen Fenster. Die Krustenextension ist ein Resultat lateraler Extrusionstektonik, durch welche Material von der orogenen Kompressionszone der Ostalpen zum offenen Rand im E, dem pannonischen Raum, fließt. Die Deformation wird durch rheologische Krustenentkopplung in spröde Deformation der Oberplatte (Ostalpin) und duktile Deformation der Unterplatte (Penninikum) aufgeteilt. Lokale Kompression wird durch die Biegung des Orogengürtels um den Sporn der Böhmisches Masse (restraining bend) bewirkt.

## EINFÜHRUNG

Dieser Beitrag faßt die Kinematik, das sind Verformungs- und Rotationsraten, der Gesteine der penninischen Fenster am Alpenostrand und ihres Rahmens zusammen. Verformung wurde qualitativ aus der Natur und der Orientierung von Strukturen wie Streckungslineation, Schieferung, Achsen und Geometrie des aus Störungsflächenanalysen abgeleiteten Paläostressensors abgelesen. Aspekte der Bewegungsgeschichte wurden aus Vorzugsorientierung von Kristallgittern, syntektonischen Kristallfasern und Schieferungsflächen-Scherflächen (S - C) Strukturen hergeleitet.

## DATEN

Sechs Gruppen von Daten wurden für eine Interpretation verwendet:

- (1) Eine Unterteilung in **geologische und strukturelle Einheiten** wurde durch die Kartierung im Rahmen der Landesaufnahme der Geologischen Bundesanstalt (z.B. HERRMANN & PAHR, 1982; FERENCZ et al., 1987) etabliert. Der Umfang der ostalpinen Decken nimmt von NW (Fenster von Möltern, Bernstein, und Rechnitz) gegen SE (Fenster von Eisenberg) ab; dort liegen höchste ostalpine Einheiten (Paläozoikum von Hannersdorf) direkt auf Penninikum. Die penninischen Fenster stellen asymmetrische, schwach nach W gekippte Dome, die Subdome enthalten dar. Das Rechnitzer Fenster zeigt Stapelung der penninischen Einheiten.

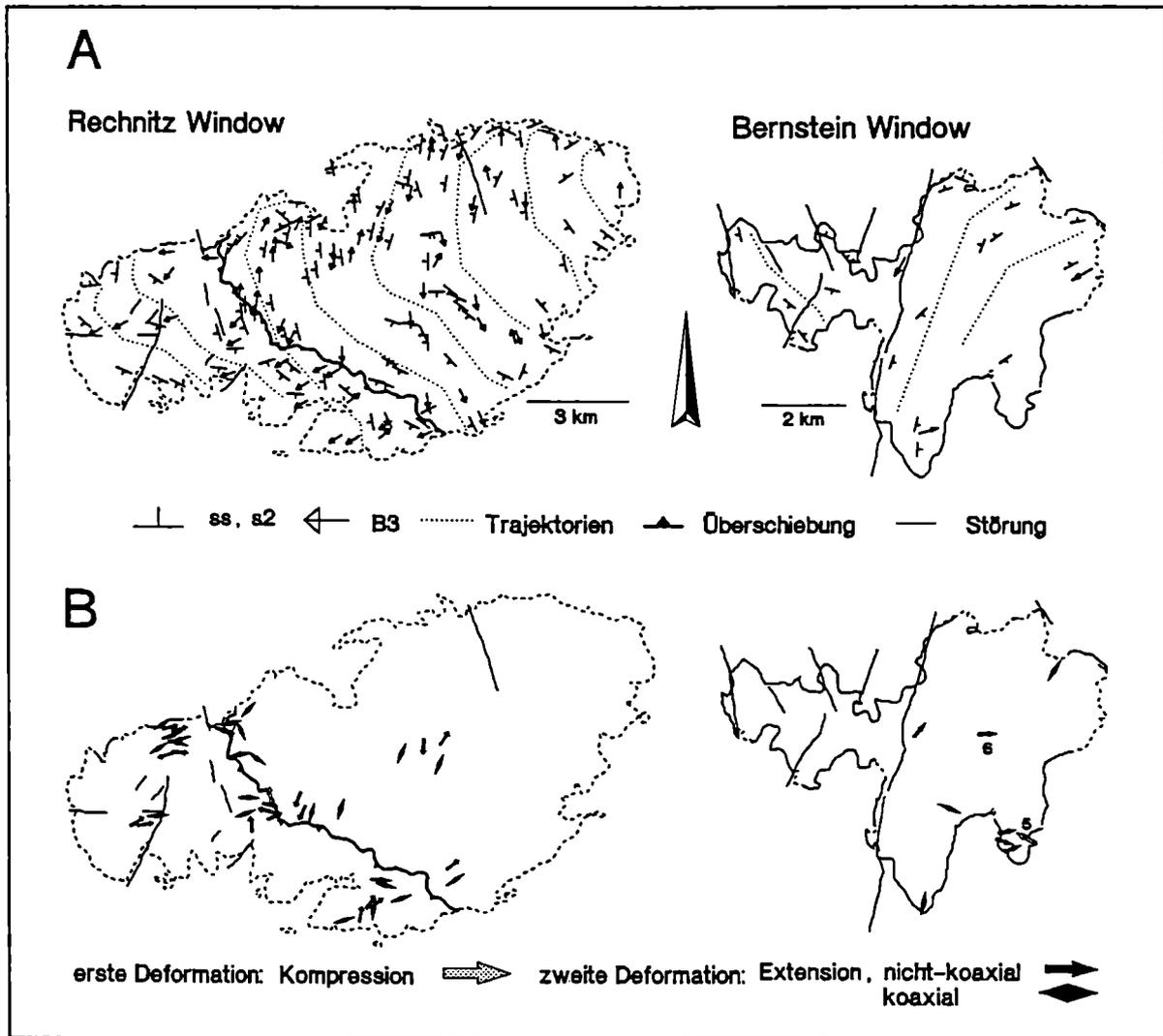


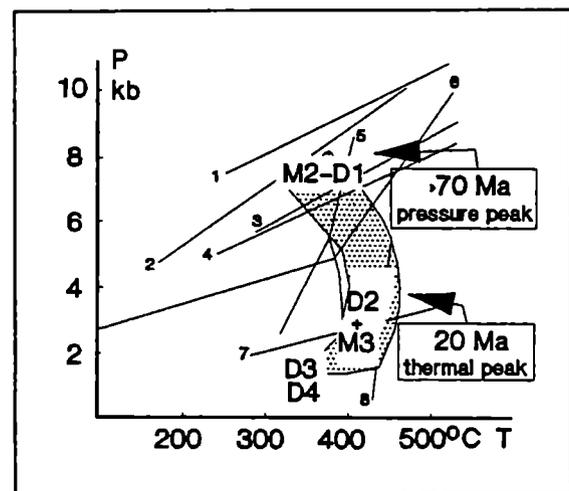
Abb. 1: Tektonische Karten des Rechnitzer und des Bernsteiner Fensters mit (A) Strukturdaten und Strukturadjektorien und (B) kinematischen Daten der ersten (Krustenverdickung) und zweiten Deformation (Krustenausdünnung).

- (2) **Deformationsstrukturen** und deren Interferenzmuster etablieren die relative Chronologie der Verformung (RATSCHBACHER et al., 1990; BEHRMANN, 1988). Strukturen einer nicht-penetrativen **ersten Deformation** sind Quarz-Kalzitgänge und schieferungsinterne Falten. Paläostressanalysen in Serpentinikörpern weisen auf W- bis N-streichende Richtungen der maximalen Kompression. Strukturen der penetrativen **zweiten Deformation** sind eine Schieferung und eine Streckungslineation. Die Schieferung ist schichtungsparell und fällt generell nach W, die Streckungslineation streicht NE. Mesoskopische, mit der zweiten Schieferung assoziierte Scherbänder sind rar, zeigen generell E-gerichteten Versatz, treten aber häufig in konjugierten Sets auf. Zonen mit spröduktilen Abschiebungen führen zu E-gerichtetem Versatz entlang der Penninikum-Ostalpingrenze (z.B. NW-Ecke des Rechnitzer Fensters). Die Achsen der maximalen Kompression stehen subvertikal. Falten der **dritten Deformation**

sind offen bis eng, SE-vergent, haben Achsen parallel der zweiten Streckungslineation (SW-NE) und sind mit einer NW-fallenden, nicht-penetrativen Schieferung verknüpft. Aus der Schieferung entwickelte sich kleinmaßstäbliche, SE-vergente Faltenimbrication. Konjugierte, NE- und SW-streichende, Seitenverschiebungen zeigen subhorizontale E-W Extension aller Einheiten (Penninikum bis Tertiär) an (**vierte Deformation**).

- (3) Die **Deformationskinematik** der penetrativen zweiten Deformation ist in Abb. 1b kartenmäßig dargestellt (RATSCHBACHER et al., 1990). Alle kinematischen Kriterien zeigen koaxiale Deformation oder lokales nicht-koaxiales Gesteinsfließen mit Bewegung des Hangendblocks nach NE bis E.
- (4) Der **Druck-Temperatur-Zeit-Deformationspfad** faßt die metamorphen (KOLLER, 1985), zeitlichen (FRANK et al., 1987; TARI, 1990) und strukturellen (RATSCHBACHER et al., 1990) Beziehungen zusammen (Abb. 2). Die Hochdruckmetamorphose (M2 in Abb. 2) wird durch das Alter der penninischen Sedimente ( $\leq 100$  Ma; SCHÖNLAUB, 1973) und durch ein K/Ar Alter von Crossit-Riebeckitmischkristallen (ca. 70 Ma) eingegrenzt; dies deutet auf ein spätkretazisches Alter der ersten Deformation. Das Alter des thermischen Höhepunktes (M3 in Abb. 3) wird durch K/Ar Alter an syn- und postkinematischen Hellglimmern (22 - 12 Ma) im späten Oligozän-frühen Miozän festgelegt. Die Verfallung der spätalpinen metamorphen Mineralasoziation zusammen mit der zweiten Schieferung durch die dritte Faltung weist der dritten Deformation ca. mittelmiozänes Alter zu. Die vierte Deformation ist Pannon oder älter, da post-Pannon Sedimente ungestört sind (HERRMANN in PAHR, 1984).

Abb. 2: Druck-Temperatur-Zeit-Deformationspfad der Gesteine der penninischen Fenster am Alpenostrand. Datenquellen siehe Text. Beachte, daß die erste bis vierte Deformation am oder nach dem Metamorphosehöhepunkt, also während der Heraushebung (Krustenextension) der penninischen Gesteine stattfand.



- (5) Das spätoligozäne-miozäne **regionale Störungsmuster** am Alpenostrand zeigt Seitenverschiebungen und Abschiebungen (Abb. 3, RATSCHBACHER et al., 1990; und Zitate darin). In den Ostalpen stehen Gruppen von sinistralen, ENE-streichenden Störungen solchen mit dextralem Versatz (hauptsächlich dem Periadriatischen Lineament und dazu bezogene Störungen) gegenüber. Die Bewegungen zeigen E-W Extension an, ihr Alter ist durch die Sedimentation in

störungsbezogenen pull-apart Becken auf Ottning bis Baden (ca. 19 - 13.6 Ma) festgelegt. Das ENE-WSW Streichen der Störungen ändert sich zu einem NNE-SSW Streichen entlang der Alpen-Karpatengrenze, die Position des Umschwenkens fällt mit der Lage des Böhmisches Grundgebirgssporn zusammen. Der Gegensatz zwischen spröden, subvertikalen spätoligozänen-miozänen Deformationsstrukturen im Ostalpin und duktilen, subhorizontalen Strukturen (zweite Deformation) im Penninikum und an der Penninikum-Ostalpingrenze weist auf Krustenentkopplung hin. Abb. 4 zeigt ein schematisiertes Profil vom Ostrand des Tauernfensters zu den pannonischen Becken. Die Störungen der Oberplatte sind listrisch. Die Abschiebungszone, die das Tauernfenster im E begrenzt (GENSER & NEUBAUER, 1989), unterlagert wahrscheinlich das gesamte östliche Ostalpin und stellt die Hauptabscherungszone der Ostalpen dar. Die Tiefe zum diesem Decollement ist durch Aufschlüsse in den penninischen Fenstern am Alpenostrand und durch seismische, gravimetrische und Bohrdaten gegeben (KRÖLL et al., 1988). Entlang dieser Abscherungszone fehlen unterschiedliche Beträge der tektonostratigraphischen und metamorphen Zonierung.

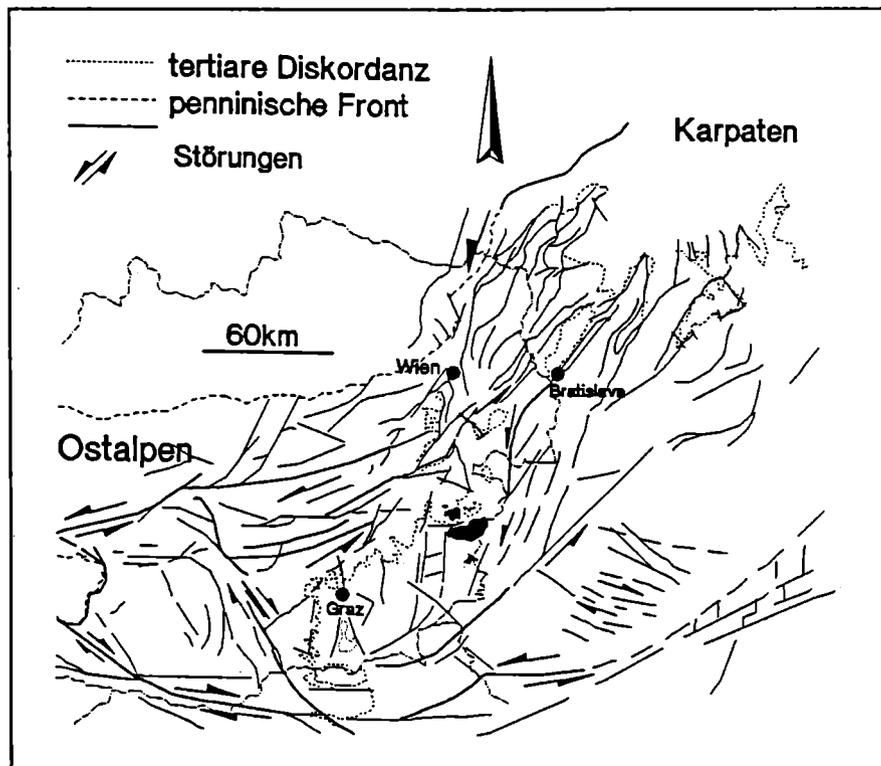


Abb. 3: Oligozänes-miozänes Störungsmuster am Alpenostrand. Quellen siehe Text.

- (6) **Paläomagnetische Untersuchungen** (MÁRTON et al., 1987) in und um die penninischen Fenster am Alpenostrand weisen auf miozäne Rotationen im Gegenuhrzeigersinn in den tertiären Sedimenten und auf Uhrzeigersinnrotationen mit beträchtlichen, extrem unterschiedlichen Beträgen zwischen den einzelnen Meßstellen im Penninikum hin. MÁRTON et al. (1987) bezogen die

Entstehung der Magnetisierung in den penninischen Gesteinen auf die tertiäre (22 - 12 Ma) Metamorphose und verwendeten tektonisch unkorrigierte Daten, um Rotationsbeträge und Richtungen abzuleiten. Jeder paläomagnetische Vektor, der zur tertiären Metamorphose bezogen ist, muß jedoch um die Falten der dritten Deformation rotiert und auch noch von der zweiten Deformation betroffen worden sein. RATSCHBACHER et al. (1990) haben die Daten aus den penninischen Einheiten nicht als paläomagnetisch signifikante Rotationen betrachtet und nicht für ein tektonisches Modell verwendet.

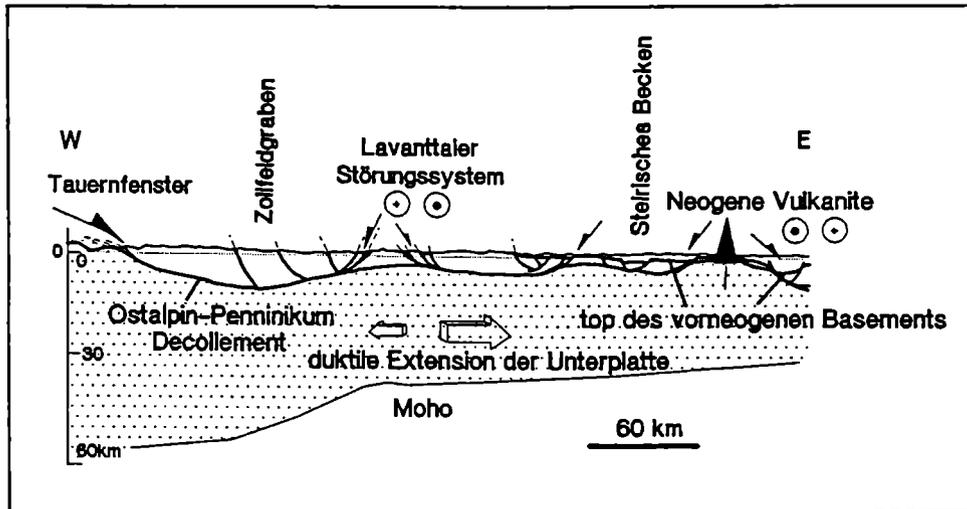


Abb. 4: E-W Profil vom Tauernfenster zu den pannonischen Becken. Beachte rheologische Krustenentkopplung zwischen spröder Extension in der Oberplatte (Ostalpin) und duktiler Extension in der Unterplatte (Pennin). Datenquellen siehe Text.

## INTERPRETATION UND TEKTONISCHES MODELL

Strukturen, die zu Krustenverdickung führten (erste Deformation) sind rar, kinematisch nicht aussagekräftig und nicht direkt zu der reliktsch erhaltenen Hochdruckmetamorphose zu beziehen. W- bis N-gerichtete Imbrikation in einem kretazischen Akkretionskeil ist eine Interpretationsmöglichkeit (vergleiche RING et al., 1989). Faltenorientierungen, die von PAHR (1984) zu einer Subduktionszone bezogen wurden, sind keine Strukturen der ersten Deformation. Diese Falten gehören zur dritten Deformation. Diese hat > 50 Ma nach dem Druckhöhepunkt der alpalinen und auch nach dem Temperaturhöhepunkt der spätpalinen Metamorphose stattgefunden und ist zur Aufstiegsgegeschichte der penninischen Einheiten bezogen (siehe unten)!

Die spätoligozäne-miozäne Deformation (zweite bis vierte Deformation) am Alpenostrand wird im Rahmen des lateralen Extrusionsmodells diskutiert (RATSCHBACHER et al., 1990). Indentation durch die Südalpen verursachte N-S Kompression und E-W Extension in den Ostalpen und etablierte ein oligozän-miozänes Störungsmuster, entlang dem Krustenblöcke von den Ostalpen in den pannonischen Raum trans-

portiert wurden. Die hauptsächlich spröde Deformation der Oberkruste (Ostalpin) entlang diesem Störungsmuster unterscheidet sich von der duktilen Deformation der Unterkruste (Penninikum), welche durch koaxiale (pure shear) Krustenstreckung entlang subhorizontaler Schieferung (zweite Deformation) dominiert wird. Ober- und Unterplatte werden durch einen großmaßstäblichen Abscherungshorizont getrennt. Ausdruck der Extension der Unterplatte ist die duktile Streckung in Mylonitgürteln des Tauernfensters (SELVERSTONE, 1988; GENSER & NEUBAUER, 1989; BEHRMANN & RATSCHBACHER, 1989; RATSCHBACHER et al., 1989) und die ähnliche, subhorizontale, pure-shear Extension in den penninischen Fenstern des Alpenostrandes. Beste Hinweise für Krustenextension am Alpenostrand sind das Fehlen von Teilen der tektonostratigraphischen Sequenz (z.B. Oberostalpin auf Pennin), das Fehlen tertiärer metamorpher Isograde (ostalpine Einheiten ohne tertiäre Metamorphose auf grünschieferfazielltem Penninikum), subhorizontale Schieferung und pure shear Deformationsgeschichte (Penninikum), und Deformation am und nach dem Metamorphosehöhepunkt (Abb. 2).

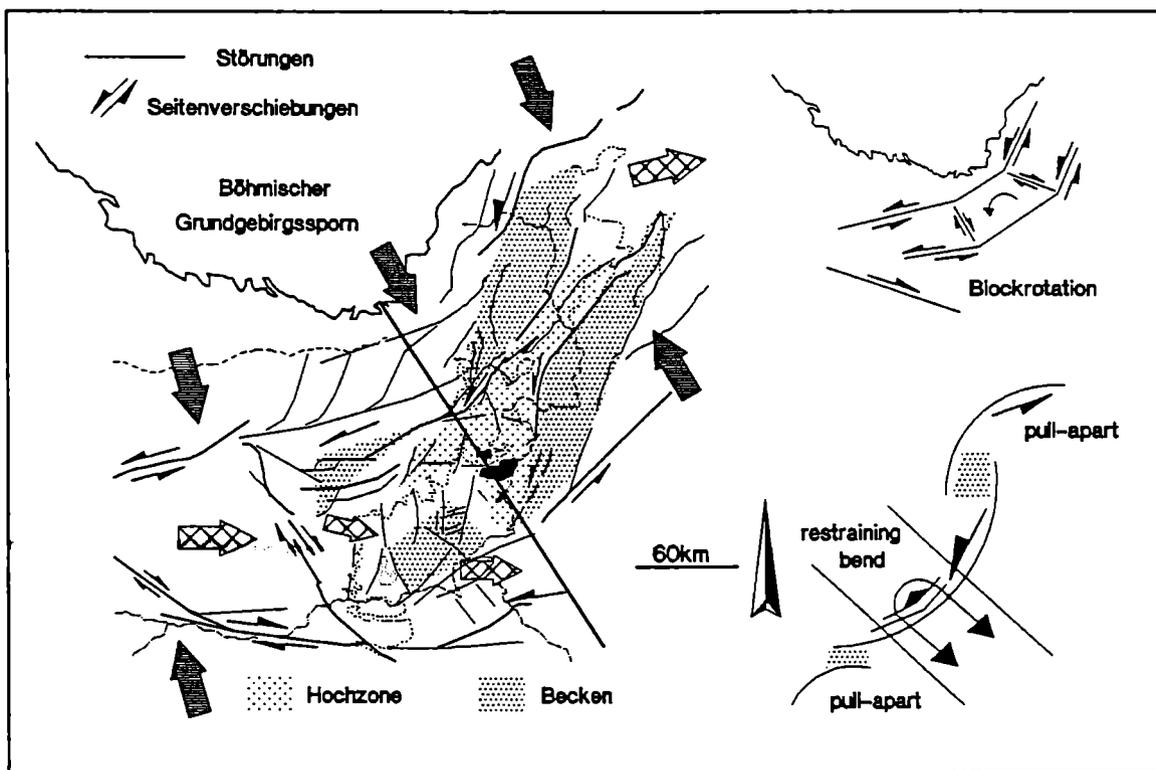


Abb. 5: Randeffekt während der spätoligozänen-miozänen lateralen Extrusionstektonik. Umschwenken des Störungsmusters vom alpinen E-W zum karpatischen NNE-SSW Streichen bewirkt lokale Kompression (restraining bend), pull-apart Becken, und Gegenuhrzeigerrotationen. Quellen siehe Text. Pfeile mit Punktssignatur geben Kompressionsrichtungen, solche mit Liniensignatur Extensionsrichtungen an.

Die zweite Phase von Kompression (dritte Deformation) in den penninischen Fenstern wurde durch den Randeffekt am Alpen-Karpatenübergang bewirkt (Abb. 5, RATSCH-

BACHER et al., 1990). Die gebogene Form des Vorlandes an der Ostalpengrenze (Böhmischer Grundgebirgssporn) gegen den das ostalpine Orogen im späten Oligozän und Miozän gepreßt wurde, induzierte: (1) Linksspringen der Seitenverschiebungen östlich des Spornes und die Bildung von pull-apart Becken (z.B. Wiener Becken). (2) Umschwenken des Extrusionsstörungsmusters um die Spitze des Spornes vom alpinen WSW-ENE Streichen zum karpatischen SSW-NNE Streichen. Diese Biegung (restraining bend) induzierte Kompression entlang einer Zone, die durch die heutige Position der penninischen Fenster läuft. Abgesenkte und herausgehobene Bereiche entlang der Randzone zwischen Alpen und Karpaten sind schematisch in Abb. 5 dargestellt. In den Gesteinen der penninischen Fenster verursachte die Kompression SE-vergente Falten und kleinmaßstäbliche Faltenimbrikation. (3) Eine sinistrale Scherbewegung, die Rotationen von Krustenblöcken im Gegenuhrzeigersinn bewirkt während diese von den Ostalpen zu den Karpaten wandern. Dies stimmt mit den post-paläozänen paläomagnetischen Rotationen in den östlichen Ostalpen (MAURITSCH & BECKE, 1987), den tertiären Sedimenten in der Umgebung der penninischen Fenster (MÁRTON et al., 1987) und den Westkarpaten (BALLA, 1985) überein.

Die finale Phase der spätmiozänen W-E Extension (vierte Deformation) entspricht der Phase der uniformen W-E Extension in den pannonischen Becken (BERGERAT, 1989) nach dem Ende der Krustenverkürzung in den Westkarpaten.

#### **Dank**

Friedrich Koller lud mich ein, trotz expeditionsbedingter Abwesenheit zu der Tagung in dieser Form beizutragen. Alfred Pahr dirigierte Jan Behrmann und mich zu den signifikantesten Aufschlüssen in den penninischen Fenstern. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte unsere Forschung im Rahmen von Alpenprojekten. Diesen Personen und Institutionen und den vielen Kollegen, die mit uns das alpine Puzzle diskutierten, danke ich.