

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	2 (1995), 2	S. 69 – 76	2 Abb., 1 Tab., 39 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	-------------------------

Rezentes Spannungsfeld und Seismizität des baltischen Raumes und angrenzender Gebiete – ein Ausdruck aktueller geodynamischer Prozesse

GOTTFRIED GRÜNTHAL & DIETRICH STROMEYER



IGCP Projekt No. 346
Neogeodynamica Baltica

1. Einführung

Das Spannungsfeld der Erdkruste ist sowohl das Ergebnis aber auch die Ursache vielfältiger Prozesse der Lithosphärendynamik und der Krustentektonik. Insbesondere zur Interpretation neotektonischer Vorgänge ist die Kenntnis des rezenten Spannungsregimes eine wesentliche Voraussetzung. Das Auftreten von Erdbeben, der zweite in dieser Arbeit zu analysierende Indikator für aktuelle tektonische Prozesse, ist mit dem Spannungsfeld eng verbunden. Die Kombination von Seismizität und krustalem Spannungsregime kann nicht nur wertvolle Information für die Lithosphärendynamik aktiver Plattenränder liefern, sondern auch zum Verständnis der Neotektonik innerhalb von häufig als stabil angenommenen Kontinentalblöcken beitragen.

Diese Arbeit ist Teil des IGCP-Projekts 346 "Neogeodynamica Baltica" und analysiert das rezente Spannungsfeld und die Seismizität des baltischen Raumes im weiteren Sinne. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von 3° bis 36° östlicher Länge sowie 48° bis 66° nördlicher Breite. Die wesentlichen tektonischen Merkmale dieser Region werden von LUDWIG & SCHWAB (1995; dieser Band) detailliert beschrieben.

Die Richtung der maximalen horizontalen Kompressionsspannung S_{Hmax} ist der einzige Spannungsparameter, der zur Zeit in genügender Anzahl und mit hinreichender Genauigkeit für regionale Analysen zur Verfügung steht. In diesem Beitrag wird deshalb ausschließlich dieser Parameter als Spannungsindikator genutzt. Im Untersuchungsgebiet sind die aktuellen Spannungsdaten sehr inhomogen verteilt. Für den Südwesten existieren relativ viele Spannungswerte guter Qualität, die vor allem im Rahmen des "World Stress Map"-Projekts (WSM) des "International Lithosphere Program" (ILP) zusammengetragen wurden (ZOBACK 1992). Dieses Projekt ist zwar zum Ende des Jahres 1993 ausgelaufen (ZOBACK & BURKE 1993), die hierdurch weltweit ausgelösten Aktivitäten zur Sammlung und Interpretation von Krustenspannungen halten jedoch weiter an und liefern zunehmend quantitative Hinweise zur Einschätzung tektonischer Prozesse. Abschließende Berichte mit einer ausführlichen Beschreibung und Interpretation der kompilierten Daten wurden für ganz Europa allgemein und detailliert für Westeuropa von MÜLLER u. a.

(1992), von GRÜNTHAL & STROMEYER (1992) für das östliche Mitteleuropa sowie von GREGERSEN (1992) für Finnland gegeben. Die 1992 publizierte WSM-Datenbasis enthält alle Spannungswerte, die bis Ende 1990 verfügbar waren. Eine Aktualisierung der Spannungsdaten für Mitteleuropa und deren Interpretation legten GRÜNTHAL & STROMEYER (1994) vor. Die wesentlichen Neuerungen betreffen das Gebiet von Ostrava (PESKA 1991), Sachsen und Thüringen (BANKWITZ u. a. 1993) sowie mehrere Herdflächenlösungen, z. B. die des Roermond-Erdbebens von 1992 (BRAUNMILLER & DAHM 1993).

Die Richtung der maximalen horizontalen Kompressionsspannung S_{Hmax} ist im Südwesten des Untersuchungsgebiets deutlich NW-SE orientiert. Bei Annäherung an die Tornquist-Teisseyre-Zone (TTZ) gibt es Anzeichen für eine Rotation nach NE-SW (GRÜNTHAL & STROMEYER 1992). Diese Beobachtung ließ sich durch neueres Datenmaterial und verbesserte Modellberechnungen bestätigen (GRÜNTHAL & STROMEYER 1994). Östlich der TTZ lagen bisher keine Spannungswerte im Untersuchungsgebiet vor – abgesehen von Meßbefunden in der Ostsee und einer Herdflächenlösung in Estland. Das Spannungsfeld Finnlands zeigt keine einheitlich ausgeprägte Vorzugsrichtung für S_{Hmax} .

Für die in dieser Arbeit verwendeten Seismizitätsdaten standen die aktuellen nationalen Erdbebenkataloge bzw. Datenbanken der Länder des Untersuchungsgebiets zur Verfügung. Die Datensammlung und -verarbeitung im Sinne einer Homogenisierung des Datenbestandes war bzw. ist gleichzeitig Bestandteil von Arbeiten im Rahmen des "Global Seismic Hazard Assessment Program" (GSHAP), dem "International Decade of Natural Disaster Reduction" (IDNDR) Demonstrationsprojekt des ILP (GRÜNTHAL 1994).

Dieser Beitrag dokumentiert die aktuell verfügbare Datenbasis sowohl für das rezente krustale Spannungsfeld als auch für die Seismizität. Erstmals werden Spannungsdaten für die Osteuropäische Tafel (OET) im Vergleich mit den bisher vorliegenden Daten des WSM-Projekts oder dessen Folgeaktivitäten interpretiert. Die hier verwendeten Spannungswerte für Schweden berücksichtigen die Neubewertung der Herdflächenlösungen im WSM-Datensatz durch MUIR WOOD (1993).

2. Rezente krustale Spannungsdaten

Die Datenbasis der krustalen Spannungen für das Untersuchungsgebiet besteht aus Herdflächenlösungen von Erdbeben, in-situ Spannungsmessungen in Bohrungen und im Bergbau sowie geologischen und geodätischen Spannungsindikationen. Im Rahmen des WSM-Projekts wurden diese Methoden zur Abschätzung der Richtung von S_{Hmax} ausführlich beschrieben und bewertet. Gleichzeitig entstand für diese Daten ein einheitliches System der Qualitätsbewertung, in welches neben der Meßmethode die Anzahl der Messungen und deren Konsistenz berücksichtigt wird (ZOBACK 1992). Die Qualitätseinteilung erfolgt in Klassen von A (hohe Qualität) bis D. Von Daten der Kategorie A-C wird angenommen, daß sie das tektonische Spannungsfeld hinreichend gut widerspiegeln, während Daten der Klasse D nach Möglichkeit im Zusammenhang mit Spannungsmessungen besserer Qualität interpretiert werden sollten.

Die diesem Beitrag zugrunde liegenden S_{Hmax} -Werte kombinieren die Datenbasis des WSM-Projekts für das Untersuchungsgebiet mit den neuen von GRÜNTAL & STROMEYER (1994) diskutierten Spannungsindikationen. Darüber hinaus konnte die Datenbasis für Osteuropa beträchtlich erweitert werden. JAROSIŃSKI (1994) analysierte für das polnische Gebiet eine Reihe von Bohrlochrandausbrüchen (*breakouts*) in Bohrungen der Erdöl-Erdgas-Industrie. Diese Untersuchungen führten zu qualitativ guten S_{Hmax} -Richtungen der Kategorien A, B und C. Während bisher nur sechs Herdflächenlösungen und zwei geologische Indikationen für dieses Gebiet bekannt waren, geben die neuen *Breakout*-Daten nun verlässlichere Spannungswerte für den Südosten Polens und die südliche Ostsee. Von einer einzigen Herdflächenlösung abgesehen (Ossmussaer Beben, 1976; Estland), waren bis dato keine Spannungsdaten für die Baltischen Staaten, Nordostpolen, Weißrußland und die westlichsten Gebiete Rußlands bekannt. Kürzlich wurden ebenfalls im Rahmen von "Neogeodynamica Baltica" von SIM u. a. (1995) für diese Region geologische Paläospannungsanalysen publiziert. Hiervon wurden von SIM (pers. Mitt., 1995) ca. 50 Werte nach den Kriterien der WSM-Qualitätsbewertung in die Qualitätsstufe D eingestuft, welche hier verwandt wurden. Weitere in-situ Spannungsmessungen sind notwendig, um die Zuverlässigkeit dieser Daten zu unterlegen. In einer kritischen Analyse der Spannungsdaten für Schweden weist MUIR WOOD (1993) auf die erheblichen Probleme hin, die im Zusammenhang mit der Bestimmung von

Herdflächenlösungen kleiner Erdbeben bestehen. Aus diesem Grunde finden in diesem Beitrag nur jene Herdparameter aus dem WSM-Datensatz Verwendung, die seinen Kriterien standhalten. In Abb. 1 sind die Spannungsrichtungen für das Untersuchungsgebiet entsprechend der beschriebenen Verfahrensweise dargestellt. Tab. 1 gibt einen Überblick über die Anzahl der Daten in Abhängigkeit von der Meßmethode und dem tektonischen Regime. Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf die Daten guter Qualität (A, B, C).

3. Interpretation der beobachteten Spannungsdaten

Im Spannungsfeld des oberen elastischen Teils der Lithosphäre sind zwei unterschiedliche Komponenten zu unterscheiden. Die erste Komponente, häufig "tektonische Spannung" genannt, steht im engen Zusammenhang mit großräumigen Kräften. Diese resultieren vor allem aus den Plattenrandkräften aktueller globaltektonischer Prozesse, weiträumigen Oberflächenlasten (Gebirge), Dichteinhomogenitäten sowie thermoelastischen Kräften durch die Abkühlung der ozeanischen Lithosphäre.

Die zweite Komponente, die lokalen oder "induzierten" Spannungen widerspiegeln lokale Effekte der Topographie, die Anisotropie der Festigkeit bzw. der elastischen Eigenschaften der Lithosphäre, Erosionserscheinungen und anthropogen erzeugte Spannungen (ZOBACK 1992).

Die Richtung der maximalen horizontalen Kompressionsspannung ist im westlichen Teil Europas generell NW-SE orientiert. Dieses homogene Spannungsfeld korreliert hier mit einer geringen bis mittleren Lithosphärenmächtigkeit von 50-90 km. Mit Hilfe von Finite Elemente Modellierungen kann gezeigt werden, daß das mittelatlantische *sea-floor spreading* und die Nordwärtsdrift der Afrikanischen Platte als Hauptursachen dieses großskaligen Spannungsfeldes anzusehen sind (GRÜNTAL & STROMEYER 1992). Die beobachteten Daten dieses Teils der Eurasischen Platte sind demnach tektonische Spannungen, die wesentlich durch großräumige Plattenbewegungen beeinflusst sind.

In Fennoskandien zeigt die Spannungsrichtung keine solche Konstanz wie in Westeuropa. Folgende kleinräumige Gebiete mit mehr oder weniger ausgeprägter Richtungsdominanz können ausgehalten werden: S_{Hmax} -Richtung NW-SE: Südwesten Norwegens und südwest-norwegischer Atlantikbereich, Norddänemark, Zentralschweden und

Tab. 1 Verteilung der Spannungsdaten, geordnet nach Meßmethode und tektonischem Regime

tektonisches Regime	Herdflächenlösungen	in-situ Daten	geolog. Daten	geodät. Daten	Σ
Abschiebung	52 (37)	75 (35)	2 (2)	-	129 (74)
Aufschiebung	94 (51)	33 (10)	3 (0)	-	130 (61)
Seitenverschiebung	155 (99)	27 (10)	40 (2)	-	222 (111)
unbekannt	31 (10)	188 (119)	4 (1)	6 (0)	229 (130)
Σ	332 (197)	323 (174)	49 (5)	6 (0)	710 (376)

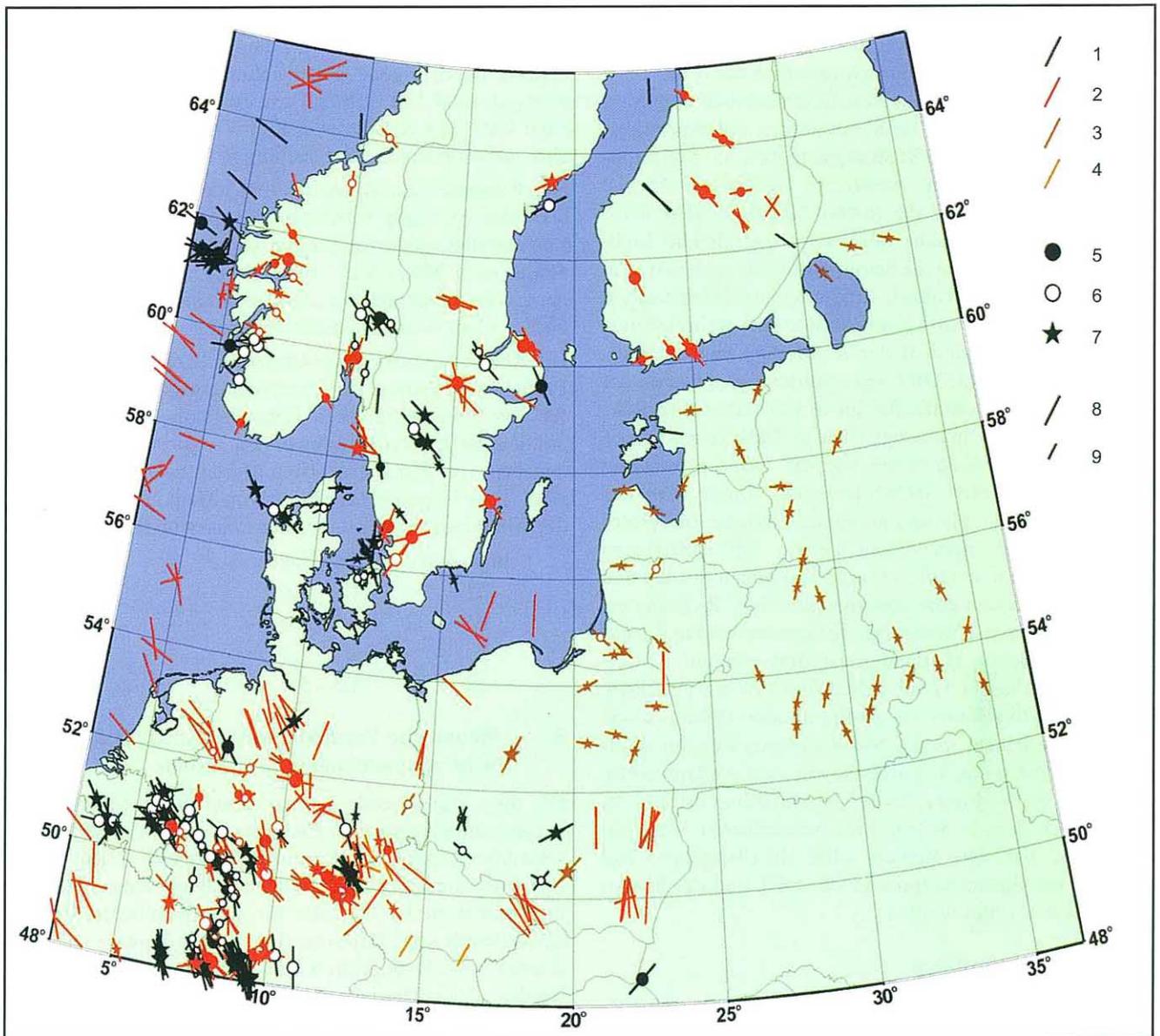


Abb. 1

Richtung der maximalen horizontalen Kompressionsspannung S_{Hmax} im Untersuchungsgebiet "Neogeodynamica Baltica". Meßmethode, tektonisches Regime und Datenqualität sind mit Farben und Signaturen kodiert.

1 – Herdflächenlösung, 2 – in-situ Daten, 3 – geologische Daten, 4 – geodätische Daten, 5 – Aufschiebung, 6 – Abschiebung, 7 – Seitenverschiebung, ohne Signatur – unbekanntes tektonisches Regime, 8 – Qualität A, B, C, 9 – Qualität D

Finnland; S_{Hmax} -Richtung N-S: Oslo-Region und südöstlich anschließende Gebiete; S_{Hmax} -Richtung E-W: SW-Norwegen; S_{Hmax} -Richtung SW-NE: Südwestschweden und Zentralschweden am Bottnischen Meerbusen. Generell läßt sich feststellen, daß trotz Bereinigung der Herdflächenlösungen durch MUIR WOOD (1993) die Datenstreuung beträchtlich ist.

Eine Kombination von Plattenrandkräften, die am Mittelatlantischen Rücken angreifen, und Biegespannungen im Zusammenhang mit den glazialen isostatischen Ausgleichsbewegungen sind die am häufigsten diskutierten Ursachen für das Erscheinungsbild der fennoskandischen Spannungsprovinz. Mögliche Gründe für die Streuung der tektonischen Spannungen könnten sein: (1) der Versatz der

Achse des Mittelatlantischen Rückens durch die Jan-Mayen-Störung, was zu einer lateralen Änderung der Plattenrandkräfte führt, (2) ein lokaler *ridge push* mit radialen Komponenten durch den Island *hot spot* und (3) die physikalischen Eigenschaften der 110-170 km mächtigen Lithosphäre. Letzteres führt zur Reduktion des mittleren Spannungsniveaus, so daß dem Einfluß lokaler Effekte, wie lateraler Dichte- oder Festigkeitsunterschiede der Kruste, größere Bedeutung zukommen kann (MÜLLER u. a. 1992; MUIR WOOD 1993).

Mit den neuen Spannungsindikationen von SIM u. a. (1995) für das Gebiet östlich der TTZ kann erstmals ein Vergleich des Spannungszustandes mit dem der Westeuropäischen Tafel und Fennoskandiens durchgeführt werden.

Die $S_{H_{max}}$ -Richtung der horizontalen Kompressionsspannungen der OET scheint sich signifikant von der im westlichen und zentralen Europa (westlich der TTZ) bzw. Fennoskandien zu unterscheiden. Offensichtlich dominiert eine klare N-S-Richtung im Südosten des Untersuchungsgebiets (vgl. die $S_{H_{max}}$ -Richtungsangaben in Südostpolen, Weißrußland und im westlichen Rußland in Abb.1). Hervorzuheben ist, daß die in-situ Meßdaten SE-Polens, die eine hohe Signifikanz aufweisen, das gleiche Richtungsmuster zeigen wie die Spannungsdaten nach SIM u. a. (1995) im genannten Gebiet. Eine mögliche Interpretation für diese Kompressionsrichtung könnte eine weitreichende Übertragung der Norddrift der Arabischen und der Indischen Platte gegen die OET sein, während gleichzeitig der Einfluß der Plattenrandkräfte am Mittelatlantischen Rücken abnimmt. Die Spannungsdaten in Südkarelien zeigen die gleiche NW-SE-Richtung wie die finnischen in-situ Messungen und Herdflächenlösungen. *Ridge push* des Nordatlantik kann als dominierende Ursache für dieses Erscheinungsbild angenommen werden. Die verfügbaren Daten nach SIM u. a. (1995) für die Baltischen Staaten und Nordostpolen lassen eine dominierende E-W Richtung erkennen. Die gleiche Kompressionsrichtung konnte für das Osmussaer Beben (Estland) bestimmt werden. Abweichungen von diesem Trend stellen drei NW-SE gerichtete Spannungsindikationen im Kaliningrader Gebiet sowie eine N-S gerichtete in-situ Spannungsmessung im nord-östlichsten Polen dar. Letztere (sowie zwei weitere in-situ Daten für die süd-liche Ostsee, unmittelbar östlich der TTZ) folgen dem N-S Trend im benachbarten Weißrußland. Diese baltische Region sollte als Übergangsgebiet zwischen der Spannungsprovinz der OET und der Fennoskandiens betrachtet werden.

4. Seismizitätsdaten

Ein Aspekt des IGCP-Projekt 346 "Neogeodynamica Baltica" war, die neotektonischen Befunde mit bekannten Epizentren von Erdbeben zu verbinden, um so auf neogeodynamische Prozesse schließen zu können, die ihren Ausdruck in Form von Erdbeben finden. Hierfür wurden die verfügbaren Erdbebendaten zusammengestellt und eine homogene Datenbasis geschaffen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß verschiedene nationale Erdbebenkataloge i. d. R. beträchtliche räumliche Überlappungen mit benachbarten Datenzusammenstellungen zeigen, wobei in vielen Fällen die Beben in Grenzregionen in den einzelnen Katalogen unterschiedliche Interpretationen aufweisen, so daß es bei unzureichender Sorgfalt bei der Zusammenführung von Katalogen zu unzulässigen Duplizierungen von Beben kommen kann.

Die folgenden Bebenkataloge bzw. Computerdatenfiles wurden zur Generierung eines einheitlichen, gemeinsamen und homogenen Datenfiles herangezogen: Österreich (LENHARDT 1994); Weißrußland und Baltikum (BOBORIKIN u. a. 1993); Belgien und Luxemburg (VERBEIREN u. a. 1994); Tschechische Republik (SCHENKOVÁ 1993); Estland (NIKONOV 1991; NIKONOV & SILDVEE 1992); Deutschland (LEYDECKER 1986; GRÜNTAL 1988), Un-

garn und angrenzende Gebiete (ZSIROS u. a. 1991); Niederlande (HOUTGAST 1990); Polen (PAGACZEWSKI 1972 – ergänzt durch eigene Untersuchungen) und Fennoskandien (AHJOS & USKI 1992). Desweiteren wurde der Katalog nach VAN GILS & LEYDECKER (1971) herangezogen, welcher insbesondere die Bebeninträge für Frankreich liefert. Der Parameter zur Klassifizierung der Bebenstärke, welcher hier vorrangig verwandt wird, ist die maximale oder Epizentralintensität (in Werten auf der 12-teiligen MSK-Skala, nach MEDVEDEV, SPONHEUER und KARNIK). Zur deutlichen Mehrzahl der stärkeren Beben ist als primäre Größe allein deren Intensität bekannt.

Die Abb. 2 zeigt das so gewonnene Bild der Verteilung der Erdbebenepizentren im Untersuchungsgebiet. Lediglich für den fennoskandischen Bebenkatalog liegen zu zahlreichen Beben keine Intensitäten sondern Magnitudenangaben vor. Für diese Daten wurde zur Darstellung in Abb. 2 die folgende Zuordnung von Magnituden zu den in der Abbildung verwandten Intensitätssymbolen gewählt:

Intensität	Magnitudo
III	1.5 - 2.4
IV	2.5 - 3.4
V	3.5 - 4.4
VI	4.5 - 5.4

5. Räumliche Verteilung der Seismizität und mögliche seismotektonische Ursachen

Für die vergleichende Interpretation eines Seismizitätsmusters mit tektonischen Elementen ist es wesentlich, verschiedene Aspekte der Seismizitätsdaten zu berücksichtigen. Insbesondere ist die Ortungsgenauigkeit der Erdbeben in Betracht zu ziehen. Eine für eine detaillierte Analyse ausreichende hohe Präzision der Ortsbestimmung von Epizentren bzw. Hypozentren kann nur für Beben garantiert werden, deren Herdort mittels eines dichten seismischen Lokalnetzes bestimmt wurde. Ansonsten kann der Ortungsfehler einige Kilometer und bei historischen Beben mehrere Zehner von Kilometern betragen. Daher beschränkt sich dieser Beitrag auf die Diskussion des generellen Auftretens der Seismizität im Untersuchungsgebiet. Des weiteren ist für eine solche Interpretation zu berücksichtigen, welche zeitliche Vollständigkeit die Daten repräsentieren, differenziert sowohl nach der Stärke der Beben als auch nach regionalen Besonderheiten. Während der südwestliche Teil des Untersuchungsgebietes über relativ lange historische Beobachtungszeiträume verfügt, verringern sich diese Zeitspannen in nördlicher und östlicher Richtung. So besitzen die Daten für Sachsen und Thüringen eine hinreichende Vollständigkeit für die makroseismische Intensität VII zurück bis etwa 1400, für I=VI ergibt sich 1550, V: 1740 und IV: 1860. Eine entsprechende Analyse führte zumindest für den südlichen Teil von Skandinavien zu folgenden vorläufigen Schlußfolgerungen: I=VII hinreichend vollständig zurück bis etwa 1550, VI und V: bis ca. 1775. Die Daten für Estland und Lettland reichen zwar bis in das 17. Jahrhundert zurück, doch dürfte eine gewisse Vollständigkeit erst ab dem vorigen Jahrhundert gegeben sein. Die Bebenkataloge für Weißrußland nach

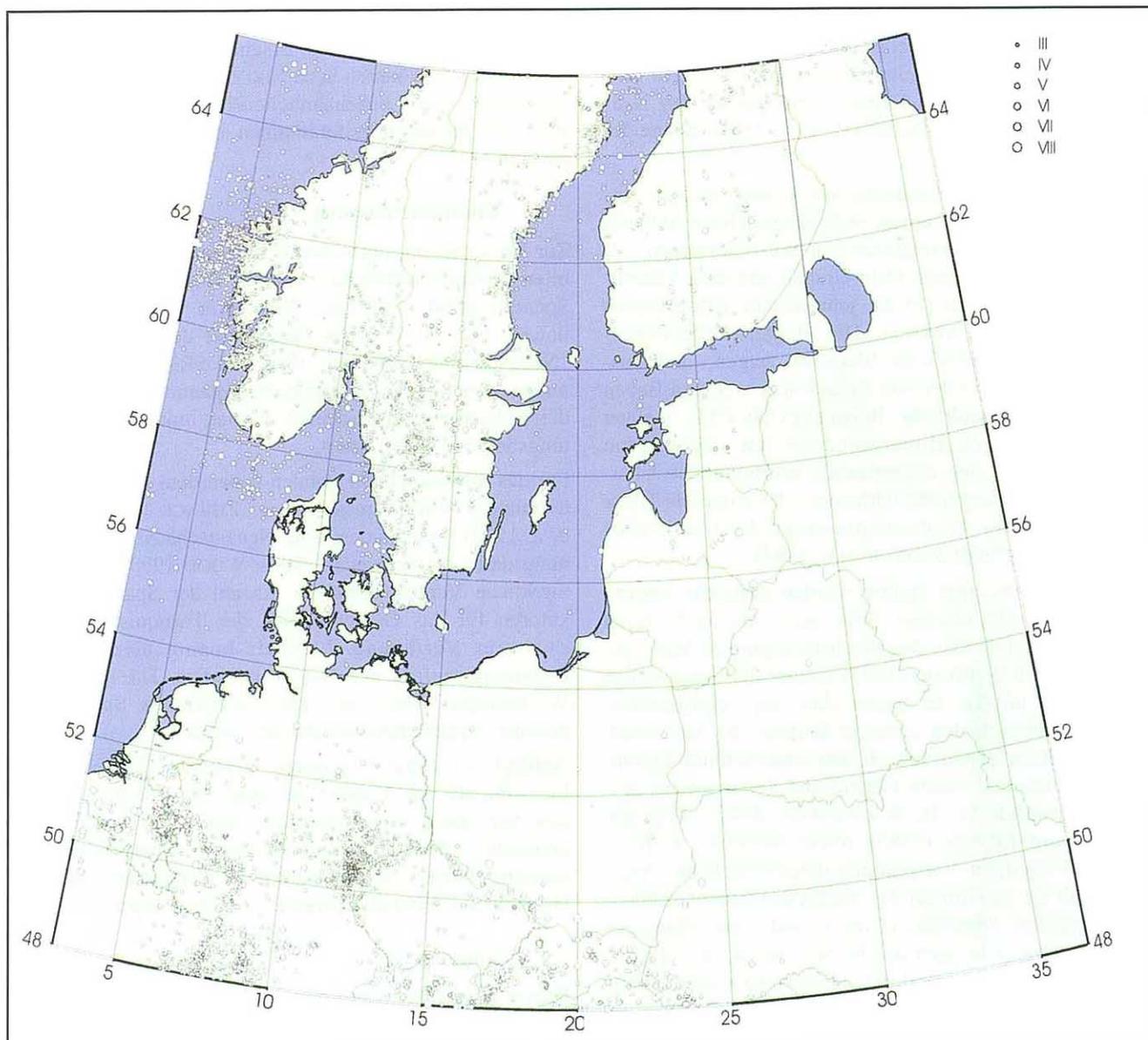


Abb. 2

Erdbebenepizentren im Untersuchungsgebiet "Neogeodynamica Baltica". Durch unterschiedliche Kreisgrößen sind die maximalen makroseismischen Intensitäten oder Epizentralintensitäten der beobachteten Beben sowie für den fenno-skandischen Raum entsprechende Magnituden dargestellt.

BOBORIKIN u. a. (1993) weisen die frühesten verzeichneten Beben im vorigen Jahrhundert auf.

Die Bebenkonzentrationen im Südwesten des Untersuchungsgebiets (vgl. Abb. 2) repräsentieren gut untersuchte Seismizitätszonen, wie die des Oberrhein-Grabens, des Mittelrhein, der westlichen Fortsetzung dieser Seismizitätszone bis zur Straße von Dover sowie der Bebenzone der Niederrheinischen Bucht (AHORNER 1975), des Hohenzollergrabens (SCHNEIDER 1980, 1992) und schließlich der saxothuringischen seismischen Provinz mit dem bedeutenden Schwarmbebengebiet des Vogtlands, deren Seismotektonik GRÜNTAL (1990, 1992) sowie GRÜNTAL u. a. (1990) beschreiben.

Eine weitere Konzentration der Bebenaktivität ist mit dem Verlauf der Karpaten, hier mit deren nördlichen Teilen,

verbunden sowie mit der Umrandung des Böhmisches Massivs – insbesondere mit dessen nordöstlichen Rand im Grenzgebiet von Polen und Tschechien. Die seismotektonischen Provinzen des östlichen Teils der westeuropäischen Tafel wurden von GRÜNTAL u. a. (1985) mit tektonischen Elementen in Beziehung gesetzt.

Herdflächenlösungen der Beben des Niederrheingebietes weisen im wesentlichen auf rezente Abschiebungen als verursachenden Herdprozeß. Für die Gebiete des Oberrhein, des Hohenzollergrabens und des Vogtlands dominieren Seitenverschiebungen. Die beiden letztgenannten Gebiete zeigen eine vornehmlich an N-S gerichteten Störungen gebundene Aktivität, d. h. Störungen, die an der Oberfläche von nur untergeordneter Bedeutung sind. Die tektonischen Brüche erster Ordnung, welche in den ge-

nannten Gebieten hauptsächlich NW-SE streichen, sind offenbar aseismisch. Sie stellen aber im Kreuzungsbereich mit den genannten N-S-Elementen Schwächezonen dar, die zur Generierung von Beben, vorrangig an den N-S-Elementen, beitragen (GRÜNTAL u. a. 1990; Schneider 1992).

Die Seismizität Fennoskandiens, soweit diese Teil der Untersuchungen ist, konzentriert sich hauptsächlich auf drei Gebiete: (1) den Küstenbereich von West-Norwegen, (2) die Region zwischen dem Oslo-Graben und dem Vänern- und Vättern-See sowie (3) die schwedische Küstenregion des Bottnischen Meerbusens. Die übrigen Teile Fennoskandiens, einschließlich des Skagerak, zeigen – mit Ausnahme der Ostsee, in der von einigen sehr wenigen Beben abgesehen, eine natürliche Bebenaktivität fehlt – einen gewissen Grad von Hintergrundaktivität. Diese kann schwerlich durch eine ungenügende instrumentelle Überwachung oder naturgemäß fehlender oder eingeschränkter makroseismischer Beobachtungsmöglichkeiten erklärt werden (WAHLSTRÖM & GRÜNTAL 1994).

Die fennoskandischen Beben werden offenbar sowohl durch plattentektonischen *ridge push* als auch durch isostatische postglaziale Ausgleichsbewegungen hervorgerufen. Nach MUIR WOOD (1993) sollten die isostatischen Bewegungen infolge der letzten Ära von Vereisung/Eisrückgang praktisch den einzigen Beitrag zur Seismizität Fennoskandiens leisten. Jedoch sind seine Schlußfolgerungen umstritten und waren Gegenstand verschiedener kritischer Einwände (z. B. WAHLSTRÖM 1993). Dagegen schlußfolgern EKMAN (1985) sowie SKORDAS & KULHÁNEK (1992) unter Verwendung unterschiedlicher Argumente, daß die Seismizität des nördlichen Fennoskandiens zwar ursächlich dominierend mit isostatischen Hebungen in Verbindung zu bringen ist, die Seismizität im südlichen Fennoskandien dagegen durch plattentektonische Kräfte generiert wird, die vorrangig vom Mittelatlantischen Rücken ausgehen. ANDERSON (1980) gab eine mögliche Erklärung für die erhöhte seismische Aktivität entlang der schwedischen Küste des Bottnischen Meerbusens. Er schlug vor, daß sich differentielle Bewegungsraten entlang der Küstenlinie im Ergebnis langzeitlicher isostatischer Prozesse aufbauen, welche die entsprechenden bebengenerierenden Mechanismen verursachen sollen.

Die Seismizität von Estland und Lettland kann wahrscheinlich hinsichtlich ihres Ursprungs mit der Finnlands verglichen werden. Litauen, Weißrußland, die westlichsten Teile von Rußland sowie die Teile Polens und der Ukraine östlich der TTZ sind nahezu frei von Erdbebenaktivität. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß der Beobachtungszeitraum in dieser östlichen Region nicht so weit in die Historie reicht wie im Südwesten des Untersuchungsgebiets. Hervorzuheben ist, daß sich die TTZ als tektonisches Element erster Ordnung nicht durch Beben-tätigkeit manifestiert. Ob die Seismizität in Skåne, Sjælland und dem nördlichen Kattegat mit der nördlichen Fortsetzung der TTZ, der Sorgenfrei-Tornquist-Zone, in Verbindung zu bringen ist, ist nicht geklärt. Nach A. A. NIKONOV (pers. Mitt. 1995) kann eine aseismische Ursa-

che einiger Beben Weißrußlands nicht ausgeschlossen werden. Die beobachteten Erschütterungswirkungen an der Oberfläche könnten nach NIKONOV, zumindest in einigen Fällen, durch bebenähnliche Phänomene infolge Einsturz von Auslaugungshohlräumen an Salzstöcken hervorgerufen sein.

Zusammenfassung

Zur Einschätzung neotektonischer Prozesse in relativ stabilen Kontinentalblöcken können Daten zum krustalen Spannungsfeld sowie zur Seismizität wichtige Beiträge liefern. Für das Untersuchungsgebiet des IGCP-Projekts "Neogeodynamica Baltica" wurden die Richtung der maximalen horizontalen Kompressionsspannung S_{Hmax} sowie die Epizentren der Erdbeben kartiert und die Beobachtungsbefunde interpretiert.

Für das Spannungsfeld standen neben dem bekannten Datensatz des World Stress Projects (ZOBACK 1992, MÜLLER u. a. 1992) insbesondere eine Neueinschätzung der Spannungsdaten für Schweden (MUIR WOOD 1993) sowie eine merkliche Vergrößerung der Anzahl der Spannungsindikatoren für das Gebiet östlich der Tornquist-Teisseyre Zone zur Verfügung. Erstmals konnte hierdurch das Spannungsregime der Osteuropäischen Tafel mit dem Westeuropas sowie der fennoskandischen Spannungsprovinz vergleichend interpretiert werden.

Anhand der zumeist jüngsten nationalen Erdbebenkataloge, die für das Untersuchungsgebiet vorliegen, konnte eine homogene Seismizitätsbasis geschaffen werden. Das beobachtete Muster des Auftretens von Beben, welche tektonische Prozesse in der Erdkruste widerspiegeln, wird im Hinblick auf seismotektonische Ursachen diskutiert.

Summary

Recent crustal stress and seismicity data can provide valuable information about neotectonic processes within relatively stable continental blocks. For the study area of the IGCP-project "Neogeodynamica Baltica" maps of both the direction of maximal horizontal compressive stress S_{Hmax} and the epicenters of earthquakes were performed and interpreted.

For the stress compilation the well known data base of the World Stress project (ZOBACK 1992, MÜLLER u. a. 1992), a reinterpretation of the Fennoscandian stress field (MUIR WOOD 1993) and a remarkable increase of stress data east of the Tornquist-Teisseyre zone could be used. At first time this data set allows a comparable interpretation of the stress regime of the East European platform together with the stress field of western Europe and Fennoscandia.

A homogeneous data set of seismicity is provided based on earthquake data compiled on last versions of national earthquake catalogues for the study area. The observed seismicity pattern is discussed with respect to current tectonic processes in the Earth's crust.

Literatur

- AHORNER, L. (1975): Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault zones in Central Europe. - *Tectonophysics* **29**, 233-249, Amsterdam
- AHJOS, T. & M. USKI (1992): Earthquake epicenters in northern Europe. - *Tectonophysics* **207**, 285-295, Amsterdam
- ANDERSON, A. J. (1980): Land uplift in the Gulf of Bothnia and causes of geotectonics of the region. In: *Earth Rheology, Isostasy and Eustasy*, (ed. by N.A. Mörner), 339-340. Wiley, Chichester
- BANKWITZ, P., GROSS, U. & E. BANKWITZ (1993): Krusten-deformation im Bereich der Finne-Kyffhäuser-Gera-Jáchymov-Zone. - *Z. geol. Wiss.* **21**, 1/2, 3-20, Berlin
- BOBORIKIN, A. M., GAREZKY, R. G., EMELYANOW, A. P., SILDVEE, H. H. & P. I. SUVEYSDIS (1993): Zemlyetryaseniya Byelarusi i Pribaltiki. Sovremennoye sostoyaniye seismitsheskich nablyudenii i ih obobshchenii. - *Akademiya Nauk Belarusi*, Minsk
- BRAUNMILLER, J. & T. DAHMS (1993): Source mechanism of the ML_s6.0 April 1992 Roermond/Netherlands earthquake from waveform inversion of German Regional Seismic Network (GRSN) data. - Paper presented at the Roermond Earthquake Workshop, Veldhoven, Jan. 1993, 20-22
- EKMANN, M. (1985): Gaussian and mean curvatures of Earth tides and postglacial land uplift, and their effects on earthquakes. - Thesis, 87 pp, Uppsala Univ.
- GREGENSEN, S. (1992): Crustal stress regime in Fennoscandia from focal mechanisms. - *J. Geophys. Res.* **97**, B8, 11821-11827, Washington D.C.
- GRÜNTAL, G. (1988): Erdbebenkatalog des Territoriums der Deutschen Demokratischen Republik und angrenzender Gebiete von 823 bis 1984. - Veröff. Zentralinst. für Physik der Erde, Nr. 99 177pp, Potsdam
- (1990): Macroseismic investigations and conclusions with regard to seismic hazard assessment of the focal region. In: *Monitoring and analysis of the earthquake swarm 1985/1986 in the region Vogtland/Western Bohemia*, - Veröff. Zentralinst. f. Physik der Erde Nr. 110, 51-83, Potsdam
- (1992): The Central German Earthquake of March 6, 1872. - *Abh. Geol. B.-A. Vol. I, Band 48*, Eds.: R. GUTDEUTSCH u. a., Wien
- (1994): The GSHAP-Regional Centre in Potsdam: Progress Report. XXIV General Assembly, European Seismological Commission, 19-24 Sept. 1994 Athens.
- GRÜNTAL, G., BANKWITZ, P., BANKWITZ, E., BEDNAREK, J., GUTERCH, B., SCHENK, V., SCHENKOVÁ, Z. & A. ZEMAN, (1985): Seismicity and Geological Features of the Eastern Part of the West European Plattform. - *Gerlands Beiträge Geophysik*, **94**, 4-6, S. 276-289, Leipzig
- GRÜNTAL, G., SCHENK, V., ZEMAN, A. & Z. SCHENKOVÁ (1990): Seismotectonic model for the earthquake swarm of 1985-1986 in the Vogtland/West Bohemia focal area. -*Tectonophysics* **174**, 369-383, Amsterdam
- GRÜNTAL, G. & D. STROMEYER (1992): The recent crustal stress field in Central Europe: Trajectories and finite element modeling. - *J. Geophys. Res.* **97**, B8, 11805-11820 Washington D.C.
- GRÜNTAL, G. & D. STROMEYER (1994): The recent crustal stress field in Central Europe sensu lato and ist quantitative modelling. - *Geologie en Mijnbouw* **73**, 173-180
- HOUTGAST, G. (1990): Aardbevingen in Nederland. - Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, KNMI 179, 166 pp, De Bilt
- JAROSINSKI, M. (1994): Pomiary kierunków współczesnych napre(ęn skorupy ziemskiej w Polsce na podstawie analizy breakouts. - *Przegląd Geologiczny* **42**, no. 12, 996-1003
- LENHARDT, W. (1994): Austrian earthquake catalogue (1201-1993). - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, unveröff. Computerfile, Wien
- LEYDECKER, G. (1986): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000-1981. - *Geologisches Jahrbuch, Reihe E*: **36**, 83pp, Hannover
- LUDWIG, A. O. & G. SCHWAB (1995): Neogeodynamica Baltica – ein internationales Kartenprojekt (IGCP-Projekt Nr. 346). Deutsche Beiträge zur Charakterisierung der vertikalen Bewegungen seit Beginn des Rupelian (Unteroligozän) bzw. seit Ende der Holstein-Zeit. - *Brandenburgische geowiss. Beitr.* **2**, 2, 47-57, Kleinmachnow
- MÜLLER, B., ZOBACK, M. L., FUCHS, K., MASTIN, L., GREGERSEN, S., PAVONI, N. STEPHANSSON, O. & C. LJUNGGREN (1992): Regional pattern of tectonic stress in Europe. - *J. Geophys. Res.* **97**, B8, 11783-11803, Washington D.C.
- MUIR WOOD, R. (1993): A review of the seismotectonics of Sweden, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, Tech. Rep., **93-13**, 225 pp, Stockholm
- NIKONOV, A. A. (1991): Felt effects for earthquakes of the 20th century in the Eastern Baltic Shield. - *Inst. of Seismology, Univ. of Helsinki. Report* 27pp, Helsinki
- NIKONOV, A. A. & H. SILDVEE (1991): Historical earthquakes in Estonia and their seismotectonic position. - *Geophysica* **27**, (1/2), 79-93
- PAGACZEWSKI, J. (1972): Catalogue of earthquakes in Poland in 1000 - 1970 years. Katalog trzesien ziemi w Polsce z lat 1000 - 1970. - *Publ. Inst. Geoph. Polish Acad. Sci.* **51**, 3-36, Waszawa
- PESKA, P. (1991): Stress directions derived from borehole breakouts in the Bohemian massif, Czechoslovakia. - *Manuscript, Geophysical Institut Czech. Acad. Sci., Praha*
- SCHENKOVÁ, Z. (1993): Earthquake Catalogue for the Czechoslovakia. - *Geophys. Inst. Czechosl. Acad. Sci., unveröff., Praha*
- SCHNEIDER, G. (1968): Erdbeben und Tektonik in Südwestdeutschland. - *Tectonophysics* **5**, 459-511, Amsterdam
- (1992): Erdbebengefährdung. - *Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt*
- SIM, L., BRYANTSEVA, G., KARABANOV, A. K., LEVKOV, E. & R. AIZBERG (1995): The neotectonic stress of Belarus and the baltic countries. - *Technika Poszukiwan Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia*, No. 3/95, 53-57, Warszawa
- SKORDAS, E. & O. KULHÁNEK (1992): Spatial and temporal variations of Fennoscandian seismicity. - *Geophys. J. Int.*, **111**, 577-588
- VERBEIREN, R., CAMELBBECK, TH. & P. ALEXANDRE (1994): Seismicity data file for Belgium. - unpubl. Computerfile, Brüssel
- VAN GILS, J. M. & G. LEYDECKER (1991): Catalogue of European earthquakes with intensities higher then 4. Commission of the

- European Communities, nuclear sciences and technology. - EUR 13406EN
- WAHLSTRÖM R. (1993): Fennoscandian seismicity and its relation to the isostatic rebound. - *Global Planet. Change*, **8**, 107-112
- WAHLSTRÖM R. & G. GRÜNTAL (1994): Seismicity and seismotectonic implications in the southern Baltic Sea area. - *Terra Nova* **6**, 149-157, Oxford
- ZOBACK, M. L. (1992): First- and second-order pattern of stress in the lithosphere: The world stress map project. - *J. Geophys. Res.* **97**, B8, 11703-11728, Washington D.C.
- ZOBACK, M. L. & K. BURKE (1993): Lithospheric stress pattern: A global view. - *EOS*, **74**, no. 52, Washington D.C.
- ZSÍROS, T., MÓNUS, P. & L. TÓTH (1988): Hungarian earthquake catalogue (456 - 1986). - *Publ. Seismol. Obs. GGRI, H.A.S.*, 182 pp, Budapest

Anschrift der Autoren:

Dr. Gottfried Grünthal, Dr. Dietrich Stromeier
GeoForschungsZentrum Potsdam
Telegrafenberg C3
D-14473 Potsdam