

# In situ-Spannungsmessungen in Thüringen und Sachsen

PETER BANKWITZ, ELFRIEDE BANKWITZ, HANS JOACHIM FRANZKE, HENRY RAUCHE & MANFRED DANNAPFEL

## 1. Vorbemerkungen und Zielstellung

Im Rahmen eines DFG-Projektes wurden in den Jahren 1990 bis 1992 im Gebiet von Sachsen und Thüringen Untersuchungen des rezenten Spannungsfeldes durchgeführt (SCHÄFER et al. 1992). Ihr Ziel war, bisher punktförmig vorliegende Werte des rezenten Spannungsfeldes durch systematische in situ-Spannungsmessungen nach einer von Prof. SCHÄFER, Universität Bayreuth, entwickelten und durch DANNAPFEL (1987) weiterentwickelten Methode zu verdichten bzw. zu aktualisieren und an Ergebnisse aus dem südlich angrenzenden nordbayrischen Gebiet anzuschließen. Damit sollte eine Grundlage geschaffen werden für eine Interpretation des großräumigen Spannungsverhaltens der obersten Erdkruste in einem Gebiet vom Erzgebirge über das Vogtländische und Thüringische Schiefergebirge bis in die Rhön (Abb. 1). Angestrebte wurde eine Aussage über ein mögliches homogenes oder inhomogenes Verhalten dieses neotektonisch stark beeinflußten Teils des Saxothuringikums und seines Tafeldeckgebirges.

Richtung und Größe rezenter Spannungen werden direkt mit Hilfe von Herdflächenlösungen, breakout-Beobachtungen, Hydrofrac-Tests und in situ-Messungen bestimmt. Weitere Methoden sind bei DANNAPFEL (1987) und ENGELDER (1993) genannt. Zusätzlich gibt es ein umfangreiches Inventar an indirekten, geologischen Methoden, wie Indikationen auf jungen Störungen (Rutschstreifen, SC-Gefüge, Beziehung Falten – Störungen, aktive Spalten, neotektonisch entstandene Klüfte etc.). Nach unserer Erfahrung wird bei der Bewertung kleiner dimensionierter Gebiete (unter 100 km Radius) der regionale Trend fast immer durch Störungszonen modifiziert. Eine zu starke Generalisierung bringt mit sich, daß übersehen wird, wo konkrete lokale Probleme der Spannungsverteilung beachtet werden müssen. Wir behandeln daher Spannungsdaten der II. und III. Art, d. h. solche mit regionaler bis lokaler Aussage (HAUK 1983) und gehen auf die plattentektonische Relevanz von Resten der I. Art nicht ein.

Die Kenntnis von Richtung und relativer Größe der in situ-Spannung hat praktisches und wissenschaftliches Interesse (Fließverhalten von Fluida, Stabilitätsbewertung von Tiefbau-Objekten etc.). Als Ursache für das Spannungsfeld kommen tektonische, thermische, lokal-topographische sowie Effekte von oberflächennahen Bodenbewegungen in

Frage. Die Auffassungsunterschiede darüber, ob die Spannung eine "kontinuierliche Funktion der Tiefe" von der Oberfläche an ist, sind erheblich: Entkoppelung durch Bankungsklüfte oder nicht; wenn ja, dürfen nur thermische Effekte gemessen werden.

## 2. Arbeitsablauf

Grundlage für die Durchführung des Projekts waren die meß- und gerätetechnischen Möglichkeiten und theoretischen Konzeptionen seitens Prof. SCHÄFERS und Dr. DANNAPFELS sowie regional- und lokalgeologische Kenntnisse, Geländebegehung und -beobachtungen durch die Autoren, einschließlich langjähriger Erfahrungen auf dem Gebiet der neotektonischen Analyse aus geologischen und geodätischen Daten.

Die Auswahl der Meßstellen erfolgte sowohl nach meßtechnischen (M. DANNAPFEL) als auch nach geologischen Gesichtspunkten. Für eine mögliche Nutzung von Aufschlüssen waren vor allem der Verwitterungsgrad, bei Steinbrüchen die Dauer der Auflässigkeit und das Kleinrelief des Anstehenden entscheidend. Darüber hinaus wurde eine einigermaßen gleichmäßige Verteilung in der Fläche und im Bereich der zu berücksichtigenden geologischen Feldergrenzen angestrebt.

Parallel zu den Messungen erfolgten geologische Geländebegehungen und aufgabenbezogene, tektonisch ausgerichtete Beobachtungen in den ausgewählten Steinbrüchen. Begehungen nach Abschluß der Messungen dienten der Bewertung des gemessenen Spannungswertes und der Position der Meßpunkte in bezug auf Druck-ausübende Steinbruchwände und mögliche technogene Einflüsse. Dabei waren besonders die Position der von DANNAPFEL präparierten und benutzten Meßstellen und ihre Beziehung zur Morphologie des Steinbruchs sowie solche tektonischen Elementen zu berücksichtigen (Schichtwechsel, Lagerung, Störungen, Kluftsysteme etc.), die eventuell Einfluß auf das Verhalten des Gesteins hatten.

Zur Problematik der Meßbedingungen in Abhängigkeit von der geologischen Situation und zur morphologischen Exponiertheit der Meßstellen haben sich SCHÄFER & DANNAPFEL (1992) geäußert. Es war nicht einfach, aufgrund der Richtungsverschiedenheit der Spannungssachsen, zu einer Einschätzung und Interpretation der Meßdaten zu gelangen.



Abb. 1 Lage des Untersuchungsgebietes. Nach: Geologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 1 000 000 (Ausschnitt), BGR, Hannover 1993.

Eine Interpretation des rezenten Spannungsfeldes hängt von der Güte der in-situ-Spannungsmessungen ab, welche durch zahlreiche Faktoren im Umfeld des Meßpunktes beeinflußt werden kann. Kenntnisse über geologische und tektonische Verhältnisse des in die Messungen einbezogenen Gebietes sind also zum einen Voraussetzung für die Einschätzung der Relevanz der Meßwerte, zum anderen jedoch unverzichtbar für ihre begründete Interpretation.

Eine Reihe der zu Beginn vorgesehenen Meßstellen ist aus meßtechnischen Gründen verworfen werden. Insgesamt verblieben 23 Aufschlüsse im Meßprogramm (Tab. 1, Abb. 2).

### 3. Geologische Bewertung der Meßpunkte

#### 3.1. Erzgebirge

Granitsteinbruch Aue (TK 5442 Schwarzenberg, Meßstelle 13)

Der Granit von Aue gehört zu einer Reihe diapirartiger Granitkörper, die im Bereich der Gera-Jáchymov-Tiefenstörung entlang der NE-Flanke des Eibenstocker Granitmassivs intrudierten. Die Position dieser Granitkörper ist damit in besonderer Weise störungstektonisch geprägt.

Ihre Platznahme erfolgte störungsinduziert; sie sitzen dem Außenrand der komplex gebauten, ca. 20 km breiten Störungszone auf. Die Bruchtektonik der Granite und der zeitliche Bildungsablauf der Klüftung unterscheiden sich vom Bruchprozeß der großen postkinematischen Granitmassive.

Das sehr feste, massive Gestein wird im Schotterbruch der "Hartsteinwerke Vogtland GmbH" abgebaut. Deutlich ist eine talwärts fallende flache Bankung, in etwa parallel zur Regelung der Kalifeldspat-Tafeln (bis 6 cm). Vom orthogonalen Kluftsystem erweist sich die NW-Schar älter als die NE-Schar. Mit 20° dazu spitzwinklig verlaufende, steile prototektonische Klüfte sind die Intrusionsbahnen von Apliten und Vererzungen. NE- und WNW-Klüfte wurden als Abschiebung und Horizontalverschiebung reaktiviert, offenbar als Riedelscherflächen in verschiedenen Aktivitätsphasen der Gera-Jáchymov-Zone. Im ganzen erscheint der Steinbruch jedoch kaum gestört. Die Bayreuther Meßwerte bestätigen ältere Untertagemessungen (KNOLL et al. 1979). Sie entsprechen der in der Literatur als dominierend angesehenen NW-Kompression und werden als real angesehen.

Tab. 1 Übersicht der Meßergebnisse und Meßstellen, nach geologisch-tektonischen Einheiten geordnet. Die Numerierung der Meßstellen entspricht der in Abb. 2. Aus: SCHÄFER & DANNAPFEL (1992).

Nr.	Lokation	Lithologie, Stratigraphie	s H <sub>max</sub> (°)	s H <sub>max</sub> (MPa)	s H <sub>min</sub> (MPa)
<b>Erzgebirge</b>					
14	Zschorlau	Granit, variszisch	136	316	13.0
13	Aue	Granit, variszisch	163	343	7.0
<b>Vogtland</b>					
21	Limbach	Diabas, Oberdevon	58	8.9	-1.6
10	Neuensalz	Diabas, Oberdevon	80	2.0	-9.0
2	Bösenbrunn	Diabas, Oberdevon	29	2.8	-4.0
3	Theuma	Fruchtschiefer, Ordovizium	120	5.0	-10.0
4	Bergen	Granit, variszisch	57	14.9	3.0
5	Lauterbach	Diabas, Oberdevon	45	11.3	3.5
1	Bad Brambach	Granit, G1, variszisch	53	1.6	0.6
<b>Thüringer Schiefergebirge</b>					
7	Mellenbach	Tonschiefer/Phyllit, Kambrium	130	11.0	-10.0
9	Weitisberga	Granit, Permokarbon	124	8.0	-8.0
8	Hüttengrund	Grauwacke, Unterkarbon	58	10.0	-7.0
22	Burgk	Diabas, Oberdevon	61	8.1	3.3
6	Gositzfelsen	Kalkstein, Oberdevon	48	3.5	-5.9
11	Kamsdorf	Dolomitische Mergel, Zechstein	106	5.0	0.0
<b>Thüringer Wald:</b>					
16	Brotterode	Schmalwassersteingneis	41	3.0	-7.0
15	Nesselgrund	Dolerit, Rotliegendes	18	4.0	-2.0
12	Thomasmühle	Andesit-Tuff, Rotliegendes	175	8.2	2.4
<b>Vorland Thüringer Wald</b>					
18	Oberrohn	Dolomit, Zechstein	89	13.7	-3.9
17	Kaltensundheim	Kalkstein, Unterer Muschelkalk	2	4.6	-1.2
23	Themar	Kalkstein, Unterer Muschelkalk	94	10.0	0.6
<b>Rhön</b>					
19	Diedorf	Basalt, Miozän	123	5.6	-3.0
20	Rupsroth	Basalt, Miozän	145	6.6	-5.5

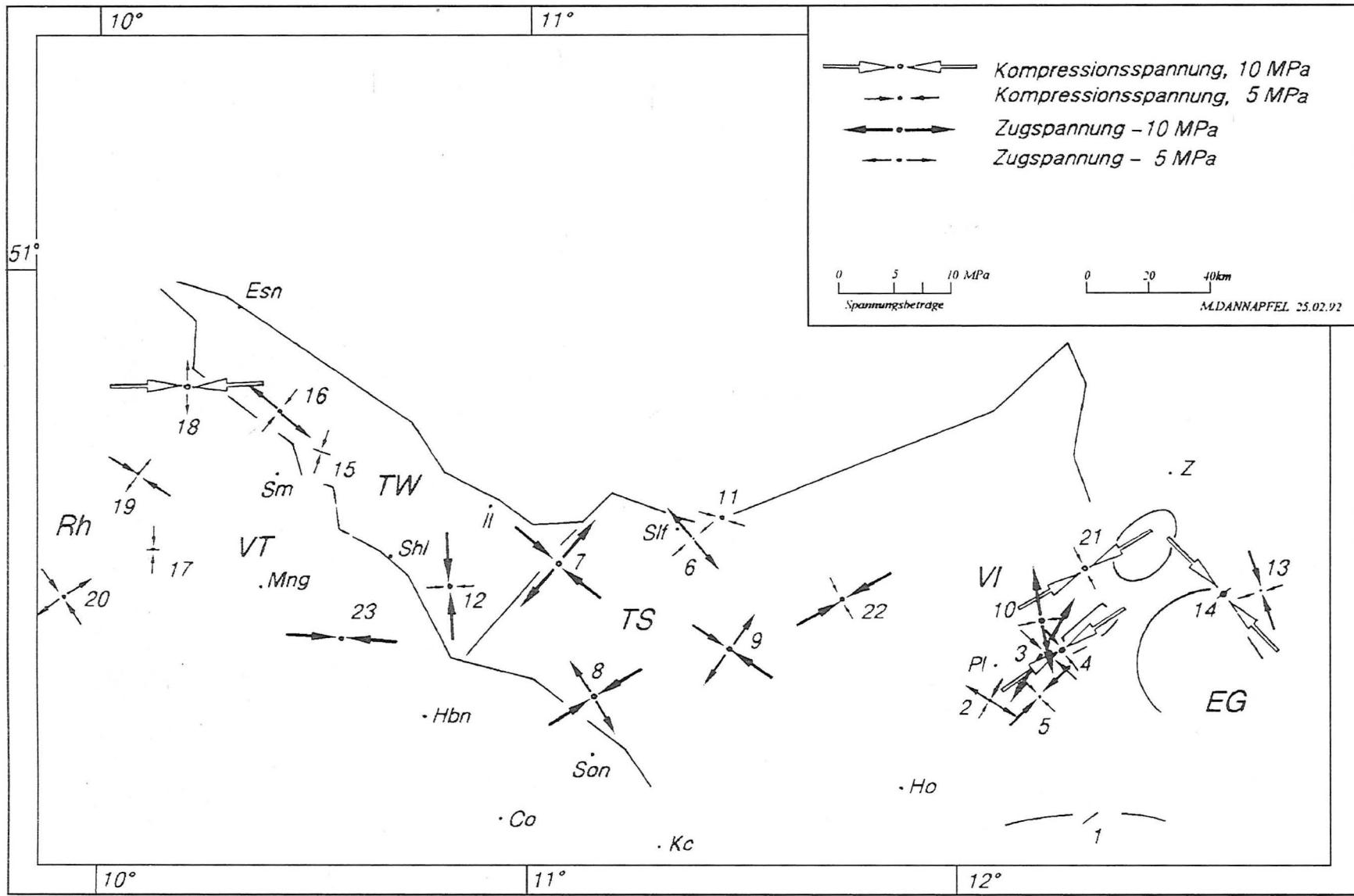


Abb. 2 Ergebnisse der in-situ-Spannungsermittlungen in Thüringen und Sachsen. Die Nummerierung der Meßstellen stimmt mit der in Tab. 1 dargestellten überein.  
 EG - Erzgebirge; VI - Vogtland; TS - Thüringer Schiefergebirge; TW - Thüringer Wald; VT - SW - Vorland Thüringer Wald; Rh - Rhön; Esn - Eisenach; Sm - Schmalkalden; Mng - Meiningen; Shl - Suhl; Hbn - Hildburghausen; Il - Ilmenau; Co - Coburg; Son - Sonneberg; Slf - Saalfeld; Kc - Kronach; J - Jena; Ho - Hof; Pl - Plauen; Z - Zwickau.

### Granit-Steinbruch Zschorlau (TK 5441 Schneeberg; Meßstelle 14)

Auch bei diesem Granit handelt es sich um eine diapirartige, postkinematische Intrusion in die Gera-Jáchymov-Störungszone. Er ist durch die Aktivität dieser Störungszone beeinflußt worden. Da die Zone Gera-Jáchymov, wie durch geodätische Messungen (THURM et al. 1977) und in-situ-Spannungsmessungen (BANKWITZ et al. 1993) belegt ist, auch rezent noch aktiv ist, hat das Spannungsfeld der Zone vermutlich Auswirkungen auf die hier diskutierten in-situ-Spannungsmessungen gehabt. Auffällig sind die relativ weitständigen granittektonischen Flächen, weshalb der Granit teilweise als Baustein benutzt wird (Steinbruch Süß).

Den jüngsten Klüftungsprozess belegen große, vermutlich während der Hebung des Erzgebirges entstandene, steile NE-SW-streichende Klüfte. Sie sind z. B. in Form einer ca. 30 m langen Wand (50-60/90) vertreten, deren fraktographische Kennzeichen (BANKWITZ et al. 1994) den genetischen Zusammenhang mit einer regionalen Hebung belegen. Sie sind nachweislich jünger als 1. das Lager (z. B. 50/20 SE) und 2. steile NW-SSE-streichende Klüfte (z. B. 160/85 SW). Störungen und störungsartige Engklüftungszonen verlaufen NE (NNE) und WNW. Sie repräsentieren vermutlich ein Komplimentär-Inventar innerhalb der Gera-Jáchymov-Zone, was durch horizontale Rutschstreifen noch unterstrichen wird, und scheinen jüngere, jedoch prä-uplift-Elemente zu vertreten, wie aus ihrer Vererzung zu ersehen ist. Die von DANNAPFEL gemessene NW-SE-Kompression entspricht der transregional als dominierend angesehenen NW-Richtung.

### 3.2. Vogtländisches Schiefergebirge

#### Diabas-Steinbruch Limbach (TK 5439 Treuen; Meßstelle 21)

In diesem Tagebau mit einer Sohle von 100 m unter der Gelände-Oberfläche sind devonische Basalte mit säulenartiger Klüftung (bis 1 m mächtige Einzelsäulen) aufgeschlossen. Kurze Zeit nach der Spannungsmessung war der Steinbruch nicht mehr begehbar; es gab zu diesem Zeitpunkt keine Möglichkeit für kleintektonische Beobachtungen.

#### Diabas-Steinbruch Neuensalz (TK 5439 Treuen; Meßstelle 10)

Im Steinbruch der "Planschwitz Naturstein GmbH" wird eine wenige Meter mächtige, gesäulte Diabasdecke abgebaut, die von einer Tonschicht (Tuffe, Sedimente) unterlagert wird. Die ermittelten geringen Kompressionsspannungen und ihre abweichende E-W-Richtung haben vermutlich ihre Ursache in einer Entkoppelung des Meßniveaus, was die hohen Zugspannungen erklären könnte. Auch der relativ kompakten Säulenwand waren schiefrige Tuff-Zwischenlagen eingelagert, welche die Stabilität des Gesteinsverbandes insgesamt beeinträchtigen können. Mehrere Generationen von Rutschstreifen übereinander auf E-W-streichenden mineralisierten Klüften belegen,

dass diese Richtung wiederholt aktiv war: Auf- und Abschiebungsvorgänge, die auch durch Versatze an N-S-Störungen erkennbar sind: 180-200/50-60°W. Die Meßwerte werden wegen der Inhomogenität des Gesteinskörpers und seiner starken Störungs-Zerteilung als unsicher eingeschätzt.

#### Diabas-Steinbruch Bösenbrunn (TK 5538 Plauen-Süd; Meßstelle 2)

Im Steinbruch am Glockenpöhl ("Hartsteinwerke Vogtland GmbH"), 6 km S Oelsnitz, werden basische Magmatite (Spilite, Pyroklastite, Diabasbrekzien und Tuffe) des Oberdevon für eine Schotterproduktion abgebaut. Die Wechsellagerung liegt flach (215/15 NW), ist jedoch lagenweise gefaltet und generell geschieferiert. Zahlreiche Störungen mit überwiegend horizontalen Faserharnischen und häufigen Indikationen für Abschiebungen streichen E-W (110/75 SW) und N-S (10/75 E) und bilden im Steinbruch Wände. NW-Störungen (z.B. 315/60 NE) sind von regionalgeologischer Bedeutung, was auf die Lage des Steinbruchs auf der NE-Flanke des NW-streichenden Querelements des Vogtländischen Synklinoriums zurückzuführen ist. Die gemessene, NE-gerichtete Hauptspannung ( $\sigma H_{\max}$ ) wiederholt sich in anderen Meßstellen des Vogtländischen und Thüringischen Schiefergebirges, wo sie größere Werte erreicht.

#### Granit-Steinbruch Bergen (TK 5539 Oelsnitz; Meßstelle 4)

Der Steinbruch der "Hartsteinwerke Vogtland GmbH, Betriebsteil Bergen" (am Streuberg, ca. 1 km SW Bergen) steht in einem vergrusten Granit, woraus sich die lokal gebräuchliche Bezeichnung "Sandwerk" herleitet. Der stellenweise stark autometasomatische Granit bildet morphologisch eine Depression, umrandet von einem Verwitterungs-resistanten Hornfelskontakt, auf den eine bis zu 60 m hohe Reliefkante zurückgeht. Im Granit sind eine normalkörnige und eine porphyrkörnige Varietät zu unterscheiden. Er wird von Lamprophyrgängen (bis 8 m mächtig, 160/80 SW), Apliten (290/65 NE) sowie bis 2 m breiten Mineralisationszonen und zahlreichen Störungen durchsetzt. Das orthogonale Kluftsystem streicht NW (300°) bzw. NNE (200°); es wird durch eine flache (15°) Bankung ergänzt. Ein 2 m mächtiger Basit folgt der NW-Hauptkluftrichtung. Zwei Störungsscharen sind jünger und von den steilstehenden Kluftscharen richtungsverschieden. In diesem Granit sind die höchsten Spannungswerte gemessen worden mit  $\sigma H_{\max}$  14.9 MPa. Die NE-gerichtete kompressive Spannung kann im Zusammenhang mit der NNW-verlaufenden Marienbader Störungszone, die bis heute aktiv ist und das Schwarmbebengebiet (BORMANN 1994) begrenzt, und der N-S-Zone von KÄMPF (in DEKORP Research Group et al. 1994) und BEHR (1994) gesehen werden. Ein Einfluß des NE-SW-verlaufenden Zentralsächsischen Lineaments ist gleichfalls in Betracht zu ziehen. Die Verlängerung dieses Lineaments in den Vogtländischen Bereich und damit in das Untersuchungsgebiet hinein ist bisher nicht gut genug bekannt.

### Schiefersteinbruch Theuma (TK 5539 Oelsnitz; Meßstelle 3)

Im Steinbruch der "Vereinigte Natursteinwerke Theuma", ca. 2 km SSE von Theuma, werden ordovizische Griffelschiefer-Äquivalente abgebaut, welche durch den Bergener Granit kontaktmetamorph zu Fruchtschiefern (Cordierit-Porphyroblasten) umgewandelt worden sind. Der Bruch ist bei steilen Wänden über 70 m tief. NNE-streichende Muldenstrukturen kennzeichnen den Aufschluß, allerdings variiert das Streichen der Faltenachsen stark. Die Schieferungsflächen streichen konstant NNE und fallen mit ca. 45-25° nach NW ein. Von den Hauptstörungen verläuft die ältere Schar NNE und die jüngere ESE, beide mit Indikationen auch extensionaler Bewegungen. Die gemessene kompressive Hauptspannung ( $\sigma H_{\max} = 5 \text{ MPa}$ ) ist relativ klein, die doppelt so große Zugspannung ( $\sigma H_{\min} = -10 \text{ MPa}$ ) verläuft senkrecht zu den großen Störungen. Die Meßstelle war fest im Fels eingebunden.

### Diabas-Steinbruch Lauterbach (TK 5538 Plauen-Süd; Meßstelle 5)

Im Steinbruch Nußpöhl bei Lauterbach (2 km SW Oelsnitz/Vogtl.) werden oberdevonische Diabase abgebaut und zu Straßenschotter verarbeitet. Die geologische Situation ist ähnlich der im Steinbruch Bösenbrunn (Meßstelle 2). Im ganzen gesehen existieren vergleichbare Spannungsverhältnisse, wenn auch die Druckspannung größer ist und die Zugspannung fehlt.

### Granit-Steinbruch Bad Brambach (TK 5739 Bad Elster; Meßstelle 1)

Unmittelbar südlich vom Bahnhof Bad Brambach ist in einem kleinen auflässigen Steinbruch der nordöstliche Rand des Fichtelgebirgsgranits aufgeschlossen. Den Kontakt im Norden bilden Gneise. Der Granit ist teilweise stark vergrust und wurde als Bausand verwendet. Die steilen Kluftscharen verlaufen NW-SE/ und NNW(150-170°)/SW-fallend sowie ENE-WSW. M. DANNAPFEL stellt diesen Meßwert in Frage.

### 3.3. Thüringisches Schiefergebirge

#### Diabas-Steinbruch Burgk (TK 5436 Schleiz; Meßstelle 22)

Im Steinbruch südlich Burgk (bei Saalburg) werden oberdevonische Diabase des Ostthüringischen Schiefergebirges abgebaut und zu Schotter verarbeitet. Die kompressive Hauptspannungsrichtung verläuft NE-SW und entspricht den Richtungen, die in den Vogtländischen Diabasen gemessen wurden. Diese Druckspannung erscheint wiederum Schieferungs-beeinflußt.

#### Steinbruch im Henneberg-Granit (TK 5435 Liebengrün; Meßstelle 9)

Der Henneberg-Granit (ca. 1 km Durchmesser) ist einer der postkinematisch längs der Frankenwälder Querzone intrudierten kleinen Granitkörper (Thüringer Granitlinie). Das weist auf eine tiefe Verwurzelung der Querzone hin,

die das Thüringer Schiefergebirge strukturell quer zum Streichen gliedert. Im ausgedehnten Steinbruch Fischer auf dem Henneberg (bei Weitisberga) treten verbreitet geringmächtige lamprophyrische Gänge und hydrothermale Mineraltrümmer mit WNW- bis NW-SE-Streichrichtungen auf. Es handelt sich bei den Flächen um permisch-mesozoische Abschiebungen, deren Flächeninventar jedoch durch Mineralisationen und magmatische Gänge verheilt wurde. Die Einbindung der Meßstelle in den Fels war gegeben. Die NW-SE-Druckrichtung ist eventuell störungsinduziert (Frankenwälder Querzone; Abb. 3).

#### Grauwacken-Steinbruch Hüttengrund (TK 5633 Sonneberg; Meßstelle 8)

Die Meßstelle liegt im Westthüringischen Schiefergebirge, im Gebiet der Teuschnitzer Kulmmulde, ca. 2 km NE der Fränkischen Linie. Im großen Steinbruch NW Blechhammer ist gebankte, z.T. sekundär verkieselte unterkarbonische Grauwacke (variszischer Flysch) aufgeschlossen, relativ flach gefaltet sowie geschiefert. Die Grauwacke ist doppelt gefaltet; die ältere Großfaltenachse streicht NE und gehört zur Schieferung (S1 70-85/±90), die jüngere verläuft senkrecht dazu (NW). Die oft mehrere Meter mächtigen Grauwackenbänke bilden einen festen Geesteinsverband. Eine Einbindung der Meßpunkte (nur wenige Meter über der Talsohle) in den Fels ist gegeben.

Die hohe Druckspannung von 10 MPa in NE-SW-Richtung wird offensichtlich, wie fast alle anderen kompressiven Spannungen im Thüringischen und Vogtländischen Schiefergebirge, von der intensiven NE- bis ENE-streichenden Schieferung beeinflußt.

#### Gositzfelsen (TK 5334 Saalfeld; Meßstelle 6)

Der im Saaletal W Fischersdorf erhaltene Altsteinbruch in gefaltetem Knotenkalk und Kalkknotenschiefer des Oberdevon liegt auf der SE-Flanke des Schwarzburger Antikliniums im Bereich der Flexur des steil nach SE abtauchenden Silur und Devon unter das Unterkarbon der Ziegenrücker Mulde. Diese regionale Flexur war auf der flachen SE-Flanke ein Bereich stärkerer Einengung. Die Schichten stehen steil und repräsentieren den Schenkel einer überkippten Großfalte, die gleichzeitig als steile Wand den Hang entlang der Straße bildet. Die Schieferung (NE-SW) hat Fließ- bis Bruchschieferungs-Charakter und fällt nach NW. Die auf Schichtköpfen gemessene Kompressionsrichtung korreliert, wie nahezu überall im Schiefergebirge, mit der Richtung der Hauptschieferung (eine Ausnahme zeigen die Meßstellen 7, Diabas Mellenbach, und 9, Henneberg-Granit). Bemerkenswert ist, daß die Zugspannung doppelt so groß ist wie die Druckspannung.

#### Diabas-Steinbruch Mellenbach (TK 5432 Großbreitenbach; Meßstelle 7)

Der auflässige Steinbruch befindet sich am Hang oberhalb des Schwarztals bei Mellenbach (480 m NN). Es wurde der Schlotbereich eines Diabases abgebaut, der in relativ flach liegende, stratifizierte ordovizische Schiefer intrudiert ist, teilweise als mächtiger Lagergang in die umge-

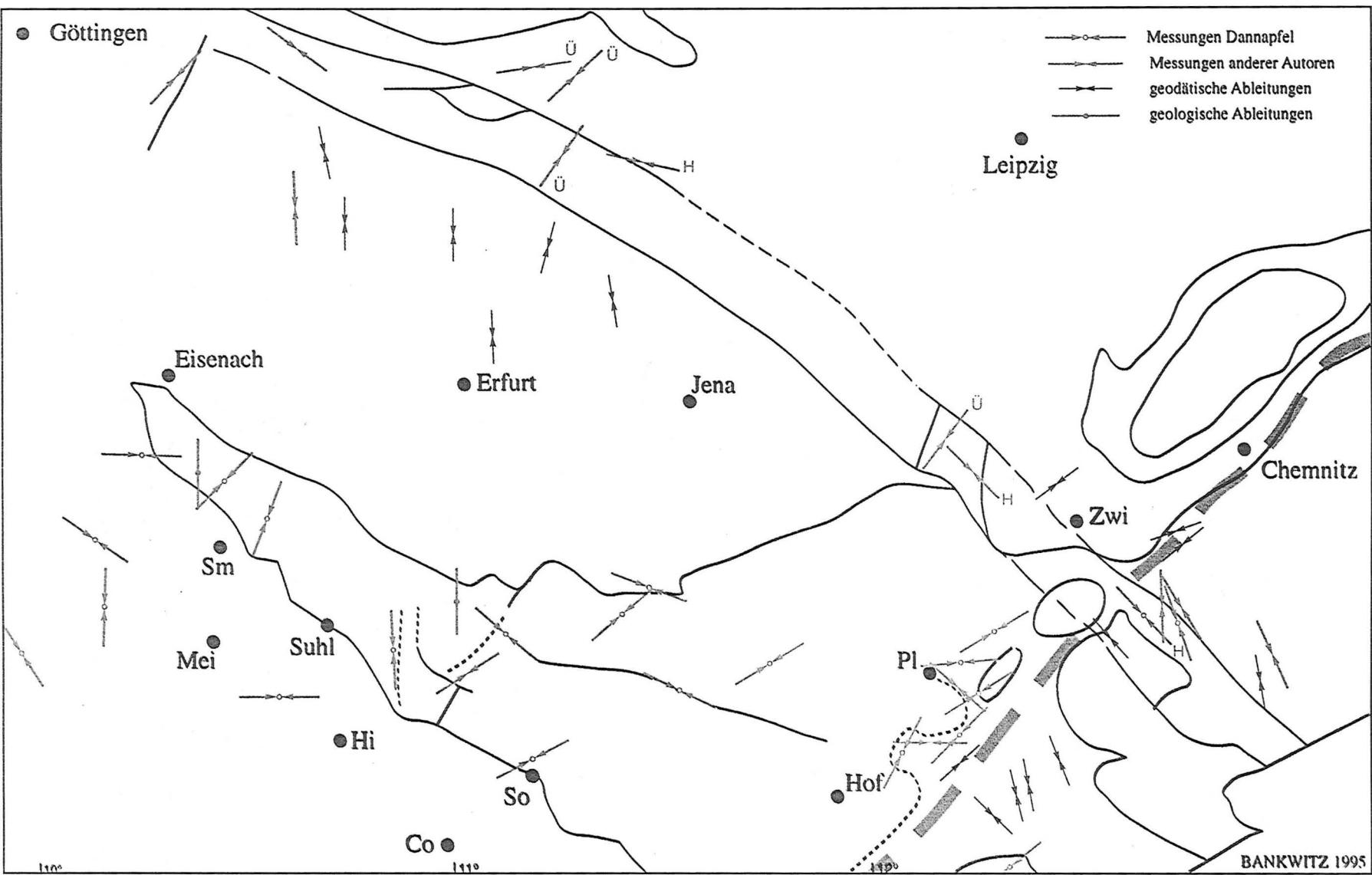


Abb. 3 In-situ gemessene und geodätisch abgeleitete Richtungen der rezenten horizontalen maximalen Hauptspannung ( $\sigma_1$ ).

Mechanismen: Ü - Überschiebung, H - strike slip. Daten nach: SCHÄFER & DANNAPFEL (1992); GROSS in BANKWITZ et al. (1993), THURM et al. (1977), FRANKZKE & RAUCHE (1992).

benden Sedimente der SE-Flanke des Schwarzburger Antiklinoriums. Die intensive Schieferung bildet die Haupttrennfläche. Zahlreiche steile, boudinierte dm-Quarzgänge belegen eine Extensionsphase. Die lokale Einbindung in den Fels ist gut. Die Möglichkeit von Spannungsumlagerung und -abbau infolge der exponierten Lage des Steinbruchs wird von M. DANNAPFEL nicht ausgeschlossen. Auffallend ist die große NW-SE Druckkomponente (11 MPa) senkrecht zur Schieferung und eine ebenso große Zugspannung (-10 MPa) in Streichrichtung der Hauptschieferung.

### 3.4. Vorland/Thüringer Senke

Zechsteinkalk Kamsdorf (TK 5334 Saalfeld; Meßstelle 11)

Der Tagebau in Zechsteinkalk bei Kamsdorf liegt auf der Nordabdachung des Thüringer Schiefergebirges. Die flachliegenden, gebankten Karbonatgesteine sind in m-Abständen regelmäßig orthogonal geklüftet (Richtungen: WNW-ESE und SSW-NNE). Die Meßstelle kann als fest mit dem Gebirge verbunden angesehen werden. Eine diesbezügliche Unsicherheit bilden bergmännische Auffahrungen des Altbergbaus, die zum großen Teil rißkundig sind.

Im Umfeld der Meßstelle konnten aber zur Zeit der Bearbeitung keine Hinweise darauf erkannt werden. Die ca. WNW-gerichtete Druckrichtung scheint bevorzugt in der Nachbarschaft gleichverlaufender regionaler Störungszonen aufzutreten.

### 3.5. Thüringer Wald

Vulkanit-Steinbruch am Hp. Thomasmühle (TK 5430 Schleusingen; Meßstelle 12)

In dem auflässigen Steinbruch südlich Schmiedefeld am Rennsteig, im Dillesgrund östlich vom Nahetal, stehen polymikte Tuffe und Pyroklastite im Wechsel mit Trachyandesiten der Unteren Gehrener Folge an (Molasse; Unterrotliegendes). Sie bilden in dem ca. 40 m hohen Steinbruch eine flachliegende Abfolge. Die Vulkanit-Tuff-Serie wird von zahlreichen kleineren Störungen durchzogen, die als Abschiebungen fungierten. Ehemals geweitete Bereiche sind vor allem durch Calcitmineralisation verheilt. Die hohe Druckspannung (175%/8.2 MPa) könnte auch in diesem Fall den in diesem Raum sich häufenden N-S-Störungen folgen.

Dolerit-Steinbruch Nesselgrund (TK 5229 Tambach-Dietharz; Meßstelle 15)

Im Steinbruch NE von Schnellbach ist eine 300 bis 400 m mächtige Doleritintrusion aufgeschlossen. Sie streicht SSW-NNE und fällt flach mit dem Schichtverband der Oberhöfer und Rotteröder Schichten des oberen Unterrotliegenden nach SE ein. Er durchsetzt die Scholle des Thüringer Waldes auf 12 km Länge. Die Einbindung in den Untergrund ist gegeben. Die kompressive Hauptspannungsrichtung scheint dem Streichen des Ganges zu folgen.

Steinbruch Schmalwasserstein-Gneis (TK 5128 Ruhla; Meßstelle 16)

Der kleine auflässige Steinbruch SW von Brotterode steht in blastomylonitischen Biotitgranodiorit-Gneisen des Ruhlaer Kristallins (Mitteldeutsche Kristallinzone). Die Foliation liegt im Steinbruch flach und ist wellig gebogen. Das Gestein ist wenig geklüftet, sehr fest und frisch. Die Einbindung der Meßpunkte ist gewährleistet.

### 3.6. Vorland/Rhön

Plattendolomit-Steinbruch Oberrhon (TK 5127 Bad Salzungen; Meßstelle 18)

Der große Steinbruch liegt bei Bad Salzungen (Südthüringen) im Vorland auf der abgeschobenen Scholle zwischen Heustreuer Störung und Fränkischer Linie. Im Steinbruch steht in ca. 20 m Mächtigkeit und in söhliger Lagerung Plattendolomit des Zechstein 3 der Werra-Senke an.

Auflager ist Zechstein 4, d.h. Aller-Serie mit roten Zechsteinletten. Die Gesteine sind durch steile, etwa senkrecht zueinander verlaufende Kluftscharen (WNW-ESE und NNE-SSW) zerteilt, an denen sich z. T. Karsterscheinungen entwickelt haben. Die Steinbruchsohle im Meßbereich ist sehr homogen. Die Dolomitlagen werden durch cm-starke dunkle Pelitlagen getrennt, die als Ablöseflächen auf der Steinbruchsohle über weite Erstreckung zu verfolgen sind. Die E-W-Richtung der maximalen horizontalen Hauptspannung ( $89^\circ$ ) fällt aus dem regionalen Trend dieses Gebietes (NW-SE bis N-S) heraus, ebenso ihre Intensität (13.7 MPa). Sie wird als Spannungsumlagerung durch Subrosionsvorgänge im unterlagernden Salinar der Bad Salzunger Subrosionssenke gedeutet und sollte bei regionalen Betrachtungen nicht berücksichtigt werden.

Muschelkalk-Steinbruch Kaltensundheim (TK 5327 Tann; Meßstelle 17)

Die Meßstelle NE Kaltensundheim liegt auf der Süddeutschen Großscholle, im Vorland der Fränkischen Linie, der thüringischen Vorderrhön. Dieser Altsteinbruch in Wollenkalk des Unteren Muschelkalk wird nur noch sporadisch für Schottergewinnung betrieben. Er bildet einen mehr oder weniger flachen Anschnitt an einer Straßengabel (2,5 m Böschungshöhe), mit einer 5 m hohen Wand und drei Bruchsohlen, nebeneinander in etwas verschiedenem Niveau. Gemessen wurde auf der obersten Sohle. Der weitflächige Aufschluß wird zur Straße hin durch das zum nahen Tal abfallende Gelände um ca. 10 m unterteuft. Eine Gleitbewegung in Richtung des Gefälles westwärts ist nicht auszuschließen.

Die Schichtung liegt flach (22/10 SE). Bankbegrenzte, faltenartige Sediment-Strukturen belegen durch N-S-verlaufende Umbiegungssachsen eine primär E-W-gerichtete Gleitung. Neben kurzen, teilweise Karbonat-verheilten Klüften sind steile NNE-Störungen (205/80 NW), NE-Störungen (230-260 NW) und NW-Störungen (120-130/80 SW) zu beobachten, letzte z.T. mit 10 cm Tonbelag. Diese

jungen Störungen sind im Zusammenhang mit der Rhönhebung nach der Basaltintrusion zeitlich einzuordnen und belegen einfache Weitung.

Die Bohrungen für die Spannungsmessung wurden in einem sehr festen, endostratischen Konglomerathorizont angelegt. Die typische Wellenkalkfazies wenige Meter unterhalb der Terebratula-Zone wird im Aufschlußbereich nicht von Störungen zerteilt. Eine feste Einbindung der Bohrpunkte scheint gegeben zu sein. Die kompressive Hauptspannungsrichtung ist klein (4.6 MPa), jedoch nicht interpretierbar. Sie könnte angesichts der Aufschlußlage als unreell erscheinen. Zu verweisen ist jedoch auf die wiederholte Messung einer N-S- bzw. NNE-Richtung für maximale horizontale Hauptspannungsachsen in den Meßstellen des Thüringer Waldes (16, 15, 12).

#### Basaltsteinbruch Diedorf (TK 5327 Tann; Meßstelle 19)

Das kleine Basaltvorkommen (Miozän) in der Thüringischen Vorderrhön könnte ein Deckenrest oder bereits der Übergang zu einem Schlotbereich sein. Der Basalt mit Xenolithen von Olivin steckt in einer älteren Tuffbrekzie und hat teilweise sehr schmale (20 bis 30 cm dicke) rosettenförmig angeordnete Basaltsäulen entwickelt, die teilweise bis 1 m mächtig werden. Der Verband der kleinen Klippen ist intakt; es ist anzunehmen, daß eine feste Einbindung der Meßstelle in den Untergrund gegeben ist. Die größte Hauptspannung in WNW-Richtung (123°) liegt senkrecht zu der flachen Eintalung, die das Basaltvorkommen quert. Im Falle eines Spannungsabbaus durch den seichten Taleinschnitt sollten keine kompressiven Spannungen senkrecht zum Talverlauf erhalten sein.

#### Phonolith-Steinbruch Rupsroth (TK 5425 Kleinsassen; Meßstelle 20)

Der Steinbruch, östlich von Fulda, liegt im südwestlichen Vorland der Fränkischen Linie auf der Süddeutschen Scholle, in der hessischen Rhön. Aufgeschlossen ist ein säuliger (stellenweise steilstehende Säulenklüftung), teilweise kleinstückiger Phonolith (Miozän) in Buntsandstein. Buntsandstein-Xenolith sind verbreitet, mehrfach als große Schollen. Das älteste bruchtektonische Element sind 115/85 S-Klüfte, die zeitlich vor der Ausbildung der Säulen entstanden sind. Der Aufschluß wird im NE durch eine ca. 165°-Störung begrenzt. Von den steilen Klüften, die auch die Wände bilden (160-170° und ca. 60°), ist die NNW-Richtung häufig als Störung entwickelt; NNE-Störungen (30/80 W) ergänzen das Bild.

Die Sohle des seit längerer Zeit auflässigen Teils des Steinbruchbetriebes befindet sich ca. 50 m unter Flur. Eine Einbindung der Meßpunkte in das Anstehende ist gegeben. Die gemessenen Spannungsrichtungen zeigen keine Beziehung zum Flächeninventar der Bruchtektonik des Steinbruchs. Verständlich erscheint die relativ kleine Kompressionsspannung und das Auftreten einer meßbaren Zugspannung angesichts der Heterogenität des Gesteinsverbandes und der teilweise engen Klüftigkeit des Basalts.

#### Muschelkalk-Steinbruch Themar (TK 5529 Haina; Meßstelle 23)

Der Steinbruch 1 km SW Themar, im Vorland der Fränkischen Linie, steht im flachlagernden Wellenkalk des Unteren Muschelkalks. Obwohl der Meßbereich ca. 10 m oberhalb der Talsohle der Werra liegt, scheint der Kalk eine tektonische Einspannung bewahrt zu haben. Im Falle eines Spannungsabbaus bzw. einer Spannungsumlagerung durch das angrenzende Werratal sollte die Extensionsachse E-W bis SW-NE verlaufen. Da jedoch die kompressive Hauptspannungsachse (94°/10.0 MPa) in Richtung Werratal weist, ist anzunehmen, daß der Meßpunkt mit dem Untergrund verbunden ist.

### 4. Diskussion der Meßergebnisse

#### 4.1. Verteilungen der Spannungsrichtungen nach SCHÄFER & DANNAPFEL (1992)

Für den Bereich des *Erzgebirges* konnten aus den bei SCHÄFER & DANNAPFEL (1992) erläuterten Gründen nur an zwei Punkten (Nr. 13, Aue und Nr. 14, Zschorlau) gemessen werden. Die Richtungen der kompressiven Spannungsachse liegt bei 163° bzw. 136°, die Spannungswerte betragen 7.0 bzw. 13.0 MPa. Diese Werte bestätigen ältere Messungen durch KNOLL et al. (1979) im damaligen untertägigen Bergbau der Wismut (Aue und Pöhla) und fügen sich nach Richtung (NW-SE) und Betrag in das regionale Bild der rezenten Spannungs-situation ein (GRÜNTHAL et al. 1992).

Die Meßdaten des *Vogtlandes* zeigen mit Ausnahme von Meßpunkt 3 (Theuma, 120°) an den übrigen sechs Meßstellen eine SW-NE-Orientierung der maximalen kompressiven Hauptspan-nungsachse. Bei dieser westlich und nordwestlich des Vogtländischen Schwarmbebengebietes ermittelten rezenten Spannungsverteilung sind dextrale Verschiebungen an der seismisch aktiven Marienbader Störung (NNW-SSE) zu erwarten, die mit den publizierten Herdflächenlösungen (BORMANN 1989, GRÜNTHAL et al. 1992, DAHLHEIM 1994) und dem kinematischen Regime der Störung (KÄMPF in DEKORP Research Group et al. 1994) kompatibel sind. Für die geringen Beträge der Hauptnormalspannungen ist eine starke Fluiddurchtränkung der vogtländischen Rupturenzonen als Ursache zu erwägen.

Die sechs Meßstellen im *Thüringischen Schiefergebirge* erbrachten kompressive Spannungsachsen in NW-SE- und SW-NE-Richtung. Die Beträge nehmen nach Norden bis NW ab. Die SW-NE-Ausrichtung der Hauptspannungsachse im Umfeld der Fränkischen Linie (Meßstelle 8) und der ebenfalls bedeutenden Eichenberg-Gotha-Saalfelder Störung (Meßstelle 6) wird als Hinweis auf Spannungsumlagerungen an den beiden NW-SE streichenden, mesozisch-känozoisch aktiven Störungen angesehen.

Die drei Meßpunkte im *Thüringer Wald* setzen die Tendenz des Schiefergebirges fort. Auch hier sind Spannungsumlagerungen an der SW-Randstörung des Thüringer Waldes (Fränkische Linie) möglich. Im nordwestlichen Thüringer Wald, im Bereich des Kristallins von Ruhla-

Brotterode sind sogar Dehnungsbeanspruchungen in NW-SE-Richtung anzunehmen ( $\sigma H_{\min}$  negativ).

In Südhüringen und in der Rhön repräsentieren die beiden Messungen in Basalten ein rezentes, NW-SE gerichtetes Stressfeld. Die drei in Sedimenten im Deckgebirge der Süddeutschen Scholle vorgenommenen Messungen zeigen eine E-W- und N-S-Ausrichtung des Spannungsfeldes an.

#### 4.2. Vergleich mit anderen Messungen

Ein Vergleich mit den Messungen anderer Autoren, auch aus dem weiteren Umfeld, bestätigt die Realität der Meßdaten aus dem vorliegenden Projekt (Tab. 2 und Abb. 3).

In der kontinentalen Tiefbohrung Windischeschenbach (Vor- und Hauptbohrung, KTB) bestimmten BRUDY et al. (1993)  $\sigma H_{\max}$  mit  $161^\circ$ , NATAU et al. (1993) mit  $168^\circ$ .  $\sigma V$  ist nach RÖCKEL et al. (1993) und BAUMGÄRTNER et al. (1990) in der KTB in einer Tiefe von ca. 3000 m etwa 80 MPa. BAUMANN (1993) gibt als kleinste in-situ-Spannung 168 MPa an. Die Hauptspannungsrichtungen, abgeleitet aus Herdflächenlösungen im KTB-Array stimmen nach DAHLHEIM (1994) mit denen der Spannungsmessung in den KTB-Bohrungen überein ( $\sigma H_{\max}$  150 - 180°).

Diese NNW-Richtung korreliert mit dem NW-Trend im Vogtland und Erzgebirge (Abb. 4). Ähnlich verhält es sich mit den neueren Ergebnissen von OLDEBOERSHUIS & HARTKORN im Thüringischen Schiefergebirge und von GROß im Umfeld der Finne-Gera-Jáchymov-Störung sowie in der Thüringer Senke. Sie bestätigen das NE-gerichtete Spannungsfeld in Ostthüringen und die generelle N-S-Richtung im Thüringer Wald und in der Thüringer Senke. Übereinstimmung besteht ebenfalls mit geodätischen Ergebnissen.

Die für das Gebiet von Sachsen bereits traditionelle Vermessung rezenter horizontaler Krustenbewegungen, begründet vor über 100 Jahren, bildete die Grundlage für eine flächendeckende, wissenschaftlich gut fundierte Analyse. Aus Wiederholungstriangulationen haben THURM et al. (1977) für den Raum Erzgebirge-Vogtland eine  $\sigma H_{\max}$ -Richtung von  $140^\circ$  abgeleitet, WITTENBURG (in: BANKWITZ et al. 1993) berechnete  $148^\circ$  für das engere Gebiet des Vogtlandes.

Nach Wiederholungsnivellements verlaufen im sächsischen und thüringischen Teil die Linien gleicher Senkungsgeschwindigkeit (bezogen auf den Pegel Warne-

Tab. 2 Spannungsrichtungen und -Intensitäten aus früheren Messungen (Abb. 3)

Autor	Jahr	Gebiet	Richtung $\sigma H_{\max}$	Intensität Mpa $\sigma H_{\max}$
BRUDY et al.	1993	KTB	$161^\circ$	80 MPa (<3000m)
RÖCKEL et al.	1993	KTB	$168^\circ$	
NATAU et al.	1990	KTB	$168^\circ$	
DAHLHEIM	1994	Umfeld KTB Herdflächenlösungen	$150-180^\circ$	
KNOLL	1979	Aue, Erzgebirge	$188^\circ$	
KNOLL	1979	Pöhl, Erzgebirge	$162^\circ$	
OLDEBOERSHUIS & HARTKORN	1993	Goldisthal, Thüringisches Schiefergebirge	$67^\circ$	6.31 MPa
HARTKORN	1993	Schacht Pöthen Thüringische Senke	$359^\circ$	28.3 MPa
GROSS, in BANKWITZ et al.	1993:	Kaltenohmfeld Ohmgebirgsgraben Finne-Gera-Jáchymov-Zone	$40^\circ$	
		Kehmstedt	$130^\circ$	
		Oberheldrungen	$35^\circ$	
		Reinsdorf	$105^\circ$	
		Grubenfeld Drosen	$55^\circ$	
		Grubenfeld Paitzdorf	$140^\circ$	
		Grubenfeld Aue (in 1750 m Tiefe)	$150^\circ$	
		Stüdharz: Wallhausen	$85^\circ$	
		Grubenfeld Niederröblingen	$55^\circ$	

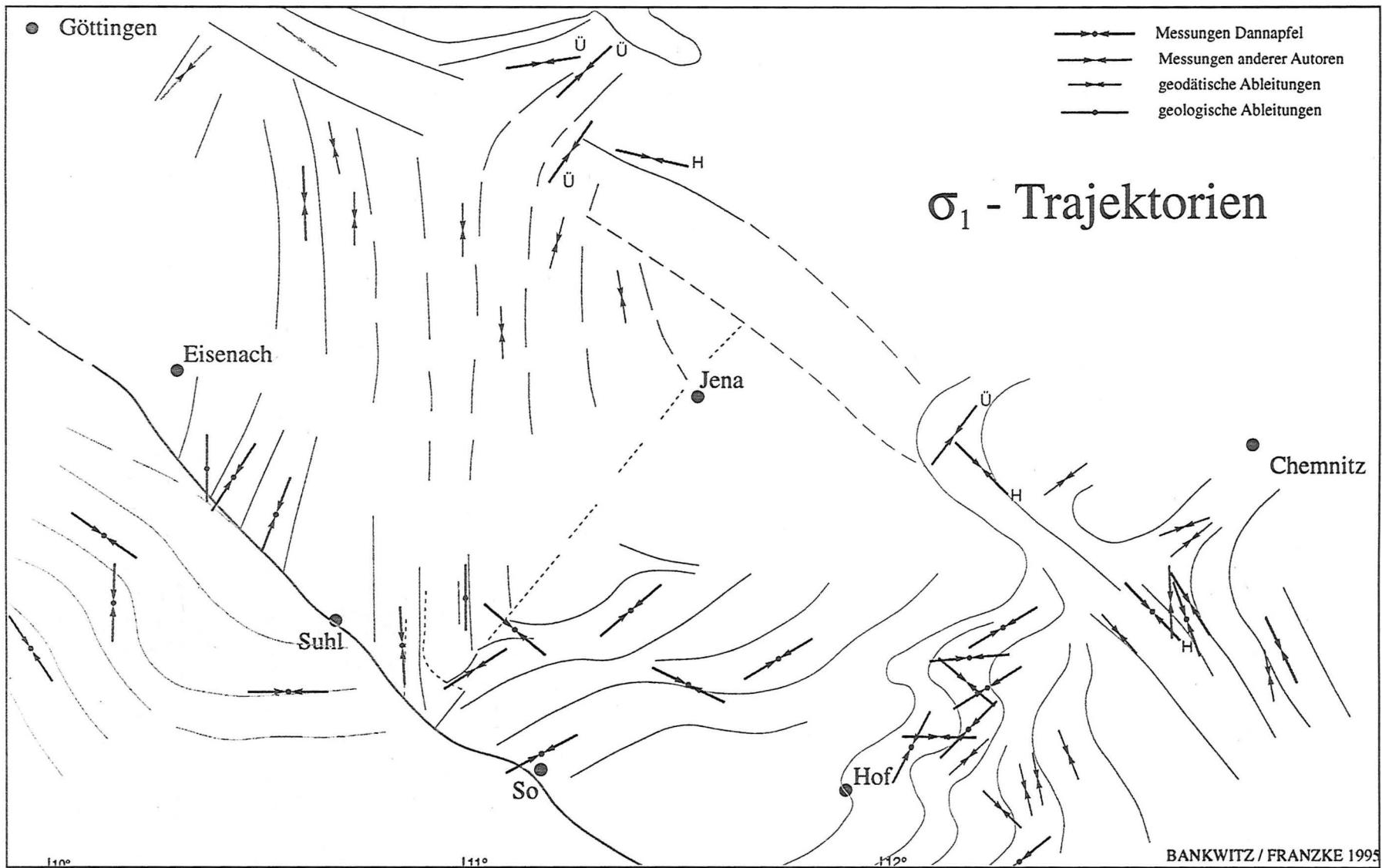


Abb. 4 Schema des Verlaufs von  $\sigma_1$  - Trajektorien auf der Grundlage der Daten in Abb. 3.

münde), nachdem der Einfluß technogener Vorgänge und solcher der Subrosion eliminiert worden war, dominierend in NE- und NW-Richtung (IHDE et al. 1987, ELLENBERG 1993). Ihr Verlauf zeigt damit eine gewisse Ähnlichkeit zu dem durch in-situ-Messungen ermittelten Spannungsfeld. Nach ELLENBERG (1993) sprechen geodätische Messungen dafür, daß die Fränkische Linie auch in der Gegenwart tektonisch aktiv und der Thüringer Wald insgesamt eine bruchtektonisch aktive Scholle ist.

#### 4.3. Ableitung von $\sigma H_{\max}$ -Trajektorien

Auf der Grundlage aller bisher bekannten rezenten horizontalen Hauptspannungsrichtungen des untersuchten Gebietes (Abb. 3) wurde der mögliche Verlauf der  $\sigma H_{\max}$ -Trajektorien abgeleitet, um zu einer mehr regionalen Aussage zu gelangen. Das Schema in Abb. 4 zeigt trotz der zu beobachtenden Heterogenität der Richtungen Bereiche mit relativ einheitlichem Spannungsverhalten, woraus sich eine mögliche Felderung ableiten läßt:

- Südhüringen/Vorland, durch die Fränkische Linie im NE begrenzt
- Thüringer Wald/Westteil Thüringer Senke
- Thüringer Schiefergebirge und Fortsetzung nach NE
- Vogtland: varierend
- Erzgebirge

$$H_{\max} = \text{NW-SE bis E-W}$$

$$H_{\max} = \text{ca. N-S}$$

$$H_{\max} = \text{NE-SW}$$

$$H_{\max} \text{ dominierend} = \text{NE-SW}$$

$$H_{\max} = \text{NW-SE}$$

Der Einfluß querender Zonen (regionale Störungszonen und Grundgebirgsstrukturen) ist gut zu erkennen. Teilweise zeichnen sich bekannte Strukturen allein durch die Änderung des gemessenen Spannungsfeldes ab oder große Störungszonen durch das Umbiegen der Spannungsachsen. Diese Übereinstimmung zwischen Änderung von Spannungsrichtungen und bekannten tektonischen Grenzen stützt die Annahme, daß die Ergebnisse reell sind. Das gilt umso mehr, als sie, obwohl mit Hilfe sehr unterschiedlicher Methoden gewonnen, eine bemerkenswerte Übereinstimmung untereinander zeigen.

Im Verlauf der Trajektorien fällt besonders das unterschiedliche Verhalten Ost- und Westhüringens auf sowie die Drehung der gemessenen Spannungsrichtungen im Gebiet des Südharz. Dort, im Vorfeld des Harzes könnten Subrosionserscheinungen des tieferen Untergrundes die Oberflächenspannungen beeinflussen. Deutlich zeichnen sich Harz und Kyffhäuser als "Störkörper" ab. Der Einfluß der Finne-Gera-Jáchymov-Zone (BANKWITZ et al. 1993), der Fränkischen Linie, aber auch der WNW-verlaufenden Frankenwälder Querzone mit Verbiegung der Trajektorien in Störungsrichtung, und nicht zuletzt des Zentralsächsischen Lineaments auf das Spannungsfeld sind nicht zu übersehen.

#### 4.4. Vergleich mit anderen Karten des rezenten Spannungsfeldes

Über die Spannungsverteilung in Mitteleuropa liegt eine

Trajektorien-Darstellung auf der Basis sowohl von in-situ-Messungen als auch von Herdflächenlösungen durch GRÜNTHAL & STROMEYER (1992) vor (Abb. 5a). Für das Untersuchungsgebiet stimmt der Verlauf der Trajektorien (NW- bis N-S Streichen) weitgehend mit unseren Ergebnissen überein. In den Abb. 5b und c sind die Ergebnisse der Finite-Elemente-Modellierung durch die genannten Autoren wiedergegeben. Die beiden Modelle unterscheiden sich durch die Annahme starrer Blöcke (Böhmisches Massiv, Adria-Sporn), die die von Westen und Süden angreifenden Kräfte modifizieren (Abb. 5c). Hierdurch ändert sich die übergeordnete NW in eine mehr um N-S orientierte horizontale Hauptspannungsrichtung ( $\sigma H_{\max}$ ). Ein Ergebnis, das dem in Abb. 4 angenommenen Trajektorienverlauf des Untersuchungsgebietes recht nahe kommt. Die sich in der Abbildung abzeichnende Unruhe in der Liniendarstellung dürfte in der Methodik der durchgeföhrten Messungen begründet sein.

Nach MÜLLER (1993) verläuft die regionale Hauptspannungsrichtung in diesem Teil Mitteleuropas NNW bis NW und ordnet sich generell in das westeuropäische Spannungsfeld mit  $145^{\circ} \pm 25^{\circ}$  ein. Die Autorin zeigt, wie aus geglätteten Spannungskarten von Europa (Abb. 6) die in dem von ihr ausgewählten Gebiet häufigen E-W-Werte "verschwinden", wenn das Bearbeitungsfenster über 150 km Durchmesser hinausgeht. Unser Untersuchungsgebiet (Abb. 1) hat mit einer Ausdehnung von 200 x 150 km ungefähr eine derartige Fensterdimension. Entsprechend der Erfahrungen von MÜLLER ist deshalb mit dem Auftreten von Richtungen (N-S, E-W) zu rechnen, die von denen in den mit statistischen Methoden geglätteten überregionalen Stressfeld-Karten abweichen. Nach den Daten von SCHÄFER & DANNAPFEL, BOCK und anderen ist an der Realität der von NW abweichenden Richtungen kaum zu zweifeln.

#### 4.5. Interpretation der Spannungsorientierung in geologischen Blockstrukturen

Im Thüringisch-Vogtländischen Schiefergebirge treten gehäuft und dominierend SW-NE-gerichtete maximale horizontale Hauptnormalspannungen auf. Das wird durch Untersuchungen einer Reihe von Autoren (BANKWITZ, BOCK, DANNAPFEL, FRANZKE, GROSS, KNOLL, RAUCHE, THURM) und die Anwendung verschiedener Methoden (Varianten des Überbohrverfahrens, Schlitz-Methode, frac-Methode, geodätische Messungen, geologische Auswertungen) unabhängig bestätigt. Die  $\sigma H_{\max}$ -Werte folgen den variszisch geprägten Konturen der jungproterozoisch-altpaläozoischen Schichtverbände und ihrer Hauptschieferung.

In Bereichen mit engeren Meßpunktabständen, wie zwischen Hof und Plauen, scheinen die Spannungsachsen sogar die Konturen der "Plauener Bögen" nachzuzeichnen (Punktkette in Abb. 3), die durch das gehäufte Auftreten von devonischen Diabaseinschlüssen oder durch verborgene Kristallinspäne im Bereich des Zentralsächsischen Lineaments erklärt werden können (Abb. 7). Auffällig ist hier die gute Übereinstimmung des mäandrierenden Tra-

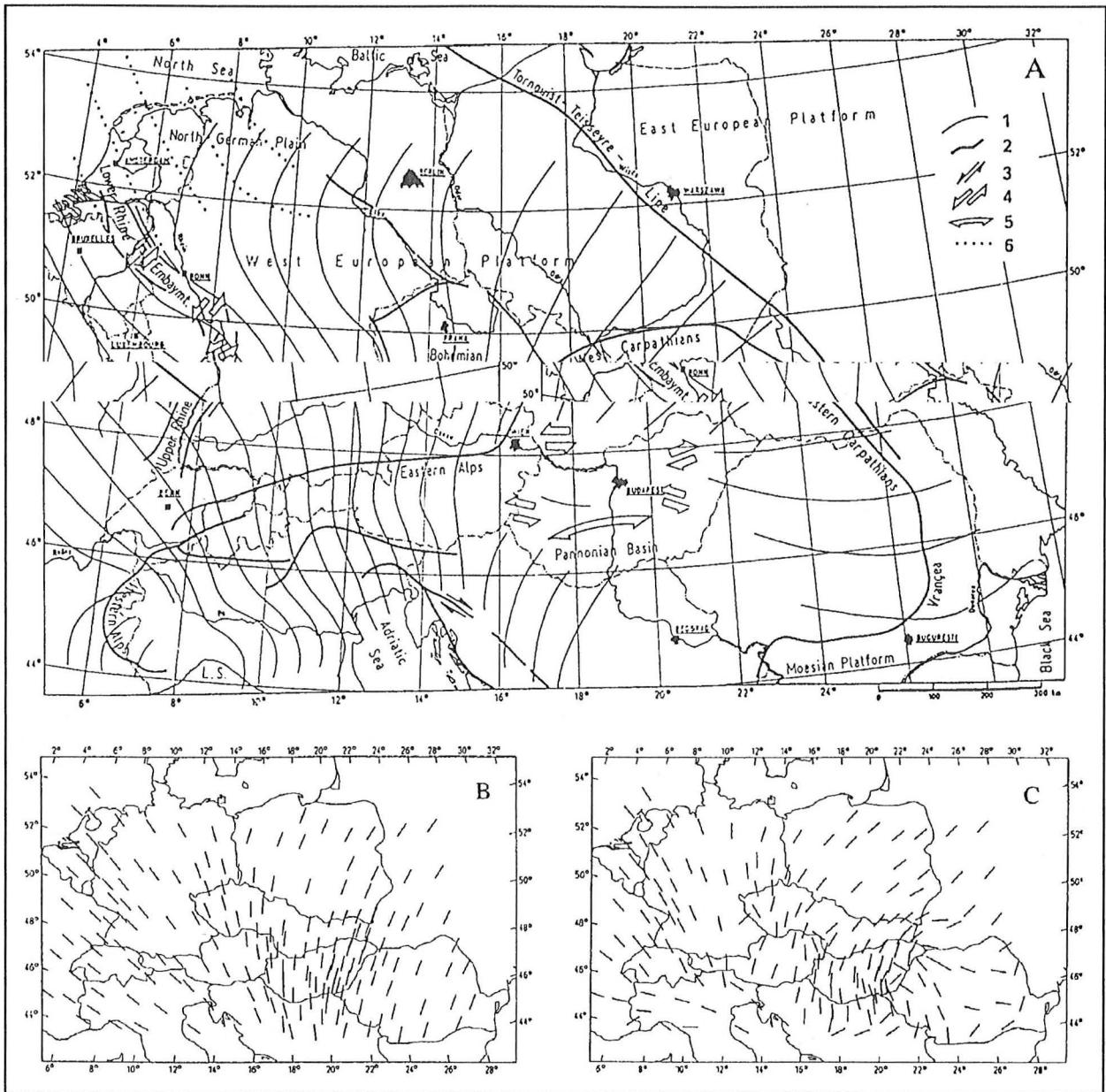


Abb. 5 Spannungsfeld in Mitteleuropa. Aus: GRÜNTHAL & STROMEYER (1992).

A - Trajektorien auf der Basis von  $S H_{\max}$  für den seismogenen Tiefenbereich; B - berechnete Trajektorien nach der finite Elemente-Methode bei allseitigem Kräfteangriff auf die Westeuropäische Tafel; C - wie B, modifiziert durch die Annahme Geologie-relevanter starrer Blöcke.

jetorienverlaufs mit der Konturierung der Isanomalien in diesem Gebiet. Im Bereich der Granitmassive von Bergen und Kirchberg folgen die Achsen der variszischen Narbenzone des Zentralsächsischen Lineaments (SCHREIBER 1992).

Dieser Sachverhalt könnte als Spannungsumlagerung des für Mitteleuropa dominierenden NW-SE gerichteten rezenten Spannungsfeldes an Anisotropien der Oberkruste (große Bruchstörungen, starre Teilblöcke) interpretiert werden. Die Spannungstrajektorien (Abb. 4) weichen offenbar rigiden Bereichen wie oberflächennahem Kristallin, mächtigeren Diabaseinlagerungen und Intrusivkörpern aus.

Damit deuten sich Dichtekontraste der oberen Kruste als mögliche Ursache der Druckspannungen und ihrer Hauptrichtungen an. Interessant wäre unter diesem Aspekt die Fortsetzung der Messungen nach SW in das Gebiet des Münchberger Gneiskomplexes. Nordwestlich des Segments mit ausstreichendem Variszikum sind im Thüringer Wald und in der Thüringer Senke die Spannungsachsen im wesentlichen N-S bis NNE-SSW ausgerichtet, von lokalen Abweichungen, z. B. im Bereich der Frankenwälder Querzone, abgesehen.

Südthüringen gehört zur Süddeutschen Scholle und ist entlang der Fränkischen Linie seit dem jüngsten Mesozoi-

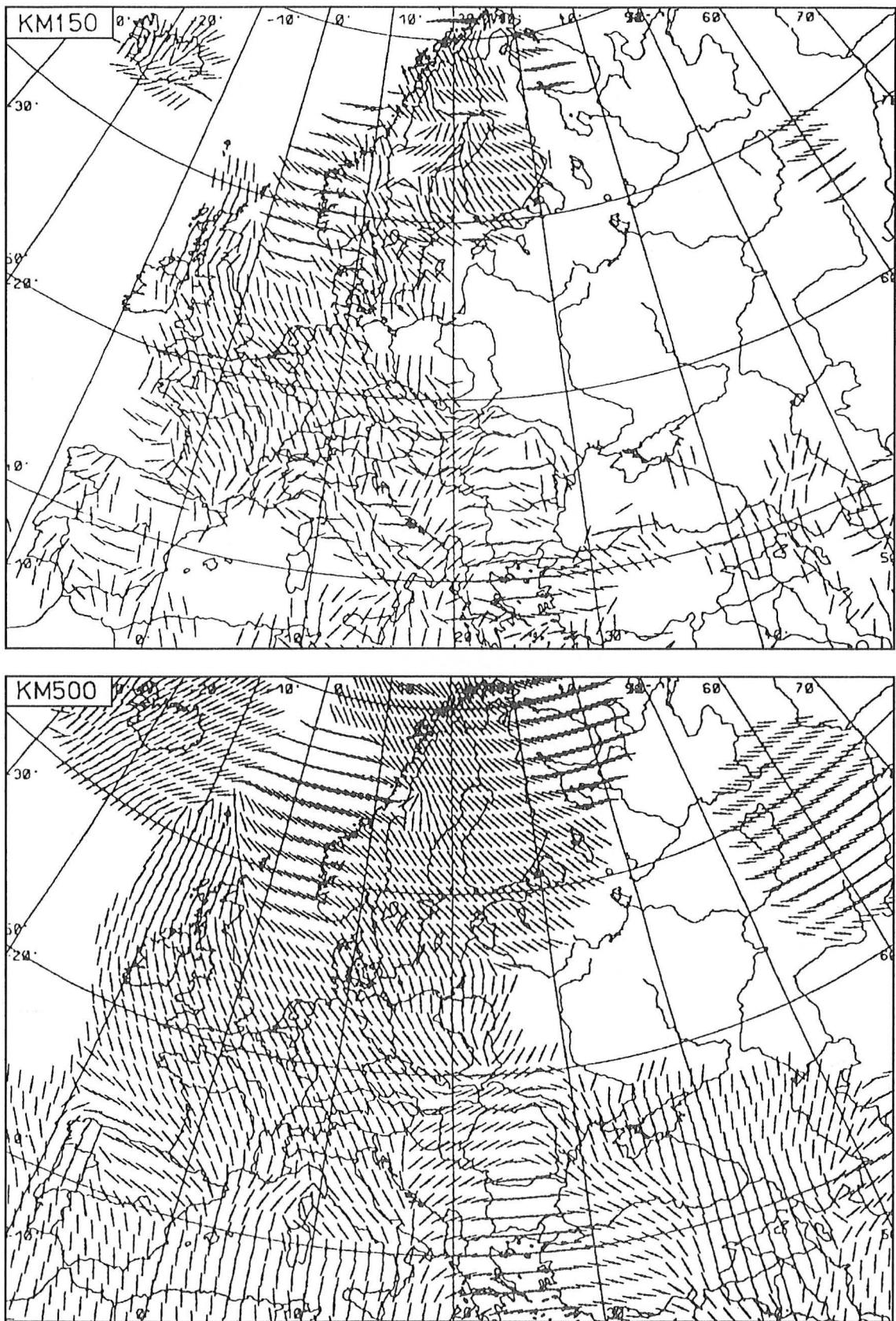


Abb. 6

Mittelwerte der maximalen horizontalen Hauptspannung nach Daten der Weltspannungskarte, gemittelt für Flächen mit einem Radius von 100 km (oben) und 500 km (unten). Aus: MÜLLER (1993).

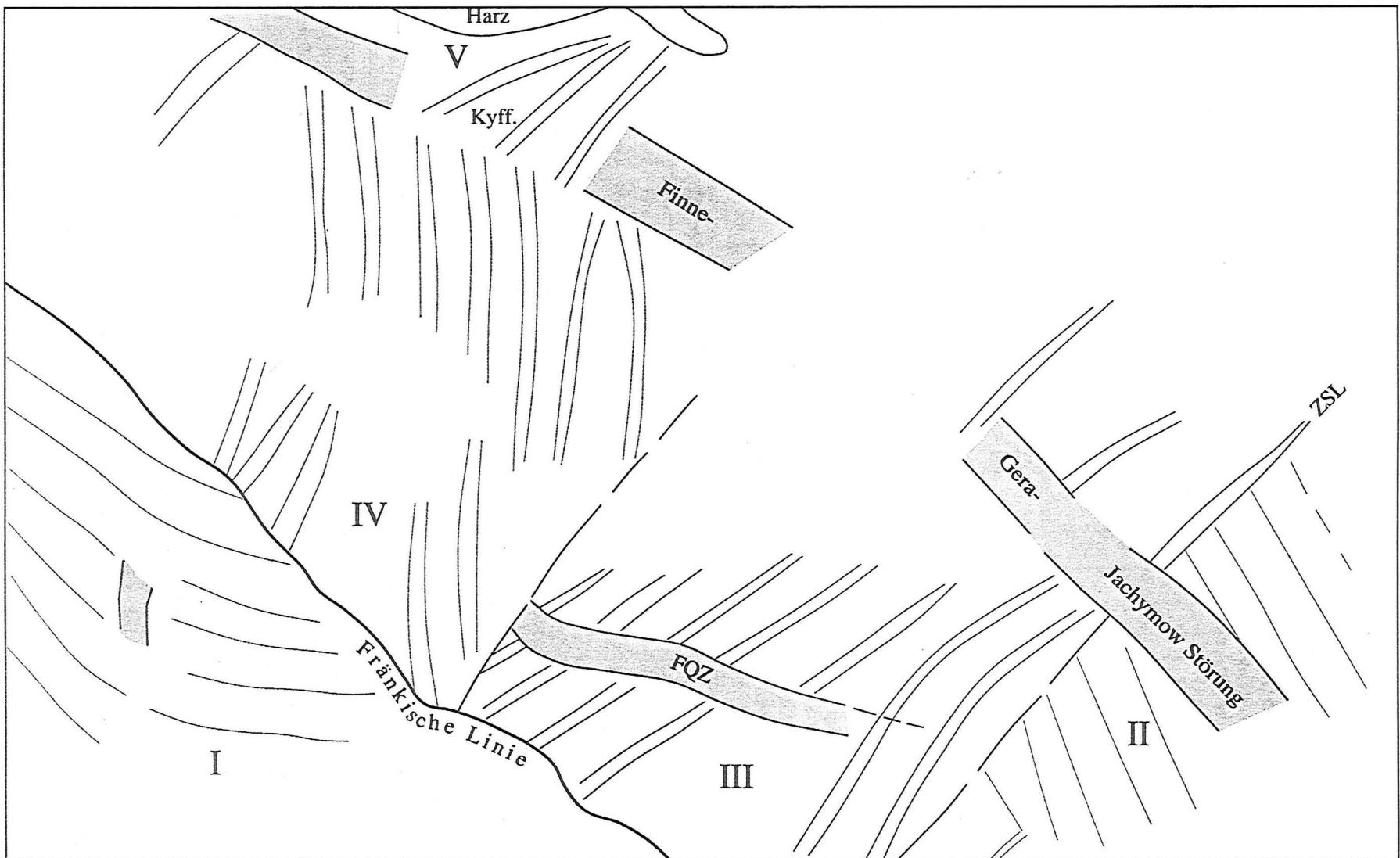


Abb. 7 Regionale Gliederung auf der Grudlage der unterschiedlichen  $\sigma H_{max}$ -Richtungen.

Kyff. - Kyffhäuser; FQZ - Frankenwalder Querzone; ZSL - Zentralsächsisches Lineament. Felder: I - Süddeutsche Scholle, II - Vogtland/Erzgebirge, III - Thüringisches Schiefergebirge, IV - Thüringer Wald und Thüringer Senke, V - Südharz

kum gegenüber dem Thüringer Wald im NW um 100 bis 200 Meter dextral schrägverschoben, im SE dagegen sind Verschiebungen gegenüber dem Thüringisch-Vogtländische Schiefergebirge nicht nachweisbar. Der variszische Unterbau wird durch die ca. 20 km breite Bruchzone der Fränkischen Linie treppenartig in Richtung SW bis auf über 1000 m Teufe abgesenkt, tritt aber im Bereich der unmittelbaren Randstaffel an der Schleusingen-Themar-Scholle im sogn. Kleinen Thüringer Wald nochmals an die heutige Oberfläche. Das Zechsteinsalinar, insbesondere des Werra-Zyklus (Z1) bewirkt eine geomechanische Abkopplung zwischen Prä- und Postsalinär (RAUCHE & FRANZKE 1990).

Entsprechend der Situation im Ruhlaer Kristallin verlaufen die Konturen des Fundaments SSW-NNE bis SW-NE. Das an drei Deckgebirgsaufschlüssen und zwei Basaltvorkommen registrierte rezente Spannungsfeld ist aber nicht auf diese Konturen des Untergrundes ausgerichtet (Abb. 1 und 3). Das südliche Vorland zeigt eigenständige, von den nordwärts anschließenden Blöcken unabhängige Spannungsrichtungen, die dem überregionalen NW-SE-Trend folgen, und die sich mit Annäherung an die Thüringer Wald-Scholle E-W ausrichten (Meßpunkt 18 und 23, Abb. 2). Die letzten beiden Werte sind schwierig zu interpretieren. Es besteht der Verdacht auf Beeinflussung durch Salinarsubrosion, speziell im Fall von MP 18 (Oberrohn bei Bad Salzungen). Die Meßdaten von Meßpunkt 19 (Basalt Diedorf/Vorderrhön) entsprechen dem Spannungsfeld für die Aktivierung der Basaltstrukturen der Rhön und des Grabfeldes (RAUCHE & FRANZKE 1990). Im Bereich der N-S verlaufenden Grabenstruktur von Oberkatz (Meßpunkt 19) treten Schienungseffekte auf und belegen ein weiteres Mal, daß Störungen sich im Spannungsfeld abbilden können.

Es ist nicht damit zu rechnen, daß miozäne Restspannungen vorliegen, da eine postbasaltische Extension in N-S-Richtung, zu erkennen an Störungsaktivierungen in Basaltaufschlüssen, den Abbau der miozänen Stresssituation belegen (Phase 5 bei RAUCHE & FRANZKE 1990).

In der NW-SE gestreckten Leistenscholle des Thüringer Waldes ist eine Ausrichtung der Achsen um die N-S-Richtung festzustellen. Nur am Meßpunkt 15 (Nesselgrund, Doleritlagergang der oberen Autun) folgen die Stressachsen dem Verlauf des bis über 400 m mächtigen Dolerits, der wahrscheinlich das Spannungsfeld aus dem dominierenden Trend der Umgebung abgelenkt hat. In die Datenkarte (Abb. 3) sind zwei zusätzliche Werte für dieses Gebiet aus hydrothermalen Ganglagerstätten an der Fränkischen Linie und der NE-Randstörung des Thüringer Waldes übernommen worden, wo anhand von jungen Störungsgefügen, welche verkarstete Gangbereiche überprägen, N-S orientierte Spannungsachsen abgeleitet wurden. Da im Thüringer Wald-Block neben anderen Bruchrichtungen vor allem auch N-S-Bruchstörungen auftreten, deren Aktivitäten bis in das Variszikum zurückreichen (Schleusehorst, MP 12, Punktlinie in Abb. 3) und die ebenfalls die spätmesozoisch-känozoischen Hebungs-/Senkungs-Prozesse beeinflussen, könnte speziell an dieser

Stelle ebenfalls ein Schienungseffekt, verursacht durch N-S-Störungen, vorliegen.

Im mesozoischen Deckgebirge der Thüringer Senke setzt sich der Trend des Thüringer Waldes fort. Mit Annäherung an den Harz bzw. die Hermundurische Scholle zwischen Finne- und Kyffhäuser-Störung divergieren die  $\sigma_{H_{\max}}$ -Achsen in NW-SE- bis WSW-ENE-Richtung. Dieses erfolgt in einem Raum, in dem das im Inneren des Thüringer Beckens bis in 2 200 Meter Tiefe versenkte Basement nach Norden hin ansteigt und auf der Hermundurischen Scholle (Kyffhäuser) sogar ausstreckt. Analog zu Südhüringen ist im Inneren des Thüringer Beckens durch die Salinare des Zechsteins und der Trias eine Abkopplung vom Präsalinär anzunehmen. Die von WITTENBURG (pers. Mitt.) erkannten und von BANKWITZ et al. (1993) näher interpretierten rezenten Erdkrustenbewegungen lassen sich teilweise durch Salzfließbewegungen nach Süden, also in das Innere der Thüringer Senke hinein zurückführen.

Da durch Gegenbewegungen des Salinars nach Norden vom Südflügel des Thüringer Beckens kein Freigleiten des Postsalinars mit Extensionsbewegungen im Sinne der Domino-Tektonik (MANDL 1978) möglich ist, könnten Staueffekte beteiligt sein, welche die Trajektoriendivergenz allein aber nicht erklären ließen.

Das Divergieren der Achsen vor dem Harzrand wird der Störkörperwirkung des angehobenen Variszikums im Bereich des Südharzes/Kyffhäuser zugeschrieben. Weiterhin kann im Einflußbereich großer NW-SE streichender Störungszonen, vor allem der Finne-Störung und der Eichenberg-Gotha-Saalfelder Störung und deren Fortsetzung in die Frankenwälder Querzone sowie den Störungen zwischen Fichtelgebirgsgranit und Eibenstocker Granit, ein Einfluß auf die Spannungsorientierung zugeschrieben werden. Das ist auch längs der Fränkischen Linie festzustellen.

## 5. Schlußbemerkungen

Trotz aller Probleme bei der oberflächennah gemessenen Spannung (z. B. schwer erkennbarer Kohäsionsverlust zwischen Meßpunkt und tieferem Untergrund) ist das rezent vorliegende Spannungsfeld letztlich doch identifizierbar. Die hier genutzte Methode will nicht Grundlage für eine globale Spannungskarte sein, ist aber durchaus dafür geeignet, bei günstigen Meßbedingungen die Spannungen der obersten Erdkruste zu erfassen und in günstigen Fällen mit den Ergebnissen solcher Art zu verbinden, die für größere Tiefen repräsentativ sind.

Als positiv zu werten ist, daß die vorliegenden Ergebnisse ältere Messungen bestätigen und auch die vorher bereits postulierte Variabilität der Krustenbewegungen und des dazugehörigen lokalen Spannungsfeldes. Eine globale Spannungskarte kann nur einen sehr groben Überblick geben und dürfte oft von der tatsächlichen regionalen bis lokalen Spannungssituation der obersten Erdkruste weit entfernt sein, was möglicherweise zu falschen Schlußfolgerungen führen könnte. Durch eine globale Darstellung

und Wertemittelung wird etwa der Einfluß von regionalen Störungen "übersehen" und das tatsächliche Bild verfälscht.

### Danksagung

Die Autoren danken Herrn Prof. Dr. SCHÄFER/Bayreuth für die Zusammenarbeit und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Förderung der Untersuchungen.

### Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Untersuchungen erweitern und verbessern die bisherige Kenntnis über den rezenten Spannungszustand eines Teilgebietes von Mitteleuropa. Die Meßergebnisse vom Raum Sachsen-Thüringen beruhen auf oberflächennahen in-situ-Messungen, spiegeln zwar nur die Spannungsverteilung der obersten Kruste wider, ergeben aber doch ein interpretierbares Bild. Trotz der Variabilität in der Spannungsrichtung und -intensität ist eine geologierelevante Felderung mit jeweils relativ homogenen Spannungsrichtungen erkennbar. In-situ-Spannungsmessungen sind offenbar trotz der bekannten Einschränkungen geeignet, das unterschiedliche rezente Verhalten geologischer Strukturen zu ermitteln. Nachweisbar ist ein Einfluß rezentaktiver regionaler Störungszonen auf das Spannungsfeld. Gestützt wird die Aussagefähigkeit der Meßdaten durch Ergebnisse anderer Autoren, mit denen sie in der Regel übereinstimmen.

### Summary

The results of stress measurements improve the knowledge on the recent stress state of central Europe. The data characterize the stress distribution obtained from near-surface in-situ-measurements in the area of Saxony and Thuringia. The results seem to be reliable. In spite of the variability of stress direction and intensity the derived subdivisioning into with relatively homogeneous stress directions is of geological relevance. Despite the known restrictions regarding the applied technique of stress measurement, it is suitable to study differences in the recent activity of geological structures. An influence of recent active fault zones on the transregional stress field is evident. In general the results are comparable with results of other authors and methods.

### Literatur

- BANKWITZ, P., GROß, U., BANKWITZ, E. (1993): Krustendefor-mation im Bereich der Finne-Kyffhäuser-Gera-Jáchymov-Zone. - Z. geol. Wiss. **21**, 3 - 20
- BANKWITZ, P., BANKWITZ, E. (1994): Event related jointing in rocks on Bornholm island (Denmark). - Z. geol. Wiss. **22**, 97 - 114
- BAUMANN, H. (1993): Differential strain analysis and in situ stress from the German KTB-location. - KTB Report 93-2, 243 - 245
- BAUMGÄRTNER, J., RUMMEL, F., ZOBACK, M. D. (1990): Hydraulic fracturing in situ stress measurement to 3 km depth in the KTB pilot hole VB. - KTB Report 90-6a, 353 - 399

- BEHR, H. - J., DÜRBAUM, H. - J., BANKWITZ, P. (Eds., 1994): Crustal structure of the Saxothuringian Zone: Results of the deep seismic profile MVE-90(East). - Z. geol. Wiss. **22**, 647 - 769
- BERGERAT, F. (1987): Stress fields in the European platform at the time of Africa-Eurasia collision. - Tectonics **6**, 99 - 132
- BORMANN, P. (1994): Seismotectonics and seismic hazard of Germany in the European context. - Bull. Ind. Soc. Earth Tech. **31**, 2, 55 - 89
- BRUDY, M., FUCHS, K., ZOBACK, M. D. (1993): Stress orientation profile to 6 km depth in the KTB main borehole. - KTB Report 93-2, 195 - 197
- CONRAD, W. (1994): Schwerekarte der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. 1 : 500 000. - Freiberg
- DAHLHEIM, H.-A. (1994): Überwachung der Seismizität und Untersuchung der Lithosphärenstruktur im KTB-Umfeld durch ein lokales seismisches Array und Mobilstationen. - Zwischenbericht, Windischeschenbach/München
- DANNAPFEL, M. (1987): In-situ-Spannungsmessungen am Westrand der Böhmischem Masse. - Dissert. Univ. Bayreuth, 149 S.
- ELLENBERG, J. (1993): Rezente vertikale Erdkrustenbewegungen in Thüringen. - Beitr. Landesforsch. Landesentwicklung, Jena, 7 - 22
- ENGELDER, T. (1993): Stress Regimes in the Lithosphere. - Princeton: Princeton University Press, 457 S.
- GRÜNTHAL, G., STROMEYER, D. (1992): The recent crustal stress field in central Europe. Trajectories and finite element modelling. - J. geophys. Res. **97**, 11805 - 11820
- HARTKORN, P. (1993): Schacht Pöthen. - Interfels-Bericht 9396-S, 23 S.
- HAUK, V. (1983): Eigenspannungen - In: Eigenspannungen Deutsche Ges. Metallkunde, I, 9 - 48
- IHDE, J., STEINBERG, J., ELLENBERG, J., BANKWITZ, E. (1987): On recent vertical crustal movements gained from repeated levelling within the territory of the GDR. - Gerl. Beitr. Geophys. **96**, 206 - 217
- KNOLL, P., THOMA, K., BANKWITZ, P., THURM, H., SCHNEIDER, M. M. (1979): Spannungsverteilung im Südosten der DDR abgeleitet aus direkten Untertagemessungen und rezenten Krustenbewegungen. - Neue Bergbautechnik **8**, 366 - 370
- MANDL, G. (1978): Tectonic deformation by rotating parallel faults: the bookshelf mechanism. - Tectonophysics **141**, 277 - 316, Amsterdam
- MÜLLER, B. (1993): Tectonic stress in Europe. - Diss. Univ. (TH) Karlsruhe, 160 S.
- NATAU, O., RÖCKEL, TH. (1993): Orientation of in-situ stress field determined from drilling induced fractures etc. - KTB Report 93-2, 199 - 202
- OLDEBOERSHUIS, H., HARTKORN, P. (1993): Pumpspeicherwerk Goldisthal. - Interfels-Bericht 9328, 21 S.
- RAUCHE, H., FRANZKE, H. J (1990): Stress field evolution at the northern part of the South German Block on the territory of the GDR. - Gerl. Beitr. Geophys. **99**, 441 - 461
- RÖCKEL, TH., NATAU, O. (1993): Estimation of the maximum horizontal stress magnitude from drilling induced fractures and centerline fractures at the KTB drill site. - KTB Report 93-2, 203 - 209
- SCHÄFER, K., DANNAPFEL, M. (1992): Ergebnisse von In-situ-

Spannungsermittlungen in Thüringen und Sachsen. - DFG-Arbeitsbericht, Bayreuth 1992, 21 S.

SCHREIBER, A. (1992): Das Paläozoikum der Zone Münchberg-Frankenberg und die Herkunft der dortigen Kristallinschollen - ein Beitrag zur Deckenfrage im Saxothuringikum. - Geol. Jb. A 135, 3 - 135, Hannover.

SCHRÖDER, B., BANKWITZ, P., BANKWITZ, E., FRANZKE, H. J., MAIER, M., PETEREK, A., RAUCHE, H. (1994): Spät- und postvariskische tektonische Entwicklung am Südwest-Rand der böhmischen Masse. - DFG-Bericht, Bochum, 57 S.

STEWART, I. S., HANCOCK, P. L. (1994): Neotectonics. - In: Continental Deformation. Oxford: Pergamon Press, 370 - 409

THURM, H., BANKWITZ, P., BANKWITZ, E., HARNISCH, G. (1977): Rezente horizontale Deformationen der Erdkruste im Südostteil der DDR. - Peterm. Geogr. Mitt. 121, 281 - 304

#### Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. Peter Bankwitz, Dipl.-Geologin Elfriede Bankwitz  
GeoForschungsZentrum Potsdam

Telegrafenberg  
14473 Potsdam

Dr. Hans Joachim Franzke  
Technische Universität Clausthal  
Institut für Geologie und Paläontologie  
Leibnizstraße 10  
38678 Clausthal-Zellerfeld

Dr. Henry Rauche  
Friedrich-Schiller-Universität

Institut für Geowissenschaften  
Bürgerweg 11  
07749 Jena

Dr. Manfred Dannapfel  
Schloßgasse 14  
63739 Aschaffenburg