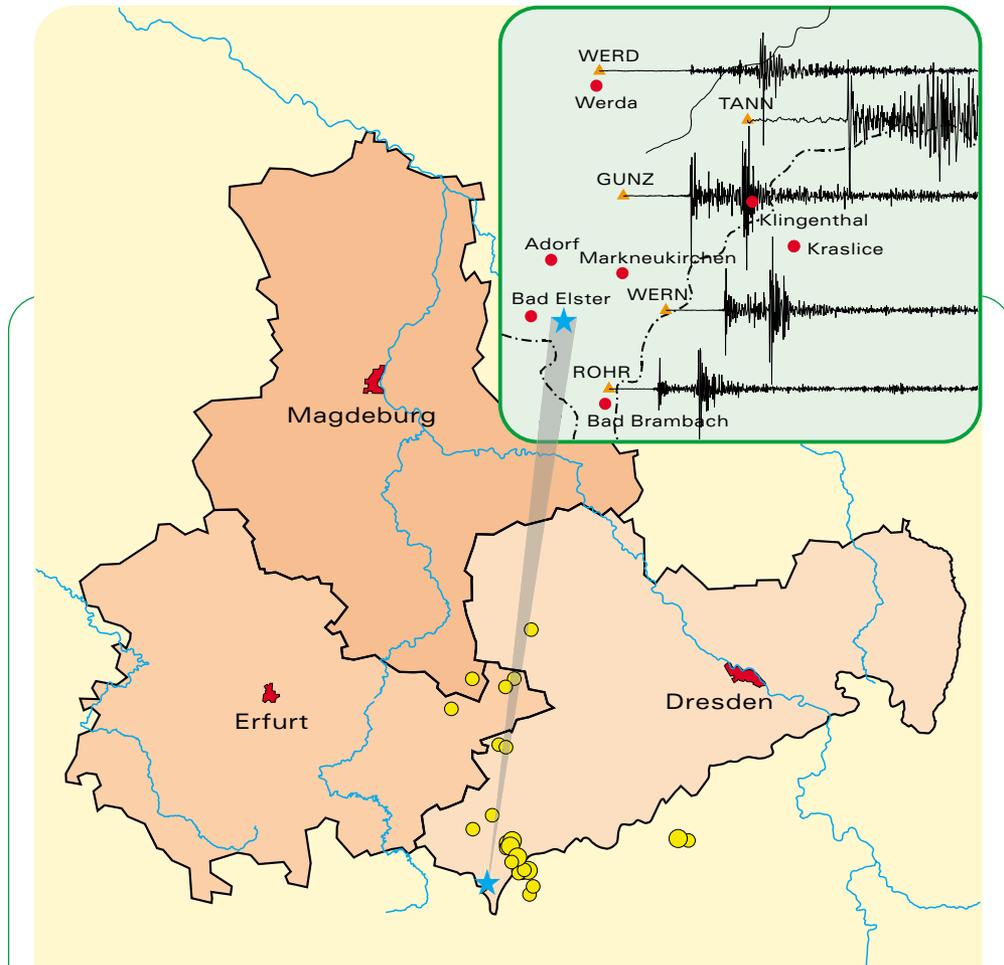




Das Lebensministerium



## Materialien zur Geologie

**Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen**

Zweijahresbericht 2000–2001

Freistaat  Sachsen

Sächsisches 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 hat es bisher keine verheerenden Beben gegeben. 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 zwar keine Schäden an Gebäuden oder Einrichtungen auf. Diese können aber in Zukunft nicht völlig ausgeschlossen werden.

In den 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 erfolgt durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie. Da Erdbeben keine Ländergrenzen kennen, bestehen auch enge Kontakte zu vergleichbaren Einrichtungen in anderen Bundesländern und benachbarten Ländern.

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 werden die erdbebengefährdeten Gebiete mit einem Netz seismologischer und geodätischer Stationen versehen. Das geodätische Netz existiert seit 1997. Die Umrüstung und der Ausbau des seismologischen »Sachsenetzes« mit modernen digitalen Registriergeräten und z. T. direkten Datenübertragungssystemen werden im Jahr 2003 abgeschlossen.

Der Aufbau des Netzes sowie die Arbeit des Seismologie-Verbundes ist nur durch die Unterstützung zahlreicher Privatpersonen, Gemeinden und Einrichtungen möglich. Diese Unterstützung erfolgt einerseits durch die Nutzung ihrer Grundstücke oder Gebäude für die Ausstellung von Messgeräten. Andererseits waren Informationen aus der Bevölkerung über die Wahrnehmung seismischer Ereignisse besonders während des Bebenschwarms im Herbst 2000 ein wichtiger Bestandteil der Auswertung. An dieser Stelle sei allen gedankt, die zum Aufbau des Netzes beitragen und beigetragen haben.

Die vorliegende Veröffentlichung beschäftigt sich mit dem Bebenschwarm im tschechischen Nový Kostel. Außerdem informiert sie über die Arbeit der letzten 2 Jahre des seit 1996 tätigen Seismologie-Verbundes.



Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kinze  
Präsident des Sächsischen Landesamtes  
für Umwelt und Geologie

## Inhalt

1	Einleitung	5
2	Seismische Aktivität	7
2.1	Seismische Aktivität in Sachsen und angrenzenden Gebieten in den Jahren 2000 und 2001 (Ereignisse mit Magnituden 1 und größer)	7
2.2	Makroseismische Bewertung des Erdbebenschwarmes im Nordwesten der Tschechischen Republik im Jahre 2000 (für den deutschen Teil des Schüttergebietes)	8
3	Projekt »Seismologisches Monitoring Westsachsen«	14
4	Geodätische Untersuchungen im vogtländischen Bebengebiet	25
5	Seismologische Netze	31
5.1	Das westsächsische Permanentnetz (»Online«-Netz)	31
5.2	Das Ostthüringer Seismische Netz (OTSN) der Universität Jena	32
5.3	Das temporäre sächsische Stationsnetz (»Offline«-Netz)	34
6	Praxisorientierte Arbeiten des Seismologie-Verbundes und wissenschaftliche Kooperation	35
6.1	Georisiken	35
6.2	Geplante Arbeiten des Seismologie-Verbundes	37
6.3	Forschungsarbeiten zum Schwarmbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen	37
Abbildungsverzeichnis		39
Literatur-, Tabellen- und Anlagenverzeichnis		41
Begriffserklärungen		43
Anlagen		45

# 1 Einleitung

Im Freistaat Sachsen liegt der Schwerpunkt der seismischen Aktivität im westsächsisch-ostthüringischen Raum. Ausgehend vom Vogtland verläuft die erdbebengefährdete Zone über das Gebiet von Zwickau und Gera-Ronneburg bis in den Raum von Leipzig. Dies ist auch das Gebiet, in dem Messstationen permanent das seismische Geschehen registrieren.

Die seismologische Überwachung in Sachsen wird durch den *Seismologie-Verbund zur Erdbebenbeobachtung* gewährleistet. Er koordiniert die staatliche Erdbebenbeobachtung und sichert die seismologische Registrierung, führt wissenschaftliche Untersuchungen durch und informiert darüber die staatlichen Stellen, die Medien und die Bevölkerung. Die Ergebnisse werden in Forschungsberichten, wissenschaftlichen Publikationen, Pressemitteilungen und Broschüren zusammengestellt und veröffentlicht. Das vorliegende Heft ist der 2. Bericht, in dem Arbeitsergebnisse und für Sachsen relevante seismische Informationen aus dem Zeitraum 2000–2001 zusammengestellt sind.

Im Seismologie-Verbund zur Erdbebenbeobachtung in Sachsen haben sich seismologisch tätige Einrichtungen zusammengeschlossen, um sowohl die vorhandenen Erfahrungen und Kenntnisse zu nutzen, als auch die bestehenden seismologischen Observatorien und Stationen in die Untersuchungen mit einzubeziehen. Derzeit arbeiten folgende Institutionen und Einrichtungen im Rahmen des Seismologie-Verbundes zusammen:

- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Amtsteil Freiberg
- 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

Auf die Aufgaben und die Zusammenarbeit im Rahmen des Seismologie-Verbundes wird im Zweijahresbericht 1998–99, der im Internet unter [www.umwelt.sachsen.de/lfug](http://www.umwelt.sachsen.de/lfug) verfügbar ist, umfassend eingegangen.

Ein Schwerpunkt in dem vorliegenden Bericht liegt in der Auswertung des im Herbst 2000 im Grenzgebiet NW-Böhmen/Vogtland aufgetretenen Bebenschwarmes, bei dem mehr als 10 000 Einzelereignisse registriert wurden. Es war der stärkste Schwarm seit 1985/86.

Mit den Wahrnehmungsmeldungen aus der Bevölkerung konnte eine makroseismische Intensitätskarte des stärksten Einzelbebens am 06.11.2000 erstellt werden.

Ein wichtiger Beitrag ist auch die Zusammenstellung der Ergebnisse des im Jahr 2000 abgeschlossenen Forschungsvorhabens »Seismologisches Monitoring in Westsachsen«. Hierbei wird besonders auf die Ortungsgenauigkeit seismischer Ereignisse und die angewandte Seismologie eingegangen.

Analog zur Tschechischen Republik und den Nachbarländern Thüringen sowie Bayern wird derzeit durch den Seismologie-Verbund ein stationäres seismologisches »Online«-Netz in Westsachsen aufgebaut, welches das bestehende »Offline«-Netz ergänzt. Beide Netze zusammen bilden das »Sachsennetz«, wobei die Registrierungen der acht Permanent-Stationen im Datenzentrum in Leipzig zusammenlaufen und eine sofortige Auswertung aktueller Ereignisse erlauben. Dieses Netz ist geeignet, beim Auftreten starker seismischer Ereignisse zeitnah staatliche Stellen und Medien zu informieren, die dann entsprechende Maßnahmen einleiten können.

Mit dem Auftreten seismischer Ereignisse können messbare Verformungen der Erdoberfläche verbunden sein. Mitarbeiter der TU Dresden führten geodätische Untersuchungen im Erdbebengebiet Vogtland durch. Weil Veränderungen erst nach längeren Zeiträumen nachgewiesen

werden können, müssen die Messungen in bestimmten Abständen wiederholt werden.

Abschließend werden die geplanten Arbeiten vorgestellt und die Problematik der Georisiken besprochen. Die Zusammenarbeit in multidisziplinären Forschungsprojekten, die sich auf das Erdbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen beziehen, ist ein Teil der Arbeit der Mitglieder des Seismologie-Verbundes, um die Komplexität der geowissenschaftlichen Phänomene der Schwarmbebenregion Vogtland/NW-Böhmen zu verstehen. Aktuelle Informationen zu seismischen Ereignissen, die Sachsen betreffen, werden zukünftig auch im Internet verfügbar sein.

### ***Danksagung***

Die vorliegenden Arbeiten sind durch intensive Mitarbeit der Bevölkerung und unterschiedliche Institutionen, insbesondere bei der Erstellung der makroseismischen Karte sowie bei der Bereitstellung geeigneter Standorte für seismologische und geodätische Messstationen, unterstützt worden.

Die geodätischen Untersuchungen wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert. Der besondere Dank der TU Dresden, Institut für Planetare Geodäsie, gilt zahlreichen Bürgerinnen, Bürgern und Einrichtungen sowie der Landestalsperrenverwaltung, die durch Überlassung von Flächen bzw. Einrichtungen die Anlage und wiederholte Vermessung des geodätischen Überwachungsnetzes uneigennützig unterstützt haben. Darüber hinaus sei der Gemeindeverwaltung Neustadt, dem Zweckverband Fernwasser Südsachsen sowie dem Zweckverband Wasser und Abwasser für ihre freundliche Unterstützung und Zusammenarbeit bei der Errichtung und dem Betrieb der GPS-Permanentstationen gedankt.

## 2 Seismische Aktivität

### 2.1 Seismische Aktivität in Sachsen und angrenzenden Gebieten in den Jahren 2000 und 2001 (Ereignisse mit Magnituden 1 und größer)

Alle im Berichtszeitraum als Erdbeben identifizierten seismischen Ereignisse mit Magnituden 1 und größer konnten den aus der Vergangenheit bekannten Herdgebieten in Westsachsen zugeordnet werden.

Die gesamte Aktivität wurde durch den starken Bebenschwarm in NW-Böhmen (Tschechische Republik) im Herbst 2000 dominiert. Die Bebenstätigkeit im Herdgebiet Nový Kostel, ca. 10 km östlich Bad Brambach, hatte am 28. August 2000 begonnen, wurde einige Tage später als Beginn eines der dort bekannten Erdbebenschwärme erkannt und hielt dann bis Mitte November 2000 an. Die herdnächsten Stationen des Deutschen Seismischen Regionalnetzes (GRSN) erfassten währenddessen über 1000 zugehörige Einzelbeben mit Magnituden zwischen  $+1 \leq M \leq 3,6$ . In Tab. 1 sind Angaben zu den 45 Beben mit  $M \geq 2,5$  aufgelistet.

Wenige Wochen vor dem Beginn des Schwarmes war bei Wernitzgrün eine Registrierstation in Betrieb genommen worden, an der insgesamt mehr als 10 500, oft sehr dicht aufeinander folgende, ähnliche Seismogramme von Einzelbeben aus etwa 10 km Epizentralentfernung mit korrigierten Magnituden von  $-1 \leq M \leq 3,4$  identifiziert werden konnten. In Abb. 1 wird die Bebenfolge in Tagessummen aufgegliedert und zusätzlich nach Magnitudenklassen unterschieden. Hier und auch in Abb. 2 (dargestellt ist die Summe der im Herd freigesetzten seismischen Energie seit Beginn des Schwarmes) lassen sich die aufeinander folgenden Aktivitätsphasen des Schwarmes erkennen. Qualität und Quantität der modernen Aufzeichnungen übertreffen die bei den ähnlichen Schwärmen von 1962 (schwächer) und 1985/86 (stärker) beträchtlich.

Außerhalb des Schwarmes von Nový Kostel wurden vom Januar 2000 bis Dezember 2001 insgesamt 31 weitere

seismische Ereignisse registriert, die in Tabelle 2 aufgelistet und in Abb. 3 dargestellt sind. Bis auf 2 vermutlich bergbauinduzierte Ereignisse im Bereich des Egergrabens, ebenfalls in der Tschechischen Republik, fanden alle weiteren Ereignisse längs der Nord-Süd gerichteten Leipzig – Regensburger Störungszone statt und konnten als tektonische Beben identifiziert werden. Fast die Hälfte davon ereigneten sich im Juni 2001 und konnten zwei Regionen diesseits und jenseits der deutsch-tschechischen Grenze im Vogtland bzw. in NW-Böhmen zugeordnet werden, die nicht zum Epizentralgebiet des Schwarmes von 2000 gehören.

Nach Ausbau des lokalen Stationsnetzes und durch verbesserte Registriertechnik konnten auch kleinere Erdbeben erfasst werden. Die Beben lassen sich bekannten regionalen tektonischen Störungszonen zuordnen und belegen damit bereits bestehende Vorstellungen bezüglich ihrer seismotektonischen Ursachen. Ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Tschechischen Akademie der Wissenschaften gefördertes Gemeinschaftsprojekt bündelt eine Vielzahl geowissenschaftlicher Untersuchungen zur weiteren Erforschung der in dieser Region auftretenden geophysikalischen Phänomene. Es verbessert die Voraussetzungen dafür, die hier beobachtete intrakontinentale Schwarmbebeneseismizität in diese Komplexvorgänge einzuordnen. Die Datenbereitstellung wie auch die wissenschaftlichen Untersuchungen in Freiberg und Leipzig sollen zu Modellvorstellungen über die Ursachen der Schwarmbebenstätigkeit führen. Damit können die Zusammenhänge zwischen den Klein- und Mikrobeben in der oberen Erdkruste und den nachgewiesenen Aufstiegsvorgängen von Magmen und Fluiden aus größeren Tiefen aufgeklärt werden. In die Untersuchungen sind auch beobachtete Entgasungen, Mineralwasservorkommen, subrezenter Vulkanismus und bereits vermessene, langsam verlaufende Erdkrustenbewegungen eingeschlossen. In diesem Zusammenhang werden auch Möglichkeiten zur Vorhersage der episodisch auftretenden seismischen Aktivität im Vogtland untersucht. Für die

Zeiträume zwischen den Erdbebenschwärmen (Jahre bis Jahrzehnte) und auch während der Pausen zwischen benachbarten Schwarmphasen (Tage bis Wochen) konnten jedoch bisher noch keine statistisch zuverlässigen Wiederholungsperioden als Voraussetzung für mögliche Vorhersagen abgeleitet werden.

## 2.2 Makroseismische Bewertung des Erdbebenschwarmes im Nordwesten der Tschechischen Republik im Jahre 2000 (für den deutschen Teil des Schüttergebietes)

Alle Ereignisse, die während des Bebenschwarmes 2000 wahrgenommen wurden, gruppieren sich um ein Hypozentrum südlich der Ortslage Nový Kostel, das durch die mittleren Koordinaten 50,21° nördl. Breite/12,45° östl. Länge und 9 km Tiefe bestimmt ist.

Nach Präzisionsortungen von FISCHER (2002) lagen die Herde der Erdbeben in einer etwa Nord-Süd-gerichteten Zone von knapp 3 km Länge in Tiefen zwischen 8 und 10 km. Die instrumentell bestimmten Magnituden (Richterskala) der registrierten Einzelbeben liegen für die Station Wernitzgrün (Epizentraldistanz  $10 \pm 1$  km) im Bereich  $-1,0 \leq M \leq 3,4$ .

Verwertbare Meldungen über individuelle Wahrnehmungen zahlreicher Personen im deutschen Teil des Schüttergebietes betrafen ausschließlich Beben mit Magnituden größer 2,7, die alle im Zeitraum vom 4. September bis 7. November 2000 auftraten. Die Ansprechpartner – auch für zukünftige Erdbebenmeldungen und einschlägige Anfragen – sind im Fragebogen Anlage 2 dieses Heftes aufgeführt.

Für das stärkste Beben des Schwarmes am 6. November 2000, 23:07 Uhr MEZ (= 22:07 UTC) meldeten mitteleuropäische Erdbebenstationen Magnituden zwischen 3,4 und 4,2. Aus den eingegangenen Wahrnehmungsmeldungen konnte eine makroseismische Karte (zunächst für Sachsen) konstruiert werden (Abb. 4), da Angaben aus dem tschechischen Staatsgebiet für die Auswertung noch nicht zur Verfügung standen. Daher wurde die Epizentralintensität  $I_0$  vorerst auf einen Wert von  $I_0 = V - VI$ ; höchstens VI (nach »EMS«) geschätzt. Die vorliegenden rund 170 – meist Orte in Sachsen betreffend – Wahrnehmungsmeldungen zu etwa 30 Einzelbeben, davon 14 mit  $M \geq 3,0$ , verteilen sich auf

- 7 Beben in 8 Wochen vor dem stärksten Beben (40 Meldungen),
- das stärkste Beben am 06.11.2000, 23.07 Uhr MEZ (80 einzelne Meldungen wurden mit Intensitäten zwischen Grad III und V bewertet),
- 6 Beben in 2 Stunden nach dem stärksten Beben (50 Meldungen), denen – oft ungenaue – Zeitangaben aus Listen eindeutig zugeordnet werden konnten.

Die Einzelbeben des gesamten Schwarmes wurden in zeitlich separierbare Phasen eingeteilt, die unregelmäßig aufeinander folgten und jeweils mindestens ein Beben mit  $M \geq 3,0$  (Magnitude ermittelt an der Station Collm) enthalten (siehe Abb. 1). Außer für das stärkste Beben lassen sich hier wegen zu geringer geographischer Dichte der Wahrnehmungsmeldungen keine zuverlässigen Isoseistenkarten konstruieren. Unter den mehr als 10 500 Einzelbeben, die an der herdnächsten sächsischen Station Wernitzgrün im Verlaufe des Schwarmes identifiziert wurden, kamen keine Schadenbeben vor.

**Tab. 1:** *Bebenschwarm 2000 (Einzelbeben mit  $M \geq 2.5$ )*

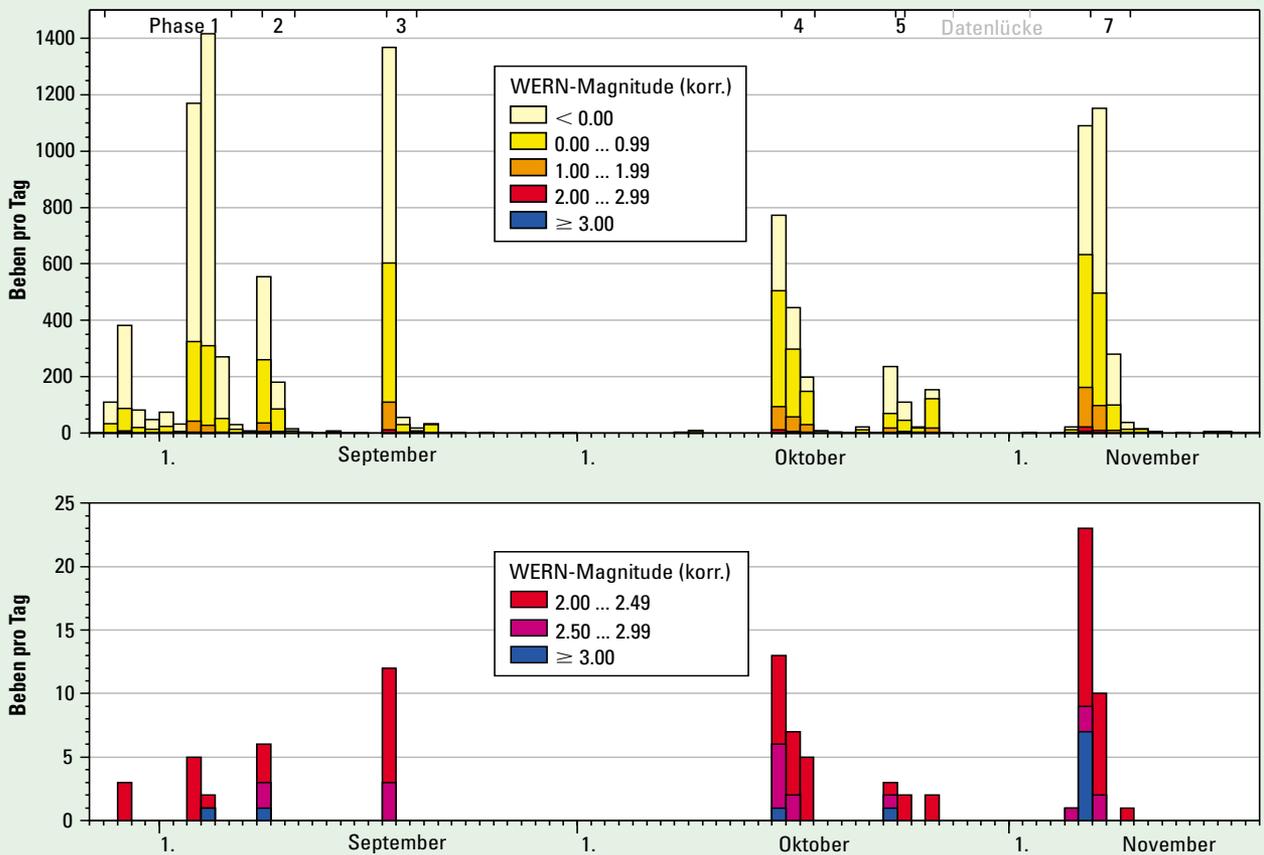
Datum	Herzzeit (UTC) h:min:s (SZGRF)	Magnituden		
		SZGRF	(Anzahl der Stationen)	WERN
29.08.	14:26:34.5	2.4	( 7)	2.7
	14:55:03.2	2.5 ?	( 8)	2.5
03.09.	17:11:03.3	2.5	( 8)	2.6
	22:07:54.5	2.5	( 8)	2.5
04.09.	00:31:46.4	3.3	(17)	3.2
	01:51:43.9	2.5	( 9)	2.5
08.09.	09:14:01.4	2.6	(10)	2.6
	11:36:08.8	2.5	( 9)	2.3
	11:39:50.7	3.4	(22)	3.4
	12:00:15.6	2.5	(10)	2.6
	18:35:48.5	2.7	(11)	2.7
17.09.	08:31:34.6	2.5	(10)	2.5
	09:06:56.4	2.7	(19)	2.7
	14:52:33.6	2.5	(12)	2.3
	15:14:33.5	3.1	(22)	3.0
15.10.	16:36:47.9	2.9	(17)	2.8
	19:11:20.9	2.7	(16)	2.7
	19:18:09.0	2.6	( 7)	2.4
	19:24:14.6	2.9	(15)	2.8
	19:58:51.5	2.7 ?	(10)	2.5
	20:00:51.8	2.5	( 7)	2.5
	20:01:43.2	2.5	( 6)	2.3
	20:03:01.1	2.8	( 7)	2.6
16.10.	09:46:39.9	2.5	( 7)	2.5
17.10.	14:05:19.8	2.5	( 7)	2.3
	14:26:14.6	2.5	( 5)	2.3
	16:41:55.5	2.5	( 5)	2.3
	22:45:32.8	2.5	( 6)	2.3
23.10.	21:22:01.9	3.2	(21)	2.6
	21:46:58.6	2.7 ?	(11)	2.4
29.10.	05:10:47.5	3.0	(17)	X (Ausfall)
05.11.	01:05:04.9	2.8	(13)	2.8
06.11.	20:59:55.9	2.6	( 7)	2.4
	21:10:19.0	3.1	(16)	3.0
	22:07:19.8	3.7	(17)	3.3
	22:28:37.2	2.6	( 7)	2.5
	22:34:37.5	3.6	(17)	3.2
	22:50:36.2	3.4	(16)	3.1
	23:31:33.0	3.1	(13)	3.0
	23:34:25.5	3.1	(10)	2.9
23:53:06.9	3.1	(18)	2.9	
07.11.	14:46:56.1	2.5	( 5)	2.5
	17:06:22.2	2.4	( 5)	2.6
	21:40:47.0	2.6	( 5)	2.4
09.11.	16:30:28.0	2.6 ?	( 7)	2.6

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

**M (WERN)** wurde aus Messdaten der herdnächsten sächsischen Station Wernitzgrün bestimmt

Das mittlere Epizentrum ( $50.21^\circ$  N/ $12.45^\circ$  O) ist in Abb. 3 als ★ eingetragen

Die Tabelle 1 stellt die 45 größten Einzelbeben des Schwarmes 2000 zusammen. Neben dem Datum und der Herzzeit sind für jedes Beben zwei Magnitudenangaben enthalten, die geringfügige Unterschiede zwischen Datenreihen demonstrieren sollen.

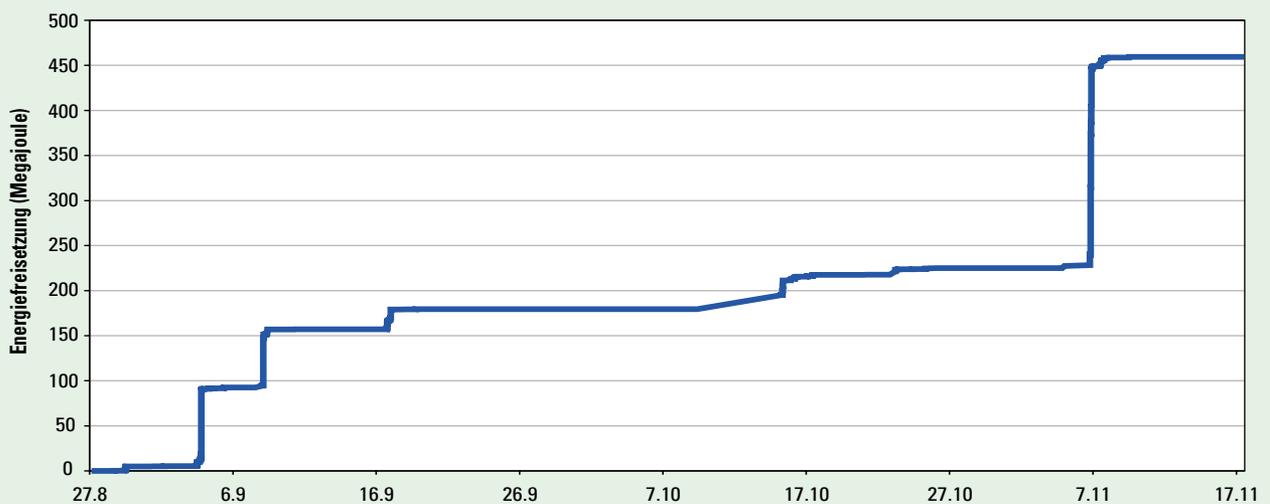


**Abb. 1:** Bebenschwarm 2000, Station Wernitzgrün:

Zwischen Ende August und Mitte November 2000 wurden an der herdnahen Station 10 500 Einzelbeben identifiziert. Sie sind zeitlich ungleichmäßig verteilt, lassen sich aber zu zeitlich begrenzten Schwarmphasen (1 bis 7) zusammenfassen. Dargestellt sind die Tagessummen über der Zeit unter Berücksichtigung der Magnituden.

oben: alle Einzelbeben

unten: über 100 Einzelbeben hatten Magnituden größer 2 und konnten an vielen Stationen in Mitteleuropa registriert werden. Im Verlauf des Schwarmes nahm der Anteil dieser stärkeren Beben an den Tagessummen zu.

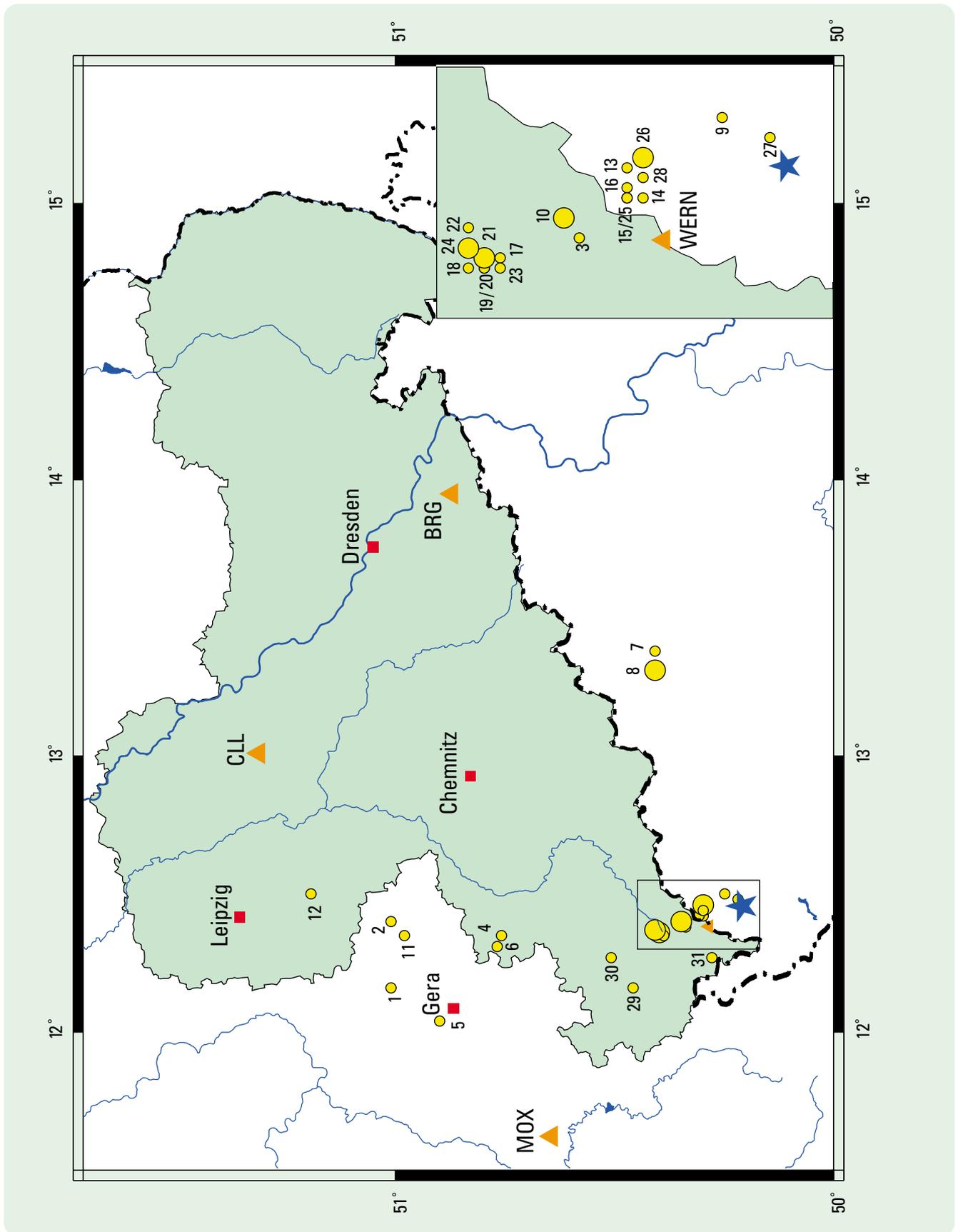


**Abb. 2:** Summe der im Herd freigesetzten seismischen Energie seit Beginn des Schwarmes

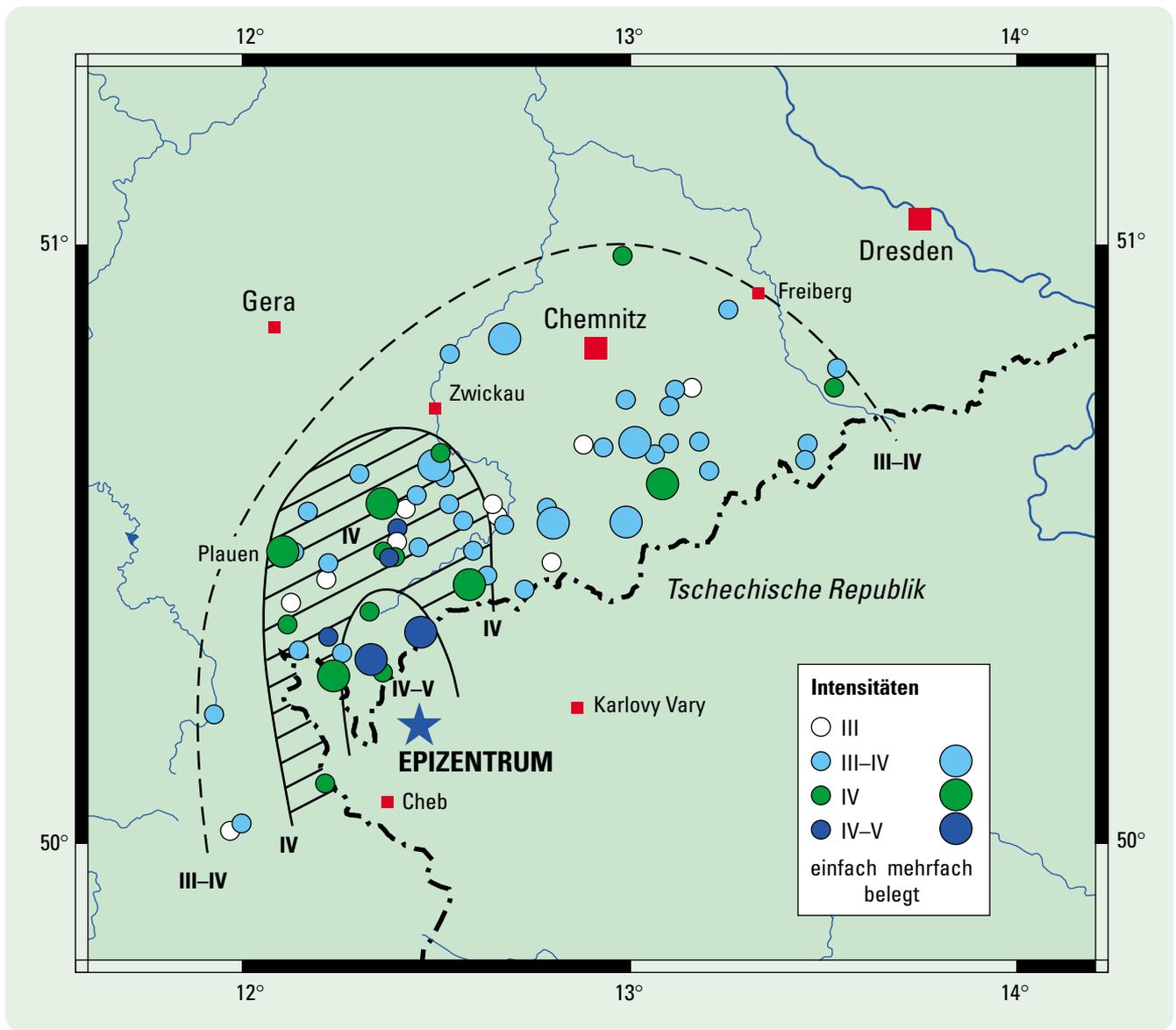
**Tab. 2:** Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2000/01 ( $M \geq 1,0$ )

Ereignisnummer in Abb. 3	Datum	Herdzeit (UTC) h:min:s	Koordinaten °N/°O	Magnitudo (Anzahl der Stationen)	Herdgebiet	Bemerkungen
1	13.01.00	16:14:23.6	51.01/12.16	1.3 (3)	N-lich Gera, Thüringen	
2	17.03.00	19:38:13.5	51.01/12.40	1.8 (6)	bei Altenburg, Thüringen	
3	07.05.00	23:37:21.7	50.34/12.38	1.5 (5)	bei Zwota, Vogtland	
4	31.05.00	16:41:09.3	50.76/12.35	1.5 (6)	bei Werdau	
5	08.09.00	02:46:50.5	50.90/12.04	1.7 (6)	bei Gera, Thüringen	
6	18.09.00	01:12:57.8	50.77/12.31	1.3 (5)	bei Werdau	
7	11.11.00	20:52:38.6	50.41/13.38	1.4 (5)	Tusimice, N-liche Tschechische Republik (ČR)	bergbauinduziert
8	13.01.01	00:40:38.2	50.41/13.31	2.0 (7)	Tusimice, N-liche ČR	bergbauinduziert
9	17.01.01	02:27:51.3	50.25/12.50	1.8 (7)	NW-liche ČR	
10	11.02.01	08:09:53.1	50.35/12.40	2.1 (7)	bei Zwota, Vogtland	gefühlte
11	27.03.01	17:47:27.4	50.98/12.35	1.5 (5)	W-lich Altenburg, Thüringen	
12	02.05.01	20:05:15.8	51.19/12.50	1.6 (6)	N-lich Borna	
13	25.05.01	22:50:51.3	50.31/12.45	1.1 (5)	Luby, NW-liche ČR	
14	27.05.01	01:56:24.8	50.30/12.42	1.0 (5)	Luby, NW-liche ČR	
15	03.06.01	15:49:00.1	50.31/12.42	1.1 (4)	NW-liche ČR	Die Epizentren dieser Beben befinden sich in zwei eng begrenzten Gebieten dies- und jenseits der Grenze zwischen Schöneck/Vogtland und Muldenberg bzw. NW-liche ČR (10 km N-lich des Schwarmbebenherdes 2000)
16	04.06.01	01:37:09.9	50.31/12.43	1.1 (4)	NW-liche ČR	
17	04.06.01	07:02:58.9	50.39/12.36	1.2 (5)	Vogtland	
18	04.06.01	09:54:34.4	50.41/12.35	1.5 (5)	Vogtland	
19	04.06.01	11:12:51.7	50.40/12.35	1.6 (6)	Vogtland	
20	04.06.01	12:29:39.0	50.40/12.35	1.1 (5)	Vogtland	
21	05.06.01	00:23:36.4	50.40/12.36	2.3 (6)	Vogtland	
22	05.06.01	00:24:50.5	50.41/12.39	1.6 (6)	Vogtland	
23	05.06.01	00:31:23.9	50.39/12.35	1.3 (5)	Vogtland	
24	05.06.01	06:26:23.8	50.41/12.37	2.8 (6)	Vogtland	
25	06.06.01	16:09:28.0	50.31/12.42	1.9 (7)	NW-liche ČR	
26	09.06.01	21:43:23.1	50.30/12.46	2.3 (7)	NW-liche ČR	
27	13.06.01	18:21:44.0	50.22/12.48	1.4 (6)	Luby, NW-liche ČR	
28	15.06.01	03:28:55.2	50.30/12.44	1.3 (6)	NW-liche ČR	
29	27.08.01	05:33:44.9	50.46/12.16	1.6 (6)	Plauen	
30	11.09.01	03:15:56.8	50.51/12.27	1.2 (4)	bei Plauen	
31	16.09.01	00:05:53.7	50.28/12.27	1.1 (5)	bei Bad Elster	

Diese Tabelle enthält Daten von Beben mit Magnituden  $M \geq 1,0$  von Beben, die sich in Sachsen und grenznahen Regionen außerhalb des Schwarmbebengebietes Nový Kostel ereigneten. Die Bestimmung ihrer Herddaten (Herdzeit, Epizentrum, Magnitude) erfolgte mit Hilfe der in Sachsen installierten seismischen Stationen, des OTSN, des GRSN und tschechischer Stationen. Um die durch unterschiedliche Abstrahlung und Dämpfung seismischer Wellen bedingte Magnitudenstreuung einzuschränken, wurden für die Stationen Lokalmagnituden berechnet und daraus ein mittlerer Magnitudenwert bestimmt.



**Abb. 3:** Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2000/2001 (mit Magnituden 1 und größer)  
 •  $1 \leq M < 2$     •  $M \geq 2$     ★ Erdbebenschwarm 2000,    ▲ seismische Stationen (GRSN, Wernitzgrün)



**Abb. 4:** Wahrnehmbarkeit des stärksten Bebens beim Schwarm 2000 am 06.11.2000, 23:07 MEZ

# 3 Projekt »Seismologisches Monitoring Westsachsen«

Eingeordnet in die Aufgaben des Seismologie-Verbundes Sachsens beim LfUG steht Westsachsen seit Ende 1997 im Blickpunkt eines besonderen seismologischen Interesses und kann als potenzieller seismologischer Gefährdungsschwerpunkt eingestuft werden. Daher wird mit einer Langzeitbeobachtung im Rahmen eines Monitoring- und Forschungsprogramms das Ziel verfolgt, Erkenntnisse zu gewinnen, die zu fundierten Aussagen hinsichtlich der Erbebengefährdung für die Belange der Landesentwicklungsplanung führen. Die strategische Aufgabe bestand darin, natürliche und anthropogene Quellen von Erschütterungen zu erfassen, um Basisdaten für die Beurteilung des seismologischen Gefährdungspotenzials insbesondere in der letzten Phase der Flutung des WISMUT-Bergbaureviers Aue-Alberoda und hinsichtlich der dynamischen Belastung von Talsperrenbauwerken zu gewinnen. Die wissenschaftliche Aufgabe bestand in der Erfassung der räumlichen, zeitlichen und energetischen Verteilung (regionale Seismizität) natürlicher (tektonisch bedingter) und künstlicher (spreng- bzw. flutungsbedingter) Mikrobeben und der Analyse der zugrunde liegenden Herdprozesse.

Zur Lösung dieser Aufgaben wurde ein mobiles seismologisches Netz von 11 Stationen betrieben, dessen wichtigste Parameter in »Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen – Zweijahresbericht 1998–99 (Materialien zur Geologie)« beschrieben sind. Die für den Berichtszeitraum wesentlichen Standorte enthält Abb. 5. Insgesamt wurden weit über 1000 tektonische sowie 21 induzierte Mikrobeben und 15 Steinbruchsprengungen erfasst. Die stärksten Ereignisse sind im Bulletin (s. Kap. 2.1, Tab. 1 und 2) aufgeführt. In Tab. 3a sind die 50 induzierten Mikrobeben des vorangegangenen Berichtszeitraumes (1998–1999) den 21 induzierten Mikrobeben (Tab. 3b) des aktuellen Berichtszeitraumes (2000–2002) gegenübergestellt. Charakteristische Unterschiede in der »Handschrift« und in der spektralen Zusammensetzung der Registrierungen sind in Abb. 6 erkennbar. Alle Registrierungen stammen vom Standort AUC und stellen die

Vertikalkomponente (Z) der Schwinggeschwindigkeit ( $v$ ) am Registrierpunkt (Ordinatenwert, gemessen in m/s) dar. Während die oberen beiden Registrierspuren bzw. Spektren tektonische Beben (Spur (1): Herdlage fern (Nový Kostel) und Spur (2): Herdlage nah (Muldenberg)) betreffen, zeigt die dritte Spur ein induziertes Mikrobeben (vgl. Tab. 3b, Nr. 16) aus dem Raum Aue-Alberoda und die vierte Spur eine Steinbruchsprengung nahe der Ortslage Wolfgrün. Die auffälligen Unterschiede in der Registrierform und -stärke wie in der spektralen Zusammensetzung liefern typische Merkmale zur Beschreibung der unterschiedlichen Herdprozesse.

Die geographische Verteilung aller erfassten Mikrobeben des Berichtszeitraums enthält Abb. 5. Die Häufung der Epizentren zwischen  $12^{\circ}20'$  und  $12^{\circ}30'$  östlicher Länge folgt in ihrer N-S-Anordnung dem Verlauf der Leipzig-Regensburg-Störung und weist damit auf die tektonische Ursache dieser Mikrobeben hin. Die lockere Anordnung von Mikrobeben südlich von Plauen steht im Kontrast zur starken Clusterung der Epizentren nordöstlich von Cheb (Herdregion um Nový Kostel). Erwähnenswert ist außerdem eine Bebenfolge westlich von Muldenberg mit Magnituden bis 2,0. Die bei der Herdlokalisierung erzielbare Genauigkeit hängt in hohem Maße von der Geometrie der Beobachtungsstationen bezüglich der Herdlage ab. Ereignisse, die im Inneren des Beobachtungsnetzes liegen, lassen sich wesentlich genauer lokalisieren als solche, die weit außerhalb stattfinden. Die Ortungsgenauigkeit hängt ferner von der genauen Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen im Untergrund ab und von der exakten Bestimmung ihrer Ankunftszeiten an den Stationen. Bei einer angestrebten Genauigkeit von 0,01 s erfordert dies sowohl ein deutlich erkennbares Signal als auch eine entsprechend große Zeitgenauigkeit der Aufnahmeapparaturen, die nur durch eine externe Zeitsynchronisierung des gesamten Netzes erreichbar ist. Die Lokalisierungsgenauigkeit hängt also sowohl von der Stärke als auch von der Lage der Quelle ab.

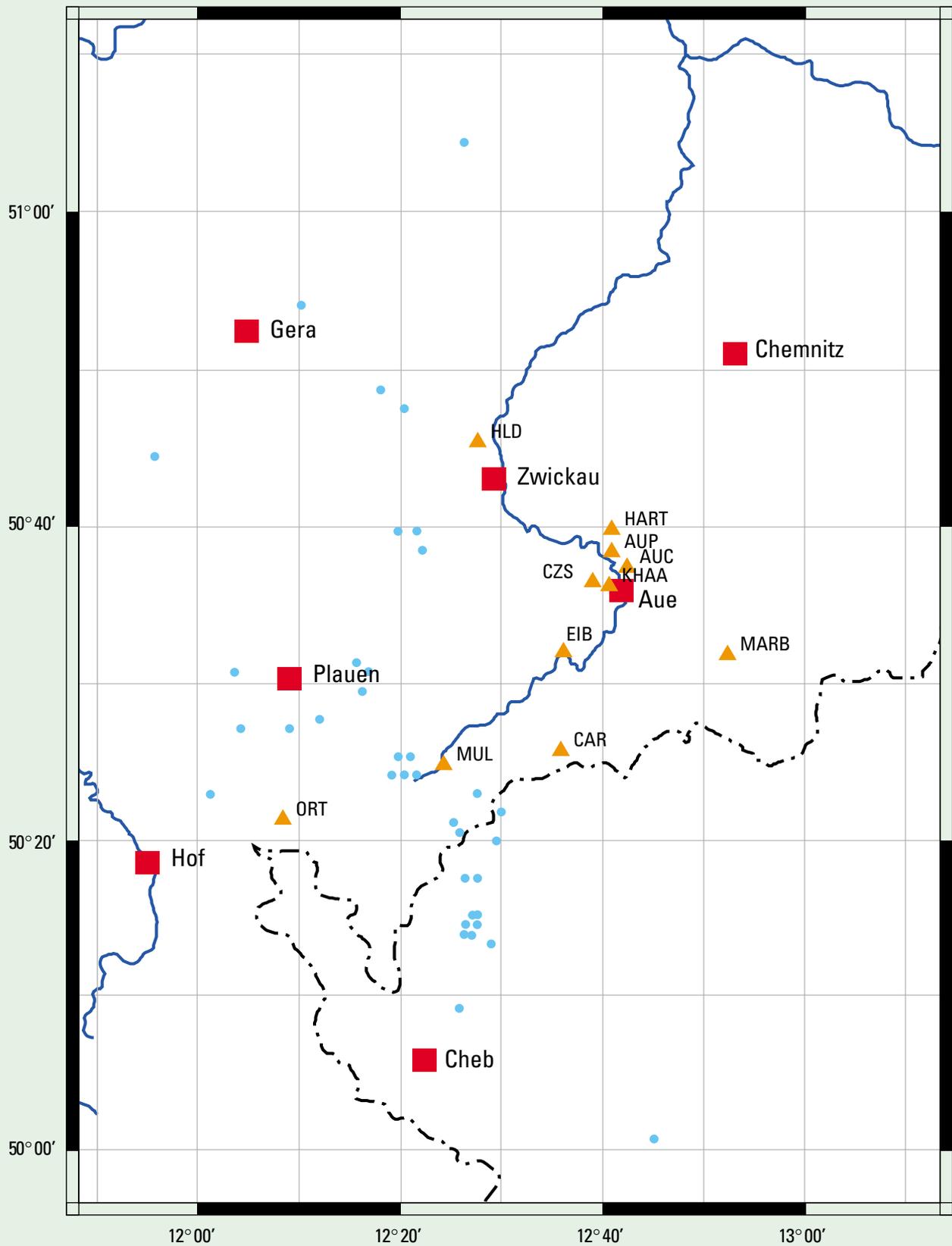
Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen im Untergrund wechseln mit der Tiefe und mit den geologischen Gegebenheiten in der Erdkruste und lassen sich nicht in allen Feinheiten abbilden. Für die Lokalisierung müssen daher »mittlere« Geschwindigkeitsmodelle angenommen werden, was zu einem gewissen Fehler führt. Die Resultate verschiedener Lokalisierungsversuche sind in der Abb. 7 dargestellt. Sie sollen einen Eindruck von der erzielbaren Genauigkeit vermitteln. Die jeweils mit einer Linie verbundenen gelben und blauen Symbole geben den Ort (Epizentrum) eines Ereignisses wieder, wie er mit verschiedenen Lokalisierungsverfahren ermittelt wurde. Es wird deutlich, dass sich z. B. Ereignisse im Raum Zwickau-Gera-Plauen unabhängig vom Verfahren mit einer Übereinstimmung von wenigen Kilometern orten lassen. Ereignisse nördlich des Stationsnetzes sind dagegen viel ungenauer zu orten. In solchen Fällen führt erst die Zuhilfenahme weiterer Stationen (etwa des Ostthüringen-Netzes, der tschechischen Netze oder des Deutschen Seismischen Regionalnetzes) zu befriedigenden Resultaten. Eines der Anliegen des Seismologie-Verbundes Sachsen ist daher die kontinuierliche Verbesserung und Automatisierung des Datenaustausches mit den Nachbarnetzen.

Die Konfiguration des im Raum Aue-Alberoda verdichteten Netzes erwies sich als nahezu optimal, da die meisten der dort im Zuge der Flutung induzierten Mikrobeben im Inneren des Beobachtungsnetzes liegen (Abb. 8). Der Vergleich der Berichtszeiträume 1998/99 und 2000/01 lässt eine Tendenz der Nordost-Verlagerung der Epizentren und im Mittel eine größere Tiefenlage der jüngeren Ereignisse erkennen. Aus den für dieses Gebiet berechneten Herdparametern ist besonders erwähnenswert der Verlauf des kumulativen Spannungsabbaus (Abb. 9). Das dreifach stufenartige Erscheinungsbild korreliert gut mit den drei linearen Abschnitten der Flutungsrate und deutet auf ein fraktales [selbstähnliche, skaleninvariante Strukturen; abgeleitet von Fraktion (Bruchteil)] rheologisches Verhalten des Gebirges hin. Mit anderen Worten reagiert das Gebirge offenbar auf den unterschiedlich schnell anwachsenden Druck der drei Flutungsraten mit einem charakteristischen Zeitverzug mit der Eigenschaft der Selbstähnlichkeit. Neben diesen Arbeiten betreibt die WISMUT GmbH ein internes Monitoring zur Kontrolle des Gebirgsverhaltens bei der Flutung.

Eine erste Einordnung zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials liefert die Zusammenstellung relevanter

Herdparameter für unterschiedliche Zeiträume und Herdprozesse, wie sie Abb. 10 wiedergibt. Anhand dieser Darstellung können die Herdparameter »seismisches Moment« als Maß der Bebenstärke, »Herdradius« als Maß der Scherflächengröße und »Spannungsabfall« als Maß des Spannungsabbaus für unterschiedliche Bebenfolgen und -arten miteinander verglichen werden. Die klare Clusterung der älteren bzw. jüngeren tektonischen Ereignisse und das vergleichsweise niedrige energetische Niveau der induzierten Ereignisse ergibt eine klare Differenzierung natürlicher und anthropogen bedingter Prozesse des Spannungsabbaus.

Umfangreiche Analysen der dynamischen Belastung einiger Staumauern Westsachsens lassen keine akute seismische Gefährdung durch Mikrobeben oder Steinbruchsprengungen erkennen. Die gemessenen Belastungswerte bleiben weit unterhalb sicherheitsrelevanter Bemessungswerte. Die Registrierungen in Staumauern zeigen zugleich ein ausgeprägtes Resonanzverhalten (Abb. 11) und bieten damit die Möglichkeit, auf das elastische Verhalten der Gesteine im Gründungsbereich rückzuschließen. Die Landestalsperrenverwaltung befasst sich im Rahmen der Eigenüberwachung ebenfalls mit dem Thema seismologisches Monitoring.



**Abb. 5:** Lage der Stationen des mobilen Netzes sowie Epizentren der damit georteten Mikroeben im Berichtszeitraum 2000/2001

**Tab. 3a:** Lokalisierung induzierter Ereignisse im Bergbaurevier Aue-Alberoda mit XNSLOC im Vergleich 1998/99

lfd. Nr.	Datum	Herdzeit h:min:s	Koordinaten		Herdtiefe in km	Magnitude (Anz. d. Stationen)
			Hochwert	Rechtswert		
1	10.03.98	03:34:32.0	56 09300	45 47800	2,3	0.0 (4)
2	30.04.98	22:48:32.3	56 09500	45 48100	1,6	0.3 (5)
3	30.04.98	23:31:09.0	56 09700	45 48000	0	-1.1 (4)
4	29.05.98	11:44:47.2	56 09500	45 49300	1,5	0.6 (5)
5	18.06.98	19:51:53.3	56 09500	45 49300	1,9	-0.3 (5)
6	20.06.98	23:53:58.7	56 09300	45 48300	0,2	-1.3 (4)
7	20.06.98	23:54:22.3	56 09400	45 48200	-0,2	-0.4 (4)
8	09.07.98	19:44:06.1	56 10300	45 48100	0	-0.8 (4)
9	18.07.98	18:16:22.3	56 09200	45 48800	1,4	-0.7 (3)
10	20.07.98	00:25:17.5	56 09300	45 48500	1,9	-0.7 (5)
11	23.08.98	05:55:10.7	56 09400	45 48800	1,7	0.5 (5)
12	23.08.98	07:42:21.5	56 09600	45 48500	1,2	-0.8 (3)
13	01.09.98	00:31:35.0	56 09200	45 48400	2,1	1.0 (4)
14	01.09.98	06:22:19.0	56 09400	45 48200	2,2	1.0 (4)
15	19.10.98	14:30:44.8	56 09100	45 48000	2,2	1.0 (6)
16	25.10.98	19:55:01.1	56 09800	45 48400	0,8	0.0 (4)
17	08.11.98	16:43:02.1	56 09900	45 48100	2,2	0.0 (4)
18	08.11.98	16:54:36.4	56 09800	45 49200	4,4	-0.5 (3)
19	12.11.98	20:35:56.5	56 09700	45 49300	1,6	-0.8 (3)
20	14.11.98	23:56:41.5	56 09600	45 48400	1,1	-0.5 (4)
21	18.11.98	02:43:18.8	56 09900	45 50700	1,1	-0.5 (3)
22	18.11.98	03:29:07.9	56 09900	45 50800	1,0	-0.1 (3)
23	28.11.98	01:45:36.5	56 10200	45 48400	2,5	1.4 (4)
24	02.01.99	16:01:31.7	56 10500	45 49200	2,2	0.7 (7)
25	11.01.99	01:47:07.3	56 10500	45 49300	2,7	0.7 (7)
26	31.01.99	23:52:24.8	56 09700	45 50400	2,2	0.8 (5)
27	18.02.99	23:44:10.1	56 09700	45 48500	1,4	0.1 (3)
28	15.03.99	22:53:46.8	56 09800	45 48800	1,8	-0.4 (3)
29	16.03.99	04:42:10.3	56 09800	45 48600	1,6	-0.7 (3)
30	16.03.99	06:59:00.2	56 09800	45 48800	1,8	-0.3 (3)
31	06.04.99	04:08:25.5	56 09600	45 48800	0,2	-0.4 (3)
32	26.04.99	10:21:46.4	56 09600	45 49200	2,4	0.3 (7)
33	11.05.99	03:31:32.4	56 10200	45 48300	2,0	0.3 (4)
34	17.05.99	03:54:04.3	56 09300	45 48800	1,3	-0.4 (5)
35	18.05.99	21:09:50.5	56 09300	45 48300	1,3	0.1 (4)
36	19.05.99	05:18:33.2	56 09400	45 48500	1,0	-0.1 (4)
37	19.05.99	05:18:33.5	56 09400	45 48002	0,9	-0.4 (4)
38	02.06.99	16:35:12.9	56 09500	45 48200	0,8	-0.8 (4)
39	15.06.99	22:50:25.5	56 10000	45 48100	0,7	-0.5 (4)
40	16.06.99	04:27:47.4	56 09700	45 48100	-0,3	-0.5 (3)



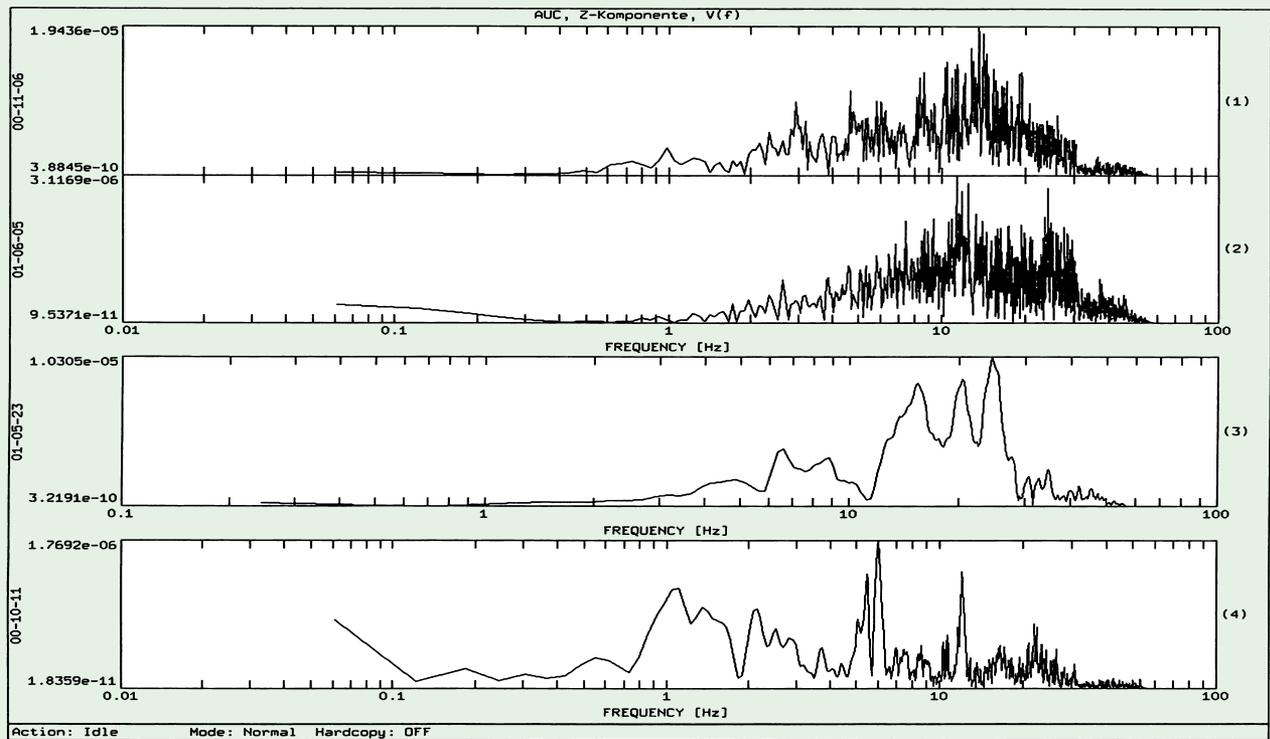
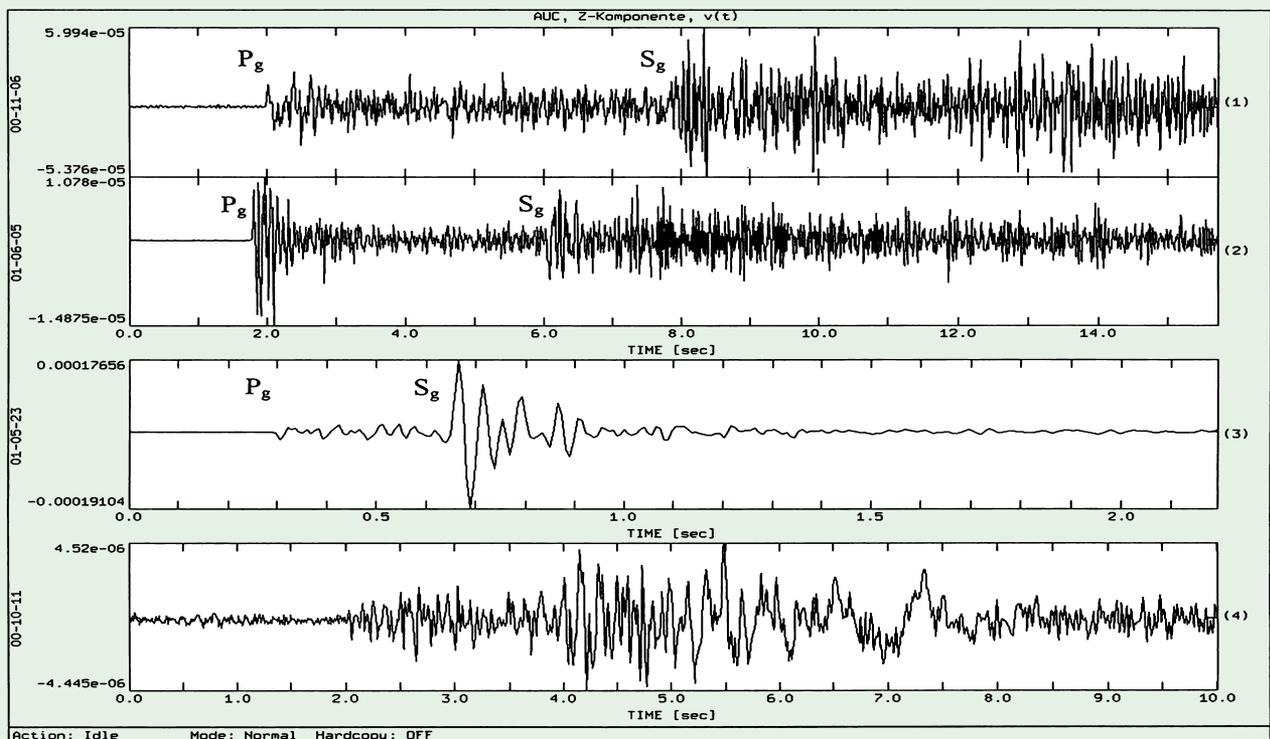
↘ Fortsetzung

**Tab. 3a:**

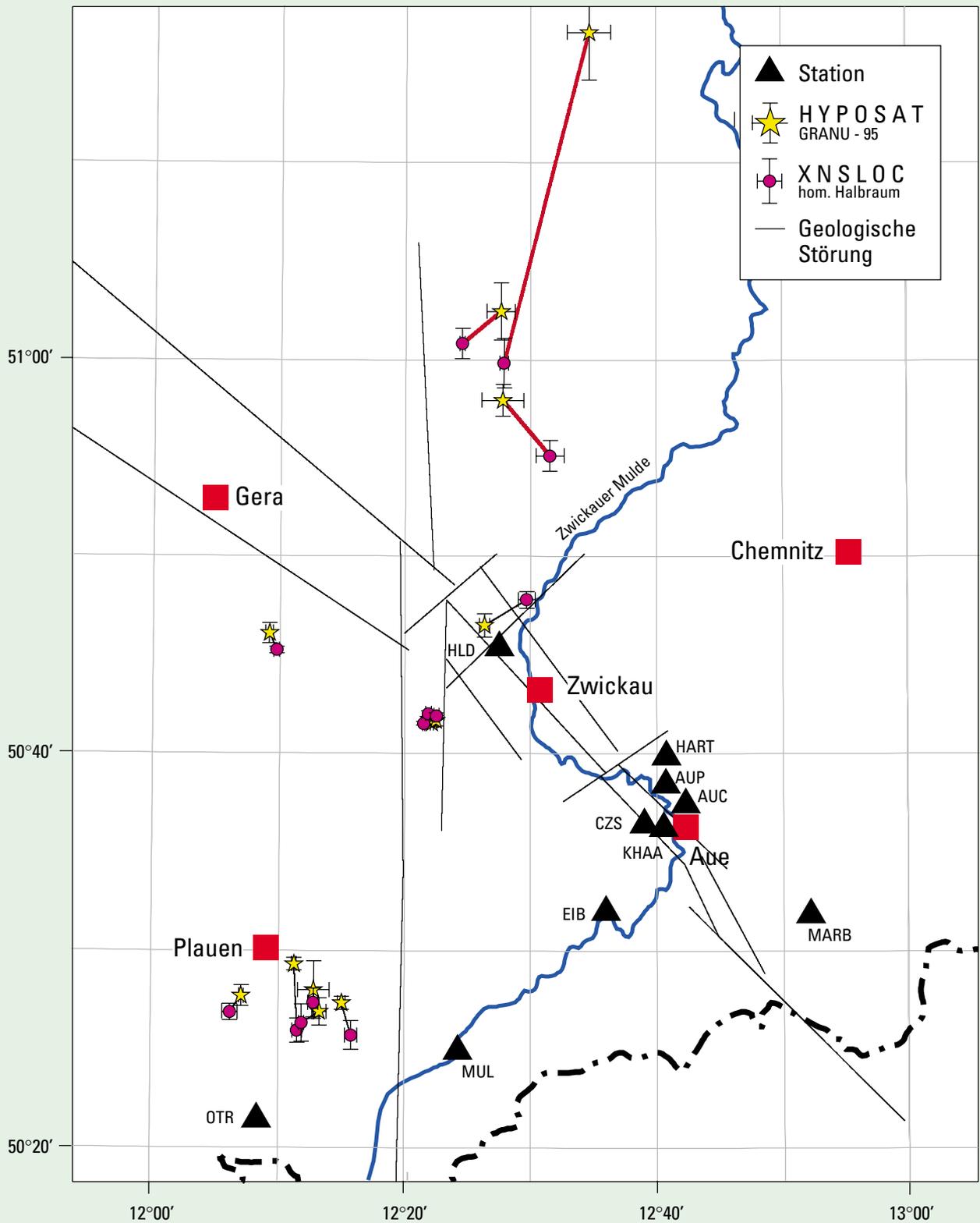
Ifd. Nr.	Datum	Herdzeit h:min:s	Koordinaten		Herdtiefe in km	Magnitude (Anz. d. Stationen)
			Hochwert	Rechtswert		
41	08.07.99	21:23:48.3	56 08500	45 47300	-0,2	-0.4 (3)
42	09.07.99	13:01:00.4	56 09300	45 47900	2,3	0.5 (5)
43	19.07.99	00:39:07.5	56 09700	45 48300	0,4	-0.8 (4)
44	19.07.99	11:04:20.7	56 09800	45 48500	1,9	-0.2 (4)
45	27.07.99	17:39:03.7	56 09300	45 49500	0,6	-0.4 (4)
46	31.07.99	22:46:23.7	56 09900	45 48700	1,3	0.1 (4)
47	28.08.99	09:55:29.0	56 09100	45 48500	0,8	0.2 (5)
48	16.09.99	17:52:04.7	56 10200	45 48100	1,5	-0.5 (4)
49	12.11.99	04:40:37.3	56 09100	45 50000	0	-0.5 (3)

**Tab. 3b:** Lokalisierung induzierter Ereignisse im Bergbaurevier Aue-Alberoda mit XNSLOC im Vergleich 2000/01

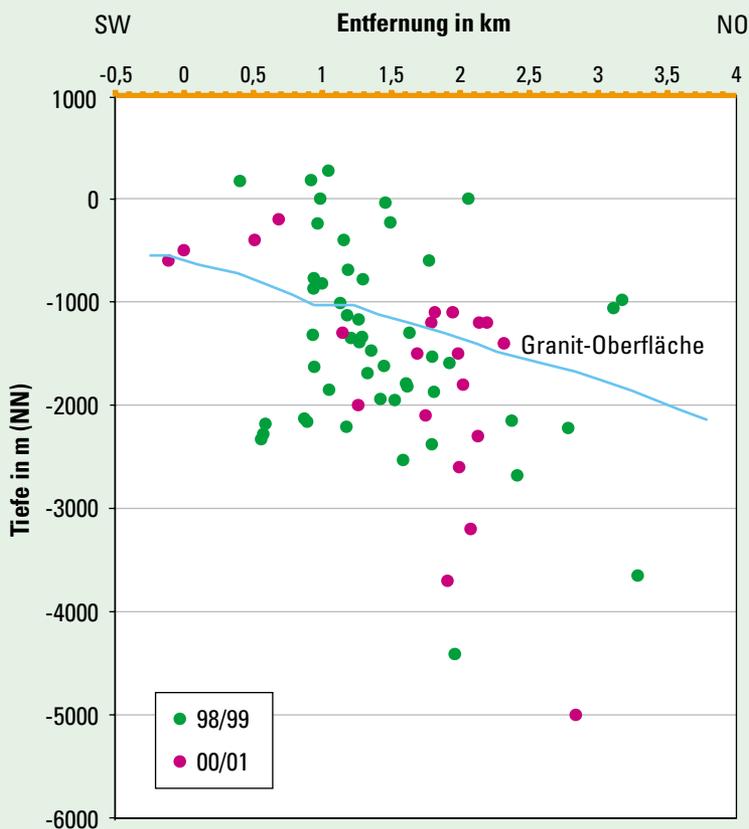
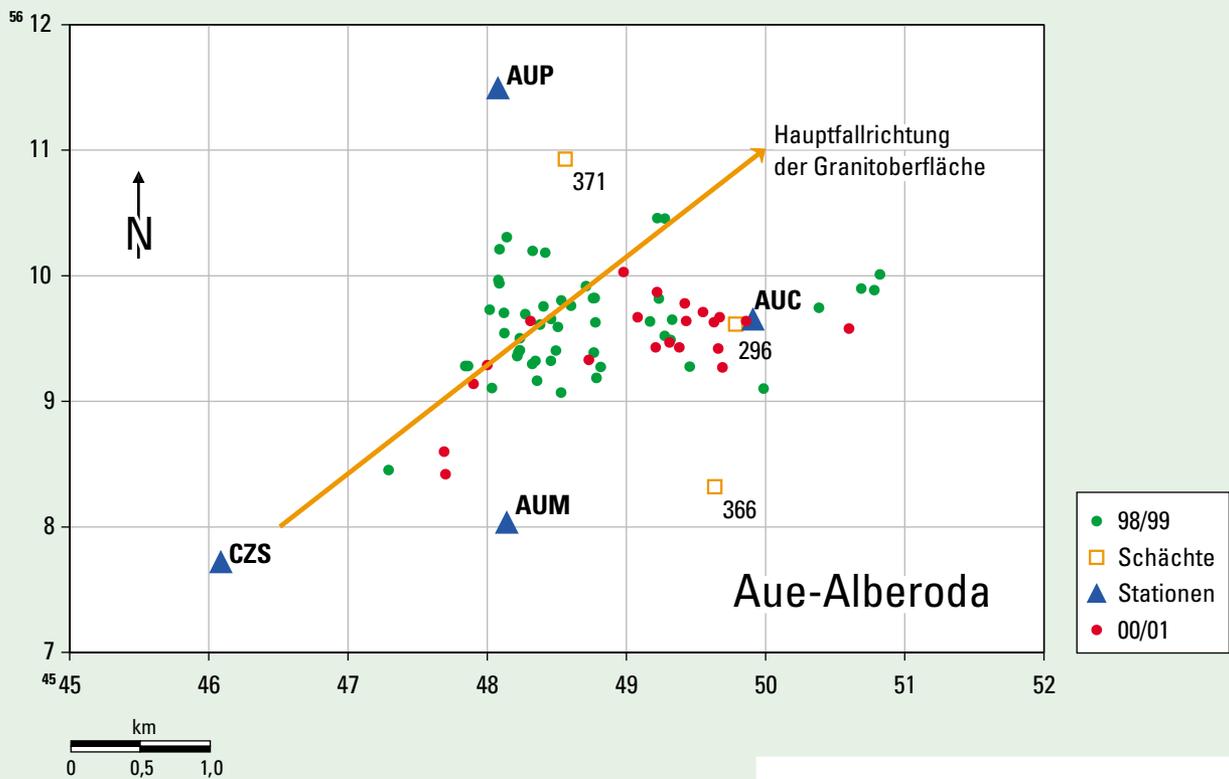
Ifd. Nr.	Datum	Herdzeit h:min:s	Koordinaten		Herdtiefe in km	Magnitude (Anz. d. Stationen)
			Hochwert	Rechtswert		
1	21.05.00	03:39:36.5	56 09600	45 49900	1,4	-0.2 (4)
2	20.06.00	23:54:03.9	56 09800	45 49400	3,2	-0.6 (3)
3	21.06.00	08:13:37.0	56 09300	45 48700	2,0	0.6 (3)
4	24.06.00	14:27:36.5	56 09700	45 49100	2,1	-0.7 (3)
5	20.07.00	10:28:39.5	56 09300	45 48000	0,2	0.6 (4)
6	02.08.00	16:03:47.9	56 09100	45 47900	0,4	0.1 (5)
7	05.08.00	15:06:20.2	56 09300	45 49700	1,1	-0.4 (4)
8	09.08.00	23:54:36.1	56 09700	45 49700	1,2	-0.4 (3)
9	16.09.00	21:16:12.0	56 09700	45 49600	2,3	-0.4 (3)
10	16.09.00	22:10:35.8	56 09400	45 49700	1,8	-0.4 (3)
11	17.09.00	07:44:09.4	56 09400	45 49200	1,5	-0.1 (3)
12	22.09.00	03:58:26.3	56 09400	45 49400	1,1	0.2 (5)
13	22.09.00	03:58:31.5	56 09500	45 49300	1,2	-0.4 (5)
14	27.09.00	22:34:38.2	56 09600	45 48300	1,3	-0.8 (4)
15	03.10.00	02:05:24.5	56 10000	45 49000	3,7	-0.4 (3)
16	23.05.01	14:40:02.6	56 09600	45 50600	5,0	0.6 (3)
17	16.06.01	11:26:19.5	56 08400	45 47700	0,6	-0.6 (4)
18	16.06.01	11:26:28.4	56 08600	45 47700	0,5	-0.2 (4)
19	20.07.01	22:40:30.9	56 09600	45 49600	1,2	0.0 (4)
20	08.09.01	05:44:22.7	56 09900	45 49200	1,5	-0.5 (3)
21	16.11.01	07:24:11.9	56 09600	45 49400	2,6	0.2 (3)



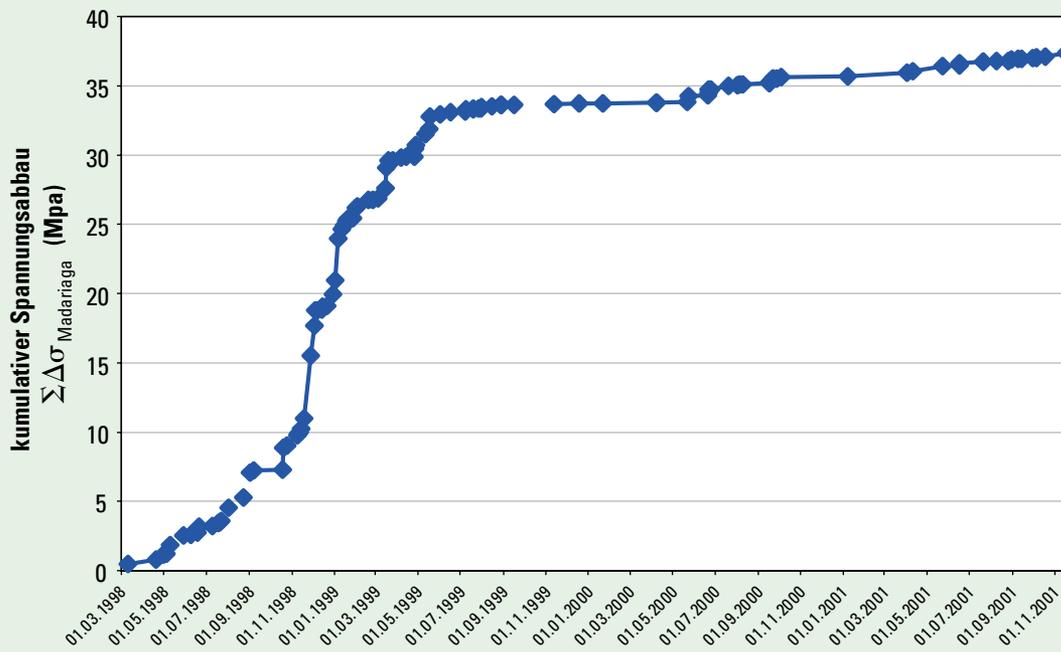
**Abb. 6:** Registrierungen der Z-Komponente der Schwinggeschwindigkeit am Stationspunkt AUC (oben), Spur 1 aus Herdregion Nový Kostel, Spur 2 aus Herdregion Muldenberg, Spur 3 aus Bergbaurevier Aue-Alberoda, Spur 4 aus Steinbruch Wolfsgrün (Pg – direkte Longitudinalwelle, Sg – direkte Transversalwelle) und zugehörige Amplituden-Frequenz-Spektren (unten)



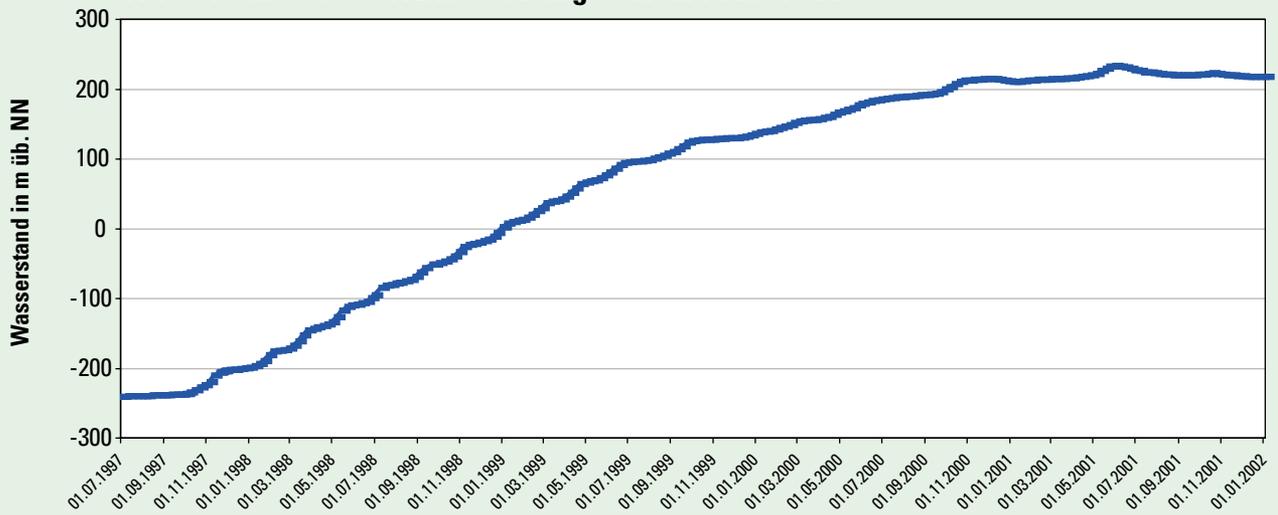
**Abb. 7:** Ortungsgenauigkeit in Bezug zur Netzgeometrie



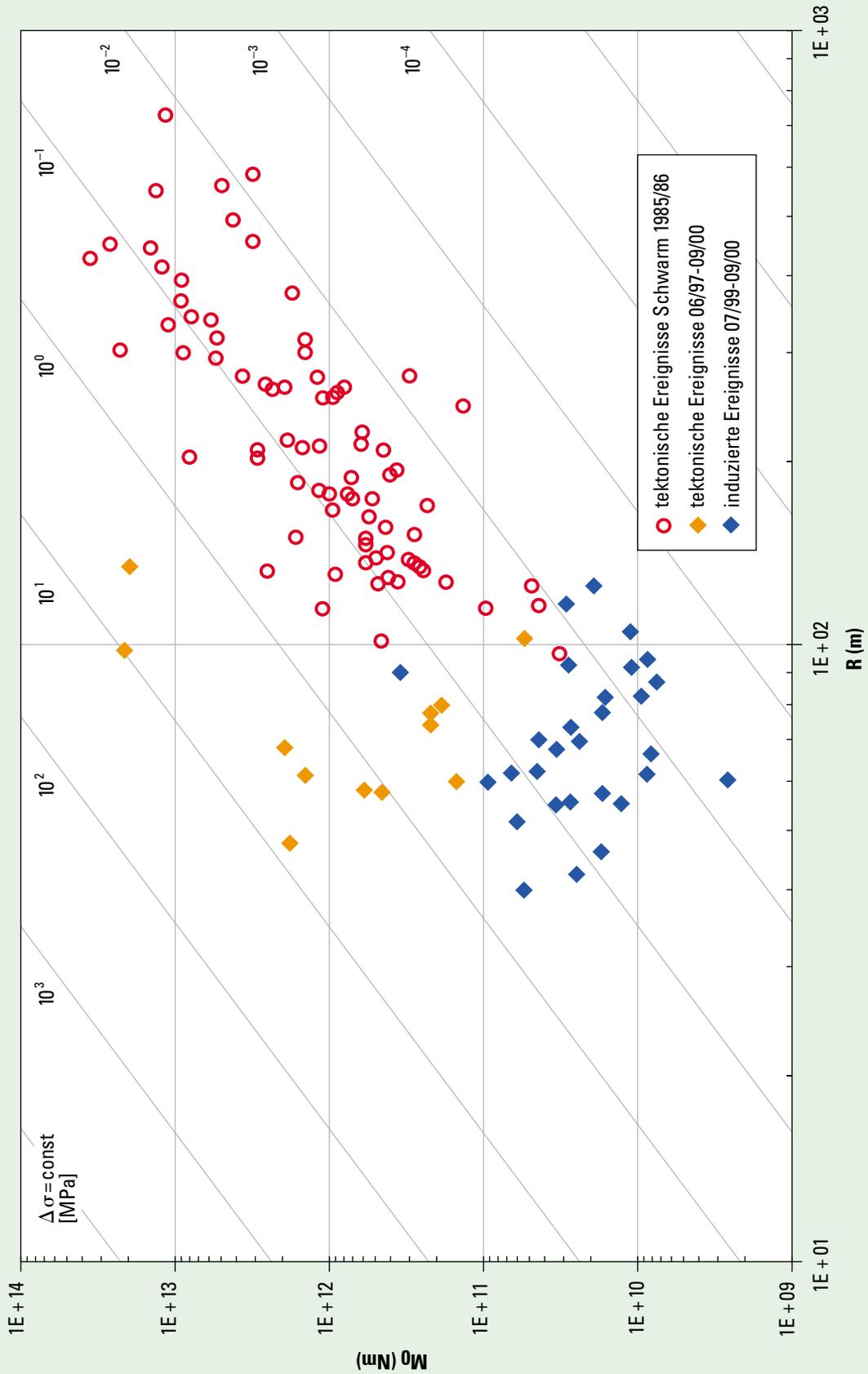
**Abb. 8:** Lage der Stationen im Raum Aue-Alberoda sowie damit geortete Epizentren im Vergleich des vorangegangenen mit dem aktuellen Berichtszeitraum (oben) und Hypozentren in ihrer Lage zur Granitoberfläche im Vergleich des vorangegangenen und des aktuellen Berichtszeitraumes (unten)



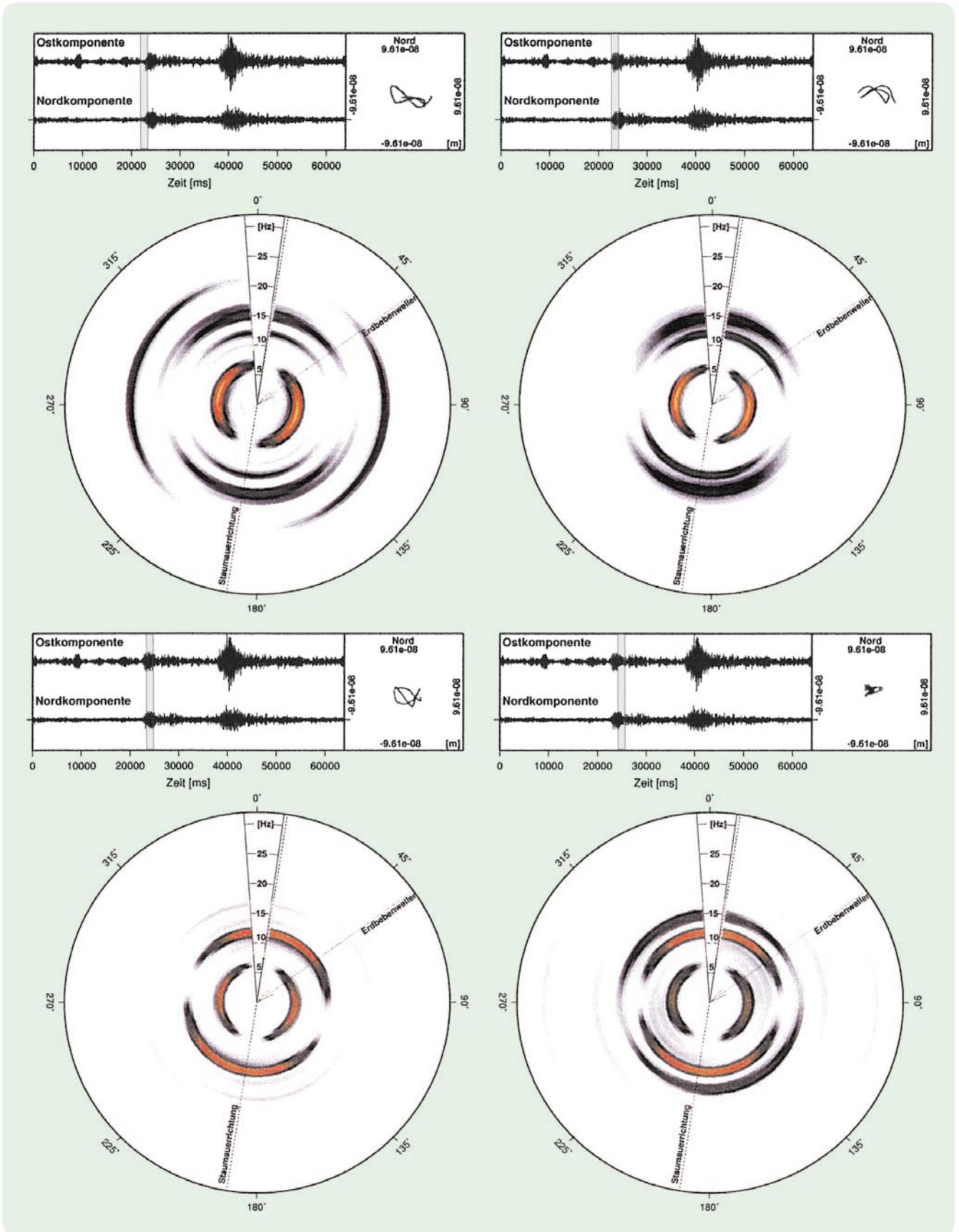
### Wasserstände der GWBM – Flutung Schlema-Alberoda



**Abb. 9:** Gegenüberstellung von Flutungsverlauf (unten) und kumulativem Spannungsabbau (oben) im Raum Aue-Alberoda



**Abb. 10:** Vergleich der Herdparameter seismisches Moment ( $M_0$ ), Herdradius ( $R$ ), und Spannungsabfall ( $\Delta\sigma$ ) für tektonische und induzierte Ereignisse mit älteren Daten



**Abb. 11:** Richtungssensitive Spektralanalyse des P-Welleneinsatzes bei fortschreitendem Analysefenster (im Rechteckfenster grau hinterlegt)

# 4 Geodätische Untersuchungen im vogtländischen Bebengebiet

## **Was hat Geodäsie mit der Erdbebenbeobachtung in Sachsen zu tun?**

Eine der wesentlichen Aufgaben des Geodäten ist die Bestimmung der Größe und Form der Erde bzw. von Teilen der Erdoberfläche sowie deren zeitliche Veränderungen. Für die Untersuchung von Erdbeben kann insbesondere die zeitliche Veränderung der Geometrie der Erdoberfläche von besonderem Interesse sein. Warum das so ist, wird verständlich, wenn man sich vor Augen führt, dass es während eines Bebens zum Bruch innerhalb des Gesteins kommt, welcher bleibende Verformungen hervorruft. In Abhängigkeit von verschiedenen Parametern, wie z. B. Tiefe und Größe der Bruchfläche bzw. den Eigenschaften des umliegenden Gesteins, kann sich diese bleibende Änderung der Geometrie auf mehr oder weniger große Gebiete an der Erdoberfläche erstrecken. Derartige Formänderungen messtechnisch zu erfassen, ist die Aufgabe geodätischer Untersuchungen im sächsischen Vogtland (WENDT 2000). Sie leisten damit einen Beitrag zur Risikoabschätzung im Rahmen der allgemeinen Daseinsfürsorge. Gleichzeitig sind sie Bestandteil der Grundlagenforschung, indem anderen Disziplinen der Geowissenschaften einzigartige Informationen für weiterführende Modellierungen des Phänomens der Schwarmbeben bereitgestellt werden.

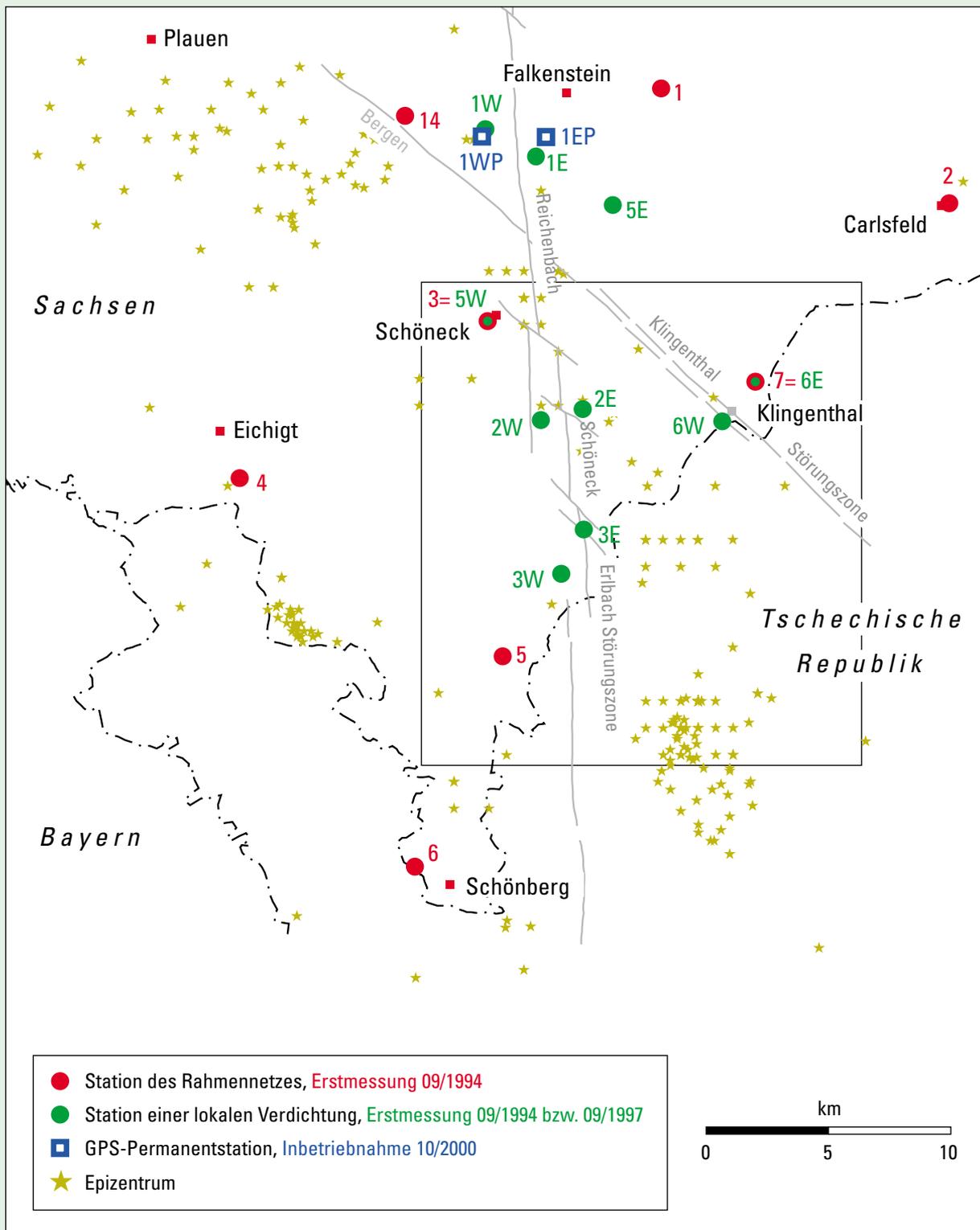
## **Geodätisches Überwachungsnetz »Vogtländisches Bebengebiet«**

Bereits im Sommer 1994 wurde mit der Anlage eines geodätischen Überwachungsnetzes im oberen Vogtland begonnen (WENDT 1999) und so an frühere geodätische Arbeiten der TU Dresden angeknüpft (THURM u. a. 1977). Dieses Netz erstreckt sich im Norden beginnend von Falkenstein bis nach Carlsfeld im westlichen Erzgebirge weiter entlang der Grenze zur Tschechischen Republik über Schönberg im Süden bis nach Eichigt im Westen. Seine Ausdehnung beträgt in N-S-Richtung etwa 35 km und in W-O-Richtung etwa 30 km.

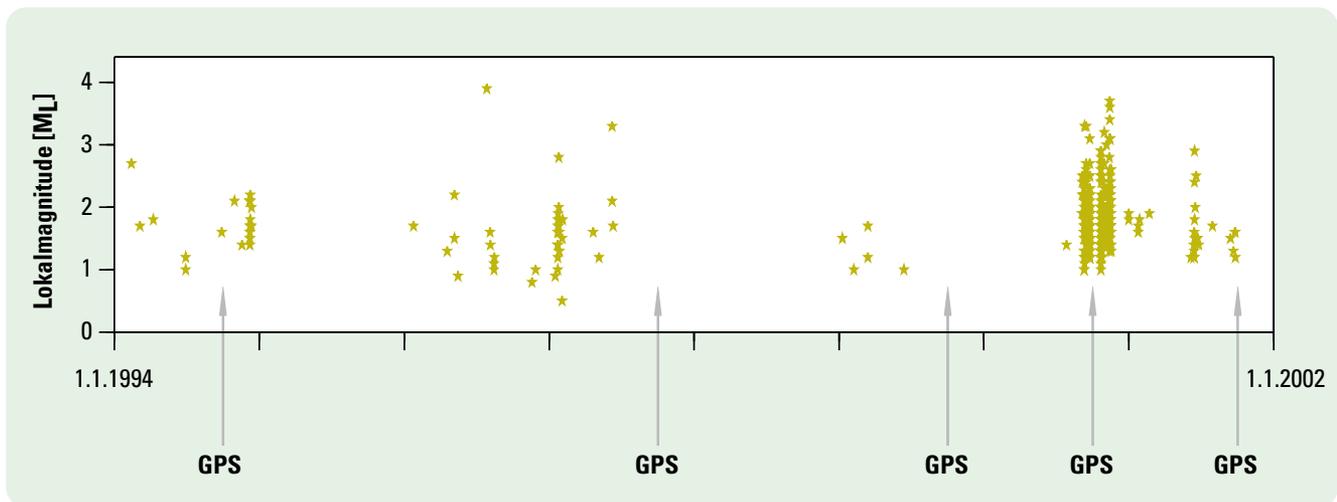
Es umfasst 16 Punktgruppen und überdeckt nahezu vollständig den sächsischen Teil der Bebenregion Vogtland/NW-Böhmen. Entlang der N-S orientierten Reichenbach-Schöneck-Erlbach-Störungszone sowie der NW-SO verlaufenden Bergen-Klingenthal-Störungszone befinden sich örtliche Verdichtungen des Rahmennetzes. In Abb. 12 sind neben den Punktgruppen und ausgewählten tektonischen Störungen (BERGER 1997) auch die Hypozentren der Beben seit 1986 dargestellt. Südöstlich des Überwachungsnetzes befindet sich bereits auf tschechischem Territorium das Herdgebiet Nový Kostel, in welchem der überwiegende Anteil der seismischen Energie der Bebenregion Vogtland/NW-Böhmen freigesetzt wird.

Jede Punktgruppe besteht mindestens aus drei einzelnen zumeist unterirdischen Messpunkten, um etwaige lokale Veränderungen eines Punktes sicher erkennen zu können (vgl. Zweijahresbericht 1998/99).

Bei der Auswahl der Punktgruppen wurde insbesondere berücksichtigt, dass optimale Messungen unter Nutzung des Global Positioning System (GPS) durchführbar sind. Für geodätische Anwendungen, wie sie hier beschrieben sind, wurde die Lage der Netzkpunkte mit einer mittleren Genauigkeit von einem Millimeter jeweils zu den Zeitpunkten der einzelnen GPS-Messkampagnen bestimmt. Dies konnte nur durch ein umfangreiches Messprogramm, in dessen Rahmen bis zu zehn geodätische GPS-Empfänger und Antennen während mehrtägiger Messungen gleichzeitig zum Einsatz kamen, sowie durch spezielle differentielle Auswerteverfahren erreicht werden (WENDT und DIETRICH 2002).



**Abb. 12:** Geodätisches Überwachungsnetz »Vogtländisches Bebengebiet« mit ausgewählten tektonischen Störungen nach Berger (1997) und Epizentren seit 1986 sowie Lage der beiden GPS Permanentstationen. Der Rahmen innerhalb der Netzskizze begrenzt das in Abb. 14 dargestellte Gebiet.



**Abb. 13:** Zeitliche Verteilung der Erdbeben seit 1990 (SZGRF) und der durch die TU Dresden durchgeführten GPS-Messkampagnen im geodätischen Überwachungsnetz.

In Abb. 13 sind die vom Institut für Planetare Geodäsie seit Existenz des Überwachungsnetzes durchgeführten GPS-Messkampagnen gegenüber den im selben Zeitraum registrierten seismischen Ereignissen in der Bebenregion Vogtland/NW-Böhmen dargestellt. Es wurden nur diejenigen seismischen Ereignisse mit einer angegebenen Lokalmagnitudo dargestellt. Tatsächlich ist die Zahl der Erdbeben weit höher. Wichtig erscheint der Umstand, dass die ersten drei GPS-Messkampagnen während einer Phase geringer seismischer Aktivität durchgeführt wurden. Dagegen fand die bislang vorletzte GPS-Messkampagne während der seit 1985/86 stärksten Schwarmbeben statt. Die letzte GPS-Messkampagne wurde im Herbst 2001 nach dem vorläufigen Abklingen der jüngsten relativ hohen seismischen Aktivität durchgeführt.

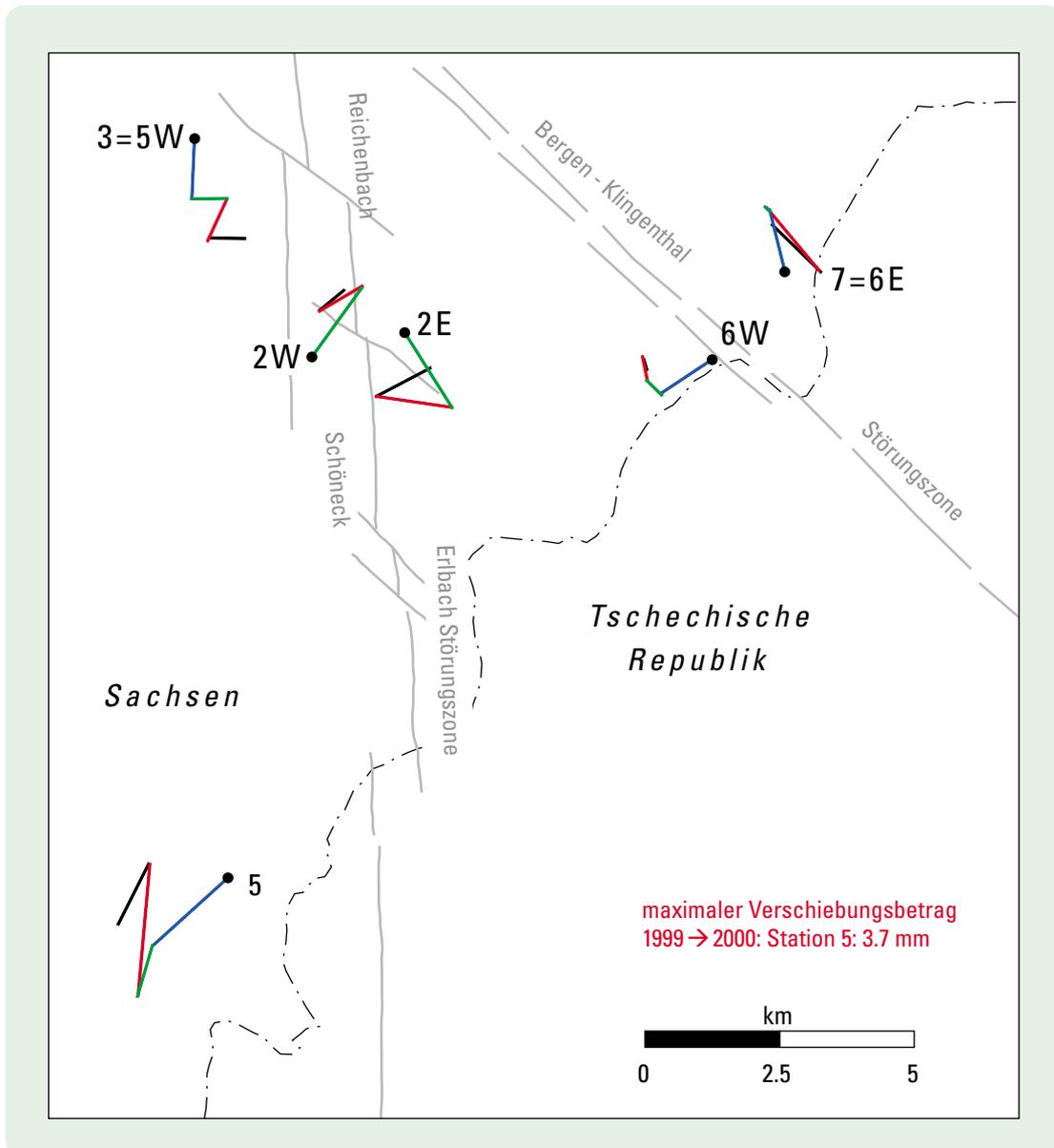
### **Interpretation der Ergebnisse der bisherigen GPS-Messkampagnen**

Für den Zeitpunkt jeder GPS-Messkampagne wurde die Geometrie des Überwachungsnetzes bestimmt. Aus dem Vergleich der beiden Netzgeometrien zweier aufeinander folgender Kampagnen lässt sich die Formänderung zwischen den Zeitpunkten der Messungen ableiten. Dies ist für diejenigen Punkte des Überwachungsnetzes, die sich am nächsten zum Herdgebiet von Nový Kostel befinden, in Abb. 14 dargestellt. Blau repräsentiert die Lageänderung von 1994 nach 1997, grün die von 1997 nach 1999, rot die von 1999 nach 2000 und schwarz die von 2000 nach 2001. Obwohl es sich hierbei um Beträge von nur wenigen Millimetern handelt, lassen sich folgende Schlüsse ableiten:

(1) Im Zeitraum 1994 bis 1999 ist für einzelne Punkte des Überwachungsnetzes, welche dicht bei N-S gerichteten Störungen liegen, eine nahezu gleichförmige Lageänderung erkennbar. Von den in Abb. 14 dargestellten Punkten ist beispielsweise die Nummer 5 (Landwüst, Wirtsberg) betroffen. Dies deutet auf eine konstante Deformationsrate entlang solcher Störungselemente hin.

(2) Die roten Vektoren weichen gegenüber den andersfarbigen stark ab. Dies ist jedoch nicht das Ergebnis fehlerhafter Messungen, sondern hat seine Ursache sehr wahrscheinlich in einer elastischen Ausgleichsbewegung während der stärksten Beben der Region für den von den GPS-Messungen erfassten Zeitraum von 1994 bis 2001. Elastische Ausgleichsbewegungen sind von starken Erdbeben bekannt. Für die Punkte 2W, 5, 7 ist dies in nahezu idealer Weise und für 2E sowie 3 zumindest verrauscht erkennbar.

(3) Nach dem Abklingen der seismischen Aktivität im Jahr 2001 entsprechen die Vektoren im Wesentlichen denen des Zeitraumes von 1994 bis 1999. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die bisherigen GPS-Messkampagnen im geodätischen Überwachungsnetz »Vogtländisches Bebengebiet« in Phasen mit relativ geringer seismischer Aktivität auf einen allmählichen Spannungsaufbau in N-S-Richtung hindeuten. Beim Überschreiten einer kritischen Spannung innerhalb der Erdkruste kommt es während der stärksten Beben in der Region zu messbaren Ausgleichsbewegungen, was zu einem vorläufigen Spannungsabbau führt. Anschließend setzt wieder der kontinuierliche Spannungsaufbau ein. Der seismische Zyklus hat sich geschlossen.



**Abb. 14:** Punktverschiebungen für ausgewählte Stationen des Überwachungsnetzes. Bildausschnitt gemäß dem inneren Rahmen in Abb. 12. Die einzelnen gerichteten Strecken repräsentieren die Formänderungen der Erdoberfläche in den Zeiträumen zwischen den aufeinanderfolgenden GPS-Messkampagnen.

**Blau** steht für den Zeitraum von 1994 bis 1997, **Grün** für 1997 bis 1999, **Rot** für 1999 bis 2000 und **Schwarz** für 2000 bis 2001. Tektonische Störungen auszugsweise nach Berger (1997).

### Permanente GPS-Messungen

Die bisher beschriebenen GPS-Messkampagnen im Überwachungsnetz bieten den Vorzug, dass innerhalb weniger Tage eine relativ große Anzahl von Punkten vermessen werden kann. Dadurch wird mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand eine verhältnismäßig hohe räumliche Auflösung im Untersuchungsgebiet erreicht. Dagegen ist die zeitliche Auflösung des Deformationsprozesses eher gering. Beispielsweise war nur für wenige Punkte eine Ver-

messung einmal pro Jahr im Zeitraum 1999 bis 2001 möglich. Um eine hohe zeitliche Auflösung der gegenwärtig ablaufenden Deformationen der Erdkruste geodätisch erfassen zu können, sind kontinuierliche Messungen notwendig. Hierzu bieten sich permanente GPS-Messungen an. Diese erfordern, dass an ausgewählten Standorten je ein GPS-Empfänger dauerhaft installiert und betrieben wird. Der ausgezeichneten zeitlichen Auflösung stehen somit relativ hohe Anschaffungskosten gegenüber, so dass die Anzahl derartiger Stationen vorerst gering ist.

Im Rahmen eines durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes war es im Jahr 2000 möglich, zwei permanente GPS-Stationen im vogtländischen Bebengebiet einzurichten und seitdem zu betreiben. Die beiden Stationen befinden sich südlich von Falkenstein und überdecken N-S-orientierte Störungselemente (siehe Abb. 12). Abb. 15 zeigt eine typische Montierung der Antenne zum Empfang der GPS-Satellitensignale auf einem eigens dafür errichteten Betonpfeiler. In Abb. 16 sind weitere wesentliche Bestandteile einer solchen Permanentstation, wie der GPS-Empfänger mit unterbrechungsfreier Stromversorgung, Teile des Überspannungsschutzes sowie der Datenfernübertragung zu sehen.

Mit der Inbetriebnahme der beiden permanenten GPS-Stationen wurde erstmals ein geodätisches Monitoring im Sächsischen Vogtland gestartet, das in seiner zeitlichen Kontinuität mit der seismologischen Erdbebenüberwachung vergleichbar ist. Auch hier besteht das Ziel in der Bestimmung von Bodenbewegungen, jedoch unterscheiden sich die Skalen beider Verfahren ganz erheblich.

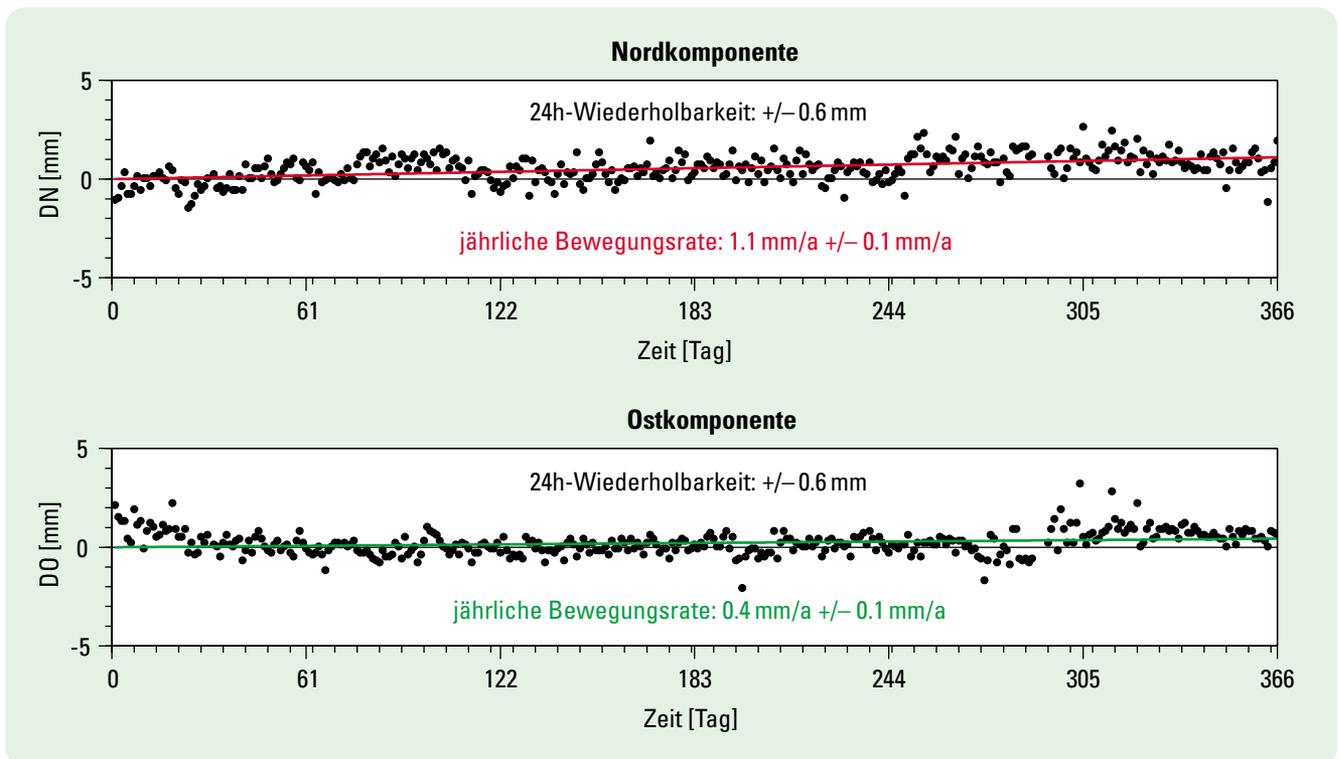


**Abb. 15:** Pfeiler mit Antenne auf einer GPS-Permanentstation. Die Antenne muss fest mit dem Untergrund verbunden sein, und die nähere Umgebung sollte den uneingeschränkten Empfang der GPS-Satellitensignale ermöglichen.



**Abb. 16:** Weitere wesentliche Bestandteile einer der beiden GPS-Permanentstationen. An der Wand hängend ist der GPS-Empfänger montiert. Dieser wird durch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung gespeist und ist an eine ISDN-Verbindung für die Datenfernübertragung zur TU Dresden angeschlossen.

Moderne Breitbandseismometer können elastische Schwingungen mit Perioden im Bereich von etwa 0.02 bis 200 Sekunden erfassen. Die maximalen Auslenkungen dieser Bodenbewegungen befinden sich im Mikrometerbereich ( $10^{-6}$  m). Demgegenüber erscheint gegenwärtig mit Hilfe der GPS-Permanentstationen im Vogtland eine maximale zeitliche Auflösung von einigen Stunden bis zu einem Tag sinnvoll. Langandauernde Krustendeformationen können theoretisch zeitlich unbegrenzt erfasst werden. Die kleinste messbare Streckenänderung kann unter bestimmten strengen Voraussetzungen einige Zehntelmillimeter in einem Entfernungsbereich bis zu einigen Zehnerkilometern betragen. Maximale messbare Streckenänderungen sind hingegen instrumentell nicht begrenzt. Dadurch, dass beide Überwachungsverfahren unterschiedliche Aufgaben erfüllen, ergänzen sie sich gegenseitig sinnvoll im Rahmen der Untersuchungen zur Seismizität in der Bebenregion Vogtland/NW-Böhmen.



**Abb. 17:** Darstellung der Tageslösungen über die Zeit (10/2000 bis 10/2001) nach Nord- und Ostkomponente getrennt. Jeder Punkt repräsentiert die mittleren Koordinaten aus den Beobachtungen eines Tages. Der Anstieg der ausgleichenden Geraden ist ein Maß für die Relativbewegung beider GPS-Permanentstationen zueinander. Die 24h-Wiederholbarkeit gibt den mittleren Fehler einer einzelnen Tageslösung an. Durch die Häufung der Messungen wird mit zunehmender Zeit die Genauigkeit für die Bestimmung der Bewegungsraten gesteigert.

Die Messungen können jederzeit via ISDN von einem Rechner an der TU Dresden abgerufen werden. Dort erfolgt dann deren Prozessierung, wobei der Vektor zwischen beiden Permanentstationen anhand der Messungen jeweils für einen Zeitraum von 24 Stunden berechnet wird. Somit resultieren Tageslösungen, wie sie in Abb. 17 getrennt nach Nord- und Ostkomponente für die Dauer des ersten Betriebsjahres aufgetragen sind. Die Neigung der jeweiligen Datenreihe gegenüber der Zeitachse ist ein Maß für die Relativbewegung beider Stationen zueinander. Sie beträgt nach vorläufigen Berechnungen etwa einen Millimeter pro Jahr in N-S-Richtung über eine Entfernung von weniger als drei Kilometer. Dies ist, gemessen an geologischen Maßstäben, keineswegs eine geringe Deformationsrate, da das Gestein im Untergrund dem durch die Deformation verursachenden Spannungsaufbau nur begrenzt widerstehen kann. Der kurzzeitige Spannungsabbau während der verhältnismäßig häufigen, dadurch zumeist schwachen und somit weitgehend ungefährlichen Beben in der Bebenregion Vogtland/NW-Böhmen ist die Folge.

### Schlussbemerkung

Der eigentliche Auslösemechanismus der vogtländischen Erdbeben dürfte weitaus komplizierter sein und wird noch nicht ausreichend verstanden. Dies ist neben anderen ein wesentlicher Grund, warum eine wissenschaftlich fundierte Vorhersage der Erdbeben nicht oder nur in sehr eingeschränktem Maße möglich ist. Doch auch wenn Schadenbeben im Sächsischen Vogtland selten auftreten, so sind sie nicht völlig auszuschließen. Daher ist die länderübergreifende Zusammenarbeit insbesondere von deutschen und tschechischen Wissenschaftlern erforderlich. In diesem Rahmen sind weiterführende GPS-Messungen dringend geboten.

# 5 Seismologische Netze

## 5.1 Das westsächsische Permanentnetz (»Online«-Netz)

Im Jahr 2000 wurde mit dem Aufbau eines seismologischen Stationsnetzes in Westsachsen begonnen, das in erster Linie die Erdbeben­­tätigkeit im seismisch aktiven Teil der Nord-Süd verlaufenden Leipzig-Regensburg-Störung sowie im Schwarmbeben­­gebiet Vogtland/NW-Böhmen permanent überwachen soll. Die Stationen des Netzes sind technisch so ausgerüstet, dass die Messdaten kontinuierlich vor Ort gespeichert werden und ein Abruf der Daten über das Telefonnetz automatisch zu beliebigen Zeiten erfolgen kann. Damit besteht die Möglichkeit, ein »Online«-Netz zu realisieren, bei dem alle Daten praktisch ohne Zeitverzug in einer Datenzentrale auflaufen und ausgewertet werden können. Eine kurzfristige Information von Behörden, Öffentlichkeit und Medien bei relevanten seismischen Ereignissen ist somit gegeben.

Im Endausbau bis 2003 wird das Permanentnetz aus 8 Stationen bestehen, von denen 7 im Online-Betrieb arbeiten. Die Standorte der Stationen sind für einen längeren Zeitraum (10–20 Jahre) vorgesehen. Sechs Stationen werden vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie zur Verfügung gestellt, jeweils eine Station vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt und von der Universität Leipzig. Aufbau und Betrieb des Netzes und der dazugehörigen Datenzentrale obliegen der Universität Leipzig. Die fortlaufende Datenauswertung wird am Observatorium Collm der Universität Leipzig durchgeführt werden.

Als erste Station des Netzes wurde WERN (Wernitzgrün/Vogtland) im August 2000 in Betrieb genommen – gerade rechtzeitig vor Beginn des Erdbebenschwarmes vom August bis Dezember 2000 (siehe Kapitel 1). An der herdnächsten deutschen Station WERN wurden etwa 10 500 auswertbare Einzelereignisse dieses Schwarmes registriert. Bis Ende 2001 konnten noch die Stationen TANN (Besucherbergwerk Tannenbergsthal), WERD (Talsperre



**Abb. 18:** Eingang zum Besucherbergwerk Tannenbergsthal

Werda), GUNZ (Wasserhochbehälter Gunzen) und OTR (Obertrieb) in Betrieb genommen werden. OTR ist nicht für den Online-Betrieb vorgesehen. Am Standort ROHR (Rohrbach, nahe Bad Brambach) läuft derzeit eine Station im Testbetrieb. Es ist geplant, zwischen Leipzig und Altenburg sowie im südöstlichen Sachsen-Anhalt zwei weitere Stationen aufzubauen (siehe Abb. 20).



**Abb. 19:** Untertagestation Tannenbergsthal in der Aufbau­­phase

### Die derzeitigen Stationen des westsächsischen Permanentnetzes

Station	Name	Breite °N	Länge °O	Höhe (m NN)	Seismometer	Abtastrate (Hz)	In Betrieb seit
WERN	Wernitzgrün	50.2874	12.3761	715	LE-3D/5s	100	02.08.2000
GUNZ	Gunzen	50.3635	12.3316	669	LE-3D/5s	100	16.12.2000
TANN	Tannenbergsthal	50.4160	12.4600	825	STS-2	100	19.12.2000
WERD	Werde	50.4489	12.3070	589	LE-3D/5s	100	13.06.2001
ROHR	Rohrbach	50.2346	12.3168	626	LE-3D/5s	100	07.08.2001
OTR	Obertriebel	50.3543	12.1406	510	LE-3D/5s	62.5	19.12.2001

Die Station TANN bildet die Zentralstation des Netzes. Sie ist mit einem speziellen breitbandigen Seismometer vom Typ STS-2 ausgerüstet und befindet sich untertägig in einem Blindstollen des Besucherbergwerks Grube Tannenbergsthal. Abb. 18 zeigt den Eingang zur Grube. In Abb. 19 ist das Seismometer auf einem Betonsockel zu sehen, der die direkte Ankopplung an den gewachsenen Fels der Stollensohle herstellt, vor Anbringen eines Schutzgehäuses (weiß), das zur Abschirmung von Umwelteinflüssen auf das empfindliche Messgerät dient. Die Station in Sachsen-Anhalt wird mit einem Seismometer gleichen Typs ausgerüstet.

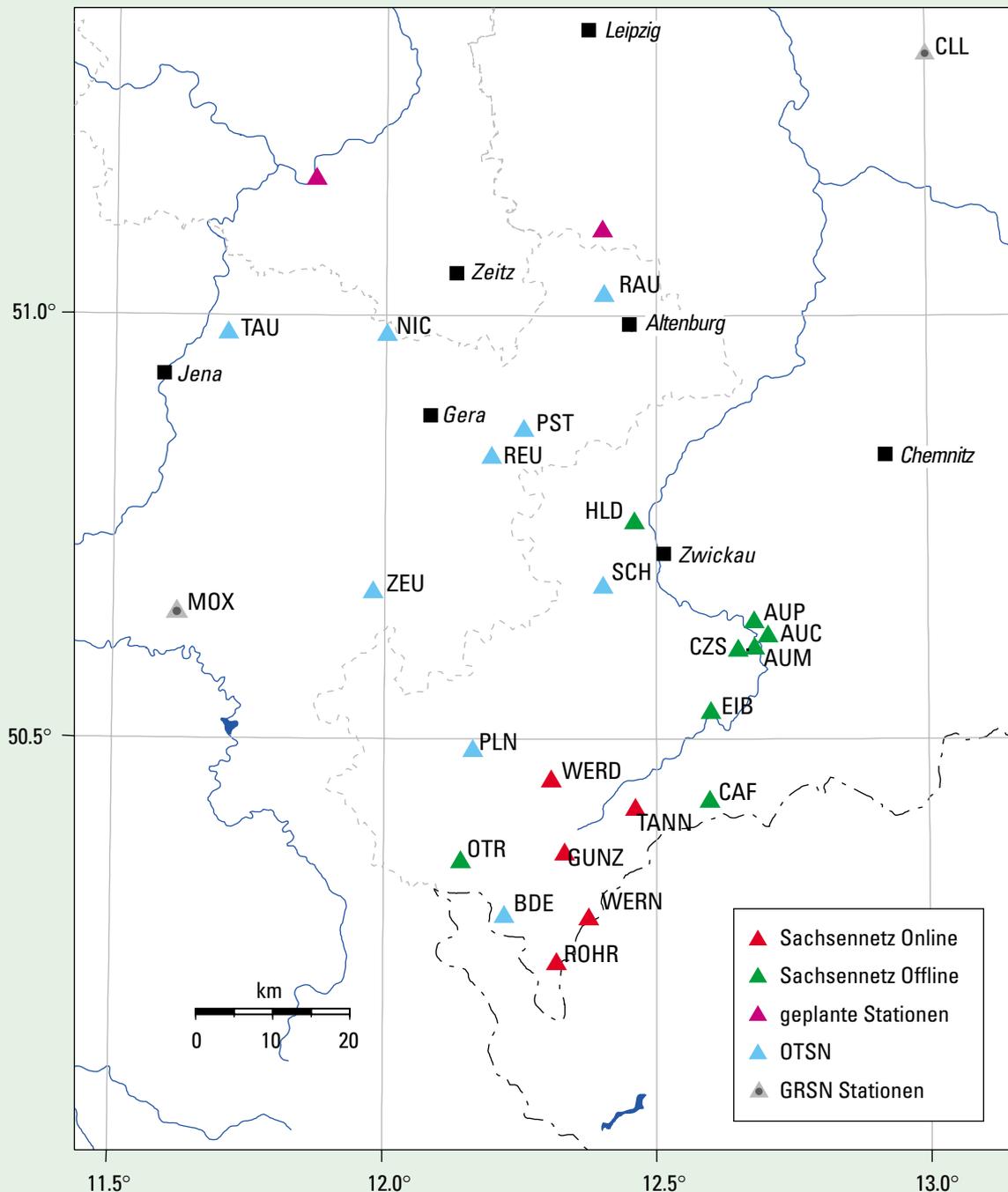
Nach Abschluss der Aufbauarbeiten, Installation der Telekommunikationsverbindungen und Inbetriebnahme des Datenzentrums in Leipzig sollen alle Informationen zu seismischen Ereignissen über das Internet zur Verfügung gestellt werden. Das westsächsische Stationsnetz und das Ostthüringen-Netz ergänzen einander. Perspektivisch kann durch eine gemeinsame Auswertung der Daten beider Netze eine sehr gute Präzision bei der Detektion, Lokalisierung und Stärkebestimmung selbst kleinster seismischer Ereignisse in der Region erreicht werden.

### 5.2 Das Ostthüringer Seismische Netz (OTSN) der Universität Jena

Jahrzehntelange seismologische Forschungsarbeit und Registrierungen im Vogtland lieferten die Motivation und Gründe für die Errichtung eines modernen seismologischen Netzes in Ostthüringen. Ungeachtet des Sachverhalts, dass die stärksten Beben des »Mitteldeutschen« Erdbebengebietes sich in Ostthüringen ereigneten, war diese Region trotz ihres seismischen Gefährdungspotenzials bis 1997 völlig unzureichend mit seismischen Beobachtungsstationen ausgestattet. Bei vergleichsweise geringer Seismizität bestimmen Einzelbeben höherer Intensität den seismischen Charakter der von rezenten Tektonik geprägten Region. Die Untersuchung der lokalen Seismizität bildete daher das Hauptziel des Netzbetriebes. Neben der Erfassung der Mikroseismik und Erkundung des lokalen Spannungsfeldes zur Beschreibung der Seismotektonik und lokalen Krustenstruktur sollte die lokale seismische Gefährdung, insbesondere in den Kreuzungsbereichen rezent aktiver Störungen, untersucht werden. Weiterhin soll das OTSN die seismischen Beobachtungen in den benachbarten Regionen, speziell die Gebiete Westsachsens und des Vogtlands mit Nordböhmen, unterstützen.

### Die Stationen des Ostthüringer Seismischen Netzes OTSN

Station	Name	Breite °N	Länge °O	Höhe (m NN)	Seismometer	Abtastrate (Hz)	In Betrieb seit
BDE	Bad Elster	50.2886	12.2197	616	Mark 4	100	07.09.2000
NIC	Nickelsdorf	50.9769	12.0031	318	S 13	100	28.06.2001
PLN	Plauen	50.4851	12.1573	470	CMG-3ESP	100	01.02.1997
PST	Posterstein	50.8630	12.2528	327	CMG-40T	100	01.03.1997
RAU	Rautenberg	51.0235	12.4037	260	SM 3	100	11.10.2000
REU	Reust	50.8311	12.1953	417	CMG-40T	100	01.03.1998
SCH	Schönfels	50.6759	12.4015	441	SM 3	100	01.11.1997
TAU	Tautenburg	50.9816	11.7111	367	SSJ-2	100	01.05.1997
ZEU	Zeulenroda	50.6706	11.9771	374	CMG-3ESP	100	01.06.1997



**Abb. 20:** Karte des Stationsnetzes der am Seismologie-Verbund beteiligten Institutionen

Mit projektgebundenen Fördermitteln des Thüringer Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur sowie Berufungsgeldern des Lehrstuhlinhabers für Angewandte Geophysik am Institut für Geowissenschaften der FSU Jena wurde Anfang 1997 mit dem Aufbau des seismischen Netzes zur Erfassung der lokalen Seismizität und Untersuchung des seismischen Risikos in Ostthüringen begonnen. Mit fünf digitalen, autonom arbeitenden

24-bit-Datenerfassungssystemen der Fima RefTek und Dreikomponenten-Seismometern begann Ende 1997 die kontinuierliche Datenregistrierung mit 100 Hz. Weitere Stationen wurden in der Folgezeit in das beliebig erweiterbare Netz eingefügt. Seit Jahresbeginn 2002 wird das Netz mit neun Stationen betrieben. In der nachfolgenden Tabelle sind sie mit Standortparametern und Ausstattung aufgelistet und in Abb. 20 dargestellt.

Während von 1990 bis 1997 lediglich 92 seismische Ereignisse erfasst wurden, gelang bisher mit dem OTSN die Registrierung und Lokalisierung von ca. 290 lokalen tektonischen Ereignissen (mit ca. 3000 Einsätzen) mit Magnituden ab  $M_L = -0,5$  sowie die Erfassung und Auswertung kleinerer Erdbebenschwärme, wie des Schwarmes um Werdau vom Dezember 1997/ Januar 1998, des am weitesten nördlich gelegenen innerhalb des bisher bekannten Schwarmbebengebiets. Weiterhin wurden etwa 140 Sprengungen mit etwa 1150 Einsätzen erfasst und bearbeitet. Der größte Teil der im Bereich sich kreuzender Störungen aufgetretenen Ereignisse lässt sich der Leipzig-Regensburger-Störungszone, andere der Gera-Jáchymov-Störungszone zuordnen. Die erfasste Mikroseismizität der mit dem OTSN überwachten Region half bei der Festlegung seismischer Quellregionen zur Bestimmung der seismischen Gefährdung. Mit der Erarbeitung einer lokalen seismischen Gefährdungskarte für Ostthüringen und angrenzende Gebiete (KRACKE, D. & HEINRICH, R. 2002) wurde eine wichtige Zielstellung erreicht.

Alle seit Beginn 1994 auf dem Territorium Thüringens und angrenzender Gebiete registrierten natürlichen Ereignisse und eine Vielzahl von Sprengungen werden ohne untere Magnitudenbegrenzung in einem von D. Kracke und R. Heinrich erstellten Ereigniskatalog erfasst. Es fand eine gesonderte Bearbeitung der Bebenschwärme statt. Die Wellenformdaten werden archiviert und auf Anfrage bereitgestellt. Neben den Untersuchungen von historischer und rezenter Seismizität wurden detaillierte seismologische Karten (Epizentren- und Epizentrendichtekarten, Magnituden- und Intensitätsdichtekarten, Karten der seismischen Energiefreisetzung sowie die bereits erwähnte seismische Gefährdungskarte für Ostthüringen und angrenzende Gebiete) gefertigt.

### 5.3 Das temporäre sächsische Stationsnetz (»Offline«-Netz)

Das temporäre seismologische Messnetz in Sachsen besteht aus 7 mobilen Stationen und hat vor allem die Aufgabe, die Registrierungen des permanenten Netzes zu ergänzen. Sie sollen jedoch vor allem durch die Flutung des WISMUT-Bergbaureviers Aue-Alberoda hervorgerufene induzierte Seismizität erfassen und ein Monitoring der dynamischen Belastung von Talsperrenbauwerken auf Grund natürlicher oder künstlicher Erschütterungen durchführen. Die Aufstellungsorte der Stationen konzentrieren sich daher auf den Raum Aue und einige Dammbauwerke (Carlsfeld, Eibenstock, Helmsdorf). Die Stationen arbeiten »offline«, d. h. ohne Kommunikationsverbindung zu einer Datenzentrale. Die anfallenden Messdaten werden vor Ort auf einem lokalen Datenträger gespeichert, in größeren Zeitabständen abgeholt und an der TU BA Freiberg ausgewertet. Die Stationen des Netzes sind ebenfalls in Abb. 20 dargestellt und in der folgenden Tabelle aufgelistet. Die Standorte MUL (Muldenberg), HART (Hartenstein), MARB (Markersbach) und KHAA (Aue, Kulturhaus) waren im Rahmen des Forschungsprojektes bis Dezember 2000 in Betrieb, wurden jedoch nicht in das »Offline«-Netz übernommen.

#### Die derzeitigen Stationen des temporären sächsischen Stationsnetzes

Station	Name	Breite °N	Länge °O	Höhe (m NN)	Seismometer	Abtastrate (Hz)	In Betrieb seit
HLD	Helmsdorf	50.7552	12.4596	332	LE-3D/1s	125	08.12.1997
AUP	Aue, »Prinzenhöhle«	50.6383	12.6795	374	LE-3D/1s	125	31.08.1999
AUC	Aue, Viehzucht	50.6215	12.7054	446	LE-3D/1s	125	21.10.1998
AUM	Aue, Markus-Semmler-Str.	50.6072	12.6801	398	LE-3D/1s	125	07.05.2000
CZS	Aue, Clara-Zetkin-Siedlung	50.6045	12.6500	460	LE-3D/1s	125	18.12.2000
EIB	Eibenstock	50.5309	12.6004	528	LE-3D/1s	125	21.01.1997
CAF	Carlsfeld	50.4258	12.5976	895	LE-3D/1s	125	14.04.2000

# 6 Praxisorientierte Arbeiten des Seismologie-Verbundes und wissenschaftliche Kooperation

## 6.1 Georisiken

Geologisch bedingte Naturkatastrophen spielen auch im mitteleuropäischen Raum eine größere Rolle, als man gemeinhin annimmt. Solche Georisiken, wie Erdbeben, Vulkanausbrüche oder Massenbewegungen können die natürliche Lebensgrundlage der Menschen gefährden. Diese naturgegebenen Gefährdungen können meist nicht verhindert, jedoch durch geeignete Maßnahmen in ihren Auswirkungen reduziert werden. Sie sind gleichrangig mit extremen witterungsbedingten Gefährdungen wie Hochwasser oder Sturmschäden zu behandeln. In Sachsen ist mit folgenden Georisiken zu rechnen:

- Erdbeben
- Massenverlagerungen wie Felsstürze, Hangrutschungen, Steinschläge
- Bergbau- und technisch induzierte Gefährdungen

Das Risiko durch Schadenereignisse nimmt durch die Konzentration in Ballungsräumen, die Besiedlung und Industrialisierung in stark exponierten Regionen und durch die Anfälligkeit moderner Infrastruktur zu. Moderne Verkehrswege (Schiene, Straße, Tunnel) mit ihren Einschnitten, künstlichen Böschungen und schnellen Transporteinrichtungen erfordern immer höhere Anforderungen hinsichtlich der Sicherheit von Fahrbahnen. Der Risikoeinschätzung, Beobachtung und Gefahrenabwehr kommen damit eine zunehmend größere Bedeutung zu. Die volkswirtschaftlichen Schäden haben sich weltweit in den letzten 30 Jahren bedingt durch Georisiken und klimabedingte Ereignisse vervielfacht. Eine hinreichende geophysikalische, ingenieurgeologische bzw. geotechnische Überwachung und Bewertung ist Grundlage einer Risikoeinschätzung und einer angemessenen Einschränkung von Gefahrenbereichen.

### Erdbeben

Ursache für das Auftreten von Erdbeben ist der plötzliche Spannungsabbau in der Erdkruste. Dieser Spannungsabbau erfolgt häufig an kontinentalen Plattenrändern, wenn diese

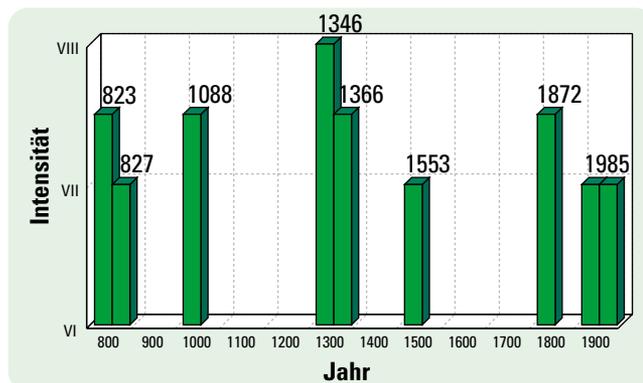


Abb. 21: Erdbeben in Sachsen mit Intensitäten > VI im Zeitraum 800–2000

sich relativ zueinander bewegen. Aber auch innerhalb von kontinentalen Platten (intrakontinentale Erdbeben) treten Erdbeben auf, deren Ursachen noch nicht hinreichend geklärt sind.

In Sachsen liegt der Schwerpunkt der Erdbebenaktivität im westsächsischen/ostthüringischen Raum. Ausgehend vom Vogtland verläuft die erdbebengefährdete Zone über das Gebiet von Zwickau und Gera-Ronneburg bis in den Raum von Leipzig.

Am häufigsten sind die Erdbeben, die im Raum NW-Böhmen, Plauen, Klingenthal und Bad Brambach in unregelmäßigen Abständen als Erdbebenschwärme auftreten und dabei Intensitäten bis VII nach der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS) erreichen. Der bisher letzte starke Bebenschwarm mit einer Maximalintensität von VI (vgl. Kap. 2.2 und Anlage 1) ereignete sich im Herbst 2000.

Erdbeben außerhalb des Schwarmbebengebietes (Raum Zwickau, Gera und Leipzig) treten seltener auf, wobei aber Intensitäten bis zum Grad VIII ermittelt wurden. Das letzte starke Beben ereignete sich 1872 südlich von Ronneburg und wurde als Mitteldeutsches Erdbeben bekannt. In historischer Zeit sind im Gebiet 9 Erdbeben mit Epizentralintensitäten größer VI beschrieben worden (Abb. 21).

Erdbeben können nicht abgewendet und auch nicht vorhergesagt werden. Durch ständiges Beobachten und Registrieren (seismisches Monitoring) der auftretenden schwächeren Ereignisse kann man jedoch die Risikogebiete besser eingrenzen. In diesen gefährdeten Gebieten gelten dann besondere Bauvorschriften (DIN 4149). Potenziell gefährdete Bauten, wie Hochhäuser oder Industrieanlagen, unterliegen besonderen Sicherheitsbestimmungen bzw. sollten dort nicht errichtet werden.

In Sachsen wird die Erdbebenbeobachtung durch den Seismologie-Verbund gewährleistet. Er nutzt die Registrierungen der zwei seismologischen Regionalnetzstationen Collm und Berggießhübel sowie des »Sachsennetzes« (s. Abb. 20) mit 8 stationären Permanent-Stationen und 7 mobilen offline-Stationen. Zur Auswertung werden die Messdaten der seismischen Netze in Thüringen, Bayern und der Tschechischen Republik einbezogen.

### Massenbewegungen

Massenbewegungen sind natürliche Vorgänge. Rutschungen erfolgen in Lockermassen unter bestimmten geometrischen Bedingungen, die z. B. von der Korngrößenverteilung und dem Wassergehalt abhängig sind. Die Hangneigung kann daher von flachen Lockergesteins- bis steilen Festgesteinsböschungen variieren. Fels- und Bergstürze sowie Steinschläge entstehen dagegen durch die Ablösung von Felsmassen aus steilen Hangbereichen. Ihr Volumen reicht von faustgroßen Steinen bis in den Bereich von mehreren Kubikmetern. Dabei sind materielle und sogar Personenschäden mit tödlichem Ausgang nicht auszuschließen. In Sachsen ereigneten sich im Jahr 2000 zwei Todesfälle durch Felsstürze und Steinschläge. Ein größeres Ereignis war der Felssturz vom 22.11.2000 (12:43 MEZ) am Warturm, wobei ca. 1 000 t Sandstein 80 m zu Tal stürzten. Ursachenforschung, Risikoeinschätzung und Sicherheitsmaßnahmen gewinnen bei Steinschlägen und Felsstürzen auch international an Bedeutung.

Bekannteste steinschlaggefährdete Bereiche wurden früher bei der Besiedlung weitgehend gemieden. Die zunehmend hohe Nachfrage nach Bauland und der dadurch erforderliche Bedarf an Verkehrswegen führt zu einer verstärkten Nutzung auch von potenziell gefährdeten Bereichen. In den Schwerpunktgebieten Sächsische Schweiz und Erzgebirge treten Felsstürze und Steinschläge (Abb. 22) häufig auf. Dabei können Massen bis zu über 1000 Tonnen zu Tal gehen. Die Ereigniswahrscheinlichkeit liegt in der Sächsischen

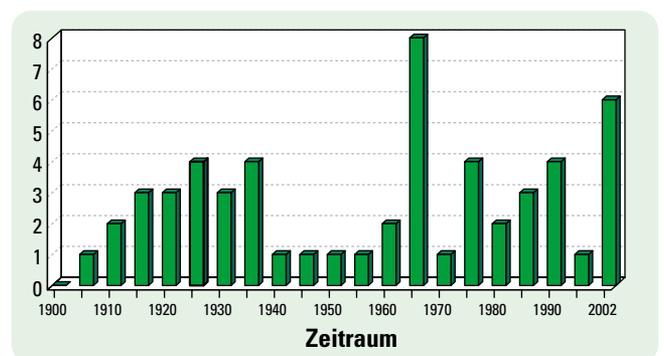


**Abb. 22:** Steinschlag bei Postelwitz (Elbsandsteingebirge) vom 16.01.1936 (Deutsche Fotothek, Dresden)

Schweiz durchschnittlich bei einem Ereignis in 2 Jahren (Abb. 23). Charakteristisch sind jahreszeitliche Schwankungen. Der größte Teil der Ereignisse findet u. a. bedingt durch Einwirkungen während und nach Frostperioden statt.

Da sich plötzliche Massenverlagerungen im Regelfall zeitlich nicht voraussagen lassen, können die potenziell gefährdeten Gebiete nur abgesperrt und geotechnisch überwacht werden. Der natürliche Prozess der Abtragung von Felshängen ist nicht zu verhindern, jedoch sind durch geeignete Maßnahmen, wie vorsorgliche künstliche Abtragung und Beräumung, bauliche Maßnahmen oder Fangeinrichtungen und Fangzäune, das Risiko und mögliche Schäden verringert.

Überwachung und Risikoeinschätzung können durch eine systematische Erfassung, Beobachtung und Bewertung von sich abzeichnenden Massenverlagerungen, aber auch durch messtechnisches Monitoring an ausgewählten Objekten vorgenommen werden. Ziel ist die Eingrenzung und ständige Beobachtung kritischer Bereiche und ihre Zuordnung in Gefährdungsgruppen, für die vorsorglich Sicherheitsmaßnahmen eingeleitet werden können.



**Abb. 23:** Häufigkeit von großen Felsstürzen in der Sächsischen Schweiz zwischen 1900 und 1990

## 6.2 Geplante Arbeiten des Seismologie-Verbundes

Im Rahmen des Seismologie-Verbundes konzentriert sich die Arbeit in den nächsten Jahren auf vier Schwerpunkte.

### 1. Inbetriebnahme des »Sachsennetzes«

Folgende Aufgaben sind für den Seismologie-Verbund von Vorrang – der Abschluss des Aufbaues aller 8 seismischen Permanent-Stationen des »Sachsennetzes« und des zentralen Datenzentrums zur Datenauswertung, -speicherung und Datenbereitstellung sowie die Überführung zum routinemäßigen Betrieb (Ende 2003).

### 2. Seismologische Gefährdungskarte Sachsen – Thüringen – Sachsen-Anhalt

Im Rahmen der Neubearbeitung der DIN 4149 (neu), die sich an den Prinzipien des Eurocode 8 orientiert, werden die Erdbebenzonen unter Berücksichtigung des geologischen Untergrundes neu definiert. Damit verbunden ist eine teilweise Neuordnung der betroffenen Gemeinden der Länder Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt zu den entsprechenden Erdbebenzonen gegenüber DIN 4149 notwendig. Die DIN 4149 (neu) liegt derzeit als Entwurf (Gelbdruck) vor. Um eine einheitliche und übersichtliche Darstellung der grenzüberschreitenden Erdbebenzonen zu erreichen ist eine »Seismologische Gefährdungskarte« geplant, die zeitgleich mit dem Inkrafttreten der DIN 4149 (neu) erscheinen soll.

### 3. Forschungsprojekt »Seismologisches Monitoring in tektonisch vorgeprägten Zonen«

Es ist geplant, die Fortführung der Forschungsarbeiten, die sich derzeit auf die angewandte Seismologie und Verbesserung der Ortungsgenauigkeit vorwiegend in Westsachsen konzentriert, verstärkt im Zusammenhang mit der tektonischen Vorprägung (stärkere Beanspruchung) zu betrachten. Tektonische Störungen werden als ein wesentliches Element bei der Entstehung von Erdbeben angesehen. Die Zuordnung der in der Tiefe georteten Erdbebenherde auf bekannte tektonische Elemente an der Erdoberfläche ist bisher jedoch nur unzureichend gelungen.

### 4. Internet-Präsenz

Es ist vorgesehen, aktuelle seismische Ereignisse die den Freistaat Sachsen und angrenzende Gebiete betreffen sowie Ergebnisse der Arbeit des Seismologie-Verbundes im Internet bereitzustellen. Bereits jetzt finden Sie wei-

terführende Informationen zur Seismologie sowie zu bestimmten Schwerpunkten unter folgenden Internetadressen:

Institution	Internetadresse	Schwerpunkt
LfUG	<a href="http://www.umwelt.sachsen.de/lfug">www.umwelt.sachsen.de/lfug</a> (Geologische Landesaufnahme/Geophysik/Fernerkundung)	Seismologie-Verbund
Uni Leipzig Observatorium Collm	<a href="http://www.uni-leipzig.de/collm">www.uni-leipzig.de/collm</a>	Permanentnetz (»Online«-Netz)
TU BAF	<a href="http://www.geophysik.tu-freiberg.de">www.geophysik.tu-freiberg.de</a>	Temporäres Stationsnetz (»Offline«-Netz)
Uni Jena	<a href="http://www.uni-jena.de/chemie/geowiss">www.uni-jena.de/chemie/geowiss</a>	Ostthüringer seismisches Netz
TU Dresden	<a href="http://www.tu-dresden.de/fghgipg">www.tu-dresden.de/fghgipg</a>	Geodätisches Überwachungs- netz
Seismologisches Zentralob- servatorium Gräfenberg	<a href="http://www.szgrf.bgr.de">www.szgrf.bgr.de</a>	Deutsches Regionalnetz und aktuelle Informationen

## 6.3 Forschungsarbeiten zum Schwarmbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen

Die Erdkruste und der obere Erdmantel unter dem Vogtland und NW-Böhmen stellen aus geowissenschaftlicher Sicht etwas Besonderes innerhalb der weltweiten Erdkruste dar. Die Einmaligkeit besteht in den periodisch wiederkehrenden Schwarmbeben – dieser Begriff wurde bereits vor über 100 Jahren von KNETT und CREDNER geprägt – und dem nachweisbaren Zusammenhang von seismischer Aktivität, tiefreichenden Krustenstrukturen, Mantelfluiden und -entgasungen, subrezentem Vulkanismus, Mineralwasservorkommen und neotektonischen Krustenbewegungen. Zahlreiche Anstrengungen zur Klärung dieser Phänomene wurden insbesondere von deutschen und tschechischen Geowissenschaftlern unternommen. Hauptziel ist dabei, die Entstehung der Schwarmbeben und ihre Verteilung in Raum und Zeit sowie ihre wechselseitige Beziehung mit Fluidodynamik (Bewegung von Fluiden), Magmatismus, Bruchtektonik, Schwerefeld, Krustenbewegungen und Paläospannungsregime (Druck- und Zugbedingungen in einem bestimmten geologischen

Zeitraum) zu untersuchen. Das Problem ist also kein rein seismologisches, sondern muss in einem komplexen geowissenschaftlichen Zusammenhang gesehen und bearbeitet werden.

Seit 1999 werden Forschungsarbeiten zum Thema »Schwarmbebengebiet Vogtland« in den Bereichen Seismizität, Seismotektonik, Gravimetrie, Geodynamik, Geodäsie und Fluidchemie auf deutscher Seite von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Auch auf tschechischer Seite besteht eine Projektförderung. Erste Ergebnisse der Forschungen wurden auf nationalen und internationalen Tagungen präsentiert (siehe Zeitschrift *Studia Geophysica et Geodaetica* 2000).

In einer zweiten Phase findet seit 2002 das seismologische Großprojekt BOHEMA (Seismische und stoffliche Erkundung von Kruste und Mantel des Vogtländisch – NW-Böhmischen Schwarmbebengebietes) statt. Im Rahmen des Gemeinschaftsprojektes von 10 Institutionen aus Deutschland, der Tschechischen Republik und Frankreich werden auf einer Fläche von etwa 160 x 280 km<sup>2</sup> über 130 mobile seismische Stationen für ein Jahr in Betrieb sein. Mit den gewonnenen Daten soll unter anderem eine genaue dreidimensionale Abbildung der Erdkruste und des oberen Erdmantels bis in mehrere 100 km Tiefe erreicht und die Frage nach einem möglichen Magmenreservoir im Mantel beantwortet werden. Die vollständige Auswertung der Daten wird mehrere Jahre in Anspruch nehmen (weitere Informationen unter [www.szgrf.bgr.de](http://www.szgrf.bgr.de)).

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bebenschwarm 2000, Station Wernitzgrün: Zwischen Ende August und Mitte November 2000 wurden an der herdnahen Station 10 500 Einzelbeben identifiziert. Sie sind zeitlich ungleichmäßig verteilt, lassen sich aber zu zeitlich begrenzten Schwarmphasen (1 bis 7) zusammenfassen. Dargestellt sind die Tagessummen über der Zeit unter Berücksichtigung der Magnituden.

*oben*: alle Einzelbeben

*unten*: über 100 Einzelbeben hatten Magnituden größer 2 und konnten an vielen Stationen in Mitteleuropa registriert werden. Im Verlauf des Schwarmes nahm der Anteil dieser stärkeren Beben an den Tagessummen zu.

Abb. 2: Summe der im Herd freigesetzten seismischen Energie seit Beginn des Schwarmes

Abb. 3: Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2000/2001 (mit Magnituden 1 und größer)

•  $1 \leq M < 2$     ●  $M \geq 2$

★ Erdbebenschwarm 2000

▲ seismische Stationen (GRSN, Wernitzgrün)

Abb. 4: Wahrnehmbarkeit des stärksten Bebens beim Schwarm 2000 am 06.11.2000, 23:07 MEZ

Abb. 5: Lage der Stationen des mobilen Netzes sowie Epizentren der damit georteten Mikrobeben im Berichtszeitraum 2000/2001

Abb. 6: Registrierungen der Z-Komponente der Schwinggeschwindigkeit am Stationspunkt AUC (*oben*), Spur 1 aus Herdregion Nový Kostel, Spur 2 aus Herdregion Muldenberg, Spur 3 aus Bergbaurevier Aue-Alberoda, Spur 4 aus Steinbruch Wolfsgrün (Pg – direkte Longitudinalwelle, Sg – direkte Transversalwelle) und zugehörige Amplituden-Frequenz-Spektren (*unten*)

Abb. 7: Ortungsgenauigkeit in Bezug zur Netzgeometrie

Abb. 8: Lage der Stationen im Raum Aue-Alberoda sowie damit geortete Epizentren im Vergleich des vorangegangenen mit dem aktuellen Berichtszeitraum (*oben*) und Hypozentren in ihrer Lage zur Granitoberfläche im Vergleich des vorangegangenen und des aktuellen Berichtszeitraumes (*unten*)

Abb. 9: Gegenüberstellung von Flutungsverlauf (*unten*) und kumulativem Spannungsabbau (*oben*) im Raum Aue-Alberoda

Abb. 10: Vergleich der Herdparameter seismisches Moment ( $M_0$ ), Herdradius (R), und Spannungsabfall ( $\Delta\sigma$ ) für tektonische und induzierte Ereignisse mit älteren Daten

Abb. 11: Richtungsselektive Spektralanalyse des P-Welleneinsatzes bei fortschreitendem Analysefenster (im Rechteckfenster grau hinterlegt)

Abb. 12: Geodätisches Überwachungsnetz »Vogtländisches Bebengebiet« mit ausgewählten tektonischen Störungen nach Berger (1997) und Epizentren seit 1986 sowie Lage der beiden GPS-Permanentstationen. Der Rahmen innerhalb der Netzskizze begrenzt das in Abb. 14 dargestellte Gebiet.

Abb. 13: Zeitliche Verteilung der Erdbeben seit 1990 (SZGRF) und der durch die TU Dresden durchgeführten GPS-Messkampagnen im geodätischen Überwachungsnetz.

Abb. 14: Punktverschiebungen für ausgewählte Stationen des Überwachungsnetzes. Bildausschnitt gemäß dem inneren Rahmen in Abb. 12. Die einzelnen gerichteten Strecken repräsentieren die Formänderungen der Erdoberfläche in den Zeiträumen zwischen den aufeinander folgenden GPS-Messkampagnen. Blau steht für

den Zeitraum von 1994 bis 1997, grün für 1997 bis 1999, rot für 1999 bis 2000 und schwarz für 2000 bis 2001. Tektonische Störungen auszugsweise nach Berger (1997).

Abb. 15: Pfeiler mit Antenne auf einer GPS-Permanentstation. Die Antenne muss fest mit dem Untergrund verbunden sein, und die nähere Umgebung sollte den uneingeschränkten Empfang der GPS-Satellitensignale ermöglichen.

Abb. 16: Weitere wesentliche Bestandteile einer der beiden GPS-Permanentstationen. An der Wand hängend ist der GPS-Empfänger montiert. Dieser wird durch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung gespeist und ist an eine ISDN-Verbindung für die Datenfernübertragung zur TU Dresden angeschlossen.

Abb. 17: Darstellung der Tageslösungen über die Zeit (10/2000 bis 10/2001) nach Nord- und Ostkomponente getrennt. Jeder Punkt repräsentiert die mittleren Koordinaten aus den Beobachtungen eines Tages. Der Anstieg der ausgleichenden Geraden ist ein Maß für die Relativbewegung beider GPS-Permanentstationen zueinander. Die 24h-Wiederholbarkeit gibt den mittleren Fehler einer einzelnen Tageslösung an. Durch die Häufung der Messungen wird mit zunehmender Zeit die Genauigkeit für die Bestimmung der Bewegungsraten gesteigert.

Abb. 18: Eingang zum Besucherbergwerk Tannenbergsthal

Abb. 19: Untertagestation Tannenbergsthal in der Aufbau-phase

Abb. 20: Karte des Stationsnetzes der am Seismologie-Verbund beteiligten Institutionen

Abb. 21: Erdbeben in Sachsen mit Intensitäten  $> VI$  im Zeitraum 800–2000

Abb. 22: Steinschlag bei Postelwitz (Elbsandsteingebirge) vom 16.01.1936 (Deutsche Fotothek, Dresden)

Abb. 23: Häufigkeit von großen Felsstürzen in der Sächsischen Schweiz zwischen 1900 und 2002

# Literatur-, Tabellen- und Anlagenverzeichnis

## Literatur

- BERGER, H.-J. (1997): Tektonische Strukturkarte 1 : 200 000. – Auszug nach Geologischer Übersichtskarte der BRD, Blatt Zwickau, Unveröff. im LfUG.
- DIN 4149 – Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. – Sächs. Amtsblatt vom 28.08.1995, Sonderdruck Nr. 6/1995.
- Erdbeben in Deutschland 1993: Berichte der deutschen seismologischen Observatorien mit einem Katalog wichtiger Weltbeben. – [Hrsg.] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover 1998.
- Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen: Zweijahresbericht 1998–99; (Materialien zur Geologie), Red. B. WITTHAUER, O. KRENTZ. – Hrsg. Landesamt für Umwelt und Geologie; Dresden, Freiberg 2000.
- GRÜNTAL, G. (1993): European Macroseismic Scale 1992 (updated MSK-scale). – European Seismological Commission, Luxembourg.
- GRÜNTAL, G., MAYERROSA, D. (1998): Einheitliche Erdbebengefährdungskarte für Deutschland, Österreich und die Schweiz (D-A-CH). – Schweizerischer Pool für Erdbebendeckung, Bern.
- KRACKE, D., HEINRICH, R. (2002): »Local seismic hazard assessment in areas of weak to moderate seismicity – Case study from Eastern Germany«. Special issue of Tectonophysics »Strong Ground Motion, Earthquake Hazard and Risk in Eastern Europe, Asia, and the Western Pacific« (im Druck).
- Lexikon der Geowissenschaften (2000): Bd. 1, A bis Edi, 500 S. – Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg.
- MURAWSKI, H. (1988): Deutsches Handwörterbuch der Tektonik (in 6 Bänden). – Hannover.
- MURAWSKI, H. (1977): Geologisches Wörterbuch. – Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- NEUMANN, W., JACOBS, F. & TITTEL, B. (1986): Erdbeben. – [Hrsg.] Aulis Verlag Deubner & Co. KG, Köln.
- THURM, H., BANKWITZ, P. & BANKWITZ, E. (1977): Rezente horizontale Deformationen der Erdkruste im Südteil der DDR. – Petermanns Geographische Mitteilungen, (121): 281–301, Gotha.
- WENDT, J. (1999): Zur Geokinematik im sächsischen Vogtland. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 517: S.60 ff.
- WENDT, J., DIETRICH, R. (2002): Determination of recent crustal deformations based on precise GPS measurements in the Vogtland earthquake area. – Journal of Geodynamics, Elsevier Science, Amsterdam, im Druck.
- Zeitschrift Studia Geophysica et Geodaetica; 44 (2000) 2; 44 (2000) 4. – Praha.

## Tabellen

Tab. 1: Bebenschwarm 2000 (Einzelbeben mit  $M \geq 2.5$ )

Tab. 2: Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2000/01 ( $M \geq 1.0$ )

Tab. 3a: Lokalisierung induzierter Ereignisse im Bergbaurevier Aue-Alberoda mit XNSLOC im Vergleich 1998/99

Tab. 3b: Lokalisierung induzierter Ereignisse im Bergbaurevier Aue-Alberoda mit XNSLOC im Vergleich 2000/01

## Anlagen

Anlage 1: Makroseismische Intensitätsskala EMS-92

Anlage 2: Ausführlicher Fragebogen zur Erdbebenbeobachtung

Anlage 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; ↗ 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:** Intensität im ↗ Epizentrum

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

**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 stehende 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, mediterrantransasiatische 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.

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

**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, Herdzeit und Magnitude

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

**Herdzeit:** 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.

**intrakontinental:** im Inneren eines Kontinentes gelegen

**Isoseiste:** Linie, die Gebiete verschiedener seismischer Intensität voneinander abgrenzt Longitudinalwelle, auch 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 1000 km) eines Epizentrums bestimmte Magnitude heißt Lokalmagnitude (ML).

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

**Messnetz, seismologisches:** untereinander verbundene seismologische Stationen, deren Messungen kombiniert ausgewertet werden

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

**Mikroseismik:** ↗ Bodenunruhe

**Moment, seismisches:** Maß für die Bebengröße; Produkt aus Gesteinsfestigkeit, Bruchfläche und Betrag der Verschiebung

**Monitoring:** ständige Beobachtung

**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 Erdbeben-tätigkeit 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 Informationsspeicherung)

**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:** wissenschaftlichtechnische Einrichtung zur Aufzeichnung und Interpretation von Erderschütterungen

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

**subrezent:** unmittelbar vor der Jetztzeit stattgefunden

**SZGRF:** Seismologisches Zentralobservatorium Gräfenberg

**S-Welle:** ↗ Transversalwelle

**Tektonik:** ↗ Geotektonik

**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 nachfolgenden, stärkeren Hauptbeben zusammenhängendes Ereignis

# Anlagen

# Anlage 1 EMS-92 [Kurzform]

## Stark vereinfachte Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-92 Europäische Makroseismische Skala – 1992 (GRÜNTHAL 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 Abfallen 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.



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 und Pendeln von Fenster und Türen
- Auf- und Zuschlagen von Fenster und Türen
- 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 oder Herabfallen kleiner Gegenstände in/aus Regalen u. ä.
- 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
- Risse in Mauern und Fußböden
- Risse 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 auf Grund 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:**

Name: \_\_\_\_\_  
Vorname: \_\_\_\_\_  
Straße, Nummer: \_\_\_\_\_  
Postleitzahl, Wohnort: \_\_\_\_\_  
Telefon: \_\_\_\_\_  
Telefax: \_\_\_\_\_  
E-Mail: \_\_\_\_\_

# Anlage 3 Fragebogen zur Veröffentlichung

**Wir sind an Ihrer Meinung über die Veröffentlichungen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) interessiert.**

**Bitte senden Sie den Fragebogen per Fax ausgefüllt an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie**  
Abteilung 2  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
Grundlagen Umweltbeobachtung  
Zur Wetterwarte 11  
01109 Dresden

**Telefax: (0351) 892 8225**

**1** Wie ist der Titel der Veröffentlichung?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**2** Wie sind Sie auf die Veröffentlichung aufmerksam geworden?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**3** Zu welcher der folgenden Zielgruppen gehören Sie?  
 Behörden  Parteien  
 öffentliche Bibliotheken  Museen  
 Hochschulen  Verbänden  
 Schulen  Vereine  
 Institute  Privatpersonen  
 Betriebe  Ingenieurbüros  
 Sonstige

**4** Wie nutzen Sie die Veröffentlichungen des LfUG?  
 im Beruf  in der Ausbildung  privat

**5** Sind Sie mit dem Informationsgehalt zufrieden?\*

1  2  3  4  5  6

**6** Wie beurteilen Sie das Layout und die optische Darstellung der Veröffentlichung?\*

1  2  3  4  5  6

**7** Ist der fachliche Inhalt aussagefähig dargestellt?\*

1  2  3  4  5  6

**8** Wie ist Ihr Gesamteindruck?\*

1  2  3  4  5  6

**9** Welche Themenbereiche sind in der Veröffentlichung zu kurz gekommen?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**10** Ihre Meinung, Verbesserungsvorschläge, Kritik oder Lob!

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**11** Möchten Sie über vergleichbare Veröffentlichungen des LfUG informiert werden?

ja  nein

Falls ja, werden Sie automatisch in den Verteiler der Materialienreihe aufgenommen. Dazu bitte Ihren Namen und Adresse unten angeben. Die Angaben werden vertraulich behandelt.

**Wir bedanken uns für die Beantwortung der Fragen und werden Ihre Ideen und Anregungen berücksichtigen.**

**\*Erläuterungen:**

1 = sehr gut      2 = gut      3 = befriedigend  
4 = ausreichend      5 = mangelhaft      6 = ungenügend

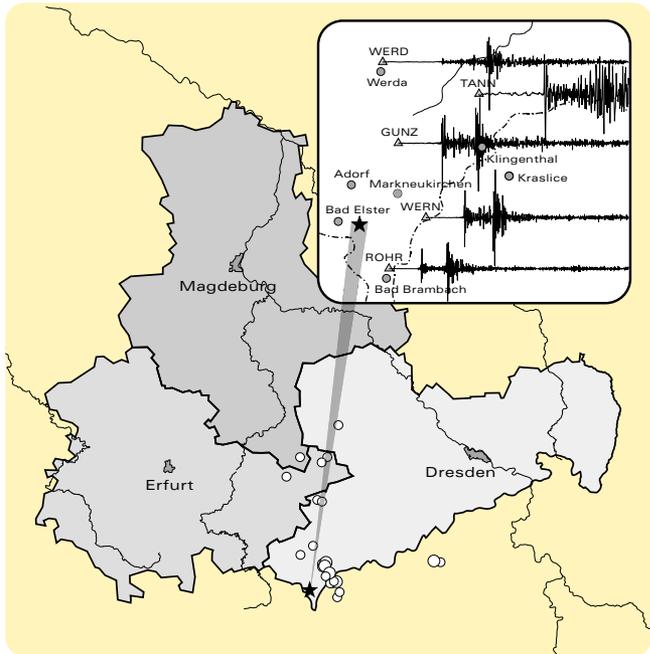
**Adressangaben:**

Name: \_\_\_\_\_  
Vorname: \_\_\_\_\_  
Straße, Nummer: \_\_\_\_\_  
Postleitzahl, Wohnort: \_\_\_\_\_  
Telefon: \_\_\_\_\_  
Telefax: \_\_\_\_\_  
E-Mail: \_\_\_\_\_

## Impressum

Materialien zur Geologie

Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen  
Zweijahresbericht 2000–2001



### Titelbild:

Hintergrundbild: Bundesländer Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt mit den seismischen Ereignissen in Sachsen und angrenzenden Gebieten im Zeitraum 2000/2001 mit Magnituden 1 und größer  
Zusatzkarte: Registrierungen des Ereignisses vom 16.09.2001 durch Erdbebenstationen des im Aufbau befindlichen westsächsischen Permanentnetzes  
Karte: S. WENDT, Universität Leipzig

### Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Öffentlichkeitsarbeit  
Zur Wetterwarte 11, D-01109 Dresden  
E-Mail: [Abteilung2@ifug.smul.sachsen.de](mailto:Abteilung2@ifug.smul.sachsen.de)

**Autoren:** Kapitel 1: O. Krentz, B. Witthauer<sup>1)</sup>  
Kapitel 2: R. Mittag<sup>2)</sup>  
B. Tittel, P. Buchholz, S. Wendt<sup>3)</sup>  
Kapitel 3: B. Forkmann, A. Docekal, F. Donner<sup>2)</sup>  
Kapitel 4: J. Wendt<sup>4)</sup>  
Kapitel 5: M. Korn, S. Funke, B. Tittel, S. Wendt<sup>3)</sup>  
R. Heinrich, D. Kracke<sup>5)</sup>  
Kapitel 6: O. Krentz, Ch. Starke, P. Dommaschk<sup>1)</sup>  
M. Korn<sup>3)</sup>

**Unter Mitarbeit von:** C. Block<sup>1)</sup>

**Redaktion:** B. Witthauer, O. Krentz<sup>1)</sup>

- <sup>1)</sup> Landesamt für Umwelt und Geologie, Amtsteil Freiberg
- <sup>2)</sup> TU BA Freiberg
- <sup>3)</sup> Universität Leipzig
- <sup>4)</sup> TU Dresden
- <sup>5)</sup> Universität Jena

**Redaktionsschluss:** September 2002

### Gestaltung, Satz und Repro:

c-macs publishingservice  
Tannenstraße 2, 01099 Dresden

### Druck und Versand:

Sächsische Druck- und Verlagshaus AG  
Tharanderstraße 23–27, 01159 Dresden  
Fax: 03 51/4 20 31 86 (Versand), E-Mail: [versand@sdv.de](mailto:versand@sdv.de)

### Bezugsbedingungen:

Diese Veröffentlichung kann kostenfrei von der Sächsischen Druck- und Verlagshaus AG bezogen werden.

### 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

November 2002

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie ist im Internet ([www.umwelt.sachsen.de/lfug](http://www.umwelt.sachsen.de/lfug)).



