

**Analyse von Paläospannungen in zwei Serpentinikörpern  
im Penninikum der Rechnitzer Einheit (Burgenland)**

von

**Jan H. BEHRMANN**

mit 7 Abbildungen

**Anschrift des Verfassers:**

Dr. J.H. Behrmann  
Institut für Geowissenschaften und Lithosphärenforschung  
Justus-Liebig-Universität Gießen  
Senckenbergstraße 3  
D-6300 Gießen

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung . . . . .	232
Summary . . . . .	232
1. Einführung . . . . .	233
2. Theorie . . . . .	234
3. Daten und Beobachtungen . . . . .	235
4. Interpretation . . . . .	237
5. Literatur . . . . .	241

## Zusammenfassung

Die Orientierungen von Scherflächen und Scherrichtung, sowie Kenntnis des Schersinns und des Reibungskoeffizienten bei Sprödverformung sind ausreichend, die Lage der Hauptachsen des assoziierten Spannungstensors zu beschreiben. Zwei Serpentinikörper im Pennin der Rechnitzer Einheit (Burgenland, Österreich) wurden auf ihr Inventar an komplett charakterisierbaren Scherbrüchen und Dehnungsbrüchen untersucht. In beiden Fällen ist für die Entstehung der meisten Brüche anzunehmen, daß die größte, kompressive Hauptspannung etwa vertikal orientiert war. Die dehnende oder kleinste kompressive Hauptspannung hatte eine in etwa E–W gerichtete, horizontale Lage. Dieser Spannungszustand resultierte in einer E–W gerichteten Extensionstektonik. In einem der Serpentinikörper (Kleine Plischa bei Stadtschlaining) wird hiervon ein älterer Zustand mit horizontal NNW–SSE gerichteter größter und vertikaler geringster Einspannung überprägt. Dieser Spannungszustand erzeugte NNW-gerichtete, flache Überschiebungen. Das ältere Ereignis läßt sich mit den alpidischen Deckenüberschiebungen korrelieren, das jüngere Ereignis steht wahrscheinlich im Zusammenhang mit der tertiären Krustendehnung im Grenzbereich von Ostalpen und Pannonischem Becken.

## Summary

Shear plane and shear direction orientations, as well as knowledge of shear sense and frictional behaviour of a rock during brittle fracture, are sufficient for a complete description of the associated stress tensor. Shear and tension fractures that allowed complete description were analysed in two serpentinite bodies within the Pennine rocks of the Rechnitz unit (Burgenland, Austria). In both cases most fractures relate to a vertical maximum compressive stress, and approximately E–W oriented minimum compressive or tensional stress. This state of stress resulted in E–W extension. In one of the serpentinites (Kleine Plischa, near Stadtschlaining) extension-related stresses overprint older horizontal NNW–SSE maximum compression, and vertical minimum compression or tension. This state of stress created NNW-directed low angle thrusts. The older event can be correlated with Alpine thrust tectonics. The younger event probably relates to crustal extension of Tertiary age at the boundary between the Eastern Alps and the Pannonian Basin.

## 1. Einführung

Serpentinite werden im allgemeinen als bei relativ niedrigen Temperaturen metamorph oder metasomatisch umgewandelte, ultrabasische Gesteine angesehen. Ihr Auftreten am Ozeanboden sowohl in der Nähe passiver Kontinentalränder (z.B. BOILLOT et al. 1980) als auch aktiver Plattenränder (FRYER et al. 1985) läßt vermuten, daß es sich bei der Umwandlung oft um einen „ozeanischen“ Prozeß handelt und daß Ultrabasite bereits im serpentinisierten Zustand in Gebirgsgürtel eingefügt werden können. In vielen Fällen zeigen Serpentinite Anzeichen intensiver, spröder Zerschering, wobei die Sprödbrüche oft mit Tapeten von in Gleitrichtung bevorzugt gewachsenen Mineralen belegt sind. Beide Argumente, nämlich frühe Entstehung in einem Orogenzyklus und sprödes Verformungsverhalten, ergeben die Möglichkeit, daß Serpentinite ein langandauerndes „Gedächtnis“ für frühere Spannungszustände haben. Diese Spannungszustände können im Prinzip durch geometrische Analyse der Sprödbrüche rekonstruiert werden.

Die penninischen Einheiten der tektonischen Fenster von Rechnitz und Bernstein (Abb. 1) am Ostrand der Ostalpen (z.B. PAHR 1955, 1984) sind reich an Serpentin-

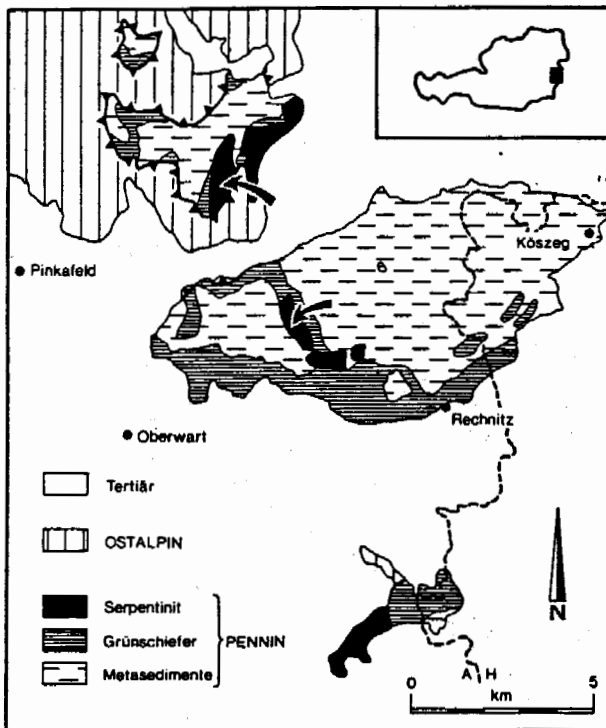


Abb. 1: Geologische Kartenskizze der penninischen Fenster am Ostrand der Alpen. Vereinfacht nach PAHR (1984). Die Pfeile bezeichnen die Lage der untersuchten Aufschlüsse. Südlicher Pfeil: Kleine Plischa, nördlicher Pfeil: Bernstein.

ten, die dort im tektonischen Verband mit meist kalkreichen, kretazischen (SCHÖNLAUB 1973) Bündner Schiefern, sowie metabasischen Eruptivgesteinen und Tuffen (KOLLER & PAHR 1980, KOLLER 1980) auftreten. Diese Gesteinsvergesellschaftung kann als Relikt eines mesozoischen Ozeanbodens und seiner sedimentären Bedeckung angesehen werden.

In dieser Notiz berichte ich über die Ergebnisse einer geometrischen Analyse von Scher- und Dehnungsbrüchen in zwei Serpentinittkörpern der penninischen Rechnitzer Einheit. Die Ableitung der assoziierten Orientierungen des Spannungstensors, sowie mögliche, regional-tektonische Interpretation werden diskutiert.

## 2. Theorie

Hauptspannungsrichtungen können direkt aus der Orientierung konjugierter Scherflächensysteme abgelesen werden (ANDERSON 1951). Die veröffentlichten Methoden (z.B. ARTHAUD 1969, ANGELIER 1977, ANGELIER & MECHLER 1977, PAVONI 1980, ANGELIER 1984, ALEKSANDROWSKI 1985) basieren auf der statistischen Behandlung größerer Datenmengen von Scherflächen oder Harnischstrichen, oder beidem. Dies dient der Ermittlung der angenäherten Orientierung von Hauptspannungsrichtungen aus Vorzugsorientierungen dieser Gefügeelemente. PFIFFNER & BURKHARD (1987) variieren diese Methoden dadurch, daß sie jeder Bruchfläche je zwei kompressive und tensile Quadranten für eine gegebene Gleitbewegung zuordnen, invers zu dem Verfahren, das bei seismischen Herdflächenlösungen angewandt wird. Die Fläche in der stereographischen Projektion, die dann allen oder einer maximalen Anzahl der kompressiven oder tensilen Quadranten gemeinsam ist, stellt die Begrenzung der Lage der größten kompressiven (fortan als  $\sigma_1$  bezeichnet) beziehungsweise der kleinsten kompressiven oder tensilen (fortan als  $\sigma_3$  bezeichnet) Hauptspannung dar;  $\sigma_2$  ist die mittlere der drei Hauptspannungen.

Der Nachteil der oben zitierten, rechnerischen Methoden ist, daß polyphase Verformungsgeschichten mit zeitlich wechselnden Orientierungen der Hauptspannungsrichtungen kaum erfolgreich aufgelöst werden können. Dieses Problem läßt sich umgehen, indem man jeden einzelnen, durch die Raumlagen von Scherfläche und Scherrichtung (identisch mit der Lage der Harnischstriemung) definierten Scherbruch einer dynamischen Analyse unterzieht (Abb. 2). Als zusätzliches Kriterium ist hierbei noch der Schersinn erforderlich, der jedoch in der Regel aus der Lage der Abrißkanten auf Har-

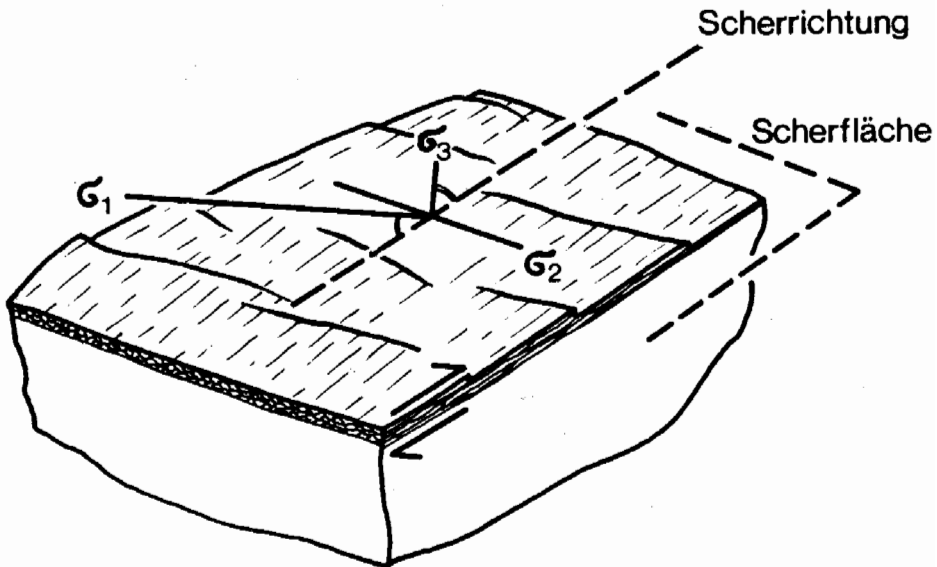


Abb. 2: Schematische Darstellung einer mit Mineraltapete besetzten Scherfläche und ihre geometrische Beziehung zu den drei Hauptspannungsrichtungen bei Bruchbildung. Mineralfasern wachsen in Scherrichtung, die Geometrie der Stufen ergibt den Schersinn.

nischen (Abb. 2) ablesbar ist. Die Lage von  $\sigma_2$  ist dann in der Scherfläche, senkrecht zum Verlauf der Harnischstriemung. Ein weiterer notwendiger Parameter ist der statische Reibungskoeffizient für Scherbruch nach einem Navier-Coulomb-Kriterium (z.B. JAEGER & COOK 1979), der den Winkel von  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  mit der Scherfläche bei der Bruchbildung bestimmt. Dieser liegt in Laborexperimenten bei maximal 0.85 (z.B. TURCOTTE & SCHUBERT 1982), ist aber für reale, unter einem gewissen Porenwasserdruck stehende Gesteine wahrscheinlich niedriger. Folgt man ANDERSON (1951), so kann man für den Winkel zwischen  $\sigma_1$  und der Scherfläche etwa  $30^\circ$  annehmen und damit für den zwischen  $\sigma_3$  und der Scherfläche etwa  $60^\circ$  (siehe Abb. 2).

Festzuhalten ist, daß sich diese Winkel auf die Spannungsgeometrie bei der Bruchbildung beziehen und nicht bei etwaiger, späterer Reaktivierung. Es gibt keinen Grund anzunehmen, daß die Beziehung zwischen Hauptspannungsrichtungen und Orientierungen von reaktivierten Scherbrüchen ähnlich einfach ist (z.B. MCKENZIE & JACKSON 1983, HANCOCK 1985).

Die aus der Analyse der einzelnen Scherbrüche resultierenden Raumlagen von  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  werden in einer flächentreuen Lagenkugelprojektion dargestellt und gefügestatistisch ausgewertet. Liegen Maxima von  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  jeweils senkrecht aufeinander, liegt nahe, daß diese drei Maxima die Lage eines Paläo-Spannungstensors widerspiegeln.

### 3. Daten und Beobachtungen

Die in Abb. 3 dargestellten Daten kommen aus dem Serpentinittsteinbruch auf der Kleinen Plischa (Österr. Karte 1 : 50000, Bl. Oberwart, R1049300, H5244750) (siehe Abb. 1) etwa 4 km E' Stadtschlaining. Die Kleine Plischa wird von einem etwa 1 km breiten Serpentinittkörper aufgebaut, der sich nach SE in den Bereich des Kartenblattes Rechnitz fortsetzt. Die Gesteinseinheiten fallen hier flach nach SE ein. Auf der Südseite des Steinbruchs ist die hangende Begrenzung des Serpentinittkörpers in Form von phyllonitisierten Grünschiefern und Talkschiefern aufgeschlossen. Der dunkelgrüne, massige Serpentinitt ist von einem unregelmäßigen Netzwerk von Scherbrüchen und Dehnungsbrüchen durchzogen. Auf den Brüchen wachsen dünne, faserige Tapeden von makroskopisch ansprechbarem Chrysotil, Talk, oder einem Gemisch dieser beiden Minerale.

Die Scherbrüche bilden in Abb. 3 drei deutliche Maxima aus. Zwei von ihnen repräsentieren steil in westliche oder östliche Richtung fallende Brüche, deren Harnischgeometrien Abschiebungscharakter anzeigen. Der Schnittwinkel zwischen diesen beiden Flächenscharen beträgt etwa  $60^\circ$  und belegt, daß es sich hierbei um konjugierte Abschiebungsscharen handelt. Ein drittes, weniger deutliches Maximum ist durch flach SSE-fallende Überschiebungen bedingt. Im NE-Quadranten des Gefügediagrammes liegen einzelne, steilstehende Scherbrüche mit ausgeprägter Seitenverschiebungskomponente, wobei die N-S streichenden einen sinistralen, die WNW-ESE streichenden einen dextralen Bewegungssinn besitzen. Wichtig ist die Beobachtung, daß die Abschiebungen sowohl Überschiebungen als auch Brüche mit Seitenverschiebungskinetik überprägen. Brüche mit reiner Dehnungskinetik (Mineralfasern stehen senkrecht auf der Bruchfläche) bilden zwei bevorzugte Orientierungen: vertikal mit N-S Streichen und horizontal.

Der zweite untersuchte Großaufschluß in Serpentinitten befindet sich an der Straße

## KLEINE PLISCHA

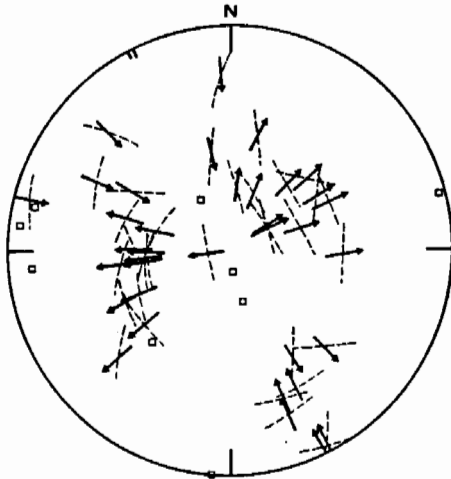


Abb. 3:  
Orientierungen von Scher- und Dehnungsbrüchen im Steinbruch Kleine Plischa. Die offenen Vierecke bezeichnen die Pole der Dehnungsbrüche. Die Scherbrüche sind durch Segmente ihrer Schnittkanten mit der unteren Lagenkugelhälfte (gestrichelte Linien), sowie durch die relative Bewegungsrichtung des Hangendblocks (in Richtung der Pfeilspitze) beschrieben. Flächentreue Projektion der unteren Lagenkugelhälfte.

Bernstein—Redlschlag (Österr. Karte 1:50000 Bl. Oberwart, R 1045050 H 5253600) etwa 2 km NNE' Bernstein. Der Steinbruch liegt etwa im Zentrum eines NE—SW streichenden, 6 x 3 km großen Serpentinikörpers am tektonischen Top des Penninikums (Abb. 1). Nach SE tauchen die penninischen Gesteine unter das Unterostalpin der Wechselinheit ab. Die Mineralbestege auf Scher- und Dehnungsbrüchen gleichen denen der Kleinen Plischa.

Das Muster an steilen Abschiebungen (Abb. 4) ist beinahe identisch dem an der Kleinen Plischa (Abb. 3), wobei die E-fallenden Abschiebungen ein deutliches Über-

## NE' BERNSTEIN

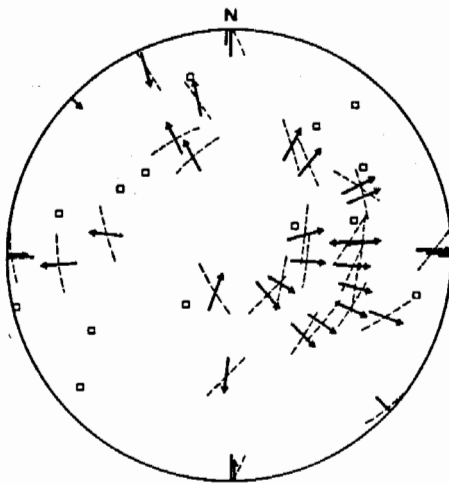


Abb. 4:  
Orientierungen von Scher- und Dehnungsbrüchen im Steinbruch NE' Bernstein. Legende wie Abb. 3. Flächentreue Projektion der unteren Lagenkugelhälfte.

gewicht besitzen. Es kommen wenige NNE-fallende Abschiebungen, sowie vier Brüche mit Seitenverschiebungscharakter (dextral und sinistral) hinzu. Die Dehnungsbrüche haben keine ausgeprägte Vorzugsorientierung.

#### 4. Interpretation

Die Raumlagen von  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  wurden für jede Bruchstruktur individuell nach dem in Abb. 2 dargestellten geometrischen Modell ermittelt. Das Ergebnis ist für die Kleine Plischa in Abb. 5, das für den Steinbruch bei Bernstein in Abb. 6 dargestellt. Die Einzeldaten in den Polfiguren links in Abb. 5 und 6 wurden mit einer 5%-Kalotte ausgezählt und in Isoliniendiagrammen dargestellt (rechts in Abb. 5 und 6). An der Kleinen Plischa (Abb. 5) ergeben sich je zwei Vorzugslagen, nämlich eine deutliche und eine schwächere, für alle drei Hauptspannungsrichtungen. Die drei ausgeprägten Maxima erlauben die Rekonstruktion eines Spannungstensors mit den Hauptachsenlagen  $\sigma_1 = 220/85$ ,  $\sigma_2 = 155/00$  und  $\sigma_3 = 064/05$  (die ersten Werte geben Einfallsrichtung, die zweiten Einfallswinkel an). Die drei schwächeren Maxima ergeben einen Spannungstensor mit den Hauptachsenlagen  $\sigma_1 = 155/00$ ,  $\sigma_2 = 065/04$  und  $\sigma_3 = 245/86$ . In einer flächentreuen Projektion sind beide Tensoren in Abb. 7a und 7b dargestellt. Der erstgenannte Spannungszustand (Abb. 7a) bewirkte etwa vertikale Ausdünnung des Serpentinikörpers und eine korrespondierende Dehnung in ENE-WSW-Richtung. Er überprägt (siehe obenstehenden Abschnitt) einen älteren Spannungszustand (Abb. 7b), der zu vertikaler Verdickung sowie Verkürzung in NNW-SSE-Richtung führte.

Die Verteilung der Hauptspannungsachsen im Steinbruch NE' Bernstein (Abb. 6) zeigt ein ausgeprägtes, etwa vertikales Maximum für  $\sigma_1$  und je zwei, etwa horizontale Maxima für  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$ . Die Hauptachsen der assoziierten Spannungstensoren (siehe Abb. 7c) haben die Lagen:  $\sigma_1 = 025/85$ ,  $\sigma_2 = 192/05$  bzw.  $218/05$  und  $\sigma_3 = 285/02$  bzw.  $310/00$ . Man kann einerseits, wie in Abb. 7c geschehen, diese doppelten Maxima für  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  als Ausdruck zweier verschiedener Spannungszustände interpretieren. Beide zeigen subvertikale Verkürzung und ESE-WNW- beziehungsweise SE-NW-gerichtete Extension an, entsprechen also in etwa der jüngeren Überprägung der Kleinen Plischa (Abb. 7a). Eine alternative Erklärung kann im Rahmen der theoretischen Überlegungen von RECHES (1983) gegeben werden, wenn man annimmt, daß die zwei konjugierten Paare von Abschiebungen (Abb. 7d) und damit die doppelten Maxima für  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  auf einen triaxialen Strainzustand mit allseitiger Dehnung in der  $\sigma_2$ - $\sigma_3$ -Ebene zurückgehen. In diesem Fall entsprächen die Lagen von  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  den offenen Quadraten in Abb. 7c. Es kann hier zwischen diesen beiden Möglichkeiten nicht entschieden werden. Ihre Unterschiede sind allerdings für die geologische Ausdeutung (siehe unten) nur von untergeordneter Bedeutung.

Bei der Ermittlung der Hauptspannungsrichtungen sind Ablesefehler von etwa  $\pm 2$  Grad sowohl bei Einfallsrichtung und Einfallswinkel wahrscheinlich. Darüber hinaus stellt die Lage der Hauptachsen des Spannungstensors das Ergebnis einer „best fit“-Prozedur dar. Bei scharfer Definition der Maxima kann eine recht genaue Eingrenzung erfolgen (z.B. Abb. 7a). Sind die Maxima weniger gut definiert (z.B. Abb. 7b), sind Rotationen des Tensors um eine seiner Achsen von bis zu 10 Grad möglich, ohne die Vorgaben der Methode zu verletzen. Die Grad der Vorzugsorientierung von Scherflächen und Scherrichtungen bestimmt also die Präzision der hier beschriebenen Methode.

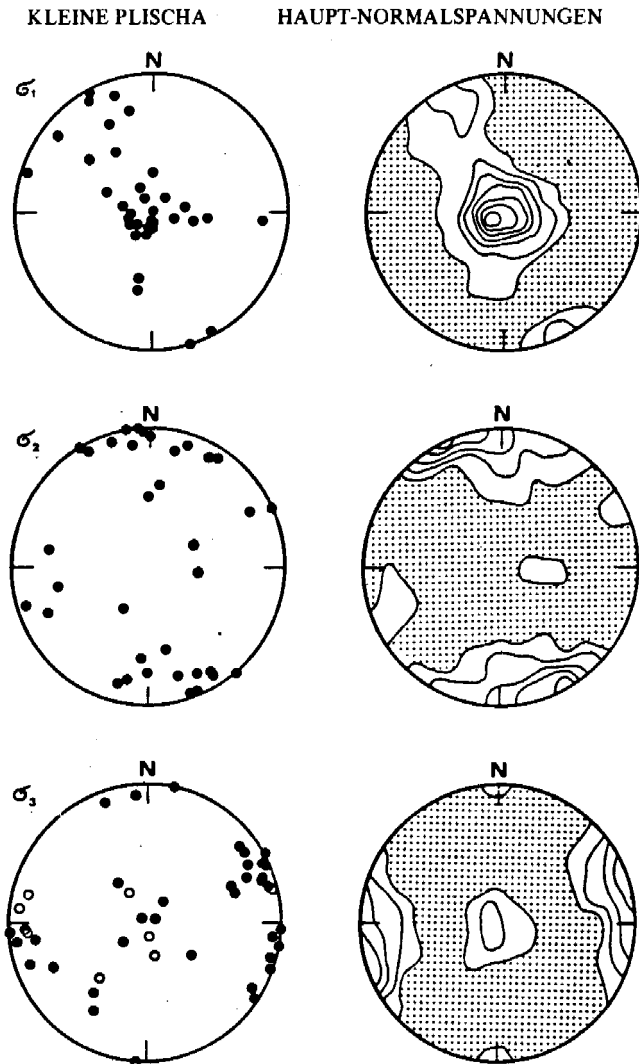


Abb. 5: Lage der Hauptspannungsachsen für die Brüche im Steinbruch Kleine Plischa. Links: Darstellung der Einzeldaten. Ausgefüllte Kreise: Scherbrüche; offene Kreise: Dehnungsbrüche. Rechts: Gefügestatistische Auswertung. Isolinien bezeichnen 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 7x uniforme Verteilung. Bereiche mit Häufigkeiten unterhalb 1x uniformer Verteilung erscheinen gerastert. Größe der Zählkalotte: 5% der Kreisfläche. Flächentreue Projektion der unteren Lagenkugelhälfte.

Für eine geologische Interpretation der oben beschriebenen Spannungszustände ist die Beobachtung wichtig, daß die Strukturen, die auf eine laterale, SSE–NNW-gerichtete Kompression zurückgehen, von einer jüngeren Extensionstektonik überprägt werden. Dies schließt aus, daß die Extensionsstrukturen in den Serpentiniten Resultat ozeanischen Riftlings sind. Die Kompressionstektonik ist wahrscheinlich mit den alpi-



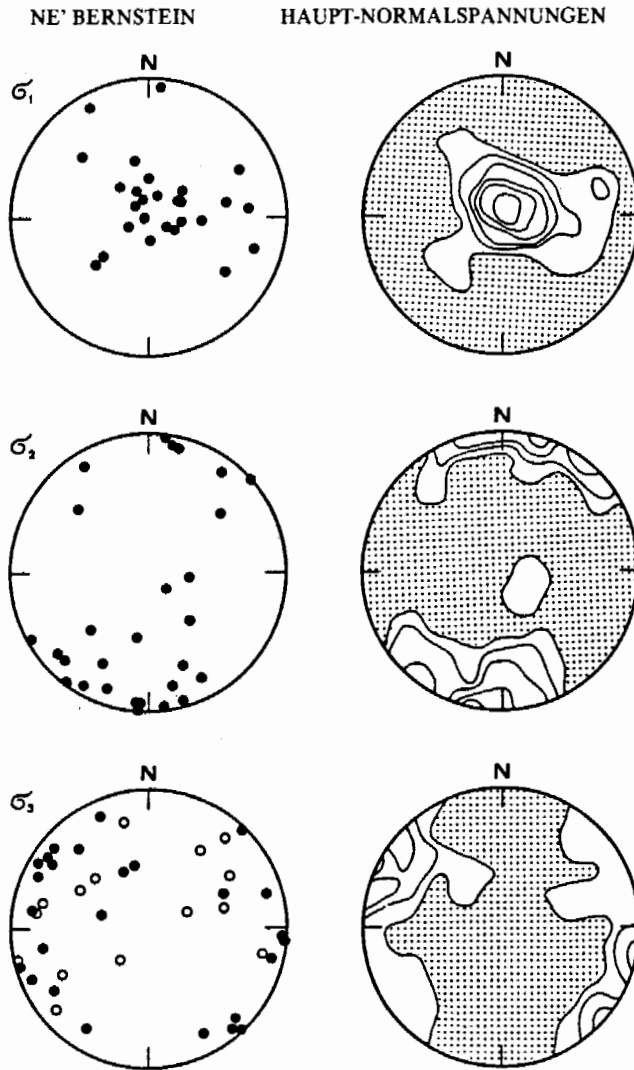


Abb. 6: Lage der Hauptspannungsachsen für die Brüche im Steinbruch NE' Bernstein. Legende wie in Abb. 5. Flächentreue Projektion der unteren Lagenkugelhälfte.

dischen Deckenbewegungen (Überschiebung des Ostalpins auf Pennin) zu korrelieren. Sind die kleinmaßstäblichen Überschiebungen (Abb. 3) kinematische Abbilder großer Bewegungen, ist zu folgern, daß die Decken am Alpenostende während der kretazisch-tertiären Krustenkonvergenz in NNW-Richtung bewegt wurden. Die jüngere Extensionstektonik läßt sich zwanglos in Zusammenhang bringen mit der tertiären Bildung des Pannonischen Beckens (z.B. ROYDEN 1983a, 1983b, GUTDEUTSCH & ARIC 1987), dessen Subsidenzmuster und tektonische Strukturen am östlichen Alpenrand erhebliche lateral E-W-gerichtete Streckung und Krustenausdünnung erfordern. Die-

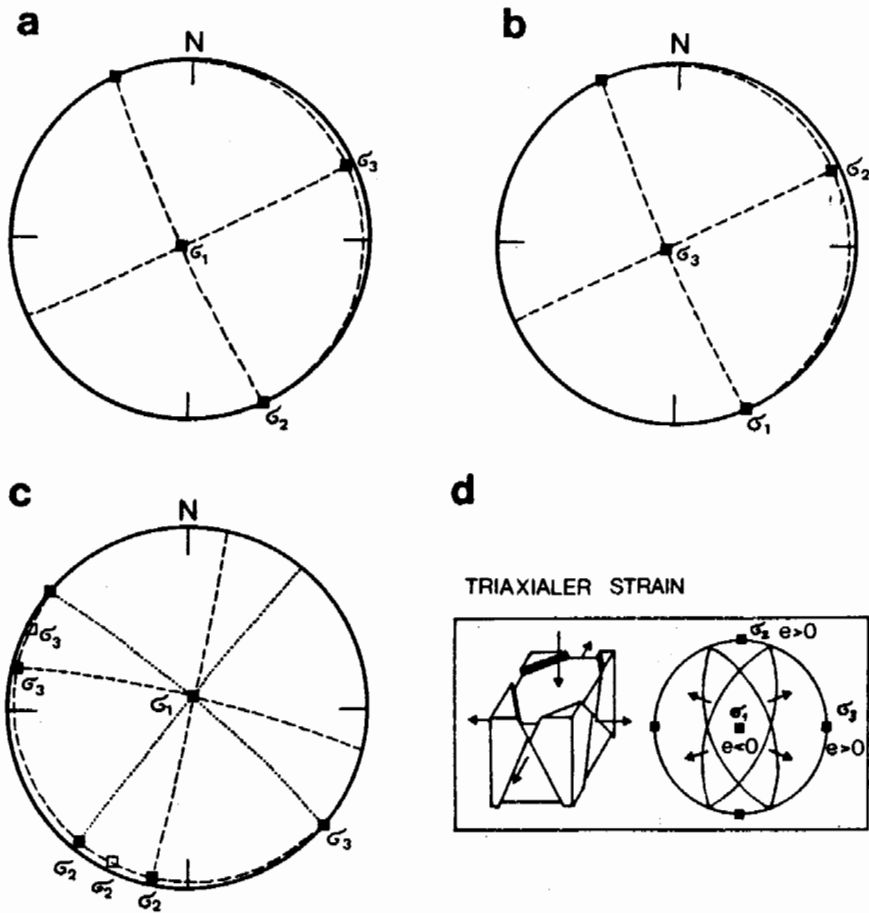


Abb. 7: (a) Raumlage der Hauptspannungsachsen nach den Lagen der Maxima in Abb. 5 für die jüngere Dehnungstektonik und (b) für die ältere Überschiebungstektonik an der Kleinen Plischa. (c) Raumlage der Hauptspannungsachsen im Steinbruch NE' Bernstein. Gefüllte Vierecke: Dehnungstektonik mit zwei diskreten Spannungszuständen; Offene Vierecke: Lage von  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  bei Interpretation als triaxiale Straingeometrie. (d) Lagebeziehung von Hauptspannungsachsen und konjugierten Scherbruchpaaren bei triaxialem Strain, d. h. bei allseitiger Dehnung in der  $\sigma_2$ - $\sigma_3$ -Ebene. Nach RECHES (1983). (a), (b) und (c) sind Projektionen der unteren Lagenkugelhälfte.

se Interpretationen haben jedoch vorläufigen Charakter. Weitere Untersuchungen, vor allem auch der Deformation und ihrer Kinematik in den Paragesteinen des Rechnitzer Pennins sind notwendig, um die hier gemachten tektonischen Aussagen zu erhärten.

## 5. Literatur

- ALEKSANDROWSKI, P. (1985): Graphical determination of principal stress directions for slickenside lineation populations: an attempt to modify Arthaud's method. — *J. Struct. Geol.*, 7, 73–82, Oxford.
- ANDERSON, E.M. (1951): The dynamics of faulting. — Edinburgh (Oliver & Boyd).
- ANGELIER, J. (1977): La reconstitution dynamique et geometrique de la tectonique des failles a partir des mesures locales (plans de faille, stries, sens du jeu, rejets): quelques precisions. — *C. R. Acad. Sci. Paris, ser. D*, 285, 637–640, Paris.
- (1984): Tectonic analysis of fault slip data sets. — *J. Geophys. Res.*, 89, 5835–5848, Washington.
- & MECHLER, P. (1977): Sur une methode graphique de recherches de contraintes principales egalement utilisable en tectonique et en seismologie: la methode des diedres droits. — *Bull. Soc. Geol. France*, (7)19, 1309–1318, Paris.
- ARTHAUD, F. (1969): Methode de determination graphique des directions de raccourcissement d'allongement et intermediaire d'une population de failles. — *Bull. Soc. Geol. France*, (7)11, 729–737, Paris.
- BOILLOT, G., GRIMAUD, S., MAUFFRET, A., MOUGENOT, D., MERGOIL-DANIEL, J., KORNPORST, J. & TORRENT, G. (1980): Ocean-continent boundary off the Iberian margin: a serpentinite diapir west of the Galicia Bank. — *Earth & Planet. Sci. Lett.*, 48, 23–34, Amsterdam.
- FRYER, P., AMBOS, E.L. & HUSSONG, D.M. (1985): Origin and emplacement of Mariana forearc seamounts. — *Geology*, 13, 774–777, Boulder.
- GUTDEUTSCH, R. & ARIC, K. (1987): Tectonic block models based on the seismicity in the East Alpine–Carpathian and Pannonian area. [In:] FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (Hrsg.): *Geodynamics of the Eastern Alps*. — 309–324, Wien (Deuticke).
- HANCOCK, P.L. (1985): Brittle microtectonics: principles and practice. — *J. Struct. Geol.*, 7, 437–457, Oxford.
- JAEGER, J.C. & COOK, N.G.W. (1979): *Fundamentals of rock mechanics* (3rd edition). — 590 p. (Chapman and Hall), London.
- KOLLER, F. (1980): Vorläufige Untersuchungsergebnisse an Metagabbros des Penninikums am Alpenostrand. — *Anz. österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl.*, 1980, 58–62, Wien.
- & PAHR, A. (1980): The Penninic ophiolites on the eastern end of the Alps. — *Ofioliti*, 5, 73–78, Bologna.
- McKENZIE, D. & JACKSON, J. (1983): The relationship between strain rates, crustal thickening, palaeomagnetism, finite strain and fault movements within a deforming zone. — *Earth & Planet. Sci. Lett.*, 65, 182–202, Amsterdam.
- PAHR, A. (1985): Untersuchungen über den Bau und die tektonische Stellung der Rechnitzer Schieferinsel (Burgenland). — Unveröff. Diss. Univ. Wien, Wien.
- (1984): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50000. Erläuterungen zu Blatt 137 Oberwart. — *Geol. B.-A.*, 47 S., Wien.
- PAVONI, N. (1980): Comparison of focal mechanisms of earthquakes and faulting in the Helvetic zone of the Central Valais, Swiss Alps. — *Ecol. Geol. Helv.*, 73, 551–558, Basel.
- PIFFNER, O.A. & BURKHARD, M. (1987): Determination of paleo-stress axes orientations from fault, twin and earthquake data. — *Ann. Tectonicae*, 1, 48–57, Firenze.

- RECHES, Z. (1983): Faulting of rocks in three-dimensional strain fields – II. Theoretical analysis. – *Tectonophysics*, 95, 133–156, Amsterdam.
- ROYDEN, L., HORVATH, F. & RUMPLER, J. (1983a): Evolution of the Pannonian Basin system. 1. Tectonics. – *Tectonics*, 2, 63–90, Washington.
- , HORVATH, F., NAGYMAROSY, A. & STEGENA, L. (1983b): Evolution of the Pannonian Basin system. 2. Subsidence and thermal history. – *Tectonics*, 2, 91–137, Washington.
- SCHÖNLAUB, H.P. (1973): Schwamm-Spiculae aus dem Rechnitzer Schiefergebirge und ihr stratigraphischer Wert. – *Jb. Geol. B.-A.*, 116, 35–49, Wien.
- TURCOTTE, D. L. & SCHUBERT, G. (1982): *Geodynamics: – Application of continuum physics to geological problems.* – 450 p., New York (Wiley).

Manuskript angenommen am 24. 11. 1987