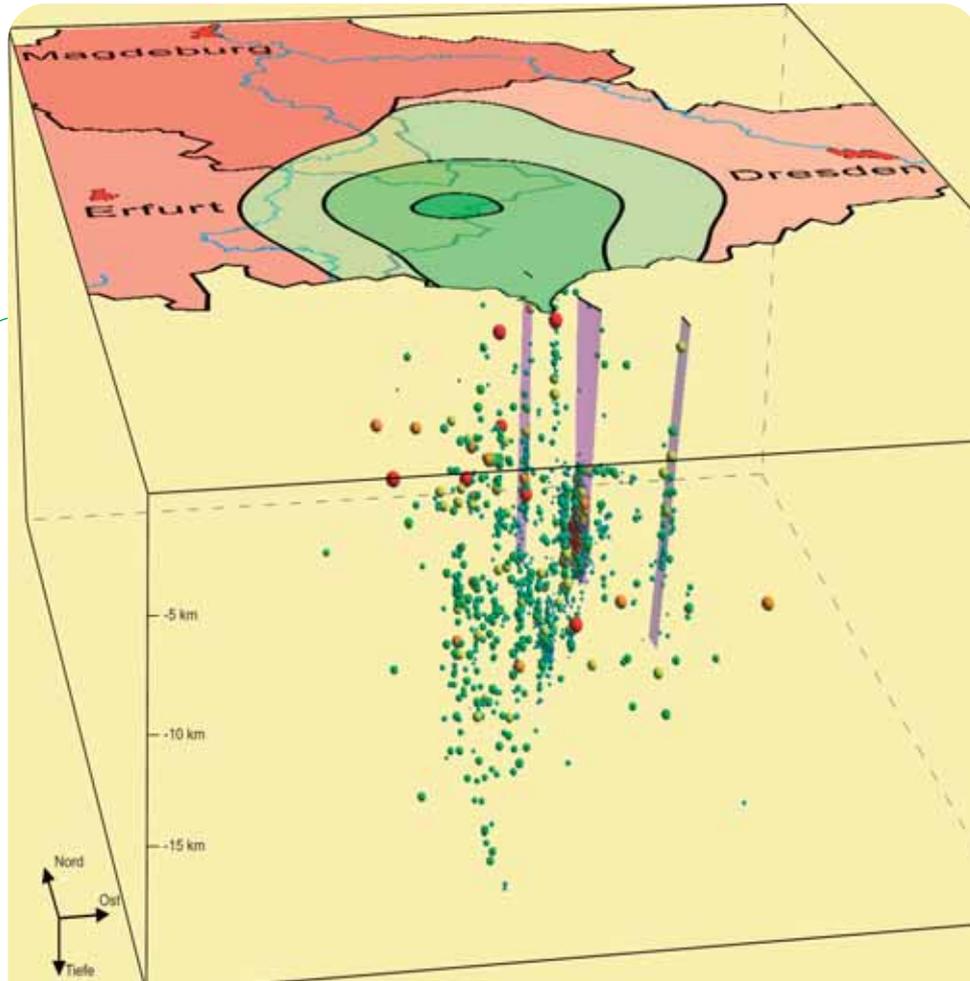




Das Lebensministerium



Geologie

Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen

Dreijahresbericht 2004 – 2006

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt und Geologie

Vorwort

Erdbeben gehören zu den Naturereignissen, deren Auftreten durch den Mensch nicht verhindert oder vorhergesagt werden können. Die schädigenden Auswirkungen können aber durch vorbeugende Maßnahmen reduziert werden.

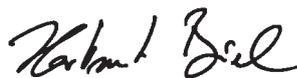
Im Freistaat Sachsen sind bisher keine verheerenden Beben bekannt geworden. Seismische Ereignisse in Westsachsen und besonders im Vogtland sind jedoch keine Seltenheit. Dies zeigte der letzte stärkere Bebenschwarm im Herbst 2000 im tschechischen Nový Kostel, nur 10 km von Bad Brambach entfernt. Dabei traten keine Schäden an Gebäuden oder Einrichtungen auf. Diese können aber in Zukunft nicht völlig ausgeschlossen werden.

In anderen Bundesländern wird die Untersuchung von Erdbeben durch einen Landeserdbebendienst vorgenommen. Im Freistaat Sachsen haben sich Universitäten, Unternehmen und Einrichtungen, die seismologische Messungen durchführen, zu einem „Seismologie-Verbund zur Erdbebenbeobachtung in Sachsen“ zusammengeschlossen, um diese Aufgabe gemeinsam wahrzunehmen. Die Koordination des Seismologie-Verbundes hat das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie übernommen. Da Erdbeben keine Ländergrenzen kennen, bestehen auch enge Kontakte zu vergleichbaren Einrichtungen in anderen Bundesländern und benachbarten Staaten.

Eine Vorhersage von Erdbeben ist trotz vielfacher Anstrengungen und weltweiter wissenschaftlicher Untersuchungen bisher nicht möglich. Jedoch können die Gebiete, die besonders gefährdet sind, genauer abgegrenzt und

entsprechende Maßnahmen vorbereitet werden, um mögliche Schäden zu minimieren. Dazu wurden die erdbebengefährdeten Gebiete mit einem Netz seismologischer und geo-dätischer Stationen versehen. Das geodätische Netz im Vogtland existiert seit 1997. Der seit 2003 durchgeführte Ausbau des seismologischen „Sachsennetzes“ mit modernen digitalen Registriergeräten und direkten Datenübertragungssystemen ist abgeschlossen. Diese Netze werden permanent den jeweiligen Anforderungen angepasst. Der nächste Schritt besteht in einer vollautomatischen Auswertung seismischer Ereignisse, die eine gewisse Magnitude überschreiten. Diese Ereignisse werden zeitnah an die zuständigen Stellen gemeldet. Das System soll 2009 abgeschlossen sein.

Die vorliegende Veröffentlichung informiert über die seismischen Ereignisse in Sachsen und den angrenzenden Gebieten sowie dem Ausbau des „Sachsen-Netzes“ im Berichtszeitraum. Weitere Schwerpunkte sind Arbeiten zum Herdmechanismus von Erdbeben sowie ingenieur-seismologische und geodätische Untersuchungen.



Hartmut Biele
Präsident des Sächsischen Landesamtes
für Umwelt und Geologie

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3	
1	Einführende Betrachtungen	5
1.1	Der Seismologie-Verbund in Sachsen	5
1.2	Geschichte der seismologischen Forschung	6
2	Seismische Aktivität in Sachsen und angrenzenden Gebieten	8
2.1	Zeitraum 2004 – 2006 (Ereignisse mit Magnituden ~ 1 und größer)	8
2.2	Historische Erdbeben	15
3	Das Sachsennetz (SXNET)	16
3.1	Online-Stationsnetz (permanentes Netz)	16
3.2	Offline-Stationsnetz (mobiles Netz)	19
4	Das geodätische Netz im Vogtland	21
5	Durchgeführte Forschungsarbeiten 2004 – 2006	24
5.1	Tektonische Erdbeben	24
5.2	Herdflächenlösungen	29
5.3	Ingenieurseismologische Arbeiten	32
5.4	Seismotektonik	34
6	Die neue DIN 4149 (2005) – Bauten in deutschen Erdbebengebieten	35
7	Jubiläen der sächsischen Observatorien 2007	37
7.1	50-jähriges Jubiläum des Observatoriums Berggießhübel	37
7.2	75-jähriges Jubiläum des Observatoriums Collm	39
Abbildungsverzeichnis		41
Literatur-, Tabellen- und Anlagenverzeichnis		43
Begriffserklärungen		45
Anlagen		47

1 Einführende Betrachtungen

1.1 Der Seismologie-Verbund in Sachsen

Auf dem Gebiet des Freistaates Sachsen sind bisher keine verheerenden Erdbeben aufgetreten. Die in Westsachsen und besonders im Vogtland historisch wahrgenommenen Erdbeben erreichten jedoch eine Epizentralintensität von VIII (Anl. 1) (entspricht einer Magnitude von ca. 5.5 auf der Richter-Skala) und stellen damit eine seismische Gefährdung des Territoriums dar. Besondere Aufmerksamkeit gilt den, teils periodisch wiederkehrenden Bebenschwärmen im Vogtland und NW-Böhmen, die in größeren zeitlichen Abständen von mehreren Jahren bis Jahrzehnten mit unterschiedlichen Intensitäten auftreten und deren stärkste Ereignisse eine instrumentell gemessene Magnitude von 4.7 erreichten. Historisch sicher belegt sind die Schwarmbeben in der Region seit 1552. In den Jahren 1901, 1903, 1908, 1929, 1936, 1962, 1985/86 und 2000 gab es größere Erdbebenschwärme. Diese Beben werden, wenn sie eine bestimmte Stärke erreichen, auch von der Bevölkerung wahrgenommen und es kann zu Schäden an Gebäuden und Einrichtungen kommen.

Um eine Kontrolle über seismische Aktivitäten zu erhalten, ist eine kontinuierliche, nach Möglichkeit flächendeckende Überwachung notwendig. Das ist umso zwingender, da das seismische Risiko mit der Bebauung, insbesondere auch von seismisch besonders gefährdeten Bauwerken wie Talsperren, Kraftwerken, Deponien und Leitungstrassen wächst.

Die seismische Überwachung der deutschen Bundesländer liegt in Länderhoheit. In Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz wurden Landeserdbebendienste eingerichtet. In Sachsen wird die staatliche Erdbebenüberwachung seit 1996 durch den „Seismologie-Verbund zur Erdbebenbeobachtung“ gewährleistet. Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) übernimmt dabei die Koordination innerhalb des Seismologie-Verbundes und ist offizieller Ansprechpartner für staatliche und öffentliche Stellen.

Derzeit arbeiten folgende Institutionen und Einrichtungen im Rahmen des Seismologie-Verbundes zusammen:

- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
- Universität Leipzig mit dem Geophysikalischen Observatorium Collm
- TU Bergakademie Freiberg mit dem Seismologischen Observatorium Berggießhübel
- Universität Jena mit dem Seismologischen Observatorium Moxa und dem Ostthüringer Seismischen Netz (OTSN)
- TU Dresden
- Wismut GmbH
- Landestalsperrenverwaltung Sachsen

Der Seismologie-Verbund Sachsen arbeitet grenzüberschreitend sowohl mit dem Landesamt für Geologie und Bergwesen in Sachsen-Anhalt und der Thüringischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie als auch mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zusammen. Das seismologische Datenzentrum der BGR ist die zentrale Sammelstelle und das Datenarchiv der verschiedensten seismologischen Einrichtungen in Deutschland. Die BGR betreibt auch das Deutsche Regionalnetz seismologischer Breitbandstationen (GRSN). Ebenso erfolgt ein intensiver Daten- und Erfahrungsaustausch mit anderen seismologischen Einrichtungen in Bayern, der Tschechischen Republik und der Volksrepublik Polen.

Für die Arbeit des Seismologie-Verbundes ergeben sich folgende Hauptaufgaben:

- Aufbau und Betrieb eines seismischen Stationsnetzes
- schnelle Bestimmung von Epizentren, Magnituden und weiteren Herdparametern bei stärkeren Ereignissen
- aktuelle Informationen an staatliche Stellen, Medien und die Bevölkerung (LfUG)
- Monitoring seismisch aktiver Gebiete zur Verbesserung der Datenbasis für Risikoanalysen sowie zur Erstellung von Seismizitätskarten
- Aussagen zu standortspezifischen seismischen Risiken (Baustandortbeurteilung),
- Nachweis von tektonisch aktiven Gebieten und Krusten-deformationen.

1.2 Geschichte der seismologischen Forschung

Erdbeben und die damit verbundenen Katastrophen haben die Menschheit und insbesondere die Naturwissenschaftler schon immer nachhaltig beschäftigt. Es wurden auch zahlreiche Versuche unternommen, Erdbeben vorherzusagen. Die Vorgänge im Erdinneren sind jedoch zu komplex für exakte Prognosen. Die wissenschaftliche Disziplin, die sich mit Erdbeben beschäftigt - die Seismologie - ist noch eine verhältnismäßig junge Wissenschaft. Berichte über Erdbeben dagegen sind schon seit dem Altertum bekannt.

Die **Seismologie** (griech. seismos = Erderschütterung) ist als Teilgebiet der Geophysik der Wissenschaftszweig, der sich mit der Natur von Erdbeben, der Ausbreitung seismischer Wellen und der Bestimmung der Struktur des Erdinneren beschäftigt. Mit Hilfe von Seismographen werden die seismischen Wellen, welche die Erde durchlaufen oder sich entlang der Oberfläche ausbreiten, aufgezeichnet (Seismogramm). Aus den Laufzeiten dieser Wellen lassen sich Rückschlüsse auf den inneren Aufbau der Erde ziehen. Zum anderen werden aus Untersuchungen des Erdbebenvorgangs Stärke, Ort und Häufigkeit von Beben ermittelt. Das Ziel ist eine realistische Einschätzung der Erdbebengefährdung für ein bestimmtes Gebiet, um eine Minderung des Risikos für Menschen, Gebäude und technische Anlagen zu erreichen.

Erdbeben galten noch im 18. Jahrhundert als göttliche Strafgerichte. Erst das Erdbeben von Lissabon 1755 veranlasste die Naturforscher, nach einer physikalischen Erklärung zu suchen. Die ersten Geräte zur Registrierung von Erdbeben waren Seismoskope und wurden bereits im Altertum in China verwendet. In Europa wurden Seismoskope erst Anfang des 18. Jahrhunderts in Italien eingesetzt. Der erste Seismograph wurde 1875 von FILIPPO CECCHI (1822 – 1887) in Italien konstruiert. Er war jedoch so unempfindlich, dass er erst zwölf Jahre später das erste Seismogramm lieferte.

Ein Meilenstein in der Erdbebenforschung war 1892 die Entwicklung eines Seismographen, den der Brite JOHN MILNE (1850 – 1913) zusammen mit JAMES EWING (1855 – 1935) und Thomas Gray (1850 – 1908) entwickelte. Er nutzte die Trägheit eines hängenden Pendels, um nicht nur die Präsenz eines Bebens, sondern zugleich auch noch den zeitlichen Verlauf der Bodenerschütterungen zu erfassen.

Die starken Eigenschwingungen des Pendels machten jedoch die Aufzeichnungen unbrauchbar. Erst EMIL WIECHERT (1861 – 1928) löste das Problem 1896 durch den Bau eines gedämpften Seismographen. Die Empfindlichkeit der Seismographen wurde im Jahre 1914 durch die Einführung eines elektromagnetischen Wändlers durch Fürst BORIS GALITZIN (1862 – 1916) entscheidend verbessert, so dass elektrodynamische Seismographen bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts die vorherrschenden Registriergeräte blieben. Erst mit der Einführung elektronischer Seismographen mit digitaler Registrierung (Breitbandseismometer, seit ca. 1960) begann ein neuer Abschnitt in der Entwicklung der Seismologie, der die Registrierung von Erdbeben in einem breiten Frequenz- und Dynamikbereich ermöglichte.

Die ersten Überlieferungen über Erdbebenbeobachtungen in Sachsen wurden bereits 1839 von FERDINAND REICH (1799 - 1882) zusammengetragen. Die weitere Entwicklung der Seismologie in Sachsen wurde im Wesentlichen von dem Leipziger Paläontologen und Geologen HERMANN CREDNER (1841 – 1913), dem Direktor der Königlich Sächsischen Geologischen Landesanstalt, betrieben. Spürbare Erdbeben um 1875 veranlassten ihn, genaue Informationen über solche Ereignisse zu sammeln und auszuwerten. Bis 1897 wurden 38 Beben bemerkt, von denen allein 22 im Vogtland Aufsehen erregten. 1898 gründete CREDNER eine Erdbebenkommission für Sachsen, der 55 Personen aus dem ganzen Land angehörten, die als „Erdbebenreferenten“ eigene und über Fragebogen eingezogene Beobachtungen zu Erschütterungen sammelten. Eisenbahnstationen wurden von ihrer Direktion angewiesen, von eventuellen Erderschütterungen sofort telegraphisch zeitgenaue Meldung zu machen. Da die alleinige phänomenologische Beobachtung nicht ausreichte und die technische Entwicklung der Seismographen beachtliche Fortschritte gemacht hatte, richtete CREDNER im Jahre 1902 im Keller des Hauses Talstraße 35 in Leipzig eine Erdbebenwarte ein. Das installierte Pendelseismometer (Masse 1,1 Tonnen) war von EMIL WIECHERT entwickelt worden. Eine 250fache Vergrößerung der Bodenbewegung machte Signale nicht nur von Beben aus dem sächsisch-vogtländischen Raum sichtbar, sondern in überraschend guter Qualität auch aus fernen Gebieten der Erde. Schon kurz nach Inbetriebnahme der Station konnte am 28. März 1902 ein Fernbeben aus dem Raum der Molukken registriert werden, wenige Wochen später ein Nahbeben, das Greizer Beben vom 1. Mai 1902.

Aufgrund der zunehmenden Industrialisierung und der damit verbundenen Verschlechterung der Registrierbedingungen mussten die Stationen später an ruhigere Orte verlegt werden. So begann 1932 am Geophysikalischen Observatorium Collm, 1964 am Observatorium Moxa und 1966 am Observatorium Berggießhübel eine den internationalen Anforderungen gerecht werdende kontinuierliche seismische Registrierung.

Zusätzlich wurde 1962 anlässlich des großen Bebenschwarmes vom Institut für Geodynamik Jena ein lokales Stationsnetz im Vogtland eingerichtet. So wurde die Nachweisempfindlichkeit und Ortungsgenauigkeit für Erdbeben im sächsischen Raum ständig verbessert. Als Ergebnis des starken Bebenschwarmes von 1985/1986 begann die Umrüstung der bis dahin bestehenden seismischen Analogstationen auf eine digitale Basis. Im Jahre 1995 wurde im Rahmen des Seismologie-Verbundes, der durch das LfUG koordiniert wird, mit dem Aufbau eines lokalen Stationsnetzes, dem „Sachsennetz“ (SXNET), begonnen. Das Netz besteht aus Offline- und Online-Stationen, die von den Geophysikinstitutionen der Universität Leipzig und der TU Bergakademie Freiberg betrieben werden.

2 Seismische Aktivität in Sachsen und angrenzenden Gebieten

2.1 Zeitraum 2004 – 2006 (Ereignisse mit Magnituden ~1 und größer)

Die seit 2004 erfasste seismische Aktivität in Sachsen und angrenzenden Gebieten kann im Vergleich zum vorangegangenen Zeitraum als moderat eingeschätzt werden. Es wurden über 1000 seismische Ereignisse detektiert, von denen nahezu 2/3 lokalisiert und davon 607 als Erdbeben und 31 als Bergschläge identifiziert werden konnten. In Tab. 1 sind alle Ereignisse mit einer Magnitude ≥ 1 aufgeführt. Die räumliche Verteilung der Epizentren ist in Abb. 3a, b wiedergegeben. Die zeitliche Verteilung der Ereignisse in Abhängigkeit von der bestimmten Magnitude, die auf der Grundlage vorliegender Eichkurven als gemittelte Lokalmagnitude berechnet wurde, und die daraus berechnete seismische Energiefreisetzung sind den Abb. 1 bzw. 2 zu entnehmen. Alle Erdbeben ereigneten sich in den seismotektonisch aktiven Zonen in Westsachsen und in der Region Vogtland. Das schwächste Erdbeben wurde mit einer Magnitude von -0.8 bei Schöneck in unmittelbarer Nähe der lokalen Stationen lokalisiert, wohingegen das stärkste Erdbeben aus dem Raum Werdau am 04.08.2006 2:31 UTC mit der Magnitude von 2.3 registriert werden konnte.

Das zeitliche Auftreten der in Tab. 1 aufgeführten Erdbeben entsprechend ihrer Stärke ist in Abb. 1 dargestellt. Ein Maß für die seismische Aktivität des gesamten Gebietes ist die Kurve der seismischen Energiefreisetzung, die zwei Ruhephasen von Dezember 2004 bis Oktober 2005 und von Oktober bis Ende 2006 sowie eine Phase erhöhter Aktivität im August 2006 erkennen lässt.

Aus der Kurve der aufsummierten Häufigkeiten der für Erdbeben bestimmten Magnituden wird der b-Wert berechnet. Dieser Parameter spiegelt das Verhältnis der Anzahl von Ereignissen mit hohen Magnituden zur Anzahl mit niedrigen Magnituden wieder und kennzeichnet den Charakter der Seismizität. Für Erdbeben, d. h. für seismische Ereignisse

tektonischen Ursprungs, ist ein b-Wert um 1,0 typisch, wohingegen für induzierte Ereignisse sich in der Regel höhere b-Werte ergeben. Der im Berichtszeitraum für natürliche Seismizität ermittelte Wert lag bei $b = 1,01$ und bestätigt den tektonischen Ursprung der Ereignisse. Künstliche Seismizität, das sind neben Sprengungen vor allem induzierte seismische Ereignisse, wurden in Sachsen im Bereich der Grube Aue/Alberoda, Teutschenthal bzw. einem Gebiet des Lausitzer Tagebaus Lohsa registriert. Die stärksten Ereignisse dieser als Bergschläge identifizierten seismischen Ereignisse überschritten jedoch nicht Magnitude 1.2.

Außerhalb Sachsens wurden im Zeitraum von 2004 bis 2006 im Entfernungsbereich bis ca. 500 km insgesamt 13 seismische Ereignisse mit Magnituden größer 4 registriert. Davon überschritten 4 Ereignisse die Magnitude 5. Die Lokalisierungen sowie die berechneten Magnituden der zuständigen Datenzentren sind in Tab. 2 aufgeführt. Die erfassten seismischen Ereignisse verteilen sich auf 11 Erdbeben und 2 Bergschläge, die sich in seismisch aktiven Herdregionen bzw. Bergbaugebieten ereigneten. Das stärkste Erdbeben aus dem Herdgebiet Oberitalien erreichte Magnitude 5.3, wohingegen die stärksten Bergschläge aus dem in Westpolen gelegenen Kupferschieferbergbauggebiet Lubin Magnitude 4.1 nicht überschritten. Aufgrund der großen Entfernung bzw. geringen Stärke dieser Ereignisse wurden keine makroseismischen Auswirkungen bzw. Wahrnehmungen auf das Gebiet Sachsens bekannt.

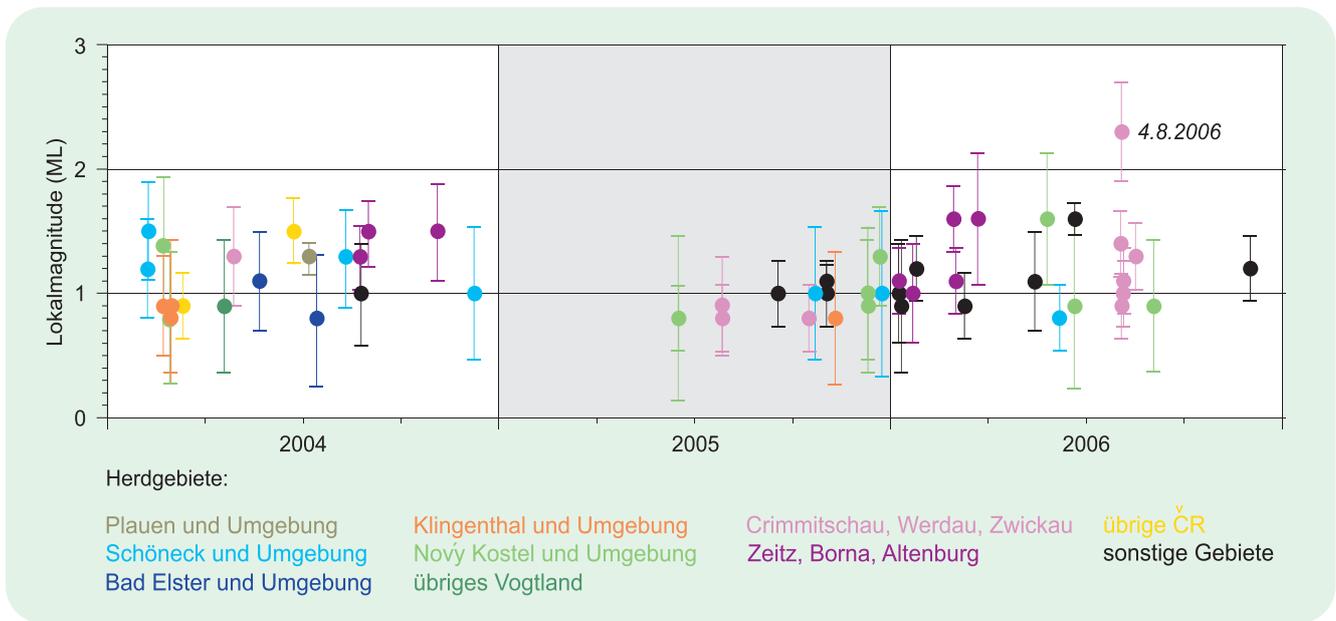


Abb. 1: Zeitliche Verteilung tektonischer Beben 2004 – 2006 (mit Lokalmagnitudo $ML \geq 1$)
 † Mittelwert der Lokalmagnitudo mit Standardfehler

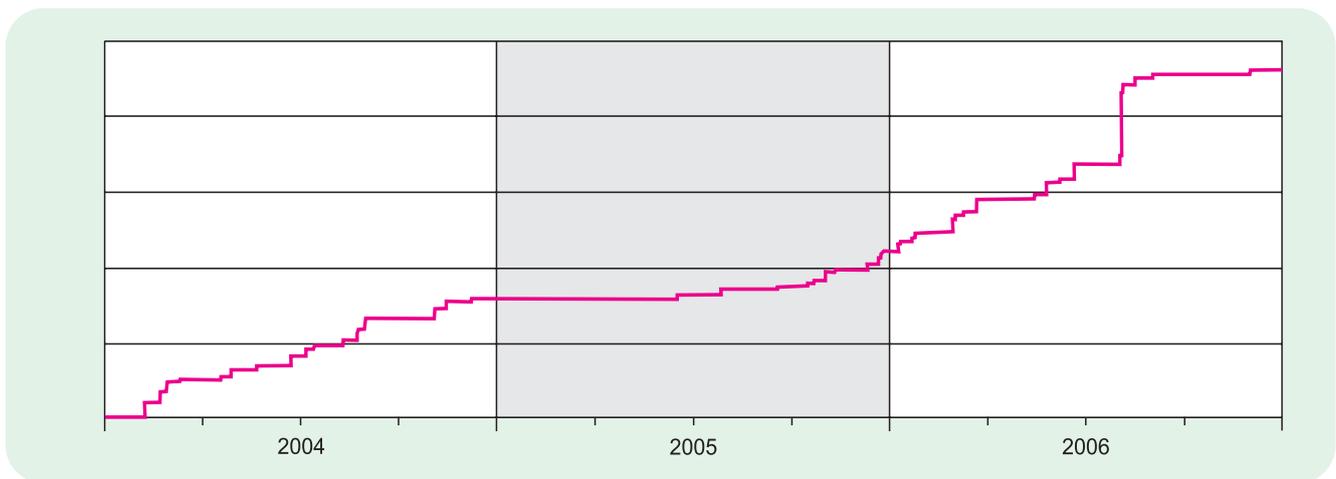


Abb. 2: Aufsummierte Energiefreisetzung in den Herden tektonischer Beben 2004 – 2006

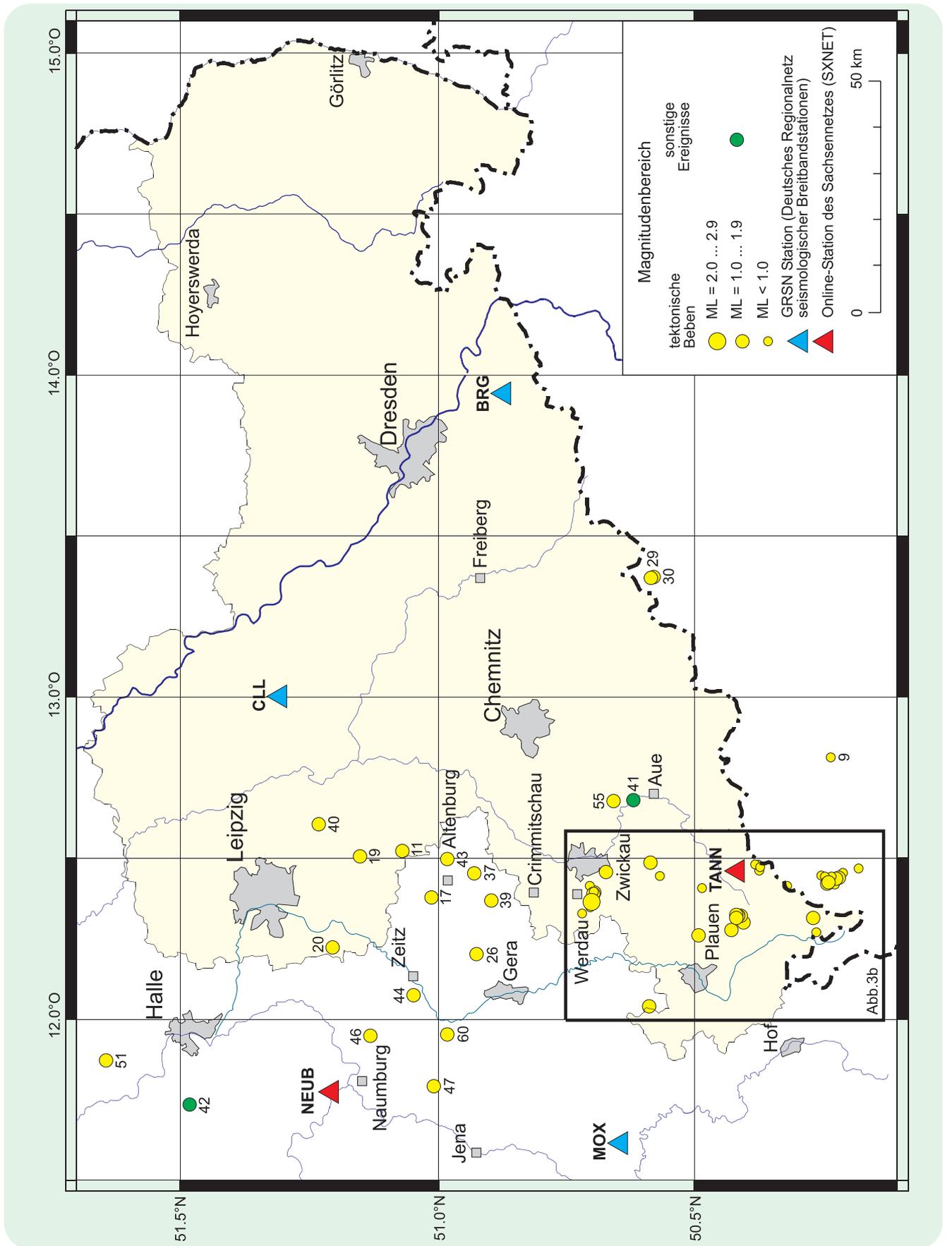


Abb. 3a: Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2004 – 2006 (mit Lokalmagnitude $ML \geq 1$)

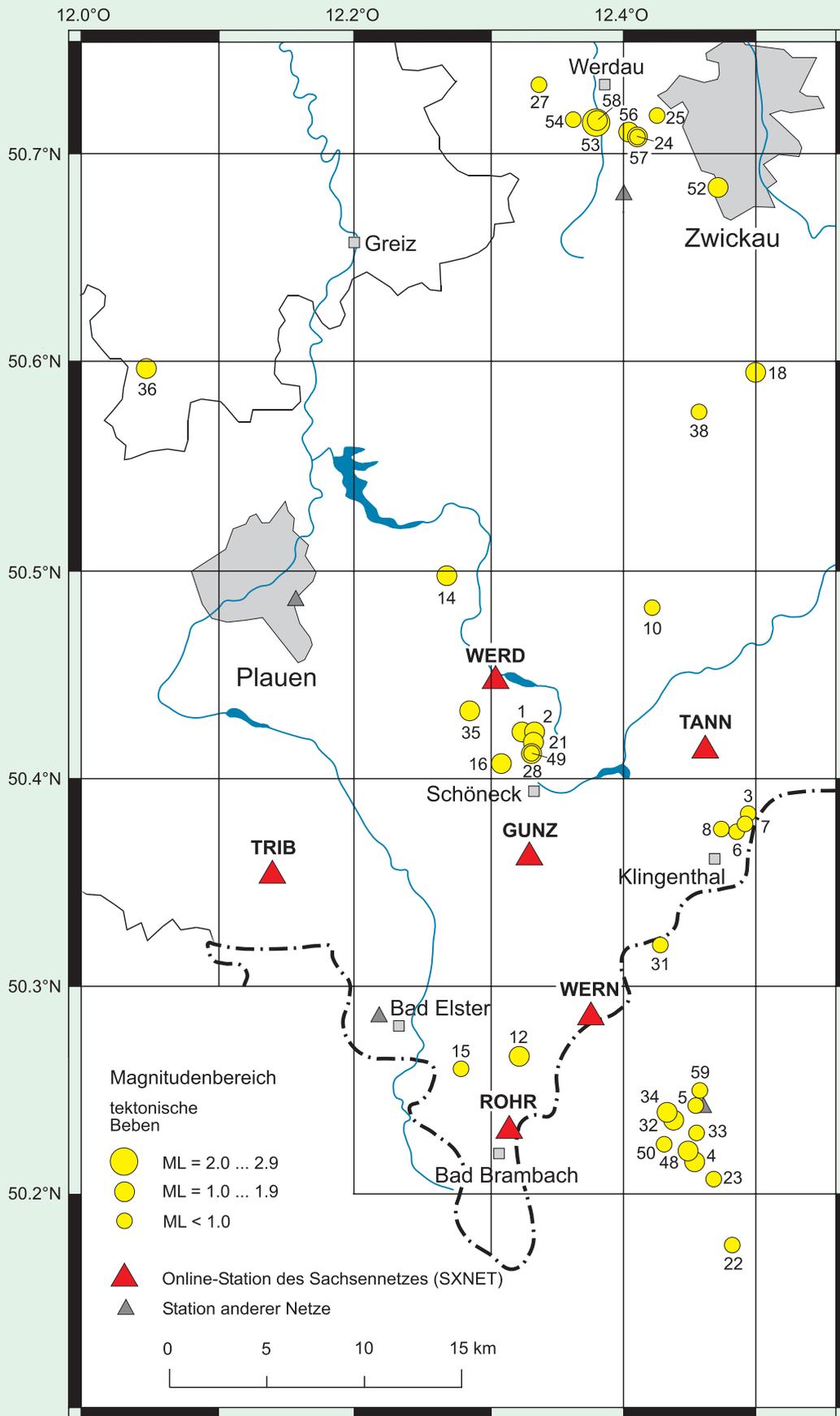


Abb. 3b: Seismische Ereignisse in Westsachsen und der Region Vogtland 2004 – 2006 (Ausschnitt aus Abb. 3a)

Tab. 1: Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2004 - 2006 (mit Lokalmagnitude $ML \geq 1$)

Ereignis-Nr. in Abb. 3	Datum	Herdzeit (UTC) h:min:s	Koordinaten °N/°O	Herd-tiefe in km	Lokalmagnitude (Anzahl der Stationen)	Herdgebiet
1*	07.02.04	01:07:34.4	50.42/12.31	4	1.2 (7)	nordwestlich von Schöneck
2*	07.02.04	22:50:50.1	50.42/12.32	4	1.5 (7)	nördlich von Schöneck
3	22.02.04	04:41:26.6	50.38/12.48	5	0.9 (8)	Klingenthal
4*	22.02.04	09:31:16.5	50.22/12.44	11	1.4 (7)	Nový Kostel
5	28.02.04	02:30:57.4	50.24/12.44	4	0.8 (8)	nördlich von Nový Kostel
6	28.02.04	16:48:55.1	50.37/12.47	7	0.8 (8)	Klingenthal
7	28.02.04	22:28:43.3	50.38/12.48	6	0.9 (8)	Klingenthal
8	29.02.04	07:08:50.5	50.37/12.46	5	0.8 (8)	Klingenthal
9	12.03.04	01:36:24.7	50.23/12.81	12	0.9 (5)	Karlovy Vary/ČR
10	19.04.04	21:00:33.2	50.48/12.41	7	0.9 (7)	östlich von Falkenstein
11	28.04.04	15:53:44.9	51.07/12.52	8	1.3 (7)	Regis Breitingen
12	22.05.04	12:35:21.2	50.27/12.31	8	1.1 (6)	südwestlich von Wernitzgrün
13*	23.06.04	04:54:13.5	50.03/12.30	5	1.5 (4)	Cheb/ČR
14	07.07.04	18:57:20.0	50.49/12.26	15	1.3 (6)	westlich von Falkenstein
15	15.07.04	01:24:44.1	50.26/12.27	10	0.8 (5)	südöstlich von Bad Elster
16*	11.08.04	00:18:54.3	50.40/12.30	12	1.3 (12)	westlich von Schöneck
17	24.08.04	00:16:37.6	51.01/12.38	6	1.3 (10)	nordwestlich von Altenburg
18	25.08.04	04:17:11.8	50.59/12.49	12	1.0 (10)	nordöstlich von Rodewisch
19	01.09.04	07:35:07.7	51.15/12.51	12	1.5 (11)	nördlich von Borna
20	04.11.04	08:11:12.2	51.21/12.22	12	1.5 (9)	nördlich von Zeitz
21	08.12.04	17:15:37.7	50.41/12.32	7	1.0 (9)	nördlich von Schöneck
22	16.06.05	18:12:15.2	50.18/12.47	7	0.8 (5)	südöstlich von Nový Kostel
23	17.06.05	07:09:39.5	50.21/12.45	9	0.8 (5)	Nový Kostel
24	28.07.05	01:40:19.5	50.70/12.40	13	0.9 (10)	südlich von Werdau
25	28.07.05	01:43:46.8	50.71/12.41	12	0.8 (11)	südöstlich von Werdau
26	18.09.05	02:05:36.3	50.93/12.20	13	1.0 (12)	nördlich von Ronneburg
27	16.10.05	14:54:41.8	50.72/12.33	14	0.8 (9)	westlich von Werdau
28	22.10.05	16:18:30.4	50.41/12.32	0	1.0 (10)	nordwestlich von Schöneck
29	02.11.05	02:47:47.3	50.59/13.37	0	1.1 (6)	südöstlich von Marienberg/Erzg.
30	02.11.05	02:52:58.9	50.58/13.37	0	1.0 (7)	südöstlich von Marienberg/Erzg.
31	10.11.05	10:09:36.7	50.32/12.41	8	0.8 (8)	südöstlich von Zwota
32*	10.12.05	15:03:57.7	50.24/12.43	7	1.0 (11)	nördlich von Nový Kostel
33*	10.12.05	15:04:27.5	50.23/12.44	6	0.9 (11)	nordwestlich von Nový Kostel
34*	21.12.05	15:59:39.1	50.24/12.42	8	1.3 (11)	nordwestlich von Nový Kostel
35*	23.12.05	19:36:47.5	50.43/12.28	4	1.0 (11)	nordwestlich von Schöneck
36	08.01.06	07:53:25.4	50.59/12.04	12	1.0 (10)	südöstlich von Zeulenroda
37	08.01.06	09:08:25.2	50.93/12.45	19	1.1 (9)	südlich von Altenburg
38	11.01.06	02:24:01.6	50.57/12.44	12	0.9 (10)	nordöstlich von Rodewisch
39	21.01.06	17:27:37.0	50.90/12.37	14	1.0 (10)	Schmölln
40	24.01.06	19:19:16.0	51.23/12.60	16	1.2 (9)	westlich von Grimma
41	30.01.06	04:25:45.9	50.62/12.68	1	1.0 (12)	nördlich von Aue (induziert)
42	11.02.06	02:51:53.9	51.48/11.73	1	1.2 (9)	Teutschenthal (induziert)

Ereignis-Nr. in Abb. 3	Datum	Herdzeit (UTC) h:min:s	Koordinaten °N/°O	Herd-tiefe in km	Lokalmagnitude (Anzahl der Stationen)	Herdgebiet
43	28.02.06	16:32:29.7	50.98/12.50	16	1.6 (12)	östlich von Altenburg
44	02.03.06	19:01:22.1	51.05/12.07	19	1.1 (10)	westlich von Zeitz
	10.03.06	16:11:07.9	50.00/12.24	12	0.9 (7)	südöstlich von Selb
46	22.03.06	20:45:30.7	51.13/11.95	20	1.6 (13)	östlich von Naumburg
47	15.05.06	05:01:56.1	51.01/11.79	10	1.1 (10)	nordwestlich von Eisenberg
48*	26.05.06	17:57:10.3	50.22/12.44	8	1.6 (10)	Nový Kostel
49	07.06.06	16:58:34.5	50.41/12.32	4	0.8 (6)	nordwestlich von Schöneck
50	21.06.06	00:06:23.2	50.22/12.42	9	0.9 (8)	nordwestlich von Nový Kostel
51	21.06.06	12:48:28.7	51.64/11.87	22	1.6 (10)	nördlich von Halle/Saale?
52*	03.08.06	05:07:44.0	50.67/12.46	9	1.4 (11)	südwestlich von Zwickau
53*	04.08.06	02:21:25.1	50.70/12.36	7	2.3 (12)	südwestlich von Werdau
54	04.08.06	02:52:11.1	50.71/12.35	6	0.9 (12)	südwestlich von Werdau
55	05.08.06	19:17:55.8	50.66/12.68	14	1.0 (12)	nördlich von Aue
56	06.08.06	07:03:16.6	50.70/12.39	13	1.0 (11)	südlich von Werdau
57	06.08.06	07:12:34.3	50.70/12.39	15	1.1 (12)	südlich von Werdau
58	17.08.06	01:40:47.4	50.70/12.36	5	1.3 (12)	südwestlich von Werdau
59	02.09.06	22:28:29.9	50.25/12.45	8	0.9 (7)	nördlich von Nový Kostel
60	02.12.06	02:54:20.7	50.98/11.95	17	1.2 (9)	östlich von Eisenberg

*) auch in Tabelle 5 enthalten

Tab. 2: Seismische Ereignisse 2004 - 2006 (mit Lokalmagnitude ≥ 4) außerhalb Sachsens im Entfernungsbereich bis ca. 500 km

Datum	Herdzeit (UTC) h:min:s	Koordinaten °N/°O	Lokalmagni-tude (SZGRF)	Herdgebiet
23.02.04	17:31:18.4	47.3/6.2	5.3	Besançon, Frankreich
16.05.04	09:53:31.6	51.51/16.07	4.1	Bergbaurevier Lubin, Polen
22.05.04	05:19:03.3	50.4/7.4	4.0	Koblenz, Rheinland-Pfalz
21.06.04	23:10:01.9	47.6/7.7	4.0	Säckingen, Grenzgebiet Deutschland/Schweiz
28.06.04	23:42:30.1	47.6/8.2	4.2	Laufenburg, Schweiz
21.09.04	13:32:30.6	54.79/20.03	5.0	Kaliningrad, Grenzgebiet Russland/Polen
20.10.04	06:59:16.0	53.0/9.5	4.5	Rotenburg, Niedersachsen
24.11.04	22:59:39.5	45.62/10.62	5.3	Zentralalpen/Norditalien
05.12.04	01:52:38.8	48.1/8.0	5.1	Waldkirch, Baden-Württemberg
12.05.05	01:38:04.3	47.2/7.7	4.2	Delémont, Schweiz
08.09.05	11:27:18.6	46.11/6.96	5.1	Westalpen, Schweiz
12.11.05	19:31:14.2	47.5/8.1	4.3	Laufenburg, Grenzgebiet Deutschland/Schweiz
21.05.06	10:58:03.1	51.50/16.09	4.1	Bergbaurevier Lubin, Polen

Lokalmagnitude (SZGRF) ist ein Mittelwert aus Messwerten deutscher Stationen, die größtenteils zum GRSN gehören

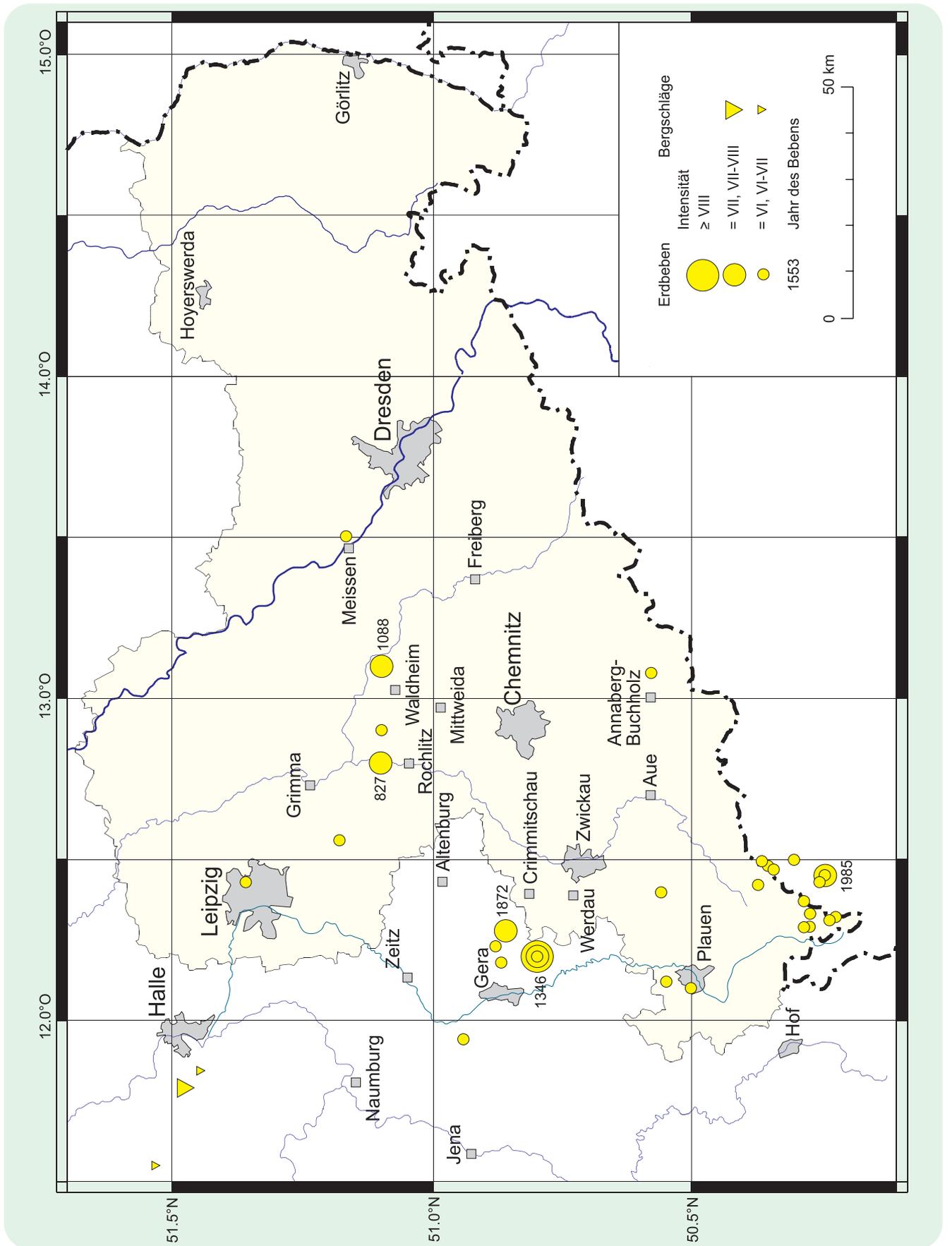


Abb. 4: Historische Erdbeben mit Intensität \geq VI, dargestellt für den Zeitraum 800 bis heute

2.2 Historische Erdbeben

Die in Sachsen aufgetretenen und bis in das Jahr 800 zurückverfolgbaren Erdbebenherde, die aus makroseismischen Wahrnehmungen abgeleitet wurden, sind in mehreren Katalogen erfasst worden (LERSCH 1897; SIEBERG 1940; SPONHEUER 1952; GRÜNTAL 1988) und geben ein Abbild der historisch beobachteten Seismizität. Eine Verteilung der Schadenbeben, die dem Erdbebenkatalog der BGR Hannover (LEYDECKER 2005) entnommen wurde, zeigt Abb. 4.

Obwohl die verfügbaren Datenquellen akribisch recherchiert wurden, ist davon auszugehen, dass die Zuverlässigkeit der makroseismischen Beobachtungen sowie die Genauigkeit der daraus abgeleiteten Herddaten immer mehr abnehmen, je weiter das Erdbeben zeitlich zurückliegt.

Die Unsicherheit weit zurückliegender Erdbebenbeobachtungen wird sichtbar beim Vergleich der historischen Erdbebenherde mit den durch das moderne seismische Stationsnetz ermittelten Herdlagen von Mikrobeben. Die Hypozentren der durch das Sachsenetz im Berichtszeitraum mit hoher Genauigkeit lokalisierten Erdbeben (siehe Abb. 3a, b) zeigen eine Anordnung entlang tektonisch aktiver Störungszonen, wohingegen die aus Beobachtungen abgeleiteten Herdorte der historischen Schadenbeben eine starke Streuung aufweisen. Teilweise fallen die makroseismisch bestimmten Epizentren historischer Erdbeben auch in Regionen, für die seit Aufnahme der mikroseismischen Registrierung noch keine seismische Aktivität nachgewiesen werden konnte, so dass die Herdzuordnung historischer Schadenbeben für diese Gebiete sehr fragwürdig erscheint. Dies betrifft insbesondere die Elbtalzone, die zwar eine tektonisch vorgeprägte Störungzone darstellt und damit als potenzielles Gebiet im Hinblick auf eine seismische Aktivität anzusehen ist, in der jedoch bisher trotz intensiven seismischen Monitorings keine Mikrobeben detektiert werden konnten.

Historische Erdbebenkataloge sind aber von großer Bedeutung bei der Beurteilung der Erdbebengefährdung eines Landes, für dessen gesamtes Territorium über große Zeiträume vorliegende Beobachtungen wertvolle Daten zur Abschätzung der seismischen Gefährdung liefern. Aus den statistisch bestimmten Wiederkehrperioden starker Erdbeben sowie den an einzelnen Standorten beobachteten Intensitäten werden wichtige Parameter, wie z. B. die

maximal zu erwartende Bodenbeschleunigung, abgeschätzt. Diese bilden die Grundlage zur Bestimmung von Grenzwerten für zulässige Belastungen von Bauwerken, die in der Norm DIN 4149 (2005) berücksichtigt werden.

3 Sachsennetz (SXNET)

3.1 Online-Stationsnetz (permanentes Netz)

Mit dem Aufbau des sächsischen permanenten Online-Netzes zur Überwachung der für den Freistaat Sachsen relevanten seismischen Aktivität wurde im Jahr 2000 begonnen. Zuvor war die seismische Überwachung durch die Observatorien Collm (CLL, Universität Leipzig), Berggießhübel (BRG, TU BA Freiberg) und Moxa (MOX, Universität Jena), durch ein Offline Netz (mobiles Netz) sowie Stationen des Deutschen Seismologischen Regionalnetzes GRSN wahrgenommen worden.

Die Stationen des Online-Netzes sind auf die seismisch aktiven Gebiete im Vogtland und die nördlich davon gelegenen Abschnitte der Leipzig-Regensburg Störungszone konzentriert (Abb. 5, Tab. 3). Eine Station (NEUB) wird in Sachsen-Anhalt in Zusammenarbeit mit dem dortigen Landesamt für Bergwesen und Geologie betrieben. Eine weitere Station (FBE) wurde durch die TU BA in Freiberg eingerichtet. Zur Zeit besteht das Netz aus 9 Stationen. Eine Erweiterung um 3 Stationen ist für das Jahr 2007 geplant.

Maßgeblich für die Konzeption des Online-Netzes waren folgende Anforderungen:

1. Bei stärkeren natürlich oder künstlich erzeugten Erschütterungen, die von der Bevölkerung wahrgenommen werden, muss eine sofortige Auswertung der Messdaten möglich sein. Sie kann manuell durch Seismologen oder automatisch erfolgen. Lage (Epizentrum) und Stärke (Magnitude) müssen innerhalb weniger Minuten bestimmt werden können. Nur so kann eine unverzügliche Information von Behörden, Medien und Öffentlichkeit über Ort und mögliche Auswirkungen des Bebens erfolgen und gegebenenfalls Polizei, Feuerwehr, Katastrophenschutz etc. alarmiert werden.

Um dies zu gewährleisten, übertragen die Messstationen des Online-Netzes ihre Daten kontinuierlich, maximal 10 Minuten verzögert, über Telefonleitungen an eine Daten-zentrale an der Universität Leipzig. Zusätzlich ruft die Datenzentrale auch Daten weiterer Stationen ab, die von anderen Institutionen betrieben werden. Die Mitarbeiter am Observatorium Collm ermitteln innerhalb kurzer Zeit die geforderten Größen, melden sie an das LfUG und veröffentlichen sie im Internet. Künftig ist geplant, die Registrierung (Detektion) und Ortung (Lokalisierung) starker Ereignisse vollautomatisch durchzuführen. Eine Weitergabe an offizielle Stellen erfolgt aber erst nach Bestätigung durch einen Seismologen.

Tab. 3: Stationen des Online-Netzes

Stations-abkürzung	Standort	geogr. Breite in °N	geogr. Länge in °O	Höhe in m (NN)	in Betrieb seit
FBE	Freiberg, Lehr- und Besucherbergwerk	50.92117	13.35414	234,9	27.09.04
GUNZ	Gunzen, Trinkwasserhochbehälter	50.3635	12.3316	669	08.08.01
NEUB	Neuenburg, Burgmuseum	51.2083	11.7752	200	21.08.03
ROHR	Rohrbach, Trinkwasserhochbehälter	50.2342	12.3168	629	07.08.01
TANN	Tannenbergesthal, Besucherbergwerk	50.4149	12.4616	836	19.12.00
TRIB	Obertriebel, privater Schuppen	50.3517	12.1370	510	19.12.01
WERD	Werda, Talsperre	50.4476	12.3064	589	13.06.01
WERN	Wernitzgrün, Trinkwasserhochbehälter	50.2874	12.3761	672	02.08.00
WUET	Wüstenhain, privater Keller	51.0093	12.5802	196	25.11.04

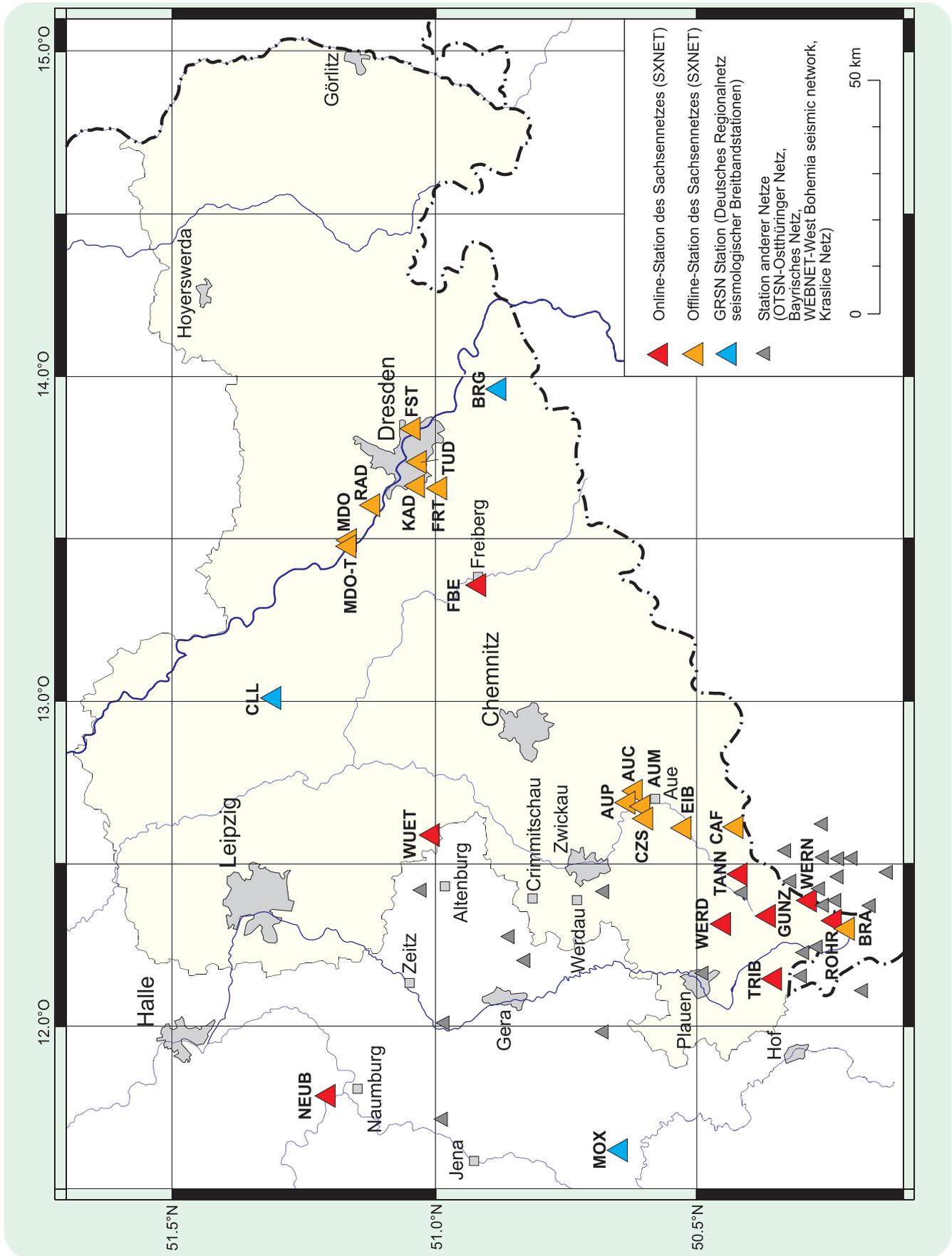


Abb. 5: Seismische Netze in Sachsen (SXNET) und angrenzenden Gebieten

2. In seismisch aktiven Gebieten sollen auch kleine, in der Regel nicht spürbare Ereignisse möglichst lückenlos erfasst werden. Durch die präzise Lokalisierung dieser Mikrobeben über einen längeren Zeitraum werden der Verlauf und der tektonische Spannungszustand aktiver Störungszonen im Untergrund erfasst, und ihr Potenzial für das Auftreten stärkerer Beben kann prognostiziert werden. Für diese Untersuchungen werden die Daten des Online- und Offline-Netzes genutzt. Mit dem Online-Netz wird dabei eine sehr gute Abdeckung im Bereich des Vogtlandes erreicht, während in anderen Regionen zusätzlich Offline-Stationen eingesetzt werden.

Inbetriebnahme der seismologischen Station Neuenburg (NEUB) in Sachsen-Anhalt

Im Jahr 2004 wurde vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt eine seismologische Station auf der Neuenburg bei Freyburg in Betrieb genommen, nachdem 2003 Testmessungen erfolgten. Diese Station ist in das sächsische Online-Netz integriert.

Das Land Sachsen-Anhalt gehört nicht zu den Gebieten, die durch eine starke Seismizität bekannt geworden sind. Erdbebenkataloge zeigen aber, dass vor allem im Südteil Sachsens-Anhalts und vereinzelt auch im Nordteil in der Vergangenheit immer wieder Erdstöße aufgetreten sind, bei denen es auch zu Gebäudeschäden kam.

Darüber hinaus wird in Gebieten mit entsprechenden Voraussetzungen die natürliche seismische Gefährdung durch anthropogen induzierte seismische Ereignisse wie Gebirgsschläge oder industrielle Sprengungen überlagert. Als Beispiel sei der Gebirgsschlag von Teutschenthal am 11. September 1996 genannt, der im Ostfeld der aufgelassenen Kaligrube zu weiträumigen Einstürzen führte.

Ein Standort für diese erste seismologische Station Sachsens-Anhalts wurde im Süden des Landes gesucht, um gemeinsam mit Sachsen und Thüringen ein Bebengebiet mit Zentrum im Raum Gera-Altenburg-Zeitz zu überwachen. Dieses Bebengebiet kann dem unmittelbar an der Südgrenze Sachsens-Anhalts gelegenen Kreuzungspunkt der Störungszonen Leipzig-Regensburg und Gera-Jáchymov zugeordnet werden (Abb. 6).

Als Beispiel sei das mitteldeutsche Erdbeben vom 06. März 1872 angeführt, dessen makroseismische Wirkungen vom Epizentrum bei Gera bis in den Raum südlich Magdeburg zu spüren waren. Die neu eingerichtete Station befindet

sich im Untergeschoss des ehemaligen Latrinenturmes der Neuenburg (Abb. 7). Die Abb. 8 zeigt die Bedeutung der Zusammenarbeit der drei mitteldeutschen Länder für die Ortungsgenauigkeit von Beben in diesem Raum.

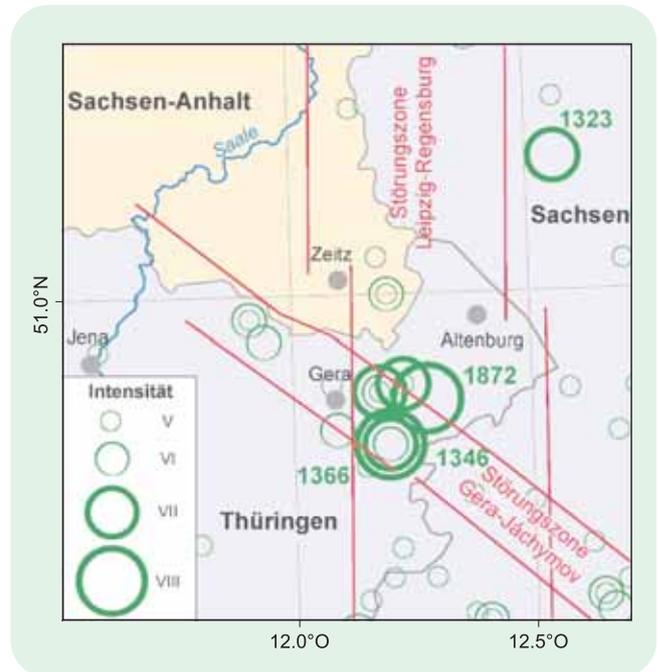


Abb. 6: Seismizität Mitteldeutschlands in den Jahren 800-2004 (LEYDECKER 2005)



Abb. 7: Latrinenturm der Neuenburg

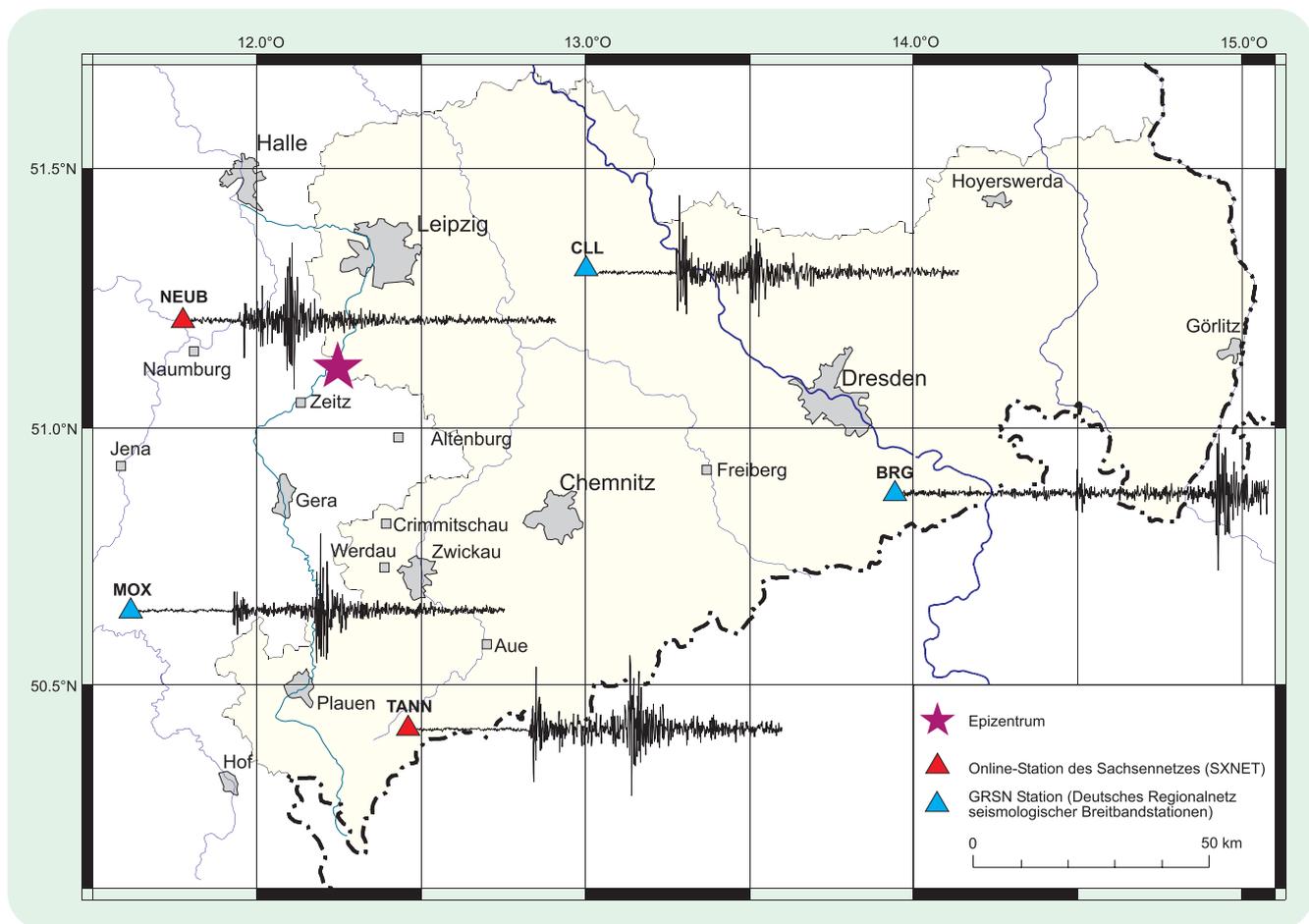


Abb. 8: Registrierung des Bebens vom 02.11.03 mit dem Epizentrum nordöstlich von Zeitz (Magnitude $M_L = 1.8$)

3.2 Offline-Stationsnetz (mobiles Netz)

Die Offline-Stationen des Sachsennetzes sind mobile seismische Stationen, die im Gegensatz zu den Online-Stationen nicht mit der Datenzentrale verbunden (online) sind. Sie nehmen eine Datenabspeicherung am Registrierort nur dann vor, wenn eine Erschütterung auftritt (getriggert). Durch den reduzierten Installationsaufwand können die Stationen mobil und temporär betrieben werden, woraus sich ein anderes Aufgabenkonzept als bei Online- bzw. Permanentstationen ergibt. Im Hinblick auf seismologische Fragestellungen, die sich aus der Überwachung der seismischen Aktivität als auch aus einer daraus abgeleiteten Gefährdungsabschätzungen für das Gebiet Sachsens ergeben, hat das Offline-Stationsnetz im Wesentlichen folgende Aufgaben zu erfüllen:

Das Monitoring aktiver Erdbebencluster

Die in Westsachsen im Bereich der Leipzig-Regensburg Störungszone auftretende natürliche Seismizität verteilt sich auf relativ kleinräumige, in Abständen von mehreren Jahren aktiv werdende Herdgebiete (so genannte Erdbebencluster). Um die dann nur wenige Tage bis Monate anhaltende seismische Aktivität möglichst vollständig zu erfassen, ist ein Monitoring durch ein dichtes lokales Stationsnetz direkt über dem Cluster erforderlich. Dazu stehen die Offline-Stationen in Bereitschaft, die bei Einsetzen eines Erdbebenschwarmes schnell in das aktive Cluster umgesetzt werden können, um selbst sehr schwache Mikrobeben noch zu erfassen und mit hoher Genauigkeit lokalisieren zu können.

Die Untersuchung potenzieller seismotektonischer Zonen

Tektonisch geprägte Störungszonen, die durch rezente Krustenbewegungen bzw. tiefere Quellen wie Magmenkammern unter Spannung gesetzt werden, sind stets potenzielle Bruchflächengebiete für Erdbeben. Sind die Spannungen sehr klein, so ist davon auszugehen, dass die seismische Aktivität sehr schwach bzw. selten ist, so dass sie von regionalen seismischen Stationsnetzen nicht erfasst wird. Ein Nachweis von Mikrobeben ist dann nur mit sensiblen kleinräumigen Stationsnetzen möglich, die direkt im Herdgebiet installiert werden. Das seit 2005 laufende seismische Monitoring mobiler Stationen in der Elbtalzone hatte das Ziel, eine seismotektonische Aktivierung dieser tief angelegten Störungszone, für welche bereits makroseismische Wahrnehmungen von Erdbeben vorliegen, zu erkunden.

Die Durchführung ingenieurseismologischer Arbeiten

Mit einer auf die Registrierung naher seismischer Quellen wie Mikrobeben, Bergschläge und Sprengungen ausgegerichteten Gerätecharakteristik können die mobilen Stationen besonders effizient für ingenieurseismologische Arbeiten

eingesetzt werden. Die praktischen Anwendungen nehmen aufgrund der vielen Einsatzgebiete ein breites Spektrum ein. So können durch direkte Registrierung von Erschütterungen, die durch Erdbeben oder Sprengungen an exponierten Bauwerken wie Talsperren oder Forschungsreaktoren ausgelöst werden, Abschätzungen zur Erdbebengefährdung gegeben werden.

Detaillierte Untersuchungen zum Verhalten von Bauwerken beim Durchgang seismischer Wellen werden mit Hilfe von Schwingungsmessungen gewonnen, die beispielsweise an Talsperrenmauern bzw. historischen Gebäuden durchgeführt werden können. Die Überwachung bergbauinduzierter Seismizität liefert genauso wie die Messung von Sprengerschütterungen in der Nähe von Steinbrüchen wichtige Anhaltspunkte über die Beeinträchtigung der Umgebung durch künstlich verursachte seismische Ereignisse.

Das Offline-Stationsnetz für den Berichtszeitraum ist in Tabelle 4 aufgeführt. Es wurden insgesamt 14 Standorte besetzt. Die Positionen der Standorte sind Abb. 5 zu entnehmen.

Tab. 4: Stationen des Offline-Netzes

Stations-abkürzung	Standort	geogr. Breite in °N	geogr. Länge in °O	Höhe in m (NN)	Betriebszeit
FRT	Freital, Müllersweg	50.9970	13.6541	182	14.10.04-11.01.07
TUD	TU Dresden, Zellscher Weg	51.0297	13.7403	131	seit 14.10.04
RAD	Radebeul, Mittlere Bergstr.	51.1178	13.6121	116	14.10.04-24.05.06
KAD	Kaditz	51.0348	13.6727	109	29.05.06-11.01.07
FST	Fernsehturm, Hottenrothstr.	51.0403	13.8402	195	19.01.05-25.09.05
MDO-T	Albrechtsburg Meißen, N-Turm	51.1663	13.4709	200	24.05.06-29.05.06
MDO	Albrechtsburg Meißen	51.1661	13.4721	130	22.10.04-25.09.06
EIB	Eibenstock, Staumauer	50.5309	12.6004	528	seit 22.10.04
AUC	Aue, Viehzucht	50.6215	12.7054	446	seit 22.10.04
AUP	Aue, „Prinzenhöhle“, Garage	50.6383	12.6795	374	seit 22.10.04
AUM	Aue, Markus-Semmler-Str., Keller Wohnhaus	50.6072	12.6801	398	seit 22.10.04
CZS	Aue, Clara-Zetkin-Siedlung	50.6045	12.6512	460	seit 22.10.04
CAF	Carlsfeld, Talsperre, Mauerfuß Lotmesshaus	50.4258	12.5976	895	seit 22.10.04
BRA	Bad Brambach, Rödiger-Haus	50.2221	12.2971	575	seit 12.04.05

Die Stationen EIB und CAF werden im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung Sachsen betrieben.

4 Das geodätische Netz im Vogtland

Die Geodäsie beschäftigt sich nach der Definition von FRIEDRICH ROBERT HELMERT (1843 – 1917) mit der Ausmessung und Abbildung der Erde. Neben den klassischen Vermessungsgeräten wie Theodolit und Nivellier werden vermehrt moderne Satellitentechnologien verwendet, um die Größe und Form von Teilen der Erdoberfläche sowie deren zeitliche Veränderungen zu bestimmen.

Da Westsachsen und das Vogtland zu den seismologisch aktiven Gebieten Deutschlands gehören, wird diese Region seit nunmehr 45 Jahren intensiv überwacht. Neben den Informationen über die exakte Lage und Stärke der auftretenden Beben ist insbesondere die durch sie hervorgerufene zeitliche Veränderung der Geometrie der Erdoberfläche von besonderem wissenschaftlichen Interesse. Die Beben verursachen innerhalb ihrer unmittelbaren Umgebung Brüche im Gestein der oberen Erdkruste. Diese Brüche können zu einer bleibenden Änderung der Geometrie in einem mehr oder weniger großen Gebiet der Erdoberfläche führen. Derartige Formänderungen messtechnisch zu erfassen, ist die Aufgabe geodätischer Untersuchungen.

Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie betreibt das Institut für Planetare Geodäsie der TU Dresden seit Sommer 1994 ein geodätisches Überwachungsnetz (Abb. 9). Dieses Netz erstreckt sich von Falkenstein im Norden über Carlsfeld im westlichen Erzgebirge und weiter entlang der Grenze zur Tschechischen

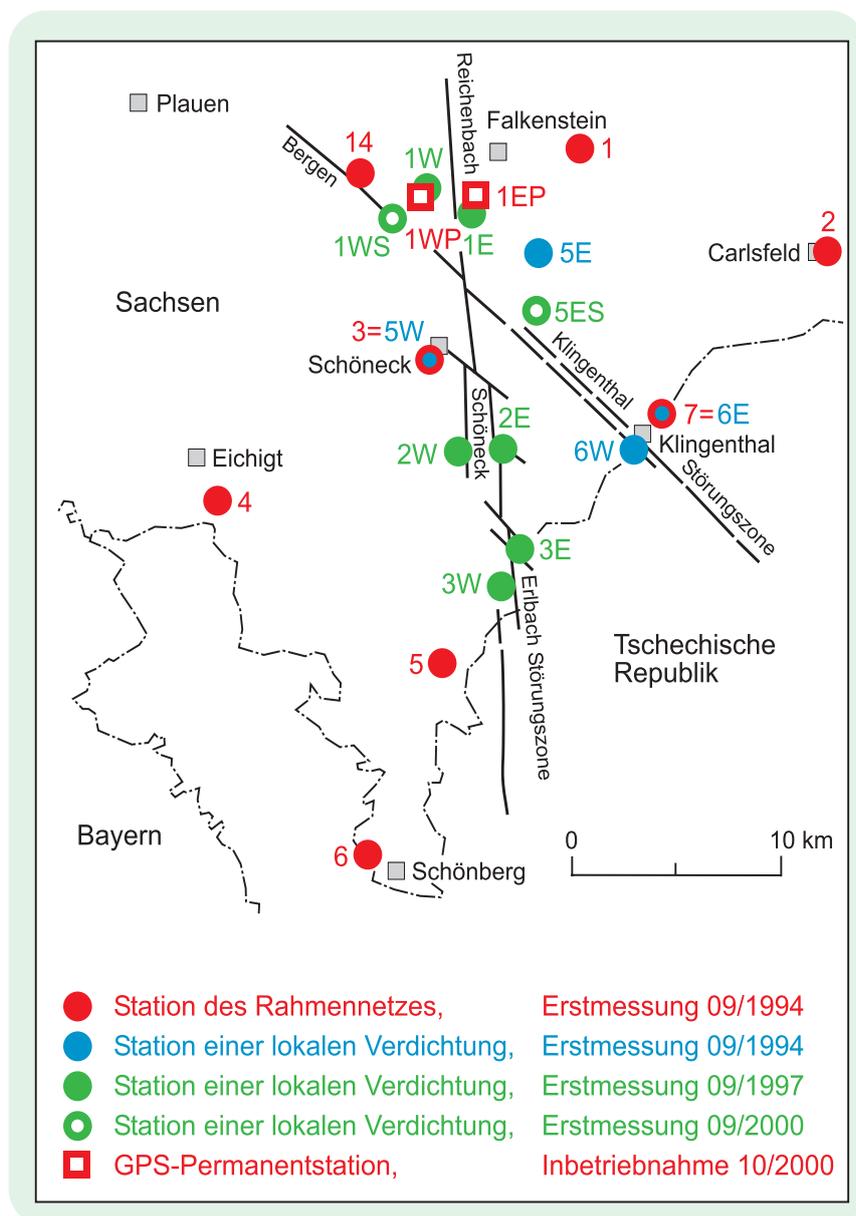


Abb. 9: Verteilung der Stationen des Geodätischen Überwachungsnetzes Vogtländisches Bebengebiet und ausgewählte tektonische Störungen



Abb. 10: Zentrierung der Punktgruppe Auerbach-Beerheide



Abb. 11: GPS Messungen auf der Punktgruppe Wendelstein nahe der Ortschaft Grünbach

Republik über Schönberg im Süden bis nach Eichigt im Westen und überdeckt damit ein Gebiet mit einer Ausdehnung von etwa 30 km in N-S-Richtung als auch in W-O-Richtung. Das Überwachungsnetz umfasst insgesamt 16 Punktgruppen. Ein Teil der Punktgruppen bilden das Rahmennetz, die übrigen das Verdichtungsnetz entlang der in N-S-Richtung orientierten Reichenbach-Erlbach Störungszone und der in NW-SO verlaufenden Bergen-Klingenthaler Störungszone (Teil der Leipzig-Regensburg Störungszone).

Jede Punktgruppe besteht aus drei Messpunkten, nämlich aus einem Hauptpunkt und zwei Kontrollpunkten. Um die Stabilität der einzelnen Punkte zu gewährleisten und sie vor äußeren mechanischen Einflüssen zu schützen, wurde der überwiegende Teil der Messpunkte in einer Tiefe von etwa 80 cm vermarkt (Abb. 10).

Die Abb. 11 zeigt die Punktgruppe auf dem Wendelstein nahe der Ortschaft Grünbach. Alle drei Punkte wurden hier direkt auf dem Fels vermarkt.

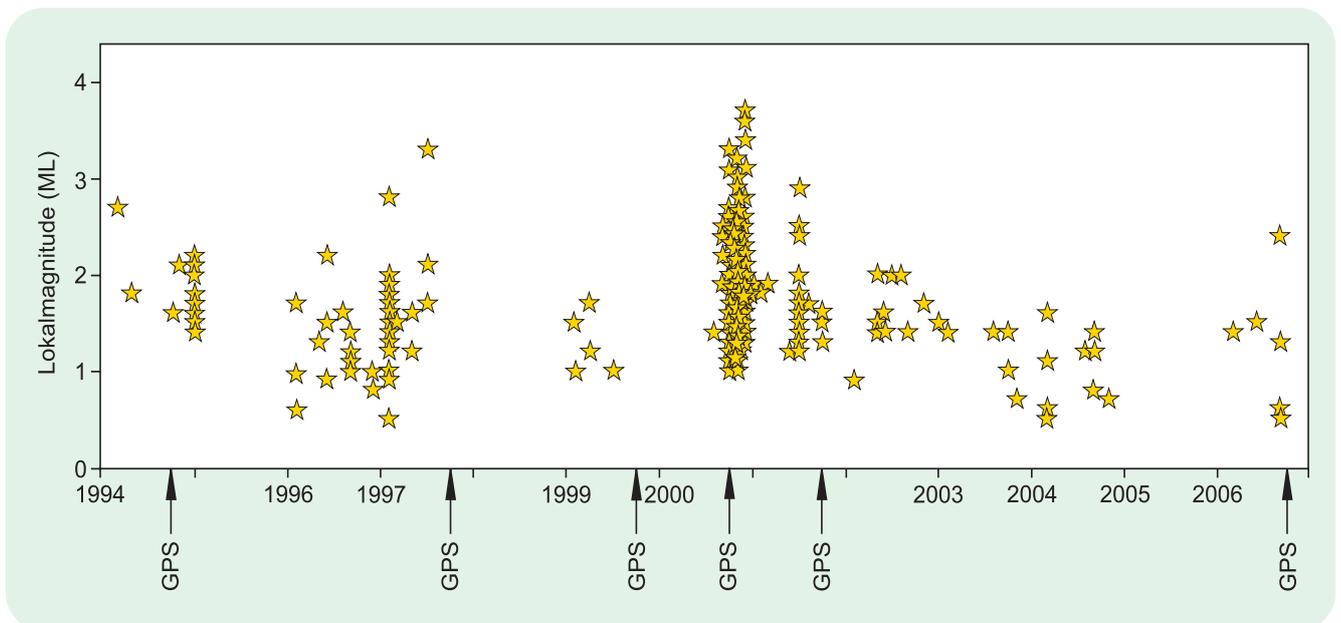


Abb. 12: Darstellung der zeitlichen Verteilung der im Vogtland seit 1994 registrierten Beben und der durchgeführten GPS-Messkampagnen

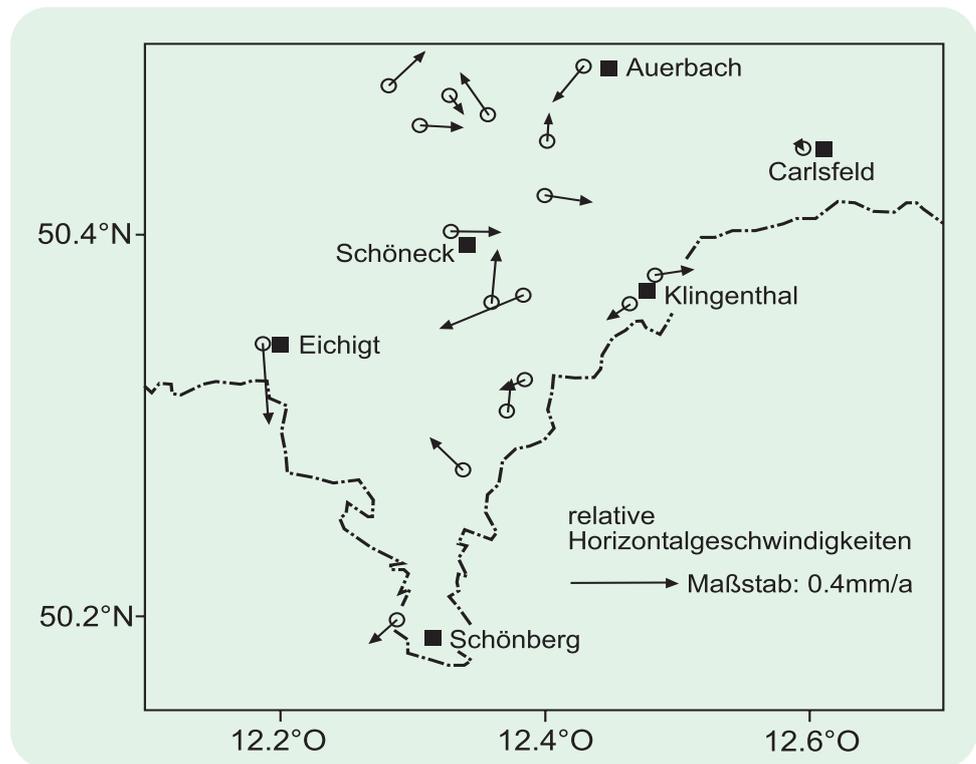


Abb. 13: Darstellung der Bewegung pro Jahr (relative Bewegung) der Punktgruppen des Überwachungsnetzes

Die Vermessung des Überwachungsnetzes erfolgt mit Hilfe des Global Positioning System (GPS). Innerhalb eines Messprogramms, einer sogenannten GPS-Messkampagne, werden die Koordinaten (Länge, Breite, Höhe) der Netzpunkte und damit die Geometrie des Überwachungsnetzes bestimmt.

Seit dem Aufbau des Netzes wurden insgesamt 6 GPS-Messkampagnen erfolgreich durchgeführt. Die Abb. 12 zeigt die zeitliche Verteilung der seit 1994 registrierten Erdbeben der Vogtlandregion und angrenzender Gebiete, sowie die Zeitpunkte der vom Institut für Planetare Geodäsie durchgeführten GPS-Messkampagnen. Der Abbildung kann entnommen werden, dass in dem Zeitraum von Januar 1994 bis August 2000 im Untersuchungsgebiet nur eine äußerst geringe seismische Aktivität herrschte. Innerhalb dieses Zeitraums wurden die ersten drei GPS-Messkampagnen durchgeführt. Im Herbst 2000, während der Messung der vierten Kampagne, stieg dann die seismische Aktivität sprunghaft an. Nach diesem großen Bebenschwarm waren im Jahr 2001 noch zwei weitere, jedoch wesentlich kleinere Schwärme zu verzeichnen.

Aus dem Vergleich der aufeinander folgenden GPS-Messkampagnen sind zeitliche Geometrieänderungen der Erdoberfläche ableitbar. Innerhalb jeder Messkampagne werden neben dem Gesamtnetz auch die einzelnen Punktgruppen vermessen. Hierdurch wird sichergestellt, dass etwaige lokale Veränderungen aufgrund von Punktinstabilitäten nicht als seismisch verursachte Krustendeformation fehl interpretiert werden.

Bei der Bestimmung von Positionen mit Hilfe von GPS über einen Zeitraum von mehreren Jahren ist zu beachten, dass auch Stationsbewegungen aufgrund der globalen Plattendynamik (absolute Bewegung der europäisch/asiatischen Platte um 20 mm/Jahr nach Nordost) berücksichtigt werden. Um relative Bewegungen zwischen den Punkten des Überwachungsnetzes zu erhalten, wird eine mittlere absolute Bewegung abgezogen.

Die Abb. 13 zeigt die danach verbleibenden relativen Bewegungen zwischen den Punkten des Überwachungsnetzes. Es ist zu erkennen, dass die relativen Bewegungen der Punkte im Betrag kleiner als 0,4 mm pro Jahr sind. Damit zeigt sich, dass die im Zeitraum von 1994 bis 2007 im Untersuchungsgebiet aufgetretenen Erdbeben Geometrieänderungen von unter 1 cm verursacht haben.

5 Durchgeführte Forschungsarbeiten 2004 - 2006

5.1 Tektonische Erdbeben

Nach sechs Jahren Betrieb des permanenten Online-Sachsennetzes kann eine erste Bilanz einer längeren Zeitspanne gezogen werden. Von 2001 bis 2006 wurden im Untersuchungsgebiet (Westsachsen und angrenzende Gebiete) 682 seismische Ereignisse mit den permanenten Online-Stationen und Offline-Stationen des Sachsennetzes und benachbarten Stationen des Deutschen Regionalnetzes GRSN detektiert und geortet (Abb. 14). Die 9 stärksten dieser Beben, deren Magnitude 2.0 erreichte oder überschritt, sind in Tab. 5 aufgeführt und hervorgehoben.

Die stärksten Ereignisse wurden ganz vereinzelt gespürt, in aller Regel lagen jedoch auch sie unterhalb der Fühlbarkeitsschwelle. Die Erdbeben konzentrieren sich auf die N-S-streichende Leipzig-Regensburg-Störungszone, auf die bei Zwickau und weiter südlich NW-SO kreuzenden Störungszonen sowie deren unmittelbare Umgebung.

Die dargestellten Ereignisse sind weitestgehend tektonische Beben, einzelne im Raum Aue sind auch bergbaubedingt. Das stärkste Beben des untersuchten Zeitraumes von 6 Jahren fand am 05.06.2001 um 6:26 UTC bei Schöneck statt und erreichte eine Magnitude von 2.8. Das stärkste Beben der letzten drei Jahre wurde am 04.08.2006 um 2:21 UTC südlich von Werdau mit einer Magnitude von 2.3 registriert. Im Vogtland werden ab einer Magnitude von ca. 0.5 nahezu alle Beben erfasst, im gesamten Untersuchungsgebiet etwa ab einer Magnitude von 1.0.

Die meisten Beben fanden im Vogtland und im angrenzenden NW-Böhmen statt, wo besonders die Zahl der kleinen Beben deutlich höher liegt. Als Ursache dafür, dass südlich von Zwickau die Zahl der sehr kleinen Beben deutlich zunimmt, sind sowohl technische Gründe als auch Unterschiede im seismotektonischem Regime anzunehmen.

Einerseits ermöglicht das dichtere Stationsnetz im Vogtland eine niedrigere Nachweisschwelle als in den nördlichen Gebieten. Andererseits nimmt der Schwarmcharakter der Seismizität nach Süden zu. Betrachtet man jedoch nur die neun größten Ereignisse (Tab. 5, fette schwarze Kreise in Abb. 14), traten im Vogtland sechs der neun Beben und nördlich von Zwickau die restlichen drei Beben auf.

Für das größte Beben des Jahres 2006 (04.08.2006, 2:21 UTC, südlich von Werdau) stehen mit Unterstützung der Nachbarnetze von insgesamt 49 Stationen auswertbare Seismogramme zur Verfügung, die einen großen Entfernungsbereich und zahlreiche Himmelsrichtungen abdecken (Abb. 15). Durch die Konzentration der Stationen im Vogtland und NW-Böhmen sind die Laufwege aus Süden erheblich dichter belegt als die anderen Himmelsrichtungen. Abb. 16 zeigt die Montage von 5 ausgewählten Seismogrammen von Stationen, die nach Epizentralentfernung sortiert sind. Der Abschnitt des ungestörten Seismogramms vor dem ersten Einsatz wird als Rauschen bezeichnet. Gut erkennbar ist, dass mit größerer Entfernung das Signal-Rausch-Verhältnis abnimmt, aber bis 157 km (Station HROE – Hohe Rhön-Fladungen) auswertbare Registrierungen vorliegen. Mit zunehmender Entfernung setzen die Seismogramme entsprechend später ein.

Bei der Routineauswertung kann die Tiefe der Erdbebenherde oft nur grob abgeschätzt werden, teilweise wird sie vom Bearbeiter auch gesetzt (z. B. auf 5 km). 31 der größeren Beben (Tab. 5, Abb. 17) wurden gründlicher ausgewertet (Präzisionslokalisierung). Dazu wurden zahlreiche Seismogramme aus den Nachbarnetzen hinzugezogen. Die Abb. 17 zeigt die Tiefenverteilung dieser Beben, die eine von Oberfranken im Süden bis in die Nähe von Zwickau zunehmende Aufspaltung in zwei Tiefenbereiche andeutet. Nördlich von Zwickau sind dagegen nur noch Herde tiefer als 10 km zu finden.

Tab. 5: Ausgewählte seismische Ereignisse 2001 bis 2006

Ereignis-Nr. in Abb. 14, 17 und 21	Datum	Herdzeit (UTC) h:min:s	Koordinaten °N/°O	Magnitude (ML)	Herdgebiet
1	11.02.01	08:09:53.4	50.36/12.42	2.1	westlich von Klingenthal
2	05.06.01	00:23:36.8	50.41/12.34	2.4	Schöneck
3	05.06.01	06:26:23.8	50.41/12.35	2.8	Schöneck
4	06.06.01	16:09:28.9	50.32/12.45	2.0	westlich von Kraslice ČR
5	09.06.01	21:43:23.8	50.32/12.44	2.4	westlich von Kraslice ČR
6	14.01.02	22:39:11.3	50.55/12.19	1.4	nordöstlich von Plauen
7	12.03.02	02:50:15.1	50.81/12.35	1.4	Crimmitschau
8	23.03.02	10:42:46.7	50.86/12.51	2.1	südlich von Altenburg
9	09.04.02	02:38:24.3	50.39/12.31	1.5	südwestlich von Schöneck
10	22.04.02	22:28:26.2	50.27/12.28	2.0	östlich von Bad Elster
11	22.04.02	22:34:36.3	50.27/12.27	1.5	östlich von Bad Elster
12	04.05.02	23:54:29.2	50.72/12.40	1.3	Werdau
13	30.05.02	05:52:35.4	50.24/12.43	1.4	nördlich von Nový Kostel
14	08.10.02	19:21:50.5	50.75/12.35	1.9	Werdau
15	11.10.02	20:57:15.3	50.37/12.15	1.4	südlich von Oelsnitz
16	21.01.03	23:28:58.0	50.47/12.15	1.3	Plauen
17	06.06.03	22:58:56.2	50.47/12.14	1.2	Plauen
18	09.07.03	02:28:06.0	50.56/12.23	1.5	nordöstlich von Plauen
19	26.07.03	05:34:19.0	51.09/12.49	2.3	Regis-Breitungen
20	14.09.03	23:05:35.4	50.47/12.15	1.2	Plauen
21	29.10.03	00:41:51.6	50.41/12.31	1.1	Schöneck
22	05.11.03	22:37:12.1	50.40/12.31	1.1	Schöneck
23*	07.02.04	01:07:34.4	50.42/12.31	1.2	nordwestlich Schöneck
24*	07.02.04	22:50:50.1	50.42/12.32	1.5	nördlich Schöneck
25*	22.02.04	09:31:16.5	50.22/12.44	1.4	Nový Kostel
26*	23.06.04	04:54:13.5	50.03/12.30	1.5	Cheb/ČR
27*	11.08.04	00:18:54.3	50.40/12.30	1.3	westlich von Schöneck
28	15.11.04	01:56:41.0	50.09/12.19	1.3	Selb/Fichtelgebirge
29*	10.12.05	15:03:57.7	50.24/12.43	1.0	nördlich von Nový Kostel
30	10.12.05	15:04:14.4	50.26/12.43	0.4	nördlich von Nový Kostel
31*	10.12.05	15:04:27.5	50.23/12.44	0.9	nordwestlich von Nový Kostel
32*	21.12.05	15:59:39.1	50.24/12.42	1.3	nordwestlich von Nový Kostel
33*	23.12.05	19:36:47.5	50.43/12.28	1.0	nordwestlich von Schöneck
34*	26.05.06	17:57:10.3	50.22/12.44	1.6	Nový Kostel
35*	03.08.06	05:07:44.0	50.67/12.46	1.4	südwestlich von Zwickau
36*	04.08.06	02:21:25.1	50.70/12.36	2.3	südwestlich von Werdau

*) auch in Tabelle 1 enthalten

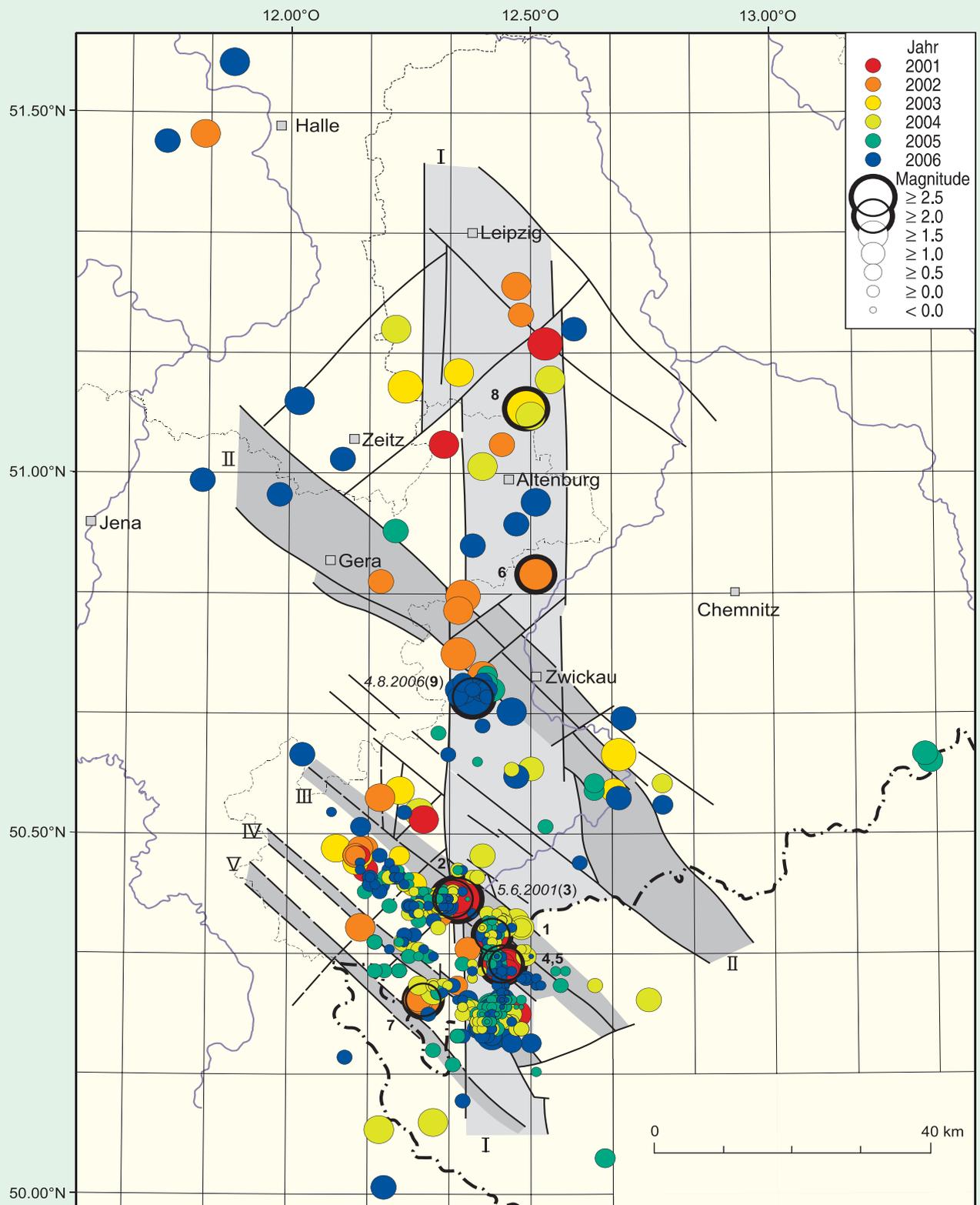


Abb. 14: Verteilung der seismischen Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten im Zeitraum 2001 – 2006 und bedeutende Störungszonen

I Leipzig-Regensburg Störungszone

II Gera-Jáchymov Störungszone

III Bergen-Klingenthal-Chodov Störungszone

IV Eichigt-Adorf-Luby Störungszone

V Gefell-Bad-Brambach Störungszone

1 – 5; 8; 10; 19; 36 stärkste Erdbeben vgl. Tab. 5

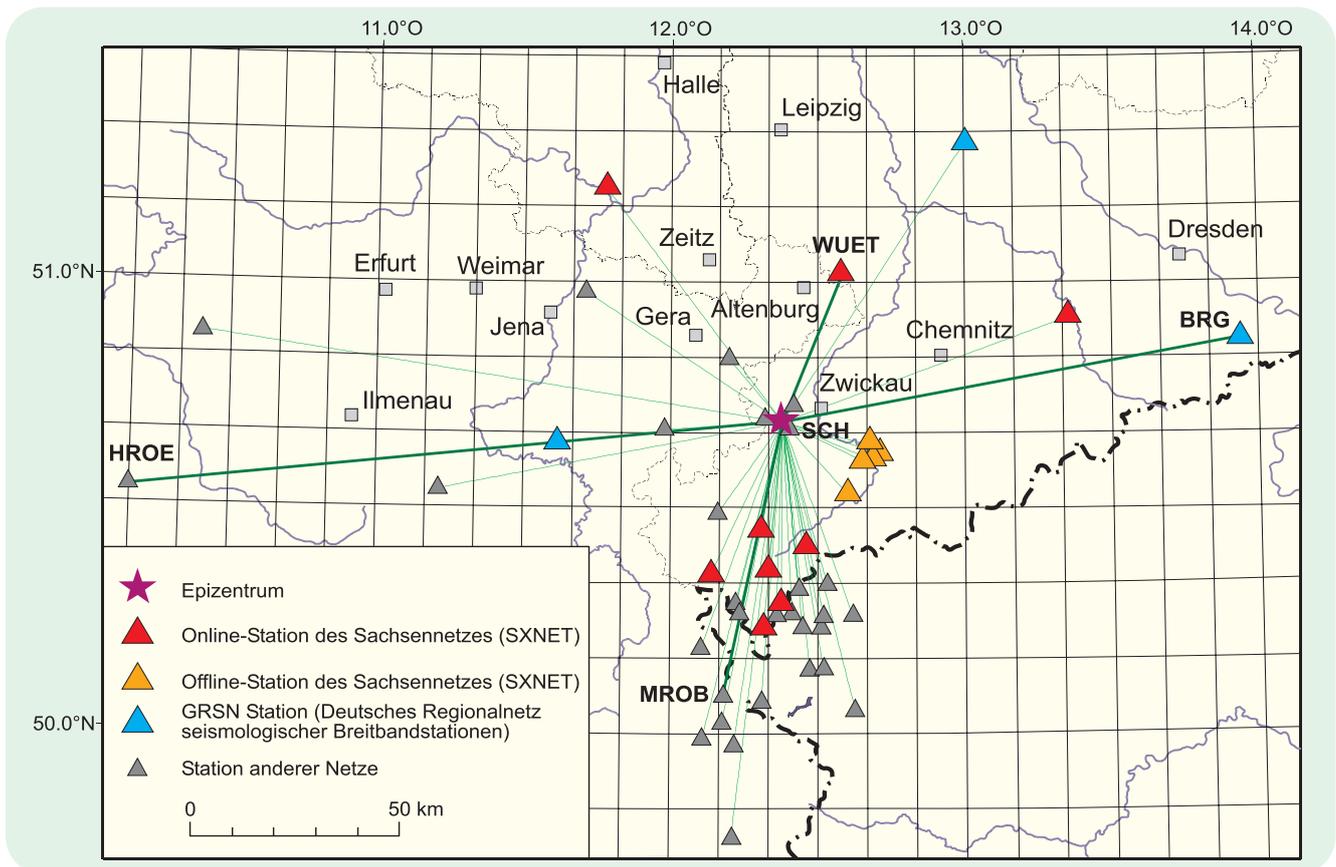


Abb. 15: Darstellung der Stationsverteilung mit auswertbaren Seismogrammen für das Erdbeben vom 04.08.2006 südlich von Werdau (SCH – Schönfels; WUET – Wüstenhain; MROB – Rosenbühl; BRG – Berggießhübel; HROE – Hohe Rhön-Fladungen)

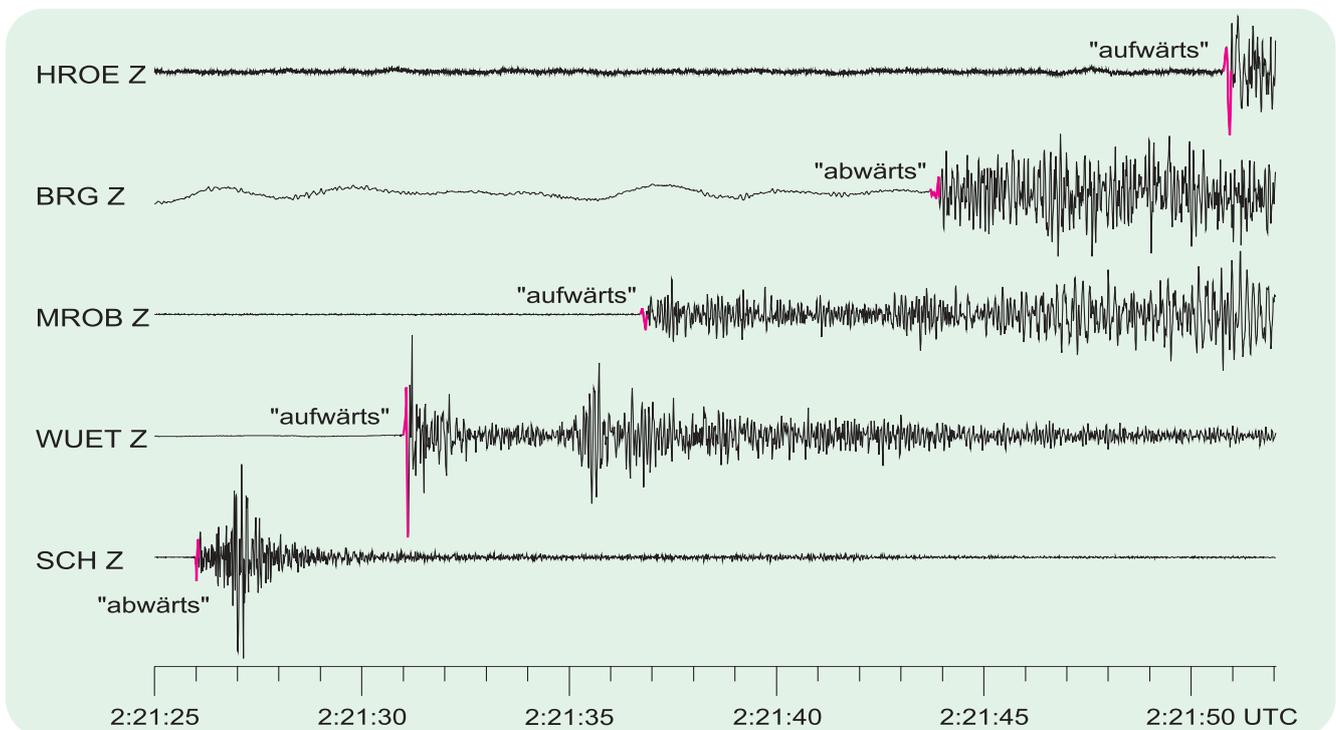


Abb. 16: Montage von 5 Seismogrammen (Vertikalkomponente Z) des Erdbebens vom 04.08.2006 südlich von Werdau

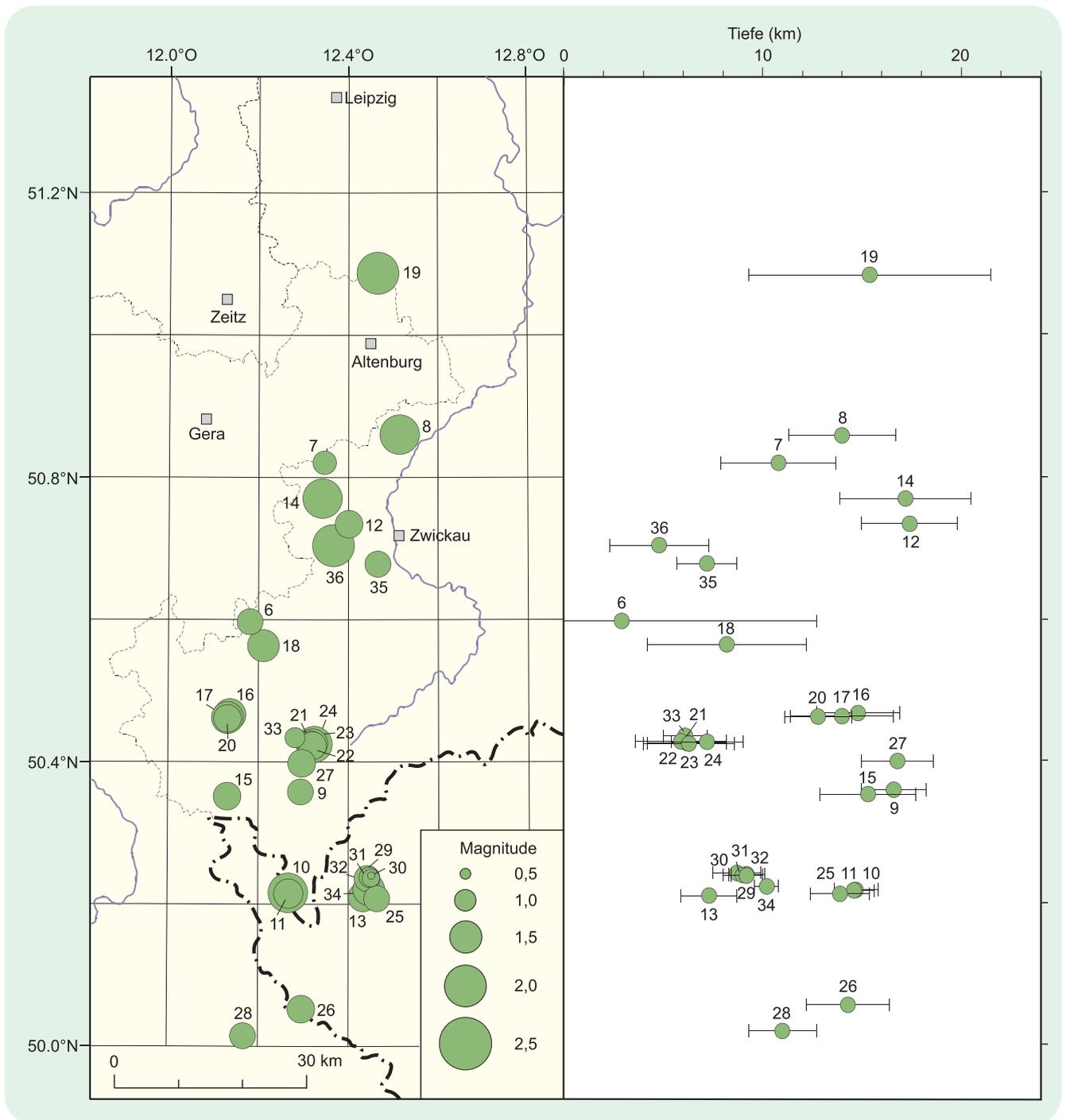


Abb. 17: Präzisionslokalisierungen (Epizentren und Herdtiefen) von ausgewählten 31 Beben (2002 – 2006)

▬ Mittelwert der Tiefe mit Standardfehler

6 – 36 ausgewählte Erdbeben vgl. Tab. 5

5.2 Herdflächenlösungen

Die tektonischen Erdbeben sind die Folge von elastisch-spröden Bruch- und Verschiebungsvorgängen in der Erdkruste (oder im oberen Erdmantel, Lithosphäre) durch angestaute Spannungen. Die Gesteine werden über lange Zeiten durch Scherkräfte belastet, verformt und bis zu einer Bruchgrenze beansprucht. Nach Überschreitung der Bruchgrenze wird die angesammelte mechanische Spannungsenergie plötzlich in Bewegungsenergie (seismische Energie) und Wärme umgesetzt. Die vom Scherbruch ausgehenden Deformationen breiten sich wellenförmig als Erd-

beben aus und können je nach Stärke entsprechende Wahrnehmungen und Schäden auslösen.

Mit so genannten Herdflächenlösungen wird der Scherbruchvorgang beschrieben, der den meisten Erdbeben zu Grunde liegt. Jede Herdflächenlösung beschreibt für ein konkretes Erdbeben die räumliche Orientierung der Bruchfläche, entlang der Scherbruch stattfand, sowie die Bewegungsrichtung der beteiligten Gesteinspakete. Abb. 18 illustriert die tektonischen Bewegungstypen und die entsprechenden Herdflächenlösungen.

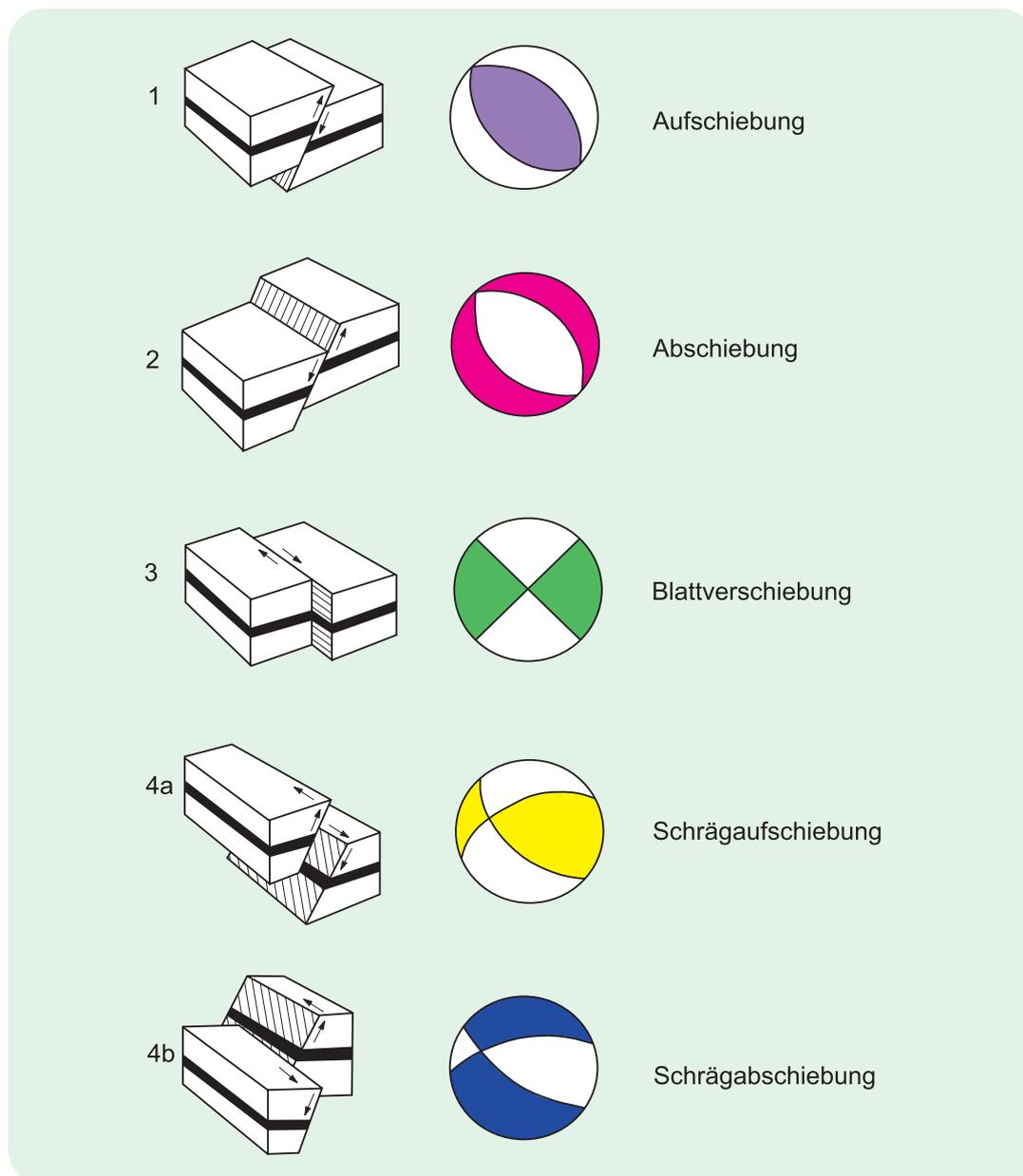


Abb. 18: Blockbilder der Bruchfläche für vier verschiedene Typen von Bruch- (bzw. Herd-)vorgängen und zugehörige Herdflächenlösung (umgezeichnet nach BERCKHEMER 1997)

An Seismogrammen (Abb.16) guter Qualität kann die Richtung des ersten Einsatzes („aufwärts“ bzw. „abwärts“) der seismischen Wellen abgelesen werden. Für die ausgewählten Stationen Schönfels (SCH), Wüstenhain (WUET), Rosenbühl (MROB), Berggießhübel (BRG) und Hohe Rhön-Fladungen (HROE) sind die Einsatzpolaritäten markiert. Aus diesen Einsatzpolaritäten lässt sich die räumliche Orientierung des Bruchvorgangs ableiten, weil aus der Modellvorstellung des Scherbruchvorgangs eine typische räumliche Verteilung von Kompression und Dilatation (Verdichtung und Dehnung) und daraus ein charakteristisches Abstrahlmuster folgen (Abb. 19).

Wenn genügend Beobachtungen an verschiedenen seismischen Stationen vorliegen und diese örtlich ausreichend verteilt sind, können für jedes Beben vier Gebiete (Abb. 20) mit entgegengesetzten Polaritäten abgegrenzt werden. Die Grenzen zwischen diesen vier Gebieten werden von zwei senkrecht aufeinander stehenden Ebenen gebildet, den so genannten Knotenflächen, von denen eine die Bruchfläche darstellt. Daraus ergibt sich die tektonische Klassifizierung des Bruchvorgangs (Abschiebung, Aufschiebung, Blattverschiebung, Schrägauf- und abschiebung, Abb. 18, 21) des jeweiligen Bebens.

Bei 13 der 31 genauer untersuchten (Abb.17 und 21) Beben überwiegt Blattverschiebung, bei sieben Beben Abschiebung und weitere neun Beben stellen eine Schrägabschiebung dar. Je ein weiteres Beben zeigen Aufschiebungs- bzw. Schrägaufschiebungsregime. Es wurden also alle Typen von Bruchvorgängen gefunden, wobei Blattverschiebung, Abschiebung und ihre Übergangsform dominieren. Die Streichrichtungen der Knotenflächen variieren deutlich. Viele der Knotenflächen verlaufen zwischen der N-S- und der NW-SO-Richtung und liegen damit nahezu parallel zu den Richtungen der wichtigsten Störungssysteme des Untersuchungsgebietes (vgl. Abb. 14). Diese Herdflächenlösungen stimmen recht gut mit bekannten Ergebnissen überein. Insofern ordnen sich auch die kleinen Beben der Jahre 2002 bis 2006 nahtlos in das regionale Spannungsregime ein, das dem für West- und Mitteleuropa bekannten Spannungsfeld entspricht, wie es auch PLENEFISCH & KLINGE (2003) aus ihren Herdflächenlösungen von Erdbeben in NW-Böhmen bzw. NO-Bayern ableiten.

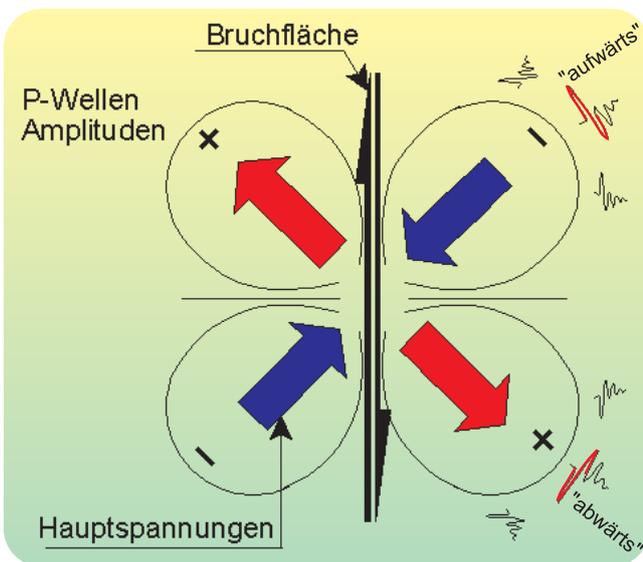


Abb. 19: Seismische Signalabstrahlung von einem Scherbruch (umgezeichnet nach BERCKHEMER 1997 und¹¹⁾)

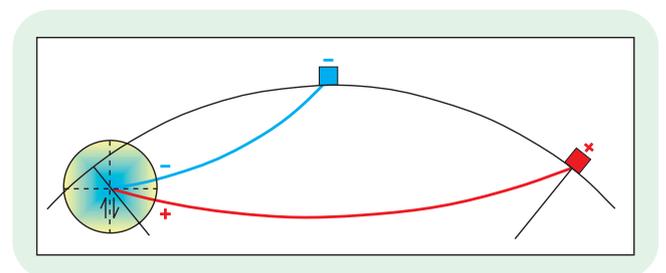


Abb. 20: Rekonstruktion des Bruchmechanismus aus dem registrierten Wellenbild (BERCKHEMER 1997 und¹¹⁾)

¹¹⁾ http://www.geophysik.uni-kiel.de/~sabine/Die_Erde/Werkzeuge/Geophysik/M6-Seismologie/4Seismotektonik/Seismotektonik.htm

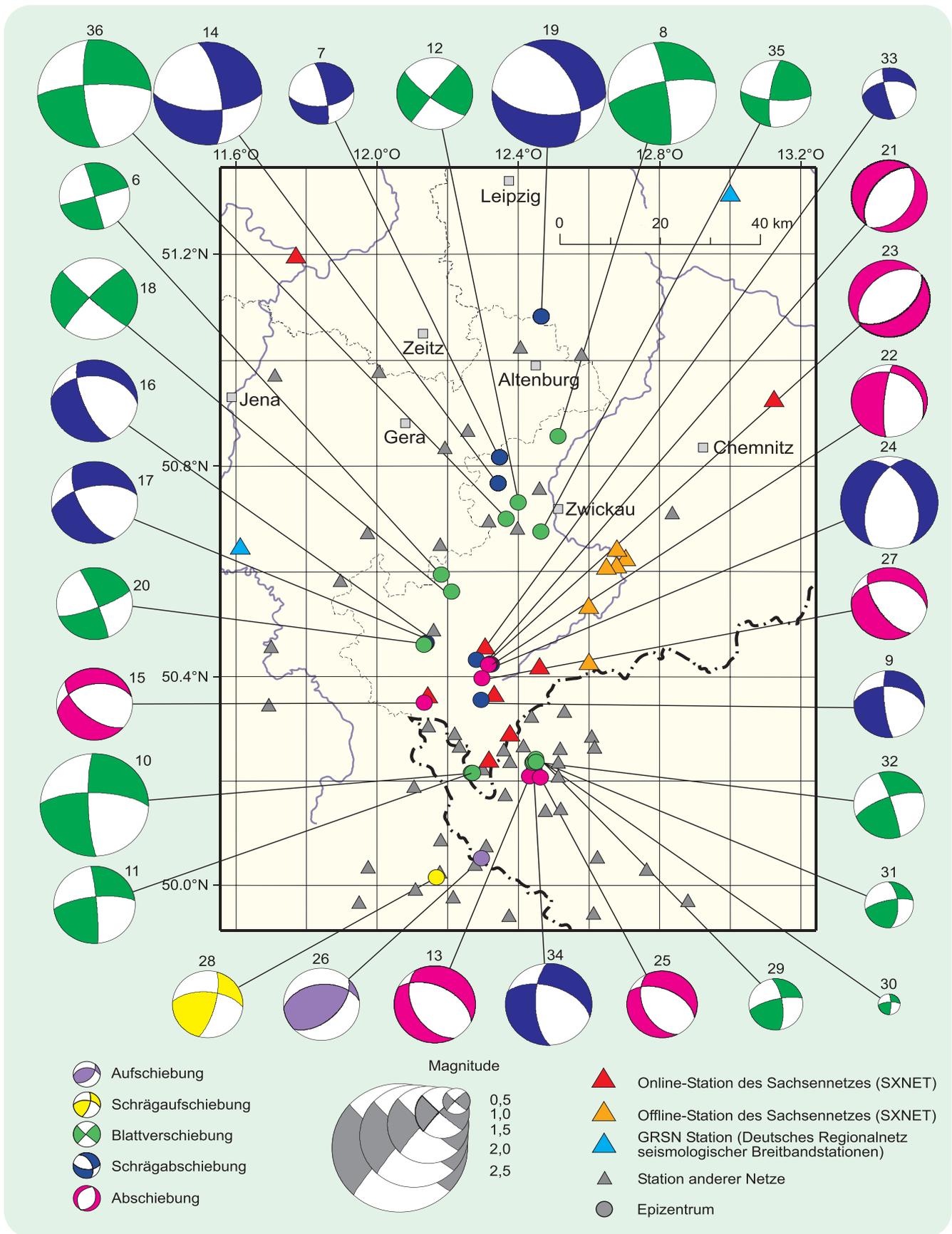


Abb. 21: Epizentren und Herdflächenlösungen für 31 Beben (2002 - 2006)
6 – 36, ausgewählte Erdbeben vgl. Tab. 5

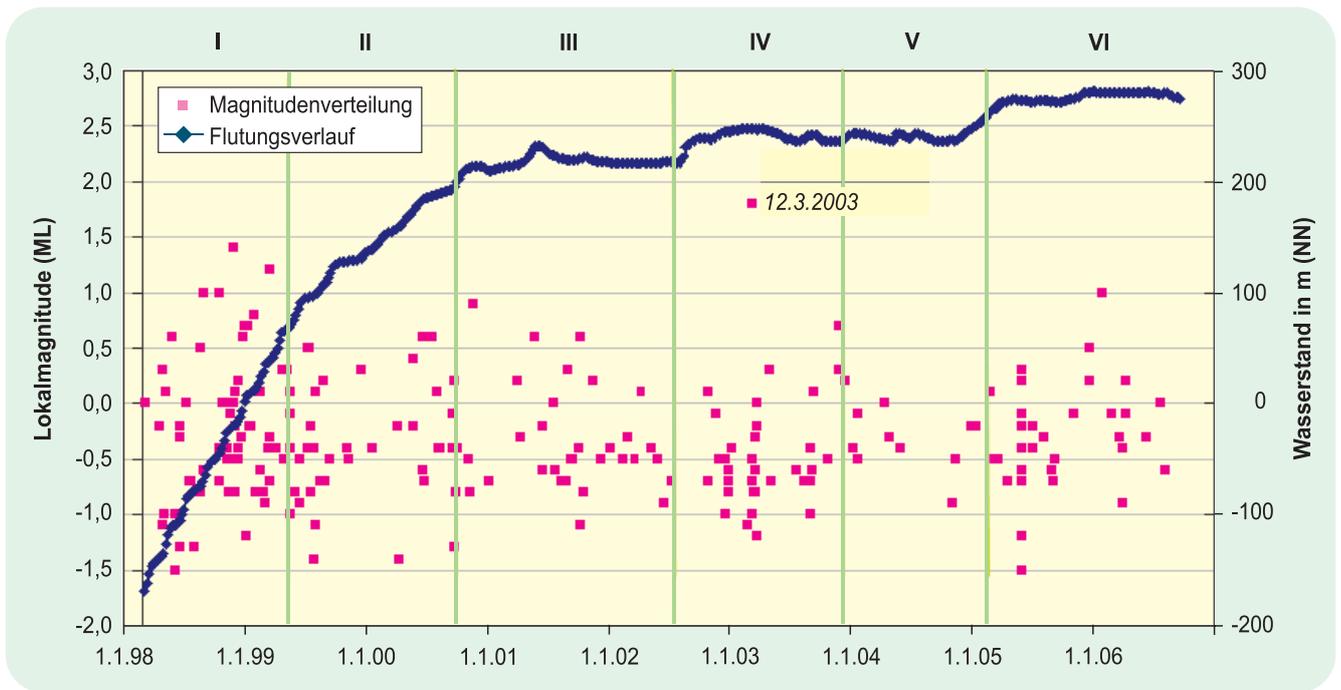


Abb. 22: Flutungsverlauf und Magnitudenverteilung 1998 – 2006 im Bergbaugebiet Aue-Alberoda (I – VI verschiedene Flutungsintervalle)

5.3 Ingenieurseismologische Arbeiten

Monitoring der durch den Bergbau hervorgerufenen Seismizität

Das seismologische Monitoring, der durch die Flutung im Bereich der Grube Aue/Alberoda hervorgerufenen Seismizität, ist einer der Schwerpunkte der laufenden ingenieur-seismologischen Arbeiten. Durch die im Jahre 1990 eingeleitete Flutung der Grube kam es zu Spannungsumlagerungen im umgebenden Gestein. Das führte zu einem Anstieg der bis dahin beobachteten bergbauinduzierten Seismizität. Seit 1997 werden durch die TU Bergakademie Freiberg alle durch Bergschläge verursachten Erschütterungen an der Erdoberfläche mithilfe von Offline-Stationen erfasst. Dieses Netz unterstützt die von der WISMUT GmbH betriebene unterirdische Überwachungsanlage. Dadurch können mit hoher Zuverlässigkeit die Herdparameter der seismischen Ereignisse ermittelt und eine Beeinträchtigung der Umgebung abgeschätzt werden. Bisher wurden mit Hilfe des mobilen Stationsnetzes insgesamt 125 induzierte seismische Ereignisse erfasst. Das stärkste Ereignis wurde am 12.03.2003 mit einer Magnitude von $ML = 1.8$ registriert. Die beobachtete seismische Aktivität lässt einen Zusammenhang zum Flutungsgeschehen innerhalb des Grubenbaus

erkennen (Abb. 22). Mit einem erhöhten Flutungszulauf ist stets eine zeitliche Häufung der seismischen Aktivität verbunden. Dieser Effekt wird als verzögerte rheologische Reaktion der Lagerstättenumgebung auf einen erhöhten Kluftwasserdruck gewertet. Ein Anstieg der seismischen Aktivität kann somit als Abbauprozess der durch erhöhte Zulaufmengen verursachten Gebirgsspannungen interpretiert werden. Dieser Tatbestand bildet die Voraussetzung, mit Hilfe des seismischen Monitorings die Flutung direkt zu regulieren, wenn bei Ausbleiben einer erhöhten seismischen Aktivität nach stärkeren Flutungen kritische Zustände angezeigt werden.

Seit 1997 werden seismische Ereignisse ebenfalls aus dem Gebiet der Sächsischen Lausitz registriert. Ein potenzielles Herdgebiet konnte im Bereich der Braunkohle-Tagebaue südöstlich von Hoyerswerda eingegrenzt werden (Tagebau Lohsa). Seit dem 19.08.1997 wurden bisher über 350 Ereignisse registriert, wobei vom 26.01. - 16.02.2006 der bisher letzte Aktivitätszyklus mit über 60 Ereignissen erfasst werden konnte.

Die geringe Herdtiefe und die starke Dominanz schwacher Ereignisse weisen auf einen induzierten Charakter der beobachteten Seismizität hin. Das potenzielle Herdgebiet mit teilweise gefluteten Tagebaurestlöcher lässt eine durch den

Grundwasseranstieg hervorgerufene Seismizität (fluid-induziert) in Form von schnellen Hangrutschungen bzw. Böschungssetzungen vermuten. Diese Vermutung wird durch eine zeitliche Häufung der Ereignisse in den Wintermonaten bzw. am frühen Vormittag gestützt. Zu diesen Zeitpunkten treten starke Temperaturgradienten auf, die das Auftreten oberflächennaher Ereignisse begünstigen. Eine eindeutige Zuordnung und Bestätigung der beobachteten Seismizität ist jedoch erst durch eine genaue Ortung der seismischen Ereignisse mit Hilfe eines vor Ort installierten Stationsnetzes möglich. Der Aufbau von Offline-Stationen im Bereich des vermuteten Herdgebietes ist mit Beginn der nächsten Aktivitätsperiode geplant.

Schwingungsmessungen an Bauwerken

Bauwerke wie Talsperrenmauern, Hochbauten bzw. Tief- und Tunnelbauten werden durch Erschütterungen, wie sie durch eintreffende seismische Wellen erzeugt werden, dynamisch belastet. Um das Eigenschwingungsverhalten von Bauwerken eingehender zu untersuchen, wurden an ausgewählten Standpunkten Schwingungsmessungen durchgeführt. Einmalige Gelegenheiten dazu boten sich bei Sprengarbeiten im Schottenbergtunnel in Meißen bzw. bei der Auffahrung eines Kontrollganges im Inneren der Talsperrenmauer der Talsperre Klingenberg (Abb. 23).



Die in der Nähe des Schottenbergtunnels im Bereich der Albrechtsburg Meißen durchgeführten Erschütterungsmessungen dienten primär der Überwachung der Sprengarbeiten. Sie boten aber gleichzeitig eine günstige Gelegenheit, das Schwingungsverhalten der Türme des Meißner Doms näher zu untersuchen. Es ergaben sich für beide Türme unterschiedliche Eigenfrequenzen von 1,1 und 1,7 Hz. Eine Bewertung des daraus abgeleiteten Resonanzverhaltens ergab keine kritische Beeinträchtigung der Bauwerksstabilität.

Ein umfangreiches Betätigungsfeld für ingenieurseismologische Untersuchungen bieten die über 130 Talsperren und Stauanlagen im Bereich der Landestalsperrenverwaltung Sachsen. Besonders die Objekte im Vogtland und in Westsachsen sind einer erhöhten dynamischen Belastung durch Erdbeben ausgesetzt. Daher sind ausgewählte Talsperren dieser Region wie Muldenberg, Carlsfeld und Eibenstock schon seit längerem mit mobilen seismischen Stationen besetzt, um die seismische Gefährdung dieser Stauanlagen abzuschätzen. Hauptziel des Monitorings ist die Registrierung lokaler Erdbeben und die Erfassung der ausgelösten Erschütterungen im Staumauerbereich. In diesem Zusammenhang wurde eingehend das Eigenschwingungsverhalten von Staumauern untersucht. Bei Messungen an den Talsperren Eibenstock und Carlsfeld konnten Eigenschwingungen senkrecht zur Mauerachse mit Frequenzen von 6,1 Hz bzw. 1,3 Hz nachgewiesen werden.

Durch Messung entlang eines Profils in unterschiedlicher Höhe der Talsperrenmauer Klingenberg konnte das Eigenschwingungsverhalten der Mauer detailliert untersucht werden. Zusätzlich wurde die Eigenform (maximale Verbiegung) unter Ausnutzung von Sprengarbeiten, die zur Auffahrung eines Kontrollganges im Inneren der Staumauer durchgeführt wurden, abgeleitet. Die Eigenfrequenzen und die Eigenform sind eine Grundlage für Spannungsberechnungen, die eine Abschätzung der dynamischen Belastung der Baustruktur ermöglichen.

Abb. 23: Staumauer der Talsperre Klingenberg

5.4 Seismotektonik

Um den Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Erdbeben und der regionalgeologisch kartierten Bruchtektonik (Aufbau der Erdkruste in ihrer Struktur und großräumigen Bewegung) im Gebiet Westsachsens zu untersuchen, wurde eine seismotektonische Modellierung durchgeführt. Die Untersuchungen basieren auf den aus seismischen Messungen abgeleiteten Lokalisierungen (Hypozentren) und Herdflächen von Erdbeben sowie dem an der Erdoberfläche erfassten tektonischem Störungssystem. Daraus wurde ein dreidimensionales Modell des seismisch aktiven tektonischen Bruchsystems abgeleitet. Zur Modellierung wurde die Software GoCAD genutzt, die eine räumliche Darstellung von geologischen Objekten, wie tektonischen Störungssystemen unterstützt und somit eine visuelle seismotektonische Analyse ermöglicht. Als Datenbasis standen alle für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Lokalisierungen der Epizentren und Herdtiefen von über 8000 Erdbeben für den Zeitraum ab 1994 sowie die für 31 Ereignisse bestimmten Herdflächenlösungen zur Verfügung. Für kleinräumige, auf Flächen verteilte

Erdbebencluster wurden die Punktwolken der Hypozentren durch Regressionsflächen (statistisch gemittelte Fläche) angenähert und mit den vorliegenden Herdflächenlösungen verglichen. Bei übereinstimmender Lage wurden diese Regressionsflächen als Bruchfläche deklariert und unter der Annahme einer kontinuierlichen Fortsetzung tektonischer Brüche im oberen Krustenbereich an die Erdoberfläche extrapoliert. Mit diesem Verfahren können bisher unbekannte, Störungen an der Erdoberfläche ermittelt bzw. bei Deckung mit bereits kartierten tektonischen Bereichen diese als seismotektonisch aktive Störungen markiert werden (Abb. 24).

Gleichzeitig wird durch die Extrapolation der Regressionsflächen ein möglicher Tiefenverlauf des tektonischen Störungssystems modelliert, der mit Tiefenprofilen reflexionsseismischer Messungen verglichen werden kann. Im Ergebnis der seismotektonischen Modellierung konnten die NS-streichende Leipzig-Regensburg Störungszone sowie die sowie markante NW-SO-streichende Störungszonen als steil einfallende Bruchflächen mit Blattverschiebung bestätigt und dreidimensional dargestellt werden.

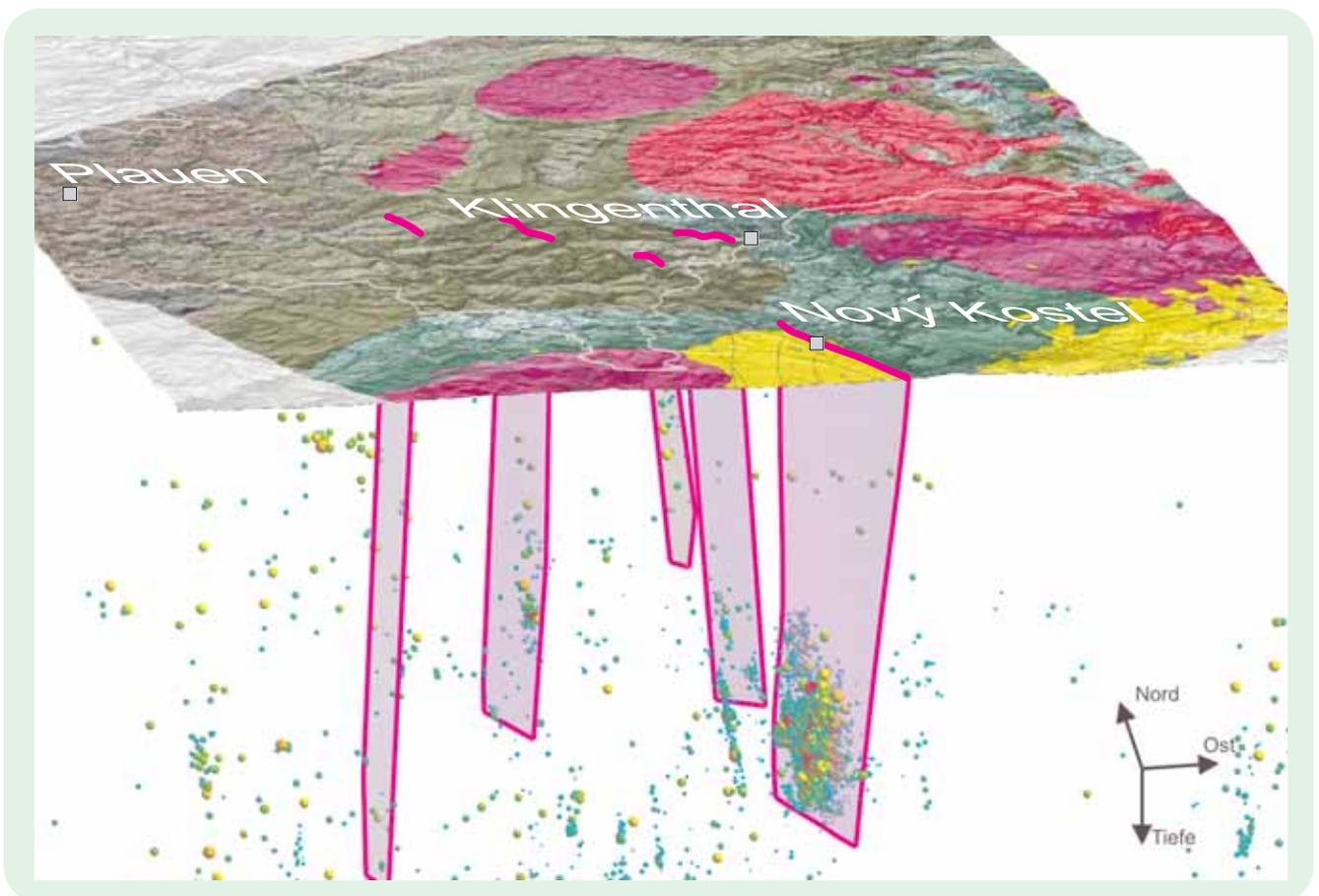


Abb. 24: Dreidimensionale GoCAD-Darstellung der Erdbebenhypozeptren und der daraus abgeleiteten möglichen Bruchflächen (Ansicht aus SW)

6 Die neue DIN 4149 (2005) - Bauten in deutschen Erdbebengebieten



Abb. 25: Epizentren von natürlichen seismischen Ereignissen in Deutschland (LEYDECKER 2005 und www.seismologie.bgr.de)

In Deutschland treten Erdbeben besonders in den Regionen des nördlichen Alpenrandes, des Oberrheintalgrabens, des mittleren Rheintals, der Niederrheinischen Bucht und im Kreuzungsbereich der Fränkischen Linie mit dem Egerstalgraben, in der Schwäbischen Alb und im Vogtland auf (Abb. 25).

Das Auftreten historischer Erdbeben einschließlich der beobachteten maximalen Intensitäten waren die Grundlage für die „deterministische“ Karte der Erdbebenzonen in Deutschland, d.h. der DIN 4149 alt von 1981. Eine „deterministische“ Karte begrenzt die Regionen, in denen Erdbeben in der Vergangenheit häufig aufgetreten sind und geht davon aus, dass diese Regionen auch in Zukunft seismisch aktiv bleiben.

Eurocode 8

In den letzten 25 Jahren haben sich die Konzepte für das erdbebengerechte Bauen grundlegend verändert. Zusätzlich ist es durch die internationale Zusammenarbeit im Rahmen der EU notwendig geworden, grenzüberschreitende gemeinsame Richtlinien zu schaffen. Für das Bauen in Erdbebengebieten gilt der so genannte Eurocode 8, der die Normen für die Bemessung und Konstruktion von Bauwerken des Hoch- und Ingenieurbaus in Erdbebengebieten vorgibt. Dazu zählt u. a.

- Einführung der „effektiven“ Bodenbeschleunigung als Beschreibung der seismischen Gefährdung
- Festlegung der Referenz-Wiederkehrperiode von Erdbeben auf 475 Jahre, d.h. die Wahrscheinlichkeit von 10 % des Auftretens eines Bebens einer bestimmten Stärke in 50 Jahren
- Ausweisung von Gebieten, die eine gewisse Bodenbeschleunigung überschreiten können, als Erdbebengebiete.

Diese Normen wurden den nationalen Gegebenheiten der einzelnen Länder in sogenannten Nationalen Anwenderdokumenten angepasst. In Deutschland bilden die Nationalen Anwenderdokumente die Grundlage für die DIN 4149 (2005), die seit April 2005 vorliegt.

DIN 4149 (2005)

Im Vergleich zur alten DIN werden in der DIN 4149 (2005) vier Neuentwicklungen zur Bestimmung der Erdbebeneinwirkung wirksam:

- Erarbeitung einer „probabilistischen“ Erdbebenzonenkarte, d.h. einer Karte welche die Wahrscheinlichkeit des Wiederauftretens eines Erdbebens angibt
- Zuordnung von Grenzwerten („Bemessungswerten“) der Erschütterung („Bodenbeschleunigung“) zu den einzelnen Erdbebenzonen
- Einbeziehung des Schwingungsverhaltens des Untergrundes („elastisches Antwortspektrum“)
- Berücksichtigung des geologischen Untergrundes.

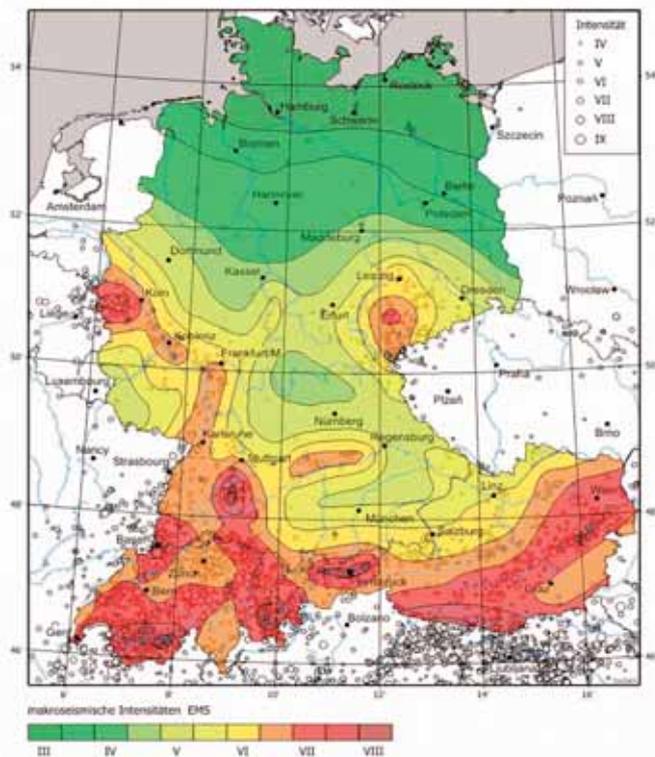


Abb. 26: Probabilistische Erdbebenzonenkarte für Deutschland, Österreich und der Schweiz (GRÜNTAL, MAYER-ROSA, LENHARDT 1998)

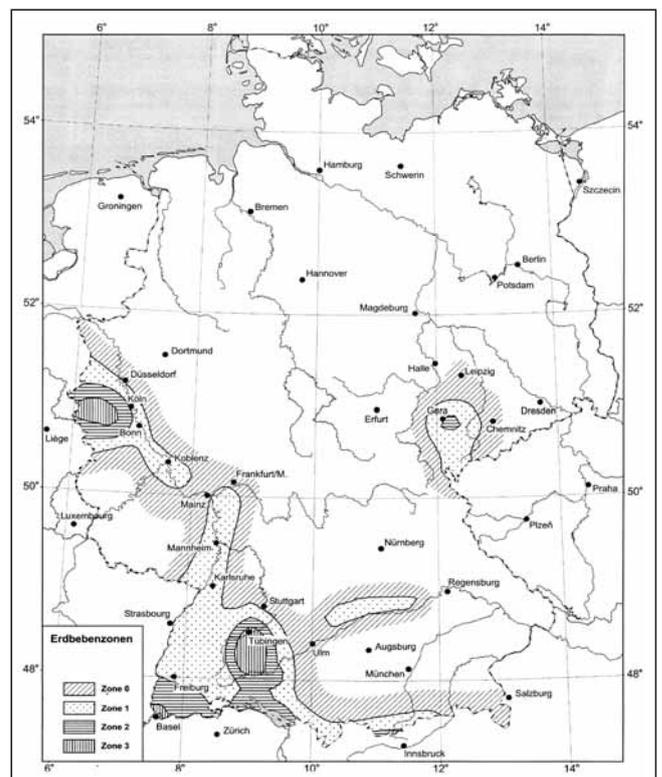


Abb. 27: Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland (DIN 4149 2005-04 2005)

Die bei der DIN 4149 (1981) verwendete „deterministische“ Gefährdungskarte beruht auf den einmalig beobachteten Maximalwerten historischer Beben. Die bei der DIN 4149 (2005) berechnete „probabilistische“ Erdbebenzonenkarte ermittelt die zu erwartende Intensität eines Erdbebens für jeden Punkt der Karte. Dabei wird seine Entfernung von den entsprechenden seismischen Quellregionen, die Dämpfung durch den geologischen Untergrund und die Magnitudenhäufigkeit der bisher aufgetretenen Erdbeben mit berücksichtigt (Abb. 26).

Aus der in der „probabilistischen“ Erdbebenzonenkarte ermittelten Intensitäten wurden für Deutschland insgesamt 4 Erdbebenzonen abgegrenzt, die für die weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt werden (Abb. 27). Jeder Erdbebenzone wird in Abhängigkeit von ihrer Intensität ein Bemessungswert der Bodenbeschleunigung zugeordnet. Berücksichtigt wird weiterhin das Schwingungsverhalten („elastisches Antwortspektrum“) vom Baugrund und vom geologischen Untergrund. In der Regel muss man bei weichem Untergrund (z. B. Fluss- und Auenablagerungen) mit Verstärkungseffekten rechnen, während bei festem Untergrund Dämpfungseffekte dominieren.

Zur Einschätzung des Untergrundes wurde für alle Gebiete der Erdbebenzonen 0 bis 3 eine Karte der geologischen Untergrundklassen erarbeitet, die eine Unterteilung des Untergrundes in die Klassen R (Fels, Festgestein), T (flache Sedimentbecken und Übergangszonen) und S (tiefe Sedimentbecken) vornimmt. Diese Untergrundklassen werden kombiniert mit den Baugrundklassen und fließen als Parameter in die elastischen Antwortspektren mit ein.

Die Zuordnung der Gemeinden zu den einzelnen Erdbebenzonen wurde bundesweit einheitlich durch den Landeserdbebendienst Baden-Württemberg durchgeführt. Die Veröffentlichung dieser Zuordnungen erfolgt für die einzelnen Bundesländer für ihr Hoheitsgebiet in den entsprechenden Amtsblättern (für Sachsen im Sächsischen Amtsblatt Nr. 52 vom 28.12.2006).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass in der DIN 4149 (2005) nur natürliche seismische Ereignisse Berücksichtigung finden bergbauinduzierte seismische Ereignisse, wie sie besonders in den Regionen mit Kalibergbau und ggf. des Steinkohlenbergbaues auftreten können, werden dabei nicht betrachtet.

7 Jubiläen der sächsischen Observatorien 2007

7.1 50-jähriges Jubiläum des Observatoriums Berggießhübel

Das Seismologische Observatorium Berggießhübel gehört zur TU Bergakademie Freiberg und ist dem Institut für Geophysik angegliedert. Das Observatorium befindet sich ca. 30 km südlich von Dresden im Zentrum der Stadt Berggießhübel und liegt im Grenzbereich zwischen Elbtalschiefergebirge und Erzgebirge. Die Gründung des Observatoriums ist im engen Zusammenhang mit der Entwicklung der Geophysik an der TU Berg-akademie Freiberg zu sehen. Nachdem sich bereits 1827 der an die Bergakademie berufene Physiker FERDINAND REICH (1799 – 1882) mit geophysikalischen Anwendungen im Montanwesen und der Zusammenstellung eines Erdbebenkataloges beschäftigt hatte,

regte 1902 der Professor für Geologie und Lagerstättenkunde RICHARD BECK (1858 – 1919) die Einrichtung einer unterirdischen seismologischen Station in Freiberg an. Zwei Weltkriege legten das Observatoriumsprojekt auf Eis, bevor mit der Gründung des Instituts für Theoretische Physik und Geophysik und der Berufung von WOLFGANG BUCHHEIM (1909 – 1995) zum Lehrstuhlinhaber der Gedanke an die Gründung eines Observatoriums gegen Ende des Jahres 1951 erneut aufgegriffen wurde. Da sich die Registrierbedingungen für geophysikalische Dauermessungen in Freiberg aufgrund der zunehmenden Industrialisierung jedoch verschlechtert hatten, suchte man in der Umgebung nach einem ungestörten Registrierort und fand im stillgelegten „Hildebrandstollen“ des ehemaligen Berggießhübler Magneteisenerz-Bergbaus einen geeigneten unterirdischen Standort.



Abb. 28: Stollneingang zu den Messkammern

Bereits 1954 wurden klimatisierte Messkammern (Abb. 29) in den Stollenbereich eingebaut und nach verschiedenen geophysikalischen Proberegistrierungen die erste Dauermessung für Gezeitenuntersuchungen mit Horizontalpendeln aufgenommen. Im September 1957 wurde das Observatorium nach Fertigstellung des Stationsgebäudes offiziell als „Erdgezeitenstation“ in Betrieb genommen. Die Aufnahme des Observatoriumsbetriebes war zugleich ein wichtiger Beitrag zum globalen Projekt „Internationales Geophysikalisches Jahr“, welches weltweite Aktivitäten zur Erforschung des Erdkörpers in Gang gesetzt hatte.

Die Aufnahme seismischer Probemessungen im Mai 1960 war ein Glücksumstand, denn bereits wenige Tage später, am 22.05.1960, konnte das mit 9.5 stärkste, jemals von Seismografen registrierte Erdbeben in Chile vollständig aufgezeichnet werden. Im Ergebnis der Probemessungen erwiesen sich die ungestörten unterirdischen Registrierbedingungen als besonders geeignet für seismologische Untersuchungen, so dass 1966 mit einer kontinuierlichen seismischen Registrierung begonnen wurde. Bis 1972 wurde die Messtechnik auf einen kompletten kurz- und langperiodischen Seismometersatz erweitert, womit die

Voraussetzungen zur Integration der Station in das globale Netz seismischer Stationen geschaffen wurden. 1969 wurde das Observatorium dem neu gegründeten Zentralinstitut für Physik der Erde (ZIPE) der Akademie der Wissenschaften in Potsdam angegliedert und verstärkt für seismische Überwachungsaufgaben genutzt. Mit der Einrichtung eines Seismischen Informationsdienstes (SID), der durch das ZIPE nach dem hier gefühlten Erdbeben in Oberitalien 1976 eingerichtet wurde, fungierte das Observatorium als Basisstation im nationalen Stationsnetz und konnte bereits 1981 erstmals kontinuierliche seismische Registrierungen an die Stationsnetzzentrale liefern. Neben den Routineprogrammen zur Erfassung der globalen und lokalen Seismizität wurden am Observatorium hauptsächlich ingenieur-seismologische Untersuchungen zur Überwachung von bergbau- bzw. talsperreninduzierter Seismizität durchgeführt. Die enge Zusammenarbeit mit den seismologischen Observatorien Collm und Moxa der Universitäten Leipzig bzw. Jena führte ab 1978 zur Herausgabe eines gemeinsamen Bulletins.



Abb. 29: Messkammer für seismische und Gezeitenregistrierung

Mit der Überführung des ZIPE in das Geoforschungszentrum (GFZ) Potsdam wurde das Observatorium 1993 mit moderner digitaler Registrier- und Kommunikationstechnik ausgerüstet und in das Deutsche Regionalnetz seismischer Breitbandstationen (GRSN) eingebunden. Durch die Möglichkeit des direkten Zugriffs auf die laufende Registrierung ist die Station gleichzeitig in das globale digitale Seismometernetz (GDSN) integriert, welches außer der Überwachung der globalen Seismizität auch für Kontrollprogramme zum Nachweis unterirdischer Kernexplosionen und in zunehmenden Maße für seismologische Strukturuntersuchungen des Erdkörpers genutzt wird. Die digitalen Aufzeichnungen



Abb. 30: Seismometer verschiedener Generationen

der Station werden in der Datenzentrale des Regionalnetzes gespeichert, wohingegen alle älteren Filmregistrierungen in einem Seismogrammarchiv aufbewahrt werden.

1994 konnte das Observatorium auf Initiative des Instituts für Geophysik der TU Bergakademie Freiberg in den Bestand der Universität zurückgeführt werden und dient seitdem wieder verstärkt der studentischen Ausbildung auf den Gebieten Seismologie und Geodynamik. Die Aufnahme von kontinuierlichen Erdschwere- und Neigungsmessungen im Jahre 2000 hat das Messspektrum des Observatoriums im Hinblick auf langperiodische Bewegungsvorgänge wie beispielsweise Gezeiteneffekte ergänzt und soll die Voraussetzungen für eine Erweiterung des Forschungsprofils für allgemeine geodynamische Untersuchungen liefern. Hauptaufgabe des seismologischen Observatoriums ist die Erfassung, Analyse und Interpretation von seismischen Ereignissen, wobei die Überwachung der lokalen Seismizität sowie die Durchführung ingenieur-seismologischer Arbeiten immer mehr in den Vordergrund rücken.

Die gute Zugänglichkeit der Station sowie direkte Möglichkeiten, laufend Messungen vorzuführen, sind gut geeignet, der geowissenschaftlich interessierten Öffentlichkeit einen Einblick in die seismologische Registrierung und Forschung zu geben.

7.2 75-jähriges Jubiläum des Observatoriums Collm

Bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde in Sachsen die Aufmerksamkeit verstärkt auf spürbare Erdbeben und die Erdbebenforschung gelenkt. HERMANN CREDNER (1841 – 1913), der den Lehrstuhl für Geologie und Paläontologie an der Universität Leipzig innehatte, spielte auch in der internationalen Erdbebenforschung eine tragende Rolle. Bereits 1902 richtete er im Keller des Hauses Talstraße 35 eine Erdbebenwarte ein, die mit einem von EMIL WIECHERT (1861 – 1928) konstruierten und in Göttingen gebauten Seismometer (umgekehrtes Vertikalpendel, Masse 1,1 Tonnen) ausgerüstet war.

1923 übernahm LUDWIG WEICKMANN (1882 – 1961) die Leitung des Geophysikalischen Instituts der Universität. Er

strebte die Schaffung eines Geophysikalischen Observatoriums an, das zunächst vorrangig der Seismologie dienen sollte, da sich aufgrund der zunehmenden Industrialisierung die Registrierbedingungen in der Stadt sehr verschlechtert hatten. 1927 sagte das Sächsische Ministerium für Volksbildung den Bau eines Observatoriums außerhalb der Großstadt zu, das nun trotz schwieriger wirtschaftlicher Bedingungen in 5 Jahren gebaut und eingerichtet wurde.

„Für den Entwurf des Observatoriums war maßgebend, für die Spezialgebiete geophysikalischer Forschung, wie Seismik, Erdmagnetismus, Schweremessungen, luftelektrische Untersuchungen, Strahlungsmessungen und meteorologische Untersuchungen günstige Arbeitsbedingungen zu schaffen. Die Lage des Observatoriums am Collm bei Oschatz, weitab von jeglicher Störung durch Erschütterungen infolge von



Abb. 31: Historische Gesamtansicht des Hauptgebäudes auf dem Collmberg

Eisenbahn- und Wagenverkehr und Steinbruchsprengungen, frei von allen Beeinflussungen des erdmagnetischen Feldes durch Gleichstromanlagen, weit entfernt von allen Quellen atmosphärischer Trübung durch Rauchentwicklung in Industrieanlagen, garantiert die Möglichkeit der Durchführung einwandfreier Beobachtungen.“ [aus der Gründungsurkunde]

Das Observatorium umfasst neben dem Hauptgebäude mit Arbeits- und Wohnräumen, einer feinmechanischen Werkstatt und einem Hörsaal mehrere Nebengebäude, die vorrangig der Unterbringung der Messanlagen dienen (Erdbebenwarte, Absoluthaus, Magnethaus). Die offizielle Einweihung geschah am 06.10.1932 im Rahmen der 10. Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft. Die in den nächsten Jahren erfolgte Fertigstellung und Einrichtung der Nebengebäude des Observatoriums ermöglichte die angestrebte Erweiterung des Institutsspektrums auf die Bereiche der festen Erde (erdmagnetische und seismologische Arbeiten). Der Wiechert-Seismograph wurde 1935 an das Observatorium umgesetzt und ist bis heute in Betrieb.

Die Messreihen des Observatoriums konnten mit Ausnahme einiger kriegsbedingter Ausfälle bis heute praktisch lückenlos fortgeführt werden. Im Zusammenhang mit dem Internationalen Geophysikalischen Jahr (1957/58) wurde am Geophysikalischen Observatorium Collm die Ionosphärenforschung etabliert. Speziell widmete man sich der systematischen Untersuchung der Windsysteme in der oberen Mesopausenregion über Mitteleuropa. Das Geophysikalische Observatorium Collm wird heute vom Institut für Geophysik und Geologie und vom Institut für Meteorologie gemeinsam genutzt. Die Erdbebenstation ist 1993 mit einem Gerätesatz des German Regional Seismological Network (GRSN) ausgerüstet worden und genügt damit den Anforderungen der modernen seismologischen

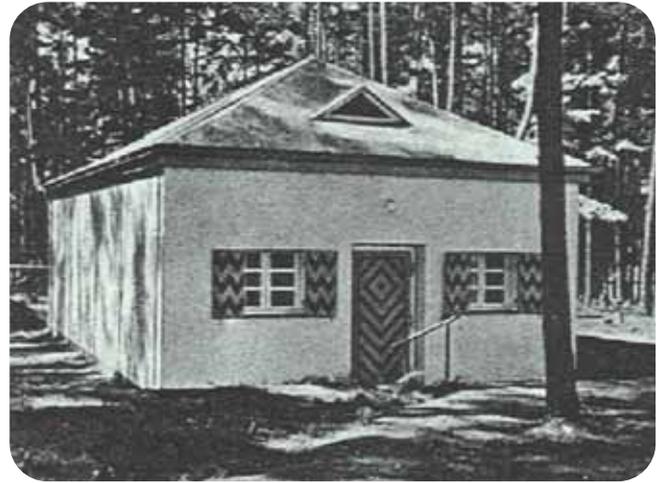


Abb. 32: Nebengebäude auf dem Collmberg, in dem der Wiechert-Seismograph untergebracht ist

Datenerfassung, des internationalen Datenaustauschs und der Forschung. Seit 2004 ist ein modernes SkYMET Meteor Radar System für die meteorologische Mesosphärenforschung in kontinuierlichem Betrieb.

Im Jahr 2006 konnte ein neuer, unterirdischer Seismometerbunker (Abb. 33, 34) auf dem Observatoriumsgelände erbaut und Anfang 2007 die seismischen Messanlagen dorthin verlegt werden. Durch die äußerst konstanten Umgebungsbedingungen in diesem Bauwerk wird erwartet, dass die Qualität der Registrierungen weiter steigt. Das Hauptgebäude wurde in den vergangenen Jahren kontinuierlich saniert und präsentiert sich heute wieder in ausgezeichnetem baulichen Zustand. Wegen der immer geringer werdenden Zahl der Mitarbeiter aufgrund von Stellenstreichungen ist aber seine künftige Nutzung als Observatorium ungewiss.



Abb. 33: Bauphase des Seismometerbunkers



Abb. 34: Seismometerbunker mit Einstiegs Luke

- Abb. 22: Flutungsverlauf und Magnitudenverteilung 1998 – 2006 im Bergbaugebiet Aue-Alberoda (I – VI verschiedene Flutungsintervalle)
- Abb. 23: Staumauer der Talsperre Klingenberg
- Abb. 24: Dreidimensionale GoCAD-Darstellung der Erdbebenhypozentren und der daraus abgeleiteten möglichen Bruchflächen (Ansicht aus SW)
- Abb. 25: Epizentren von natürlichen seismischen Ereignissen in Deutschland (LEYDECKER 2005 und www.seismologie.bgr.de)
- Abb. 26: Probabilistische Erdbebenzonenkarte für Deutschland, Österreich und der Schweiz (GRÜNTAL, MAYER-ROSA, LENHARDT 1998)
- Abb. 27: Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland (DIN 4149:2005-04 2005)
- Abb. 28: Stollneingang zu den Messkammern
- Abb. 29: Messkammer für seismische und Gezeitenregistrierung
- Abb. 30: Seismometer verschiedener Generationen
- Abb. 31: Historische Gesamtansicht des Hauptgebäudes auf dem Collmberg
- Abb. 32: Nebengebäude auf dem Collmberg, in dem der Wiechert-Seismograph untergebracht ist
- Abb. 33: Bauphase des Seismometerbunkers
- Abb. 34: Seismometerbunker mit Einstiegs Luke

Literatur

- Amtlicher Anzeiger (2006): Beilage Sächsisches Amtsblatt H. 52 vom 28.12.2006.
- AUTORENKOLLEKTIV (1996): Seismologische Übersichtskarte des Freistaates Sachsen 1 : 400 000 – Landesvermessungsamt, Dresden.
- AUTORENKOLLEKTIV (1981): Die Entwicklungsgeschichte der Erde. – Brockhaus Nachschlagewerk Geologie - 5. Aufl.: 703 S., Leipzig.
- AUTORENKOLLEKTIV (2000): Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen: Zweijahresbericht 1998 – 99; (Materialien zur Geologie). – Hrsg. Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- AUTORENKOLLEKTIV (2002): Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen: Zweijahresbericht 2000 – 01; (Materialien zur Geologie). – Hrsg. Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- AUTORENKOLLEKTIV (2004): Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen: Zweijahresbericht 2003 – 04; (Materialien zur Geologie). – Hrsg. Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- BERCKHEMER, H. (1997): Grundlagen der Geophysik. – 2. durchges. u. korr. Aufl., Wiss. Buchges.: 201 S., Darmstadt.
- DIN 4149 (1981): Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten – Beuth Verlag: 14 S., Berlin.
- DIN 4149 (2005): Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. – Hrsg. Beuth Verlag: 82 S., Berlin.
- Eurocode 8 (1997): Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1 - 3 Grundlagen-Baustoffspezifische Regeln für Hochbauten. – Beuth Verlag, Berlin.
- GRÜNTAL, G. (1988): Erdbebenkatalog des Territoriums der DDR und angrenzender Gebiete von 823 bis 1984 (Einarbeitung der Erdbebenkataloge von LERSCH 1897, SIEBERG 1940 und SPONHEUER 1952). – Veröff. Zentr.inst. Phys. Erde **99**: 139 S., Potsdam
- GRÜNTAL, G. (1993): European Macroseismic Scale 1992 (up-dated MSK-Scale). – European Seismological Commission, Luxembourg.
- GRÜNTAL, G.; MAYER-ROSA, D.; LENHARDT, W. A. (1998): Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten Deutschland-Österreich-Schweiz. – Bautechnik **75**, (10): 753-767, Berlin.
- LEYDECKER, G. (2005): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 – 2004 (Einarbeitung des Erdbebenkataloges von GRÜNTAL 1988), Datenfile. - BGR Hannover
- MURAWSKI, H. (1977): Geologisches Wörterbuch. – 7. durchges. u. erw. Aufl., Enke Verlag: 280 S., Stuttgart.
- NEUMANN, W.; JACOBS, F. & TITTEL, B. (1986): Erdbeben. – Hrsg. Aulis Verlag Deubner & Co. KG, Köln.
- PLENEFISCH, T. & KLINGE K. (2003): Temporal variations of focal mechanisms in the Nový Kostel focal zone (Vogtland/NW Bohemia) – Comparison of the swarms of 1994, 1997 and 2000. – J. Geodyn., **35** (1-2), 146-156.
- POHL, D.; WETZEL, H.-U. & GRÜNTAL, G. (2006): Tektonische Untersuchungen im Raum Vogtland-Leipzig mit Hilfe von Fernerkundung. – In: Seyfert, E. (Eds), Geoinformatik und Erdbeobachtung: Vorträge; 26. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 11 – 13.09.2006 in Berlin, 277-286
- SÄCHSISCHES AMTSBLATT – Sonderdruck Nr. 2/2002

Tabellen

- Tab. 1: Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2004 - 2006
(mit Lokalmagnitude $ML \geq 1$)
- Tab. 2: Seismische Ereignisse 2004 - 2006 (mit Lokalmagnitude ≥ 4) außerhalb Sachsens im
Entfernungsbereich bis ca. 500 km
- Tab. 3: Stationen des Online-Netzes
- Tab. 4: Stationen des Offline-Netzes
- Tab. 5: Ausgewählte seismische Ereignisse 2001 bis 2006

Anlagen

- Anl. 1: Makroseismische Intensitätsskala EMS-92
- Anl. 2: Ausführlicher Fragebogen zur Erdbebenbeobachtung
- Anl. 3: Fragebogen zur Veröffentlichung

Begriffserklärungen

anthropogen: vom Menschen erzeugt, verursacht

Bebenschwarm: möglicherweise sehr dichte zeitliche Folge von meist kleinen Erdbeben (Schwarmbeben) im gleichen Herdgebiet, deren einzelne Energiebeiträge sich nicht wesentlich unterscheiden; vgl. Erdbebenserie

Bodenunruhe (Bewegung), mikroseismische: mehr oder weniger kontinuierliche Bodenschwingungen durch Verkehr, Industrie und atmosphärische Störungen; als Rauschen Störfaktor bei seismologischen Registrierungen

Cluster: Menge von Einzelereignissen, die räumlich und zeitlich eng beieinander liegen

Detektionsschwelle: schwächstes noch erfasstes Erdbeben, durch die Empfindlichkeit der Seismometer bestimmt ↗ Bodenunruhe

EMS: Europäische Makroseismische Skala ↗ Intensität

Epizentralintensität I_0 : ↗ Intensität im ↗ Epizentrum

Epizentrum: Auf die Erdoberfläche projizierte Lage des Bebenherdes (↗ Hypozentrum). Die auf der Erdoberfläche gemessene Entfernung eines Punktes zum Epizentrum heißt Epizentraldistanz D , die maximale Schütterwirkung an der Erdoberfläche ist die ↗ Epizentralintensität I_0 .

Erdbebengefährdung: Wahrscheinlichkeit des Auftretens seismischer Erschütterungen

Erdbebenkatalog: Zusammenstellung von Erdbeben, die nach einem bestimmten Gesichtspunkt ausgewählt wurden (z. B. Fühlbarkeit, Schadenswirkungen, Magnitude, Region) für Einzelaussagen und statistische Bearbeitung

Erdbebenserie: im deutlichen zeitlichen Zusammenhang mit einem Hauptbeben stehenden Abfolge von einzelnen Erdbeben im gleichen Herdgebiet; Stärke und Häufigkeit im Allgemeinen mit der Zeit abnehmend
↗ Vorbeben ↗ Nachbeben ↗ Schwarmbeben

Erdbebenzone: Gebiet mit bedeutender Konzentration natürlicher seismischer Ereignisse
(global 3 Hauptzonen: zirkumpazifische, mediterran transasiatische und mittelozeanische Zone)

Eurocode 8: Norm des Comité Européen de Normalisation (CEN) zur Auslegung von Bauwerken gegen Erdbebeneinwirkungen

Fluid: Bei relativ niedrigen Drücken und Temperaturen wird zwischen gasförmiger und flüssiger Phase unterschieden. Bei Drücken und Temperaturen oberhalb des kritischen Punktes gibt es keine Unterscheidung zwischen Gas und Flüssigkeit, daher spricht man von überkritischem Fluid oder einfach Fluid.

GRSN: German Regional Seismological Network (Deutsches Regionalnetz seismologischer Breitbandstationen)

Herddaten: räumliche, zeitliche und energetische Zahlenangaben über seismische Ereignisse, im Einzelnen geographische Koordinaten des Epizentrums, Herdtiefe, Uhrzeit und Magnitude

Herdtiefe: Tiefe des Erdbebenherdes unter der Erdoberfläche (global: Flachbeben bis 70 km, mitteltiefe Beben bis 300 km, Tiefbeben über 300 km)

Herzzeit: bei natürlichen Erdbeben nur nachträglich bestimmbarer Beginn des Herdprozesses, bei Sprengungen und Explosionen der direkt messbare Zeitpunkt der Auslösung

Hypozentrum: berechnete Lage des Erdbebenherdes in der Tiefe

Intensität: Die Intensitätsskala basiert auf der Beobachtung der Bebenwirkungen auf Menschen, Gebäude oder Natur im betroffenen Gebiet. Die neueste Weiterentwicklung stellt die Europäische Makroseismische Skala dar (EMS-92), die u. a. auch erdbebengerecht konstruierte Bauten einschließt.

Longitudinalwelle, P-Welle (primäre Welle) oder Kompressionswelle: Ein Haupttyp seismischer Raumwellen; breitet sich im Vergleich mit anderen seismischen Wellen am schnellsten aus. Die Bodenteilchen werden in Ausbreitungsrichtung der Welle bewegt.

Magnitude: Magnituden-Skala, 1935 von Ch. Richter eingeführt (↗ Richter-Skala), ist ein Maß für die bei einem Erdbeben freigesetzte Energiemenge. Die Magnitude wird aus der durch Seismographen gemessenen Erschütterungsamplitude berechnet. Die in der Nähe (bis 1 000 km) eines Epizentrums bestimmte Magnitude heißt Lokalmagnitude (ML).

Makroseismik: Beschreibung von fühl- und sichtbaren Erdbebenwirkungen ohne instrumentelle Messwerte

MEZ: Mitteleuropäische Zeit; MEZ = ↗UTC + 1 Stunde

Mikroseismik ↗Bodenunruhe

Monitoring: ständige Beobachtung

MSK-Skala: In Europa weit verbreitete Intensitäts-Bewertung von Erdbebenwirkungen auf Lebewesen, Bauwerke und Landschaft; 1964 von MEDWEDEW, SPONHEUER und KARNIK als 12gradige Skala begründet und mehrfach aktualisiert. Seit 1992 EMS (Europäische Makroseismische Skala)

Nachbeben: zeitlich und räumlich eng mit einem vorangegangenen Hauptbeben zusammenhängendes Ereignis einer möglicherweise langen Erdbebenserie

OTSN: Ostthüringer seismisches Netz

P-Welle: ↗Longitudinalwelle

Rheologie: Wissenschaft, die sich mit dem Verhalten der Materie unter dem Einfluss von formverändernden Kräften befasst

Richter-Skala: Klassifikation der Erdbeben nach ihrem Energieumsatz. In Herdnähe können schwache Erdbeben mit sogar negativen Magnituden erfasst werden, während aus Registrierungen der stärksten, sehr seltenen Erdbeben Magnituden bis ca. 9,5 berechnet wurden.

Schüttergebiet: Fläche der gespürten Bebenwirkungen; die mittlere Entfernung der Fühlbarkeit heißt Schütterradius

Schwarmbeben: ↗Bebenschwarm

Seismik: Verfahren zur Feststellung von Form, Lage und Eigenschaften geologischer Körper (bevorzugt Lagerstätten, Baugrund) mit künstlich angeregten elastischen Wellen (durch Sprengung, Schlag, Vibration); häufig auch als Sprengseismik bezeichnet

Seismizität: zusammenfassende Bezeichnung für die Erdbebenaktivität sowie ihre räumliche, zeitliche und energetische Verteilung

Seismogramm: zeitlicher Verlauf der vom Seismographen wiedergegebenen Bodenbewegungen

Seismograph: Messgerät zur Registrierung von Bodenbewegungen, bestehend aus Seismometer (Empfänger der mechanischen Energie) und Aufzeichnungssystem (Messdatenanzeige und Informationspeicherung)

Seismologie: (griech. *seismos* = *Erderschütterung*): Erdbebenkunde; Wissenschaft von Erdbeben; Teilgebiet der Geophysik

Seismometer: ↗Seismograph

seismisches Netz: mehrere ↗Seismographen (an verschiedenen Standorten) zur Registrierung von Bodenbewegungen

Station, seismologische: wissenschaftlich-technische Einrichtung zur Aufzeichnung und Interpretation von Erderschütterungen

Störung: Trennfuge im Gesteinsverband, an der eine Verstellung angrenzender Schollen stattgefunden hat

SZGRF: Seismologisches Zentralobservatorium Gräfenberg

S-Welle: ↗Transversalwelle

Tektonik: (griech. *tektonikos* = *zum Bau gehörend*): Lehre vom Aufbau und den Bewegungsformen der Erdkruste und des oberen Erdmantels

Transversalwelle, auch S-Welle (*sekundäre Welle*) oder Scherwelle: ein Haupttyp seismischer Wellen; die Bodenteilchen schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung

UTC: (Abkürzung für engl. Universal Time Coordinated = „Koordinierte Weltzeit“): früher Mittlere Greenwich-Zeit (GMT), die auf den Nullmeridian bezogen ist; UTC ↗MEZ - 1 Stunde

Vorbeben: zeitlich und räumlich eng mit einem nachfolgendem, stärkeren Hauptbeben zusammenhängendes Ereignis

Anlagen

Anlage 1

Stark vereinfachte Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-92
Europäische Makroseismische Skala – 1992 (GRÜNTAL 1993)

EMS Intensität	Definition	Beschreibung der maximalen Wirkung (stark verkürzt)
I	nicht fühlbar	Nicht fühlbar.
II	kaum bemerkbar	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
III	schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern. Lampen schwingen leicht.
IV	deutlich	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
V	stark	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Gelegentlich treten Haarrisse im Verputz auf und in wenigen Fällen Abfall kleiner Putzstücke.
VI	leichte Gebäudeschäden	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An einigen Häusern entstehen leichte Schäden (Risse im Verputz), vornehmlich an Häusern in schlechterem Zustand feine Mauerrisse, Abfallen von Verputz- und Schornsteinteilen.
VII	Gebäudeschäden	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (Mauerrisse). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse, vereinzelt Einsturz von Zwischenwänden.
VIII	schwere Gebäudeschäden	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. Selbst schwere Möbel werden verschoben und zum Teil umgeworfen. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d. h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
IX	zerstörend	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
X	sehr zerstörend	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
XI	verwüstend	Die meisten Bauwerke, selbst mit guter erdbebengerechter Konstruktion, werden zerstört.
XII	vollständig verwüstend	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört.

Anlage 2

SEISMOLOGIE-VERBUND SACHSEN

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie Postfach 80 01 00 01101 Dresden	Geophysikalisches Observatorium Collm der Universität Leipzig 04779 Wernsdorf	Observatorium Berggießhübel der TU Bergakademie Freiberg Hauptstr. 8 01819 Berggießhübel	Institut für Geowissenschaften Universität Jena Burgweg 11 07749 Jena
--	--	---	--

Fragebogen zu den Auswirkungen des Erdbebens

vom im Raum.....

Alle Wahrnehmungen zu diesem Erdbeben sind wichtig und sollen erfasst und ausgewertet werden.

Bitte helfen Sie uns dabei, indem Sie diesen Fragebogen unvoreingenommen und vollständig ausfüllen und ihn an die ausgebende Stelle oder an eine der oben angegebenen Adressen zurückgeben.

1. Haben Sie das oben genannte Ereignis verspürt?

nein (Es ist sinnvoll, zum weiteren auch dann Stellung zu nehmen, wenn Sie nichts gespürt haben!)

ja Wann genau? Uhrzeit (Stunde und Minute) h min

Wo genau befanden Sie sich? in einem Gebäude im Freien
im Auto wo sonst ?.....

Adresse Ihres Aufenthaltsortes während der Beobachtung (evtl. mit Postleitzahl)

.....
Anzahl der Stockwerke des Gebäudes

Stockwerk Ihres Aufenthalts während der Beobachtung

Bauart des Gebäudes Fachwerk Ziegel Plattenbau
Natursteine Beton andere ?

Lage Ihres Aufenthaltsortes während der Beobachtung

Ebene Hang Berg
Tal Ufer

Untergrundbeschaffenheit, falls Ihnen bekannt

Sandboden Lehm/Ton Fels
aufgeschütteter Boden Sumpf andere ?

Ihre momentane persönliche Situation während des Ereignisses

stehend sitzend liegend

schlafend und aufgrund der Auswirkungen erwacht andere?.....

2. Was verspürten Sie? Können Sie die entsprechende Dauer (in Sekunden) schätzen?

	Dauer		Dauer
Auf- und Abwärtsbewegung <input type="checkbox"/> s	ruckartige, kurze Bewegung <input type="checkbox"/> s
langsameres Schwanken <input type="checkbox"/> s	Zittern <input type="checkbox"/> s

Geräusche (wann? welche?) s etwas anderes ? s

Falls mehreres gleichzeitig oder nacheinander gespürt wurde, bitte beschreiben:

3. Welche Wirkungen rief das Ereignis hervor?

a) in und an Gebäuden / technischen Anlagen
 wo ?

Art/Zweck des Gebäudes/der Anlage

vorübergehende:

- Zittern/Pendeln frei hängender oder stehender Gegenstände
- Klappern/Pendeln von Fenstern und Türen
- Auf- u. Zuschlagen
- Klirren von Geschirr und Fenstern
- Knistern von Dielen und Wänden
- Krachen im Gebälk
- Zittern von Möbelstücken
- Schwanken von Möbelstücken
- ungewöhnliches Verhalten von Tieren

bleibende:

- Verschieben
- Umfallen kleiner Gegenstände in/aus Regalen u. ä.
- Herabfallen
- Verrutschen von Wandbildern
- Überschwappen freier Wassermengen
- Stehenbleiben von Uhren
- Verrücken von Möbelstücken
- Schäden:**
- nicht bekannt geworden
- Umstürzen von Möbelstücken
- feine Risse im Verputz
- Abbröckeln von Verputz
- Rissen in Mauern und Fußböden
- an Schornsteinen
- Abfallen von Dachziegeln
- Einsturz von Gebäudeteilen
- an unterirdischen Ver- und Entsorgungsanlagen

b) in der Natur Bodenrisse Senkungen Erdbeben Felsstürze
 Veränderungen an Gewässern, Brunnen, Stauseen (z.B. Wasserstand, Trübung, Wellen)
 wo genau?

4. **Verspürten Sie Nachstöße?** nein ja wann?.....
 wie stark ?.....

Falls Sie bei dem Ereignis erschrocken sind, beschreiben Sie bitte kurz Ihre Empfindungen:

Haben Sie aufgrund von Befürchtungen (welchen?) das Gebäude verlassen, in dem Sie sich vor dem Ereignis aufgehalten hatten? nein ja
 Haben andere Personen in Ihrer Umgebung das Ereignis ebenfalls wahrgenommen?
 einzelne wenige (ca.5%) viele (ca.50%) die meisten

Hatten Sie schon vorher persönliche Erfahrungen mit Erdbeben bzw. Gebirgsschlägen?
 nein ja welche?

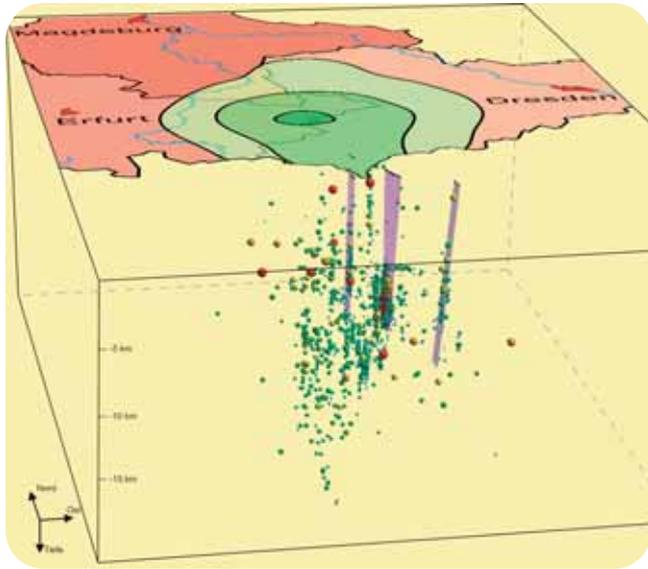
Schildern Sie bitte ggf. weitere Einzelheiten, außergewöhnliche Vorkommnisse, Veränderungen und Schäden, die mit dem Ereignis im Zusammenhang stehen könnten:
Ihre Kontaktadresse mit Telefonnummer:

Impressum

Geologie

Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen

Dreijahresbericht 2004 - 2006



Titelbild:
Bundesländer Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt mit Erdbebenzonen und seismischen Ereignissen 1993 – 2006 mit extrapolierten Bruchflächen an die Erdoberfläche

Herausgeber:
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Öffentlichkeitsarbeit
Zur Wetterwarte 11, D-01109 Dresden
E-Mail: Abteilung1.LfUG@smul.sachsen.de
(kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente)

Autoren:
Kapitel 1 – 3; Hans-Jürgen Berger¹⁾, Petra Buchholz¹⁾,
5 – 7: A. Docekal²⁾, Sigward Funke⁴⁾, Falk Hänel²⁾,
Michael Korn⁴⁾, Ottomar Krentz¹⁾,
Reinhard Mittag²⁾, Elke Novak²⁾, Ivo Rappsilber⁶⁾,
Edgar Scheidewig³⁾, Klaus-Peter Stanek³⁾,
Siegfried Wendt⁴⁾, Brunhild Witthauer¹⁾

Kapitel 4: Reinhard Dietrich, Lutz Eberlein,
Heiko Ewert, Mathias Fritsche⁵⁾

Redaktion: Brunhild Witthauer

Redaktionsschluss: Oktober 2007

Gestaltung, Satz, Repro:
SUBdesign, www.subdesign.net

Druck:
Druckerei Wagner, Weststraße 60
09603 Großschirma, OT Siebenlehn

Auflagenhöhe: 1.000

Bezugsbedingungen:
Diese Veröffentlichung kann kostenfrei von der saxoprint GmbH bezogen werden.

Versand:
saxoprint GmbH
Enderstr. 94, 01277 Dresden
Fax: 0351/2044-366 (Versand)
E-Mail: versand@saxoprint.de

Hinweis:
Diese Veröffentlichung wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme des Landesamtes zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden kann. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Copyright:
Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Dezember 2007

L VII-2/4

www.smul.sachsen.de/lfug

¹⁾ Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Abteilung Geologie
²⁾ TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik
³⁾ TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie
⁴⁾ Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie
⁵⁾ TU Dresden, Institut für Planetare Geodäsie
⁶⁾ Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Dezernat Geophysik und Strukturgeologie

