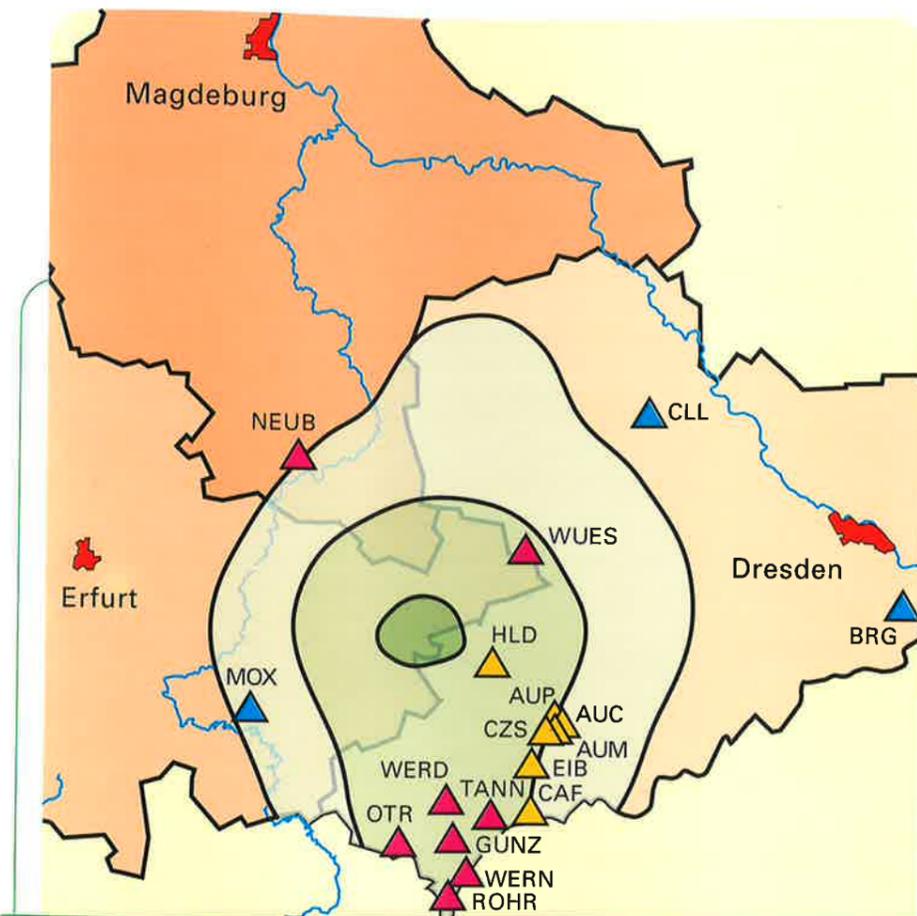




Das Lebensministerium



## Materialien zur Geologie

**Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen**

Zweijahresbericht 2002-2003

Freistaat  Sachsen

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

## Vorwort

Seismologische Untersuchungen werden in Sachsen seit nunmehr 10 Jahren durch den Seismologie-Verbund zur Erdbebenbeobachtung durchgeführt. Zu diesem Seismologie-Verbund haben sich Universitäten mit ihren seismologischen Observatorien und Stationen sowie Unternehmen und Einrichtungen, die seismologische Messungen durchführen, zusammengeschlossen, um ihre Arbeiten abzustimmen und zu koordinieren. Die Koordination nimmt das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie wahr. Da Erdbeben keine Ländergrenzen kennen, bestehen auch enge Kontakte zu vergleichbaren Einrichtungen anderer Bundesländer.

Um diese Zusammenarbeit auch langfristig zu garantieren und das in der Zwischenzeit aufgebaute seismologische Überwachungsnetz in Sachsen effektiv zu betreiben, ist es das Ziel, einen Landeserdbebendienst in Sachsen einzurichten.

Auf dem Gebiet des Freistaates Sachsen sind glücklicherweise bisher keine verheerenden Erdbeben aufgetreten. Es werden jedoch in Westsachsen und besonders im Vogtland immer wieder seismische Ereignisse registriert. Besondere Aufmerksamkeit gilt den, teils periodisch wiederkehrenden Bebenschwärmen im Vogtland und NW-Böhmen, die zu den seismologisch bedeutenden Ereignissen in Europa gehören. Diese Beben werden, wenn sie eine bestimmte Stärke erreichen auch von der Bevölkerung wahrgenommen und es kann sogar zu Schäden an Gebäuden und Einrichtungen kommen.

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.

Zu diesem Zweck wurden im Rahmen des Seismologie-Verbundes besonders Untersuchungen zur Lokalisierungs-genauigkeit von Erdbeben und der Präzisierung der seismischen Schwerpunktgebiete, der Untersuchung von Talsperrenbauwerken sowie der Registrierung bergbau-induzierter seismischer Ereignisse im Rahmen der Flutung des Bergbaureviers im Raum Aue-Alberoda durchgeführt. Grundlage dafür war das in den letzten Jahren aufgebaute seismologische Überwachungsnetz.

Die vorliegende Veröffentlichung ist die dritte dieser Art und informiert über die Arbeit der letzten zwei Jahre des seit 1994 tätigen Seismologie-Verbundes.



Hartmut Biele  
Präsident des Sächsischen Landesamtes  
für Umwelt und Geologie

## Inhalt

|  |  |    |
|--|--|----|
| Vorwort                                      |  |    |
| 1  | Einleitung   | 5  |
| 2  | Seismische Aktivität in Sachsen und angrenzenden Gebieten in den Jahren 2002–2003 (Ereignisse mit Magnituden 1 und größer) | 6  |
| 3  | Ergebnisse des Projektes „Seismologisches Monitoring Westsachsen“  | 12 |
| 3.1  | Vorbemerkungen   | 12 |
| 3.2  | Monitoring der bei der Flutung des Wismut Bergbaureviers im Raum Aue-Alberoda induzierten Seismizität                      | 14 |
| 3.3  | Schwingungsverhalten der Staumauer Eibenstock  | 22 |
| 3.4  | Lokalisierung und Magnitudenbestimmung   | 22 |
| 3.5  | Herdanalyse und Wellenformen   | 23 |
| 3.6  | Zusammenfassung  | 26 |
| 4  | Seismische Netze in Sachsen  | 27 |
| 4.1  | Offline-Netz (mobiles Netz)  | 27 |
| 4.2  | Online-Netz (Permanentnetz)  | 29 |
| 4.2.1  | Stationstechnik  | 29 |
| 4.2.2  | Beschreibung der einzelnen Standorte   | 31 |
| 4.2.3  | Datenfluss   | 32 |
| 4.3  | Datenqualität  | 35 |
| 5  | Aufgaben eines zukünftigen Landeserdbebendienstes im Freistaat Sachsen   | 37 |
| 6  | 100 Jahre Seismologie in Leipzig   | 39 |
| 7  | Weitere Forschungsarbeiten zur Seismologie in Sachsen  | 43 |
| 7.1  | Das seismologische Tomographieprojekt BOHEMA   | 43 |
| 7.2  | Fluiduntersuchungen im Schwarmbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen   | 45 |
| 7.3  | Seismische Weitwinkeluntersuchungen im Rahmen des Projektes SUDETES 2003   | 48 |
| Abbildungsverzeichnis                        |  | 50 |
| Literatur-, Tabellen- und Anlagenverzeichnis |  | 52 |
| Begriffserklärungen                          |  | 53 |
| Anlagen                                      |  | 55 |

# 1 Einleitung

Das südwestliche Sachsen zählt hinsichtlich der Stärke und der Häufigkeit zu den aktivsten Erdbebengebieten in Deutschland und wird deshalb schon seit 1962 seismologisch intensiver überwacht. Aber erst im Ergebnis des starken Bebenschwarms von 1985/86 begann die Umrüstung bis dahin bestehender seismischer Analogstationen auf eine digitale Basis.

Aufbau und Betrieb eines seismischen Stationsnetzes sind wesentliche Bestandteile der seismologischen Überwachung in Sachsen. Der Ausbau dieses Stationsnetzes im Freistaat wird gegenwärtig durch den *Seismologie-Verbund zur Erdbebenbeobachtung in Sachsen* übernommen. Darüber hinaus koordiniert der Seismologie-Verbund die staatliche Erdbebenbeobachtung, führt wissenschaftliche Untersuchungen durch und informiert die staatlichen Stellen, die Medien und die Bevölkerung. Die Ergebnisse werden in Forschungsberichten, wissenschaftlichen Publikationen, Pressemitteilungen und Broschüren zusammengefasst und veröffentlicht. Das vorliegende Heft ist der 3. Bericht, in dem Arbeitsergebnisse und für Sachsen relevante seismische Informationen aus dem Zeitraum 2002–2003 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 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
- Landestalsperrerverwaltung Sachsen

Auf die Aufgaben und die Zusammenarbeit im Rahmen des Seismologie-Verbundes wird im Zweijahresbericht 1998–1999, der im Internet unter <http://www.umwelt.sachsen.de/lfug> verfügbar ist, umfassend eingegangen.

Ein Schwerpunkt in dem vorliegenden Berichtszeitraum lag auf dem Ausbau des seismischen Online-Netzes, das eine schnellstmögliche Information über seismische Ereignisse sicherstellen soll. Dazu wurden 6 Stationen im Vogtland sowie eine Station in NW-Sachsen und eine Station im südlichen Sachsen-Anhalt eingerichtet.

Ein wichtiger Beitrag ist auch die Zusammenstellung der Ergebnisse des im Jahr 2004 abgeschlossenen Forschungsvorhabens „Seismologisches Monitoring in Westsachsen“. Hierbei wird besonders auf die Überwachung der bei der Flutung des Wismut-Bergbaureviers im Raum Aue-Alberoda induzierten Seismizität, das Schwingungsverhalten von Staumauern und Untersuchungen zur Magnituden- und Lokalisierungs-genauigkeit sowie zur Herdanalyse und zur Beschreibung seismischer Wellenformen eingegangen.

Einen Höhepunkt im Berichtszeitraum bildete der 100. Jahrestag des Beginns der Aufzeichnung und Messung von Erdbeben in Leipzig.

Abschließend werden Projekte vorgestellt, die seismologische Themen behandeln, die Sachsen betreffen, wie ein internationales refraktionsseismisches Forschungsprofil und seismisches Tomographie-Experiment, die die Untersuchung der Erdkruste zum Ziel haben. Weiterhin wird über die Ergebnisse von Fluiduntersuchungen berichtet.

## 2 Seismische Aktivität in Sachsen und angrenzenden Gebieten in den Jahren 2002–2003 (Ereignisse mit Magnituden 1 und größer)

Die seismische Aktivität der letzten zwei Jahre im Freistaat Sachsen ist als gering einzuschätzen. Es wurden weniger als 50 tektonische bzw. bergbauinduzierte seismische Ereignisse registriert (Tab. 1), von denen keines die Lokalmagnitude (ML) 3 überschritt. Außerhalb Sachsens traten im Entfernungsbereich bis ca. 500 km stärkere seismische Ereignisse ab Magnitude 4 in den bekannten (Niederrheinische Bucht, Rheintalgraben, Schwäbische Alb) seismisch aktiven Herdgebieten auf (Tab. 2), von denen das stärkste Magnitude 5,7 erreichte. Aufgrund der großen Entfernung bzw. geringen Stärke wurden keine makroseismischen Auswirkungen dieser Ereignisse auf das Gebiet Sachsens bekannt.

Von den in Sachsen und angrenzenden Gebieten registrierten relevanten seismischen Ereignissen konnten die meisten als Erdbeben identifiziert werden. Die in Bergbaugebieten lokalisierten Ereignisse konnten als Bergschläge den Gruben in Aue-Alberode, Nordböhmen, Teutschenthal

und Mansfeld zugeordnet werden. Vergleicht man mit der seit 1962 kontinuierlich registrierten seismischen Aktivität, so spiegelt das zeitlich nahezu gleichmäßig verteilte Auftreten von 1 bis 2 Erdbeben pro Monat eine für diese Region typische Hintergrundseismizität wider.

Abb. 1 zeigt die zeitliche Verteilung tektonischer Beben und ihre Lokalmagnituden. Nach dem großen Erdbebenschwarm vom Herbst 2000 traten lediglich zwei kleinere Schwärme in der zweiten Aprilhälfte 2002 im Gebiet von Plauen und Bad Brambach auf, die die Lokalmagnitude 2,0 nicht überschritten und jeweils kaum 5 Ereignisse zählten. Die Detektionsschwelle für das gesamte Gebiet lag bei einer Lokalmagnitude von ungefähr 1, wobei für Herdgebiete in der Nähe von seismischen Stationen bzw. lokalen Stationsnetzen auch schwächere Ereignisse detektiert werden konnten. Die stärksten Ereignisse erreichten Lokalmagnitude 2,3. Die in Abb. 2 dargestellte kumulative Magnituden-Häufigkeitskurve weist einen b-Wert von 1,0

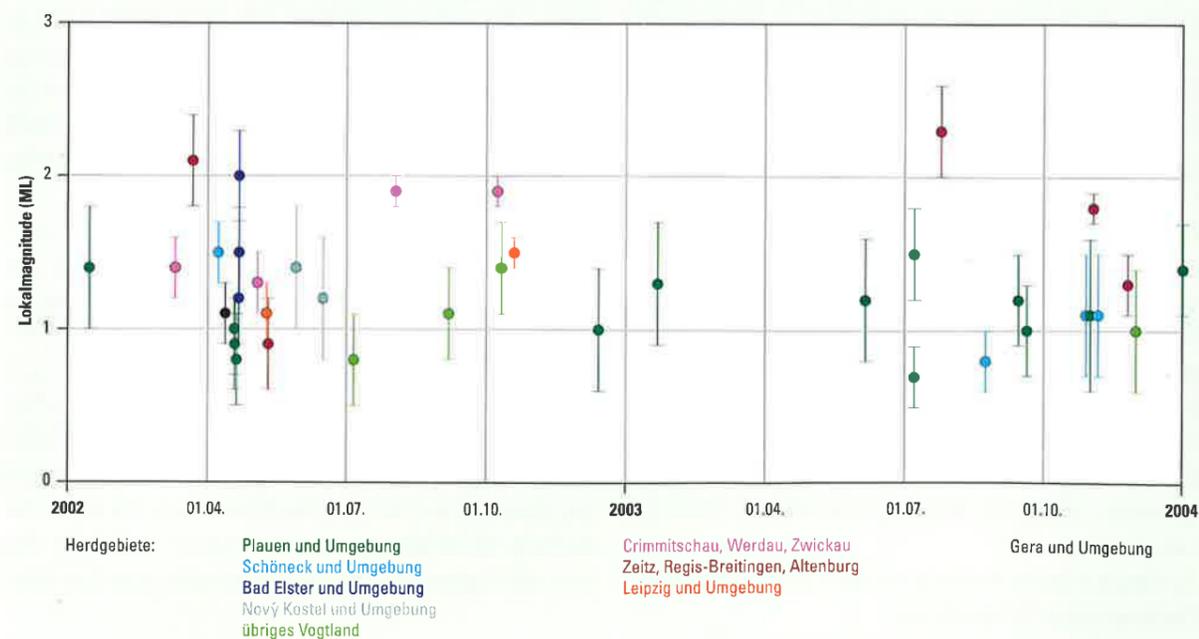


Abb. 1: Zeitliche Verteilung der Lokalmagnituden tektonischer Beben 2002–2003

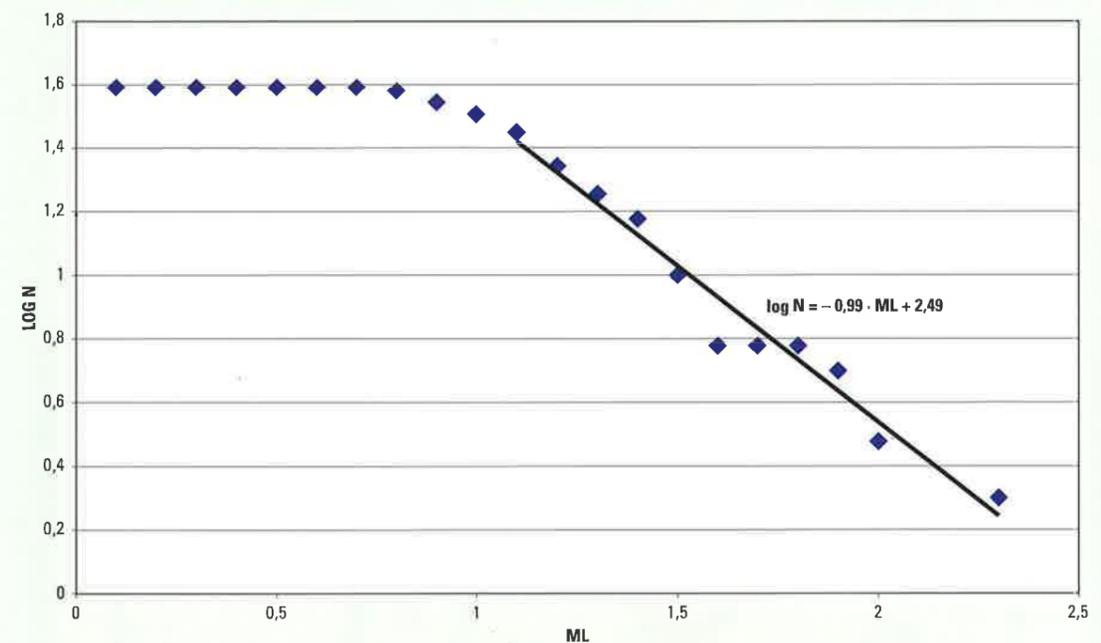


Abb. 2: Kumulative Anzahl  $N$  von Erdbeben größer Lokalmagnitude  $ML$  in Sachsen 2002–2003 und der aus der Verteilung  $\log N = b \cdot ML + a$  abgeleitete  $b$ -Wert

aus, der dem aus Langzeitbeobachtungen ermittelten Wert entspricht und damit selbst für diesen relativ kurzen Beobachtungszeitraum von zwei Jahren den für tektonische Erdbeben charakteristischen Wert des regionalen Seismizitätsparameters bestätigt.

Betrachtet man die räumliche Anordnung der Erdbeben (Abb. 3a, b), so verteilen sich die Epizentren fast gleichmäßig auf die bekannten, seismisch aktiven Erdbebencluster in Westsachsen, Ostthüringen bzw. NW-Böhmen, die sich entlang regionaler (Leipzig-Regensburger) bzw. lokaler (Gera-Jáchymover) Störungszonen gruppieren. Eine intensive Untersuchung des Hauptclusters im Gebiet Nový Kostel wurde nach dem Schwarm im Herbst 2000 vorgenommen und ist im Kap. 3.4 ausführlicher dargestellt.

Die Lokalisierung der seismischen Ereignisse und insbesondere die Herdtiefenbestimmung müssen, ebenso wie die Bestimmung der Lokalmagnitude, im Hinblick auf eine begrenzte Genauigkeit kritisch betrachtet werden (siehe Kapitel 3.4). Die ermittelten Tiefen der Erdbebenherde sind kleiner als 10 km und lassen sich den tektonisch vorgeprägten Bereichen bekannter Störungszonen zuordnen. Nach neuesten geowissenschaftlichen Erkenntnissen wird als Ursache der beobachteten Intraplattenseismizität mit Schwarmbebencharakter ein gegen die Kruste drückender

Magmenkörper im Erdmantelbereich vermutet. Die Erdbeben werden in der tektonisch vorgespannten Oberkruste durch eine Spannungszunahme ausgelöst, die durch aufsteigendes Magma bzw. Krustenfluide hervorgerufen wird. Dieses seismogenetische Modell wird durch interdisziplinäre Beobachtungen gestützt, die im Untersuchungsgebiet tiefreichende Krustenstrukturen in Kombination mit Krustenfluiden und -entgasungen, Mineralwasservorkommen, subrezenten Vulkanismus und neotektonischen Krustenbewegungen nachgewiesen haben (siehe Kapitel 7.2). Außerdem konnten durch Präzisionslokalisierungen Anordnungen der Hypozentren entlang tektonischer Störungsflächen ermittelt werden, deren Verschiebungsmuster durch seismologisch bestimmte Herdflächenlösungen ermittelt wurde. Zugleich zeigen Untersuchungen für das Hauptcluster im Gebiet Nový Kostel einen hohen Dehnungsanteil, was eine Hypothese der hydraulischen Bruchinitiierung durch eindringende Fluide in die tektonisch vorgespannten Bereiche der Oberkruste stützt. Die Aktivierung mehrerer Erdbebencluster in einem Bereich regionalen Ausmaßes deutet auf eine ebenso regionale Ausdehnung der gegen die Kruste drückenden Magmenkörper hin. Damit rückt die Hypothese eines aktiven Mantelplumes im oberen Erdmantel in das Blickfeld der wissenschaftlichen Untersuchungen, der durch ein seismisches Tomografieprojekt (s. Kap. 7.1) nachgewiesen werden soll.

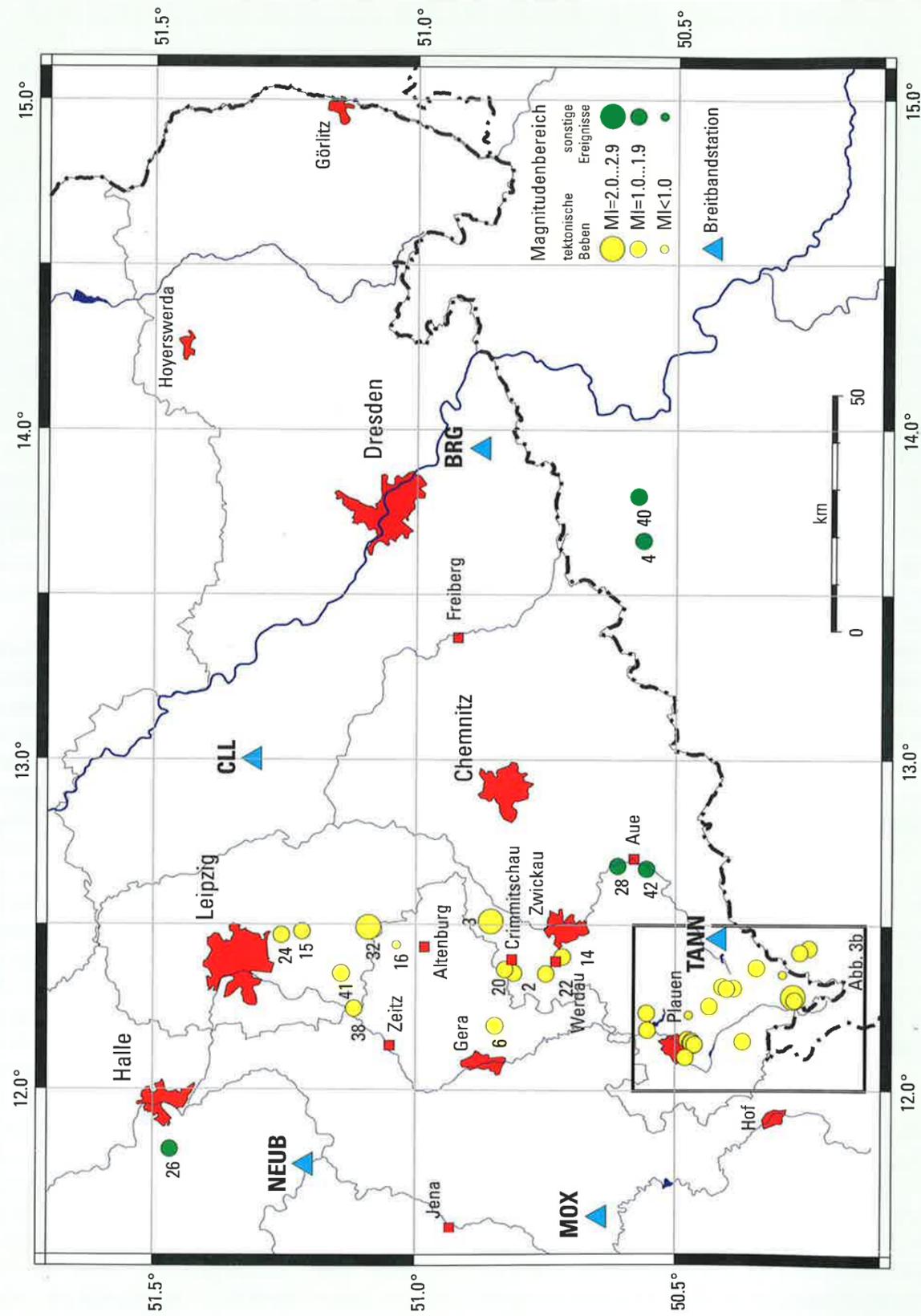


Abb. 3a: Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2002–2003 (mit Lokalmagnitude  $ML \geq 1$ )

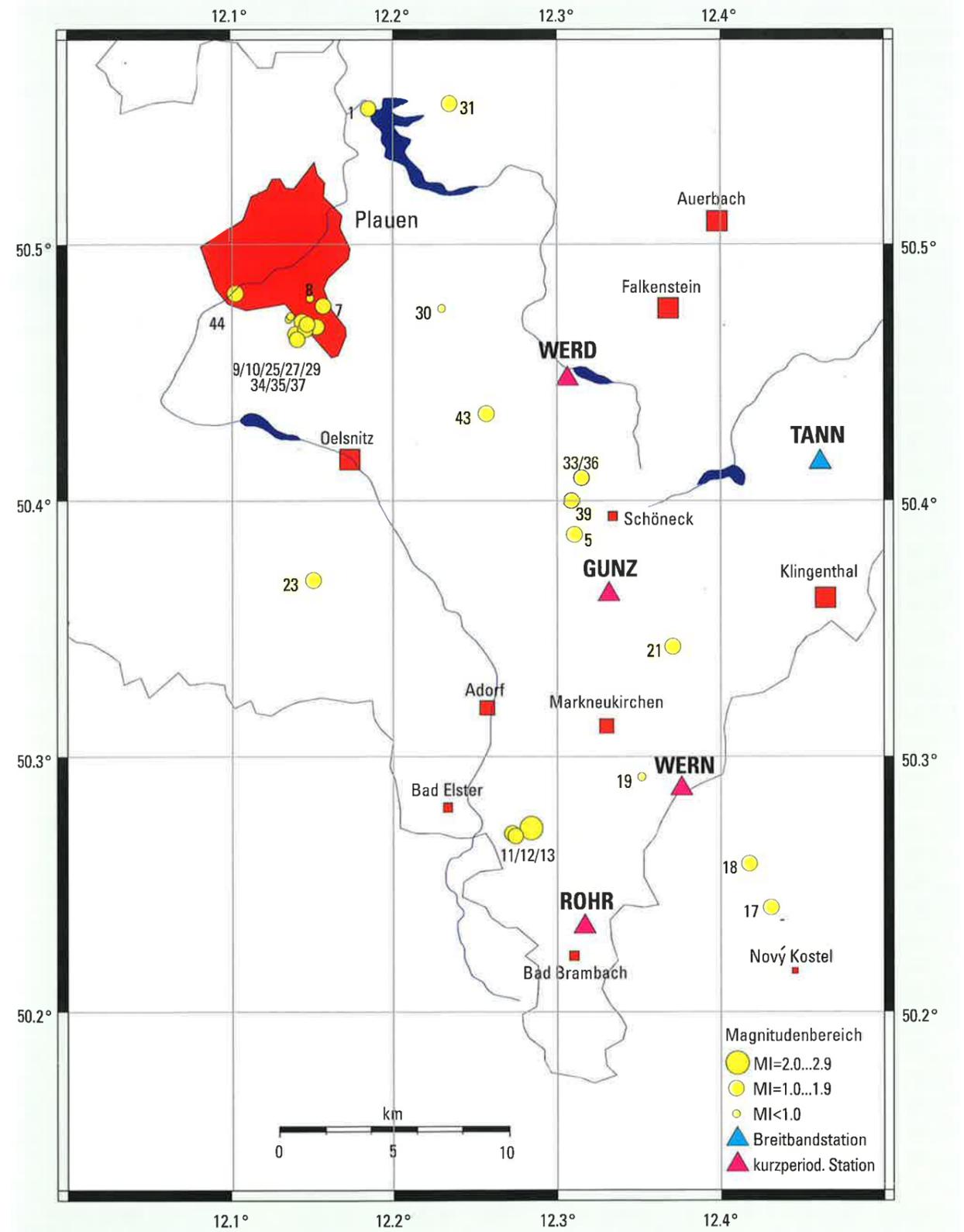


Abb. 3b: Seismische Ereignisse im Vogtland 2002–2003 (Ausschnitt aus Abb. 3a)

**Tab. 1:** Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2002–2003 (mit Lokalmagnitude  $ML \geq 1,0$ )

| Ereignisnummer in Abb. 3 | Datum    | Herdzeit (UTC) h:min:s | Koordinaten °N/°O | Lokalmagnitudo (Anzahl der Stationen) | Herdgebiet                        | Bemerkungen |
|--------------------------|----------|------------------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1                        | 14.01.02 | 22:39:11.3             | 50.55/12.19       | 1.4 (6)                               | nordöstlich von Plauen            |             |
| 2                        | 12.03.02 | 02:50:15.1             | 50.81/12.35       | 1.4 (6)                               | Crimmitschau                      |             |
| 3                        | 23.03.02 | 10:42:46.7             | 50.86/12.51       | 2.1 (4)                               | südlich von Altenburg             |             |
| 4                        | 03.04.02 | 02:28:24.6             | 50.56/13.66       | 1.4 (6)                               | N-Böhmen                          | induziert   |
| 5                        | 09.04.02 | 02:38:24.3             | 50.39/12.31       | 1.5 (6)                               | südwestlich von Schöneck          |             |
| 6                        | 13.04.02 | 21:00:58.4             | 50.85/12.19       | 1.1 (8)                               | östlich von Gera                  |             |
| 7                        | 19.04.02 | 18:06:49.8             | 50.48/12.16       | 1.0 (7)                               | Plauen                            |             |
| 8                        | 20.04.02 | 01:17:53.6             | 50.48/12.15       | 0.9 (8)                               | Plauen                            |             |
| 9                        | 20.04.02 | 01:29:27.5             | 50.47/12.14       | 0.9 (8)                               | Plauen                            |             |
| 10                       | 21.04.02 | 04:12:09.0             | 50.47/12.14       | 0.8 (8)                               | Plauen                            |             |
| 11                       | 22.04.02 | 16:12:46.0             | 50.27/12.27       | 1.2 (8)                               | östlich von Bad Elster            |             |
| 12                       | 22.04.02 | 22:28:26.2             | 50.27/12.28       | 2.0 (7)                               | östlich von Bad Elster            |             |
| 13                       | 22.04.02 | 22:34:36.3             | 50.27/12.27       | 1.5 (8)                               | östlich von Bad Elster            |             |
| 14                       | 04.05.02 | 23:54:29.2             | 50.72/12.40       | 1.3 (6)                               | Werdau                            |             |
| 15                       | 10.05.02 | 18:47:06.5             | 51.22/12.48       | 1.1 (6)                               | südlich von Leipzig               |             |
| 16                       | 12.05.02 | 03:33:48.3             | 51.04/12.44       | 0.9 (6)                               | nördlich von Altenburg            |             |
| 17                       | 30.05.02 | 05:52:35.4             | 50.24/12.43       | 1.4 (6)                               | nördlich von Nový Kostel          |             |
| 18                       | 16.06.02 | 20:25:05.2             | 50.26/12.42       | 1.2 (6)                               | nördlich von Nový Kostel          |             |
| 19                       | 07.07.02 | 00:18:16.2             | 50.29/12.35       | 0.8 (7)                               | südöstlich von Markneukirchen     |             |
| 20                       | 03.08.02 | 18:32:05.6             | 50.83/12.36       | 1.9 (7)                               | Crimmitschau                      |             |
| 21                       | 07.09.02 | 03:58:25.7             | 50.34/12.37       | 1.1 (6)                               | nordöstlich von Markneukirchen    |             |
| 22                       | 08.10.02 | 19:21:50.5             | 50.75/12.35       | 1.9 (6)                               | Werdau                            |             |
| 23                       | 11.10.02 | 20:57:15.3             | 50.37/12.15       | 1.4 (6)                               | südlich von Oelsnitz              |             |
| 24                       | 19.10.02 | 23:41:40.5             | 51.26/12.47       | 1.5 (5)                               | südlich von Leipzig               |             |
| 25                       | 14.12.02 | 05:46:01.3             | 50.47/12.14       | 1.0 (8)                               | Plauen                            |             |
| 26                       | 31.12.02 | 23:22:29.3             | 51.47/11.82       | 1.6 (7)                               | westlich von Halle/S.             | induziert   |
| 27                       | 21.01.03 | 23:28:58.0             | 50.47/12.15       | 1.3 (8)                               | Plauen                            |             |
| 28                       | 12.03.03 | 14:20:11.4             | 50.61/12.68       | 1.9 (8)                               | Aue                               | induziert   |
| 29                       | 06.06.03 | 22:58:56.2             | 50.47/12.14       | 1.2 (8)                               | Plauen                            |             |
| 30                       | 09.07.03 | 00:27:52.8             | 50.47/12.23       | 0.7 (8)                               | östlich von Plauen                |             |
| 31                       | 09.07.03 | 02:28:06.0             | 50.56/12.23       | 1.5 (9)                               | östlich von Plauen                |             |
| 32                       | 26.07.03 | 05:34:19.0             | 51.09/12.49       | 2.3 (9)                               | Regis-Breitungen                  |             |
| 33                       | 24.08.03 | 03:59:20.3             | 50.41/12.31       | 0.8 (7)                               | nordwestlich von Schöneck         |             |
| 34                       | 14.09.03 | 23:05:35.4             | 50.47/12.15       | 1.2 (9)                               | Plauen                            |             |
| 35                       | 20.09.03 | 16:09:30.5             | 50.47/12.15       | 1.0 (8)                               | Plauen                            |             |
| 36                       | 29.10.03 | 00:41:51.6             | 50.41/12.31       | 1.1 (8)                               | Schöneck                          |             |
| 37                       | 31.10.03 | 18:06:12.1             | 50.46/12.14       | 1.1 (8)                               | Plauen                            |             |
| 38                       | 02.11.03 | 18:30:05.0             | 51.12/12.24       | 1.8 (7)                               | nordöstlich von Zeitz             |             |
| 39                       | 05.11.03 | 22:37:12.1             | 50.40/12.31       | 1.1 (7)                               | Schöneck                          |             |
| 40                       | 16.11.03 | 23:57:37.9             | 50.57/13.80       | 1.2 (6)                               | südlich von Teplice               | induziert   |
| 41                       | 25.11.03 | 19:14:59.7             | 51.14/12.35       | 1.3 (7)                               | nordwestlich von Regis-Breitungen |             |
| 42                       | 28.11.03 | 00:17:42.3             | 50.56/12.67       | 1.0 (6)                               | Aue                               | induziert   |
| 43                       | 01.12.03 | 01:00:34.0             | 50.43/12.26       | 1.0 (2)                               | östlich von Oelsnitz              |             |
| 44                       | 31.12.03 | 22:39:38.8             | 50.48/12.10       | 1.4 (8)                               | Plauen                            |             |

Die Tabelle 1 enthält alle Ereignisse mit Lokalmagnituden  $ML \geq 1,0$  von Beben, die sich im Berichtszeitraum in Sachsen und grenznahen Regionen ereigneten. Die Bestimmung ihrer Herddaten (Herdzeit, Epizentrum, Magnitude) erfolgte mit Hilfe der in Sachsen installierten seismischen

Stationen, des OTSN und des GRSN Netzes. Um die durch unterschiedliche Abstrahlung und Dämpfung seismischer Wellen bedingte Magnitudenstreuung einzuschränken, wurden für die Stationen Lokalmagnituden berechnet und daraus ein mittlerer Magnitudenwert bestimmt.

**Tab. 2:** Seismische Ereignisse 2002–2003 (größer Magnitude 4) außerhalb Sachsens im Entfernungsbereich bis ca. 500 km

| Datum    | Herdzeit (UTC) h:min:s | Koordinaten °N/°O | Magnitude (SZGRF) | Herdgebiet   |
|----------|------------------------|-------------------|-------------------|--|
| 13.06.02 | 01:14:39.7             | 49.81/18.44       | 4.5               | Grenzgebiet Bergbaurevier Polen/Tschechien, Grenzgebiet, Ostrava-Karviná |
| 22.07.02 | 05:45:03.8             | 50.91/06.17       | 5.2               | Grenzgebiet Niederlande/Deutschland, Kerkrade, Geilenkirchen             |
| 22.02.03 | 20:41:05.5             | 48.35/06.68       | 5.7               | Frankreich, Vogesen  |
| 22.03.03 | 13:36:16.3             | 48.25/08.98       | 4.7               | Balingen, Schwäbische Jura   |
| 06.05.03 | 21:59:41.4             | 46.79/08.88       | 4.3               | Schweiz  |
| 21.07.03 | 13:15:59.0             | 47.16/14.38       | 4.6               | Österreich, Seetaler Alpen   |

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

### 3 Ergebnisse des Projektes „Seismologisches Monitoring in Westsachsen“

#### 3.1 Vorbemerkungen

SW-Sachsen zählt zu den hinsichtlich Stärke und Häufigkeit aktivsten Erdbebengebieten Deutschlands und wird deshalb schon seit 1962 seismologisch intensiver überwacht. Aber erst im Ergebnis des starken Bebenschwarms von 1985/86 erfolgte der Ausbau bis dahin bestehender Analogstationen auf digitaler Basis. Dies ermöglichte die Erfassung von Mikrobeben mit Magnituden ab  $ML = -1$  und damit eine wesentlich fundiertere Beschreibung und Prognose der seismischen Aktivität.

Im Rahmen des Vorhabens „Regionales seismologisches Monitoring im Raum Aue-Zwickau (Westsachsen)“ wurde im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) sowie der Landestalsperrenverwaltung Sachsens (LTV) und der WISMUT GmbH zwischen 1997–2001 ein mobiles seismologisches Netz aus insgesamt 11 Stationen aufgebaut und neben dem Vogtland die unmittelbar benachbarte Region um Aue-Zwickau seismologisch intensiv untersucht (vgl. Abb. 15). Diese Region ist ebenfalls durch sporadisch und schwarmartig auftretende schwache Erdbeben gekennzeichnet. Außerdem rückte sie durch die Flutung des Wismut-Bergbaureviers um Aue-Alberoda in den Blickpunkt seismologischen Interesses, da mit der Umlagerung von Gebirgsspannungen gerechnet werden musste, die induzierte Mikrobeben generiert. Im Zusammenhang mit Sanierungsmaßnahmen an Talsperren- und Absperrbauwerken dieser Region waren gleichzeitig zuverlässige Immissionswerte für deren dynamische Belastung zu gewinnen, die Fragen der Standicherheit dieser Bauwerke betreffen.

Der weitere Ausbau des seismologischen Monitorings in Westsachsen ab 2001 ist als wissenschaftlicher Bestandteil der Arbeiten des Seismologie-Verbundes Sachsen über einen langen Zeitraum geplant. Die Erweiterung des in den vergangenen Jahren aufgebauten Stationsnetzes von 11 auf 15 Stationen bietet die Gewähr, umfassende Aussagen zur Erdbebengefährdung für die Belange der

Landesentwicklungsplanung zu gewinnen. Das strategische Ziel besteht in der Langzeiterfassung natürlicher und künstlicher Quellen von Erschütterungen zur Bereitstellung notwendiger Basisdaten des seismologischen Gefährdungspotenzials. Die wissenschaftliche Aufgabe besteht in der lückenlosen Erfassung der räumlichen, zeitlichen und energetischen Verteilung (Seismizität) natürlicher (tektonisch bedingter) und anthropogener (spreng- und flutungsbedingter) Mikrobeben und deren Analyse hinsichtlich Herdprozess bzw. Bauwerksbeeinflussung. Damit wird ein relevanter Beitrag zur Einschätzung des seismischen Risikos in der dichtbesiedelten und hoch-industrialisierten Region SW-Sachsens geliefert.

Die Erweiterung des für die Langzeiterfassung als Offline-Netz weiter zu betreibenden Netzes ab 2001 zu einem durch eine Online-Komponente ergänzten Sachsennetz dient der lückenlosen Erfassung der Seismizität des gesamten SW-sächsischen Raumes, insbesondere im Bereich der weiter westlich gelegenen Leipzig-Regensburger-Störungszone. Im Einzelnen waren folgende wissenschaftliche Arbeitsziele gestellt:

- Monitoring der in der Endphase der Flutung des Wismut-Bergbaureviers induzierten Seismizität
- Verifizierung ingenieurseismologischer Parameter für die Gefährdungsanalyse von Absperrbauwerken
- Präzisionslokalisierung, Tiefen- und Stärkebestimmung von Erdbebenherden und künstlichen Erschütterungsquellen, sowie die schnelle Abschätzung möglicher Auswirkungen,
- Erweiterte Herdanalyse zur verbesserten Auflösung des lokalen Spannungsfeldes

Zur Erreichung dieser Ziele ist das in Abb. 4 skizzierte Sachsennetz projektiert worden. Aus der Clusterung der seit 1997 erfassten Epizentren ist ersichtlich, dass in Verbindung mit den Stationen anderer Netze und durch die Offline- bzw. Online-Komponenten des Sachsennetzes eine optimale Erfassung der Seismizität des SW-sächsischen Raumes gewährleistet ist. Die Online-Stationen

ermöglichen darüber hinaus eine unverzügliche Information von Behörden, Medien und Öffentlichkeit bei stärkeren Ereignissen.

Das Vorhaben wurde gemeinsam vom Institut für Geophysik der TU Bergakademie Freiberg und vom Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig be-

stritten. Während durch die Universität Leipzig vor allem der Aufbau zusätzlicher (permanenter) Online-Stationen im Bereich der NS-streichenden Störungszone Leipzig-Regensburg betrieben wurde, hat die TU Bergakademie die Aufrechterhaltung des mobilen Stationsnetzes im Bereich der Gera-Jáchymov-Störungszone übernommen.

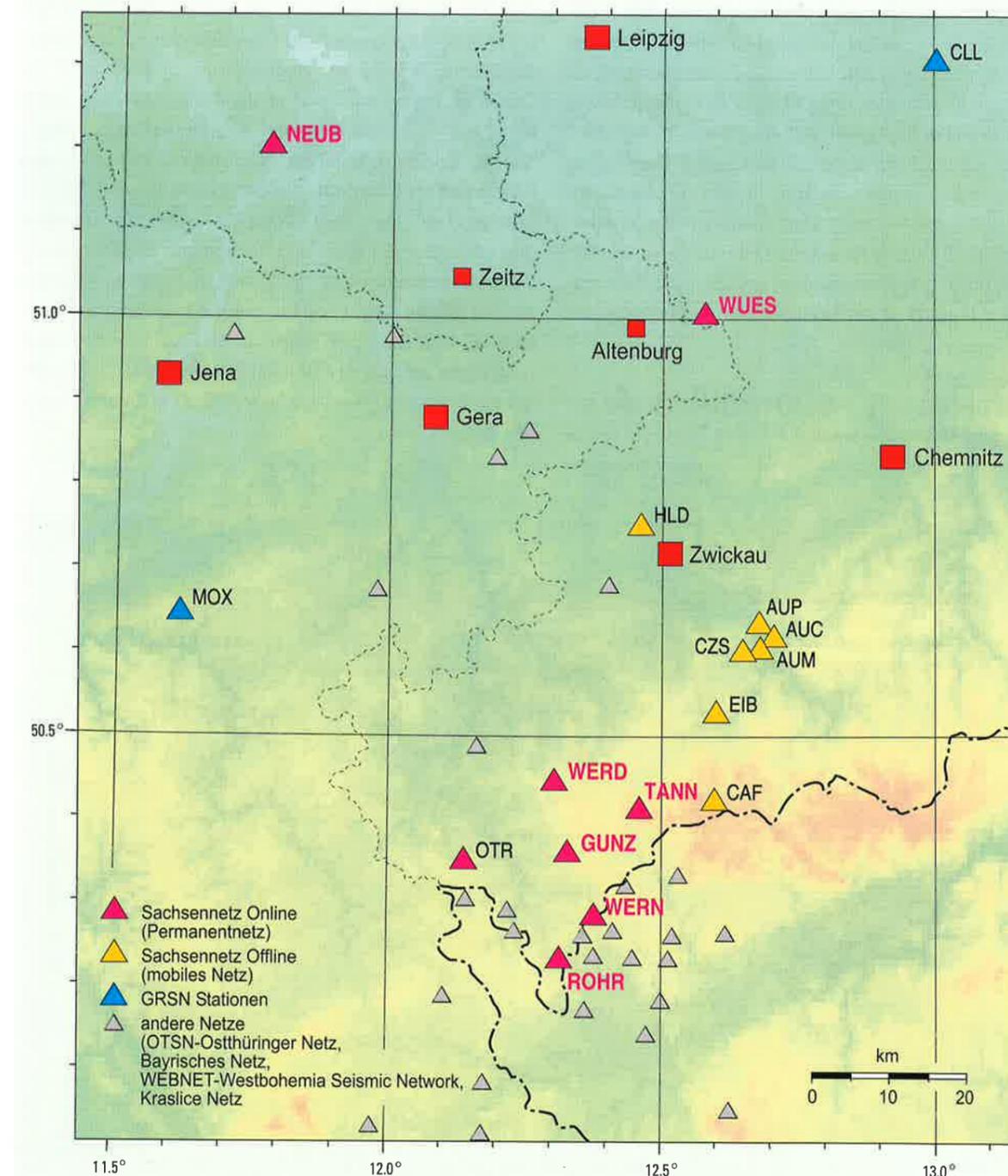


Abb. 4: Seismische Netze in Westsachsen und angrenzenden Gebieten

### 3.2 Monitoring der bei der Flutung des Wismut Bergbaureviers im Raum Aue-Alberoda induzierten Seismizität

In Tab. 3a und b sind alle seit 1998 lokalisierten flutungsinduzierten Ereignisse zusammengestellt. Abb. 5 gibt dazu den Überblick über die Magnitudenhäufigkeitsverteilung mit Gegenüberstellung zum Flutungsverlauf. Die nach quasi-konstanten Flutungsraten vorgenommene Einteilung in vier Zeitfenster lässt einen direkten Zusammenhang zu rheologischen Reaktionen des Gebirges vermuten. So wird die erhöhte Bebenhäufigkeit und -magnitude im Fenster I bei hoher Flutungsrate abgelöst durch eine Beruhigung und Reduzierung in den Fenstern II und III bei abnehmender Flutungsrate, zeigt aber offenbar eine Wiederbelebung mit Schwarmcharakter im Fenster IV, vermutlich ausgelöst durch den Niveausprung von 25 m im Flutungs-niveau von III nach IV im Ergebnis des Augusthochwassers 2002.

Die Epizentralverteilung (nach Bearbeitungsetappen gegliedert) zeigt dagegen keinen auffälligen Trend der räum-

lichen Herdentwicklung (Abb. 6 oben). Für ein besseres Verständnis dieser Aussage sind die Herdlagen als Vollkreise mit einem Radius dargestellt, der der Lokalisierungsunsicherheit (mittleres Konfidenzintervall = 50 m) entspricht. Insbesondere aus der geringen Clusterung der hypozentralen Verteilung (Abb. 6 unten) folgt schließlich eine eher statistische Streuung der Herdorte. Ein räumlich-zeitlicher Trend ist weder aus der Epi- noch aus der Hypozentren-Verteilung abzuleiten. Es ist jedoch ersichtlich, dass die auf die Hauptfallrichtung der Granitoberfläche projizierten Hypozentren überwiegend im Granit zu finden sind und in der Tiefenlage dem Trend der nach NO abtauchenden Granitoberfläche folgen. Nur 30% der induzierten Mikrobeben liegen in den paläozoischen Schiefen, die den Granit überlagern. Der „Bergschlag“ vom 12.03.2003 ist in beiden Abbildungen gesondert markiert und nach seiner Lage eindeutig dem „Hauptherdgebiet“ im Granit zuzuordnen. Die Daten der jetzt vorliegenden Langzeitbeobachtung erlauben eine Abschätzung der maximal zu erwartenden Lokalmagnitude anhand der BENIOFF-Kurve (Abb. 7). Danach gilt als Erwartungswert für Mikrobeben in diesem Raum ML 2,0.

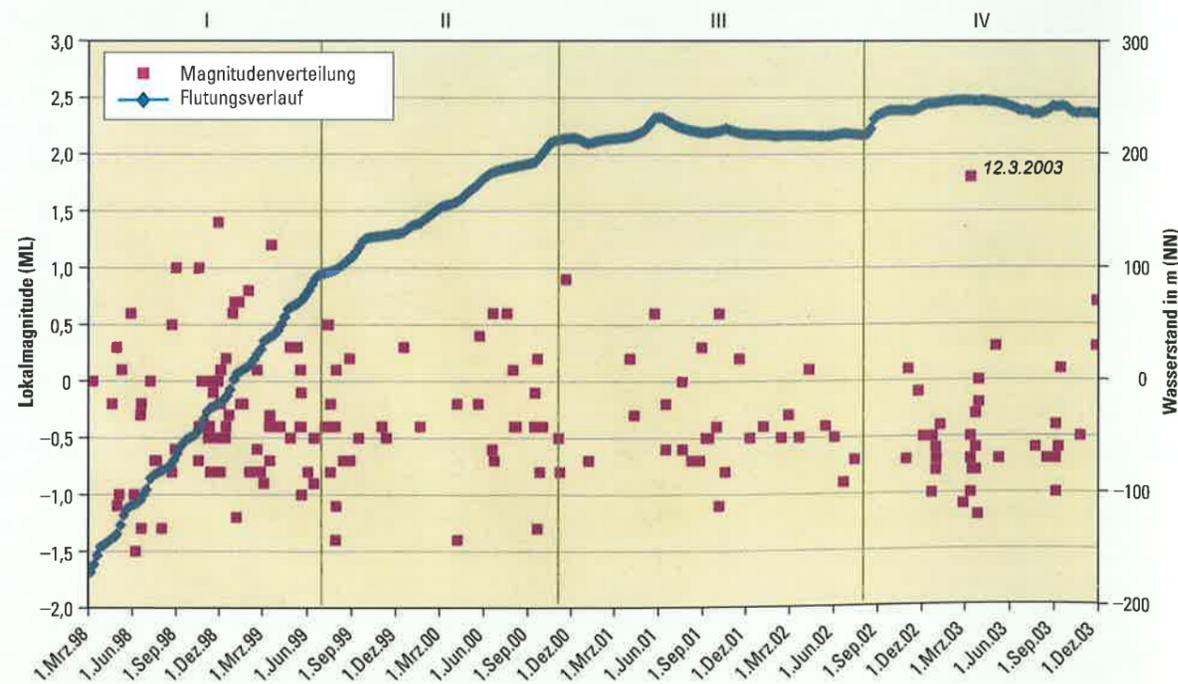


Abb. 5: Flutungsverlauf und Magnitudenverteilung 1998–2003

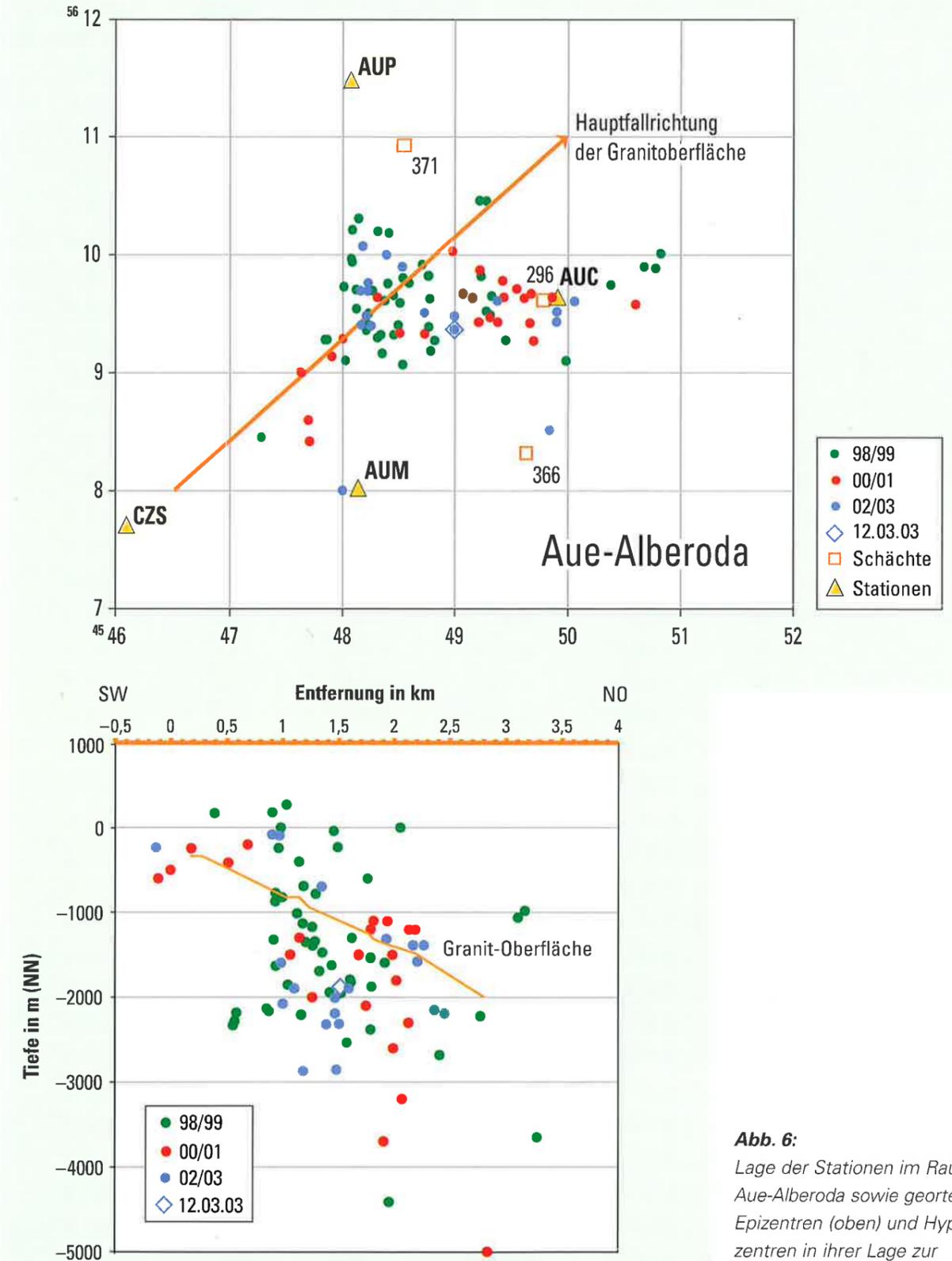


Abb. 6: Lage der Stationen im Raum Aue-Alberoda sowie geortete Epizentren (oben) und Hypozentren in ihrer Lage zur Granitoberfläche (unten) im Zeitraum 1998–2003

Tab. 3a: Lokalisierung induzierter Ereignisse im ehemaligen Wismut Bergbaurevier Aue-Alberoda 1998–2001

| lfd. Nr. | Datum    | Herdzeit<br>h:min:s | Koordinaten |            | Herdtiefe<br>(km) | Lokalmagnitude<br>(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)                              |

Fortsetzung Tabelle 3a

| lfd. Nr. | Datum    | Herdzeit<br>h:min:s | Koordinaten |            | Herdtiefe<br>(km) | Lokalmagnitude<br>(Anz. d. Stationen) |
|----------|----------|---------------------|-------------|------------|-------------------|---------------------------------------|
|          |          |                     | Hochwert    | Rechtswert |                   |                                       |
| 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)                              |
| 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)                              |
| 50       | 18.12.99 | 18:24:54.3          | 56 10000    | 45 50800   | 3,7               | 0.3 (3)                               |
| 51       | 21.05.00 | 03:39:36.5          | 56 09600    | 45 49900   | 1,4               | -0.2 (4)                              |
| 52       | 20.06.00 | 23:54:03.9          | 56 09800    | 45 49400   | 3,2               | -0.6 (3)                              |
| 53       | 21.06.00 | 08:13:37.0          | 56 09300    | 45 48700   | 2,0               | 0.6 (3)                               |
| 54       | 24.06.00 | 14:27:36.5          | 56 09700    | 45 49100   | 2,1               | -0.7 (3)                              |
| 55       | 20.07.00 | 10:28:39.5          | 56 09300    | 45 48000   | 0,2               | 0.6 (4)                               |
| 56       | 02.08.00 | 16:03:47.9          | 56 09100    | 45 47900   | 0,4               | 0.1 (5)                               |
| 57       | 05.08.00 | 15:06:20.2          | 56 09300    | 45 49700   | 1,1               | -0.4 (4)                              |
| 58       | 09.08.00 | 23:54:36.1          | 56 09700    | 45 49700   | 1,2               | -0.4 (3)                              |
| 59       | 16.09.00 | 21:16:12.0          | 56 09700    | 45 49600   | 2,3               | -0.4 (3)                              |
| 60       | 16.09.00 | 22:10:35.8          | 56 09400    | 45 49700   | 1,8               | -0.4 (3)                              |
| 61       | 17.09.00 | 07:44:09.4          | 56 09400    | 45 49200   | 1,5               | -0.1 (3)                              |
| 62       | 22.09.00 | 03:58:26.3          | 56 09400    | 45 49400   | 1,1               | 0.2 (5)                               |
| 63       | 22.09.00 | 03:58:31.5          | 56 09500    | 45 49300   | 1,2               | -0.4 (5)                              |
| 64       | 27.09.00 | 22:34:38.2          | 56 09600    | 45 48300   | 1,3               | -0.8 (4)                              |
| 65       | 03.10.00 | 02:05:24.5          | 56 10000    | 45 49000   | 3,7               | -0.4 (3)                              |
| 66       | 29.11.00 | 10:06:39.5          | 56 09000    | 45 47600   | 0,2               | 0.9 (3)                               |
| 67       | 23.05.01 | 14:40:02.6          | 56 09600    | 45 50600   | 5,0               | 0.6 (3)                               |
| 68       | 16.06.01 | 11:26:19.5          | 56 08400    | 45 47700   | 0,6               | -0.6 (4)                              |
| 69       | 16.06.01 | 11:26:28.4          | 56 08600    | 45 47700   | 0,5               | -0.2 (4)                              |
| 70       | 20.07.01 | 22:40:30.9          | 56 09600    | 45 49600   | 1,2               | 0.0 (4)                               |
| 71       | 08.09.01 | 05:44:22.7          | 56 09900    | 45 49200   | 1,5               | -0.5 (3)                              |
| 72       | 16.11.01 | 07:24:11.9          | 56 09600    | 45 49400   | 2,6               | 0.2 (3)                               |
| 73       | 08.12.01 | 14:08:53.9          | 56 09300    | 45 48500   | 1,5               | -0.5 (4)                              |

Tab. 3b: Lokalisierung induzierter Ereignisse im ehemaligen Wismut Bergbaurevier Aue-Alberoda 2002–2003

| lfd. Nr. | Datum    | Herdzeit<br>h:min:s | Koordinaten |            | Herdtiefe<br>(km) | Lokalmagnitudo<br>(Anz. d. Stationen) |
|----------|----------|---------------------|-------------|------------|-------------------|---------------------------------------|
|          |          |                     | Hochwert    | Rechtswert |                   |                                       |
| 1        | 11.02.02 | 19:37:07.7          | 56 09900    | 45 48500   | 2.0               | -0.5 (4)                              |
| 2        | 09.04.02 | 15:52:32.5          | 56 09400    | 45 49900   | 1.4               | 0.1 (3)                               |
| 3        | 14.05.02 | 04:56:41.2          | 56 08000    | 45 48000   | 0.3               | -0.4 (3)                              |
| 4        | 02.06.02 | 01:51:52.7          | 56 10000    | 45 48400   | 2.2               | -0.5 (4)                              |
| 5        | 02.11.02 | 19:42:10.3          | 56 09500    | 45 49900   | 1.6               | 0.1 (4)                               |
| 6        | 23.11.02 | 14:04:10.4          | 56 09600    | 45 49900   | 1.4               | -0.1 (3)                              |
| 7        | 30.12.02 | 03:54:08.1          | 56 09700    | 45 48100   | 2.1               | -0.6 (4)                              |
| 8        | 30.12.02 | 21:18:03.9          | 56 09800    | 45 48200   | 2.8               | -0.6 (4)                              |
| 9        | 31.12.02 | 08:57:15.0          | 56 09700    | 45 48200   | 1.9               | -0.6 (4)                              |
| 10       | 08.01.03 | 03:02:44.0          | 56 10100    | 45 48200   | 0.7               | -0.3 (4)                              |
| 11       | 12.03.03 | 14:20:10.7          | 56 09400    | 45 49000   | 1.9               | 1.8 (7)                               |
| 12       | 16.03.03 | 07:34:14.4          | 56 09500    | 45 48300   | 1.6               | -0.8 (3)                              |
| 13       | 23.03.03 | 02:26:03.7          | 56 08500    | 45 49800   | 2.3               | -0.3 (3)                              |
| 14       | 29.03.03 | 13:57:20.5          | 56 09500    | 45 49000   | 1.9               | 0.0 (4)                               |
| 15       | 29.03.03 | 14:01:41.4          | 56 09400    | 45 49000   | 2.8               | -0.2 (4)                              |
| 16       | 03.05.03 | 18:08:58.6          | 56 09500    | 45 48700   | 2.3               | 0.3 (4)                               |
| 17       | 09.09.03 | 19:26:50.5          | 56 09400    | 45 48200   | 0.1               | -0.6 (3)*                             |
| 18       | 14.09.03 | 22:38:37.1          | 56 09500    | 45 48200   | 0.1               | 0.1 (3)*                              |
| 19       | 27.11.03 | 13:40:41.0          | 56 09600    | 45 49200   | 1.3               | 0.3 (4)                               |
| 20       | 28.11.03 | 00:17:40.5          | 56 09600    | 45 49600   | 1.5               | 0.6 (4)                               |

\* Lokalisierung nur mit S-Welle

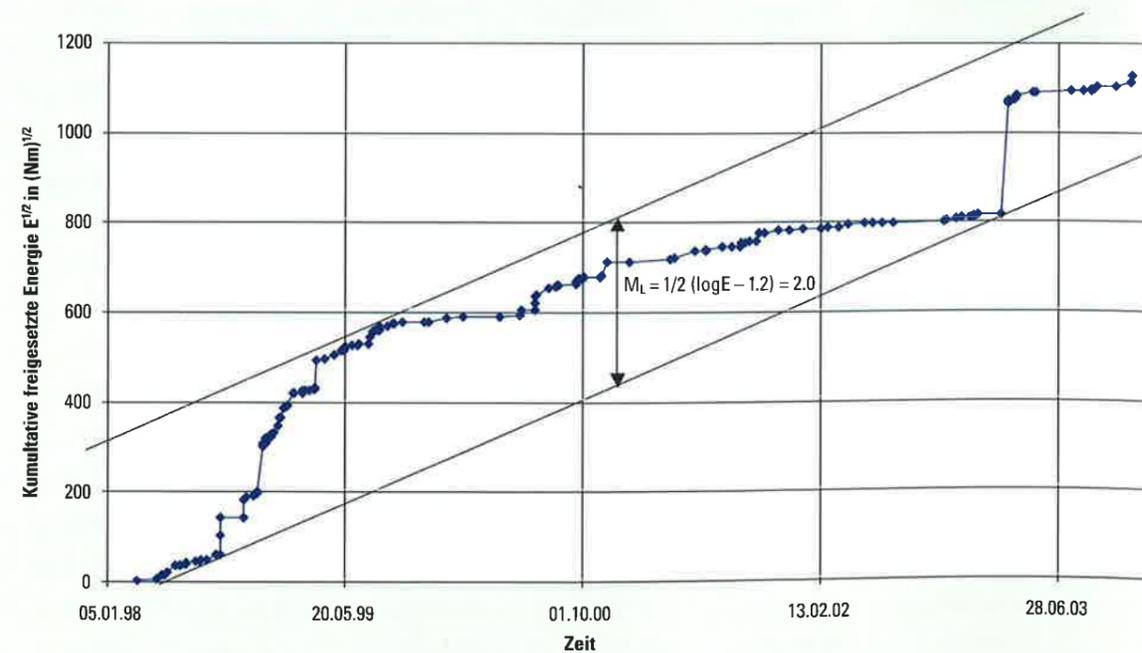
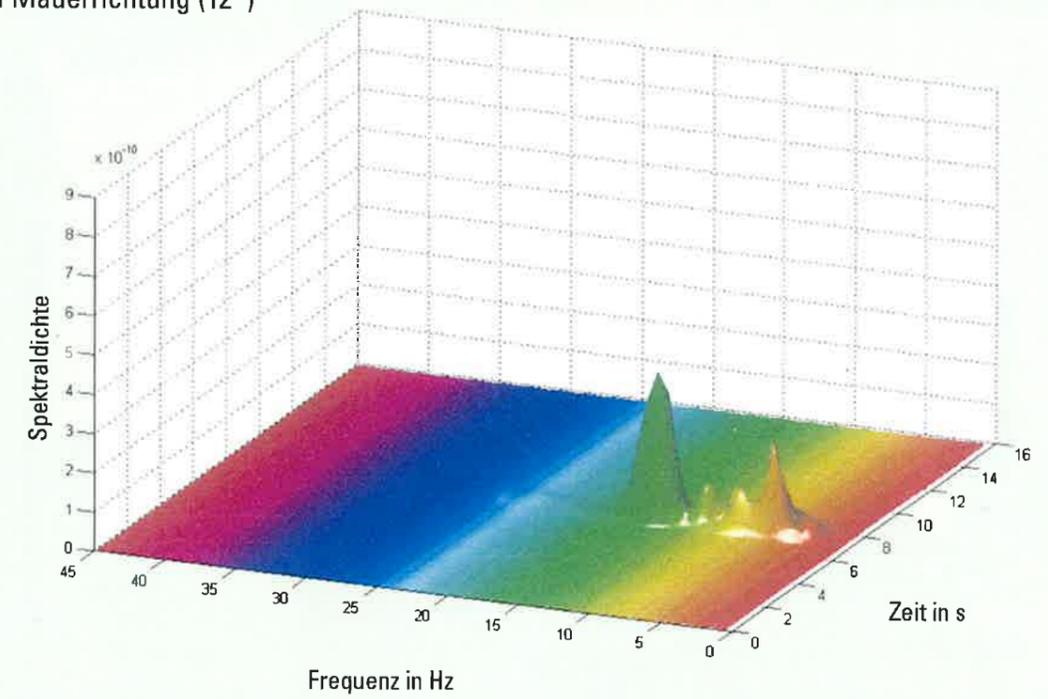


Abb. 7: BENIOFF-Kurve Aue-Alberoda 1998–2003 (Mittelwert aller induzierten Ereignisse)

a) in Mauerrichtung (12°)



b) senkrecht zur Mauer (102°)

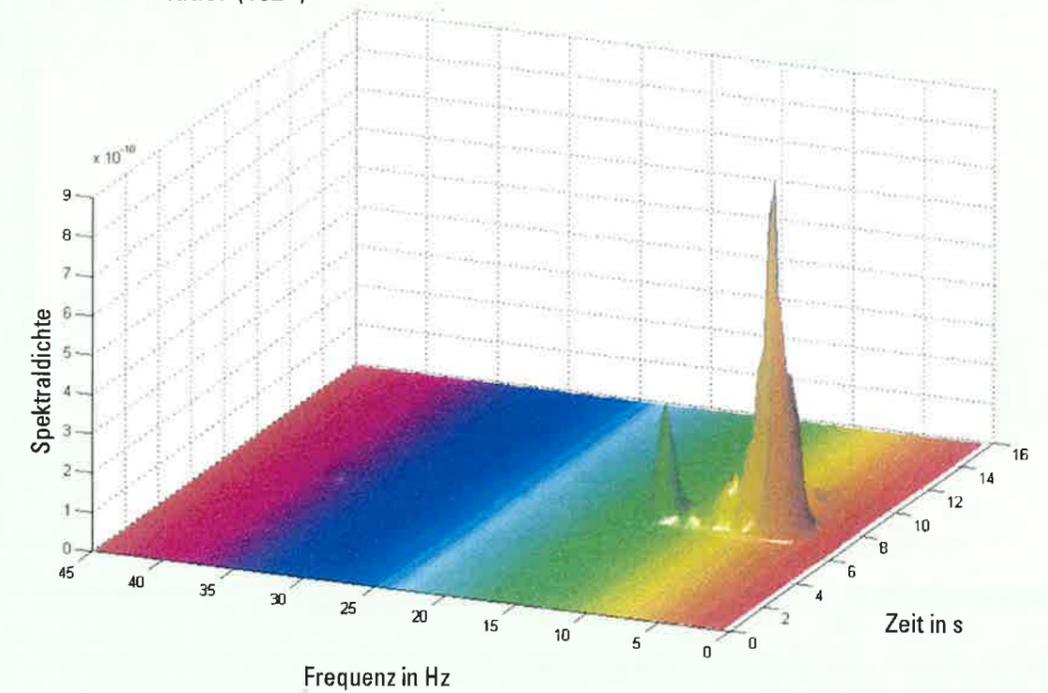
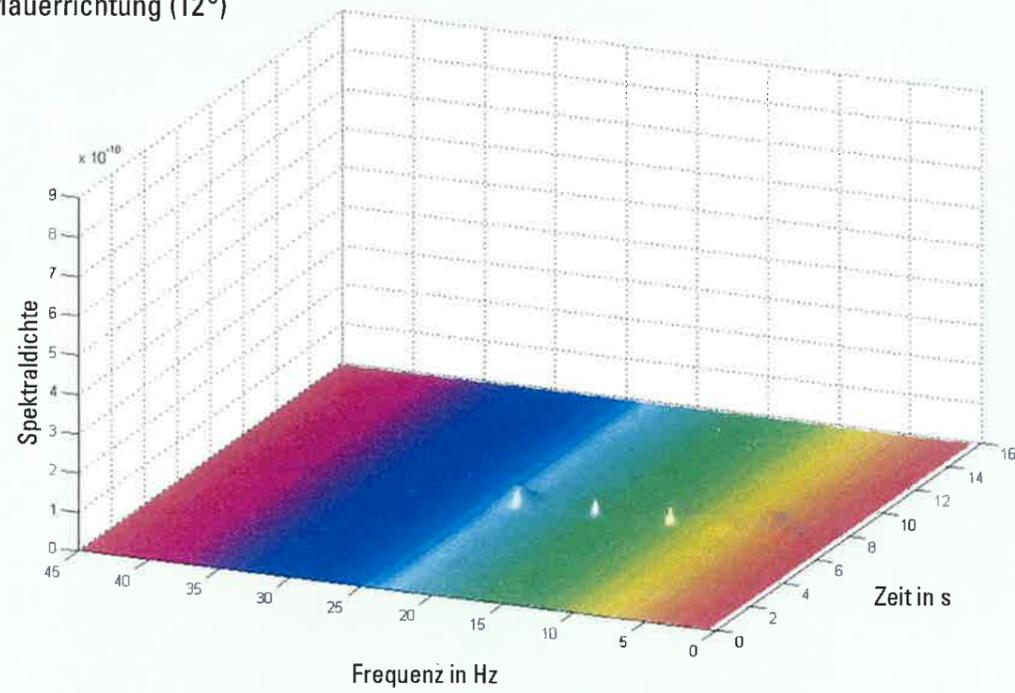


Abb. 8a und 8b: Resonanzverhalten der Staumauer Eibenstock in Abhängigkeit vom Stauvolumen: Zeit-Frequenz-Analyse vor der Jahrhundertflut

c) in Mauerrichtung (12°)



d) senkrecht zur Mauer (102°)

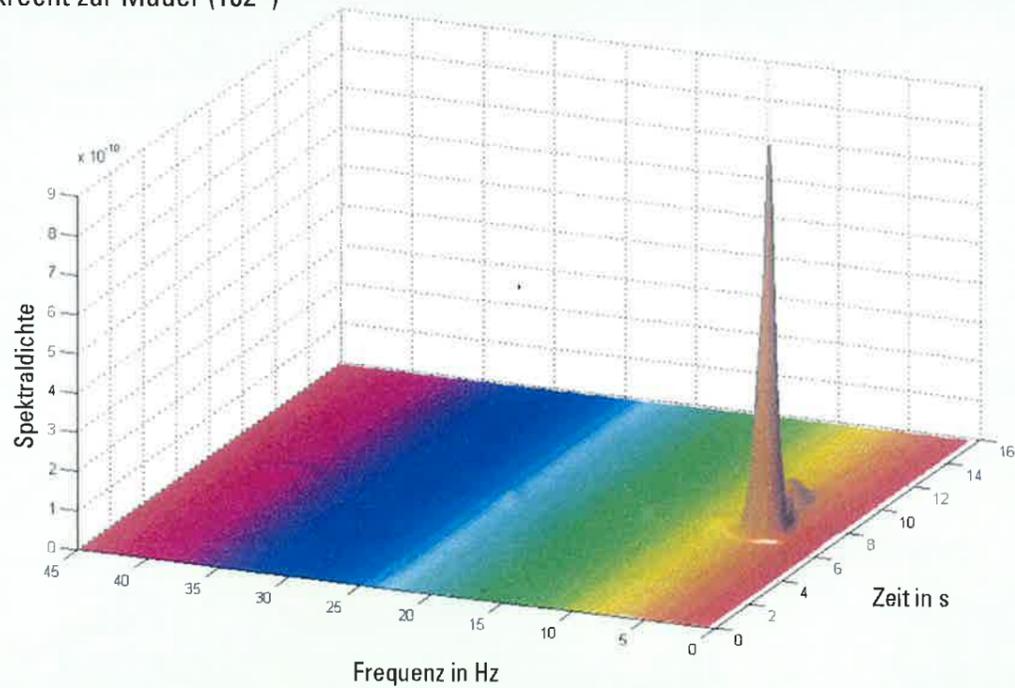
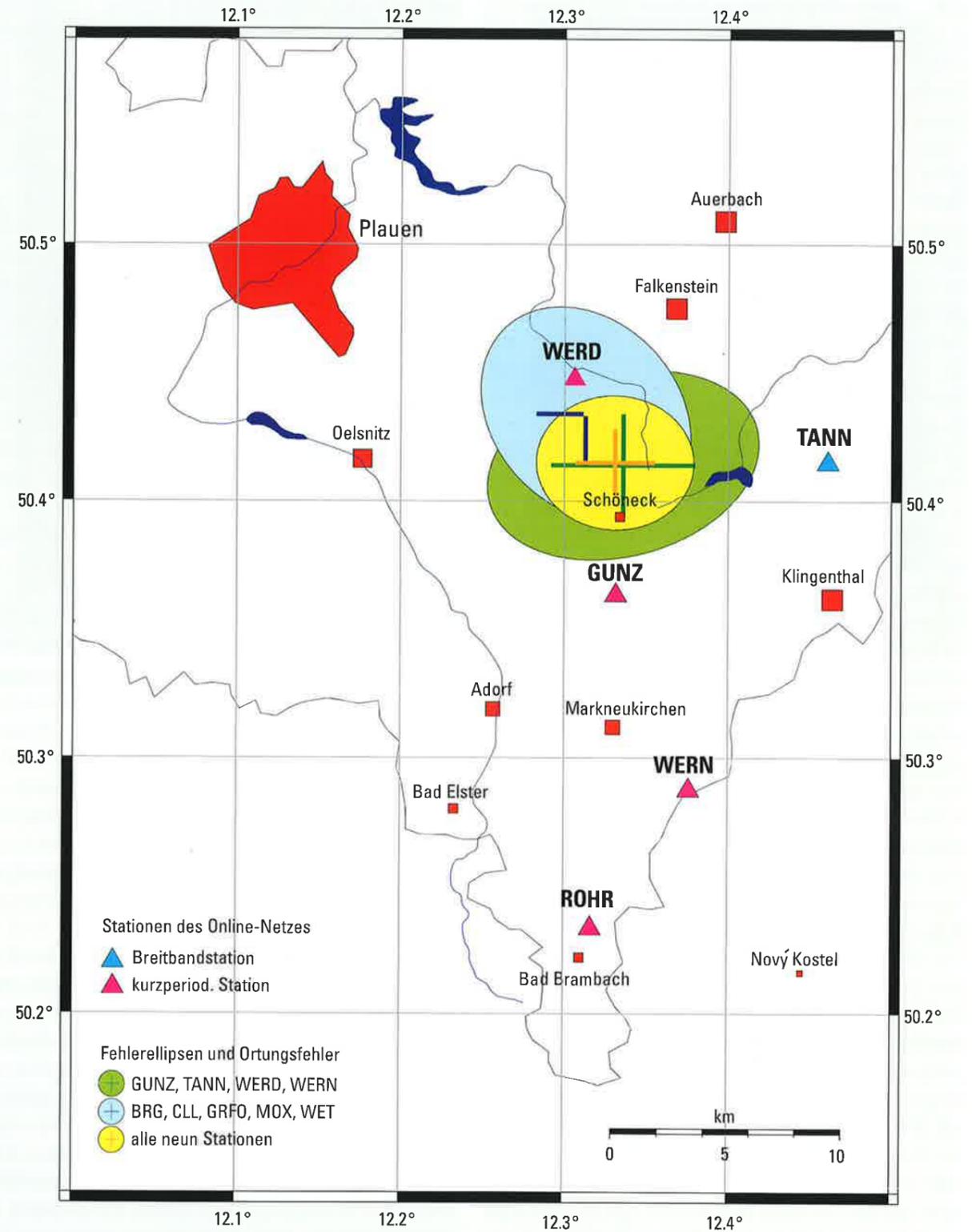


Abb. 8c und 8d: Resonanzverhalten der Staumauer Eibenstock in Abhängigkeit vom Stauvolumen: Zeit-Frequenz-Analyse während der Jahrhundertflut



Die Fehlerellipsen sind die 90% Konfidenzintervalle (Flächen, in denen mit 90%iger Wahrscheinlichkeit das Epizentrum liegt) GRFO – Station des Gräfenberg-Arrays; WET – GRSN Station Wetzell

Abb. 9: Einfluss der Stationsverteilung auf die Ortungsgenauigkeit beim Beben vom 05.11.2003, 22:37:12.3, 50.42 °N; 12.33 °O in der Nähe von Schönbeck/Vogtland

### 3.3 Schwingungsverhalten der Stau- mauer Eibenstock

Das Augsthochwasser 2002 bot Anlass, den Einfluss des Stauvolumens auf das Schwingungsverhalten der Stau-  
mauer Eibenstock zu erfassen. Wie erstmals von BERG (2001) gezeigt wurde, lassen sich aus den in Talsperren-  
mauern erhaltenen Seismogrammen richtungsselektiv ge-  
wonnene Spektren ableiten. Es werden damit nicht nur  
Eigenfrequenzen und entsprechende harmonische Schwin-  
gungen, sondern auch auf die Hauptbewegungsrichtun-  
gen (Freiheitsgrade) der Mauerschwingungen bezogene  
Resonanzfrequenzen aufgelöst. Insgesamt ergibt sich aus  
den von BERG vorgelegten Analysebeispielen eine detail-  
lierte Beschreibung des Resonanzverhaltens von Stau-  
mauern unter der Einwirkung von Fremderschütterungen.  
Für aktuelle Daten vom August 2002 wurde nach diesem  
Analyseverfahren ein Vergleich des dynamischen Verhal-  
tens der Staumauer Eibenstock vor bzw. während der  
Jahrhundertflut vorgenommen. Wie aus der Gegenüber-  
stellung von Abb. 8a, b (vor der Flut; 97 % Stauvolumen)  
und Abb. 8c, d (während der Flut; 110 % Stauvolumen) her-  
vorgeht, wirkt sich das Hochwasserstauvolumen während  
der Flut nicht nur in der Frequenzverstimmung von -15 %,  
sondern vor allem in einer stärkeren Veränderung der  
Dynamik der verschiedenen Eigenfrequenzen aus. So wird  
bei Vollstau offenbar die Stärke der harmonischen Schwin-  
gungen in Bewegungsrichtung senkrecht zur Mauerachse  
stark reduziert, während die harmonischen Schwingungen  
in Bewegungsrichtung der Mauerachse zwar reduziert,  
aber insgesamt fast gleichrangig auftreten.

### 3.4 Lokalisierung und Magnituden- bestimmung

Ein Ziel des Vorhabens war die präzise Lokalisierung sei-  
smischer Ereignisse im Gebiet des seismologischen Moni-  
torings. Je genauer die Lage eines Erdbebenherdes be-  
stimmt werden kann, desto besser ist die Identifizierung  
von Störungs- oder Schwächezonen in der Erdkruste mög-  
lich. Die erzielbare Genauigkeit hängt vor allem von der  
Lage der Beobachtungsstationen relativ zum Erdbeben-  
herd und von der genauen Kenntnis der Ausbreitungs-  
geschwindigkeiten der seismischen Wellen ab.

Durch die räumliche Konfiguration des Netzes wird eine  
gute Abdeckung im Bereich des Schwarmbebengebietes  
Vogtland erreicht. Hier sind auch verlässliche Herdtiefen-

bestimmungen möglich. Weiter im Norden und Osten ist  
die Stationsdichte geringer und damit ebenfalls die erziel-  
bare Lokalisierungsgenauigkeit.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten sind bisher nur grob  
bekannt, daher wird ein stark vereinfachtes Modell der  
Erdkruste verwendet. Eine Verbesserung der Lokalisie-  
rung über das erreichte Maß hinaus erfordert die Erstel-  
lung komplexerer Geschwindigkeitsmodelle mit regiona-  
len Variationen. Sie können aber nur mit Hilfe sehr großer  
Datenmengen mittels tomografischer Verfahren entwickelt  
werden. Solche Arbeiten sind für die Zukunft geplant.

Ein Beispiel für den Einfluss der Stationsverteilung auf  
die Ortungsgenauigkeit wird in Abb. 9 anhand eines Erd-  
bebens vom 05.11.2003 in der Nähe von Schöneck/Vogt-  
land gezeigt. Verwendet man für die Ortung nur die relativ  
weit entfernten Stationen des Deutschen Seismologischen  
Regionalnetzes (GRSN), so lässt sich das Epizentrum mit  
90 %iger Wahrscheinlichkeit innerhalb des blauen Gebie-  
tes lokalisieren. Bei ausschließlicher Verwendung der Sta-  
tionen des lokalen Netzes (Online-Netz) erhält man die  
grüne Fläche. Die bisherige Stationskonfiguration WERD,  
GUNZ, WERN, ROHR, TANN ist wegen der starken N-S-  
Erstreckung nicht optimal, deshalb ist die O-W-Achse der  
Fehlerellipse deutlich größer als die N-S-Achse. Das lässt  
sich durch Hinzunahme von OTR in Zukunft verbessern.  
Bei Benutzung aller verfügbaren Informationen beider  
Netze kann das Epizentrum auf den gelben Bereich ein-  
geschränkt werden. Die Lokalisierungsgenauigkeit liegt  
im Bereich weniger Kilometer. Um einen Überblick über  
die zur Zeit erreichbare Lokalisierungsgenauigkeit bei ver-  
schiedener Lage der Epizentren zu bekommen, wurden  
synthetische Tests durchgeführt, bei denen ein in 10 km  
Tiefe angenommenes Hypozentrum unter der Annahme  
von durch Ungenauigkeiten des Geschwindigkeits-  
modells verursachten Fehlern lokalisiert wurde. Der am  
schwierigsten zu bestimmende Parameter ist die Herd-  
tiefe. Sie kann nur mit Hilfe herdnaher Stationen zuver-  
lässig ermittelt werden. Die Abbildung 10 zeigt, dass im  
Bereich des Vogtlandes mit seiner guten Stationsüber-  
deckung mit Herdtiefengenauigkeiten von etwa  $\pm 2$  km  
gerechnet werden kann. Außerhalb davon ist eine Herd-  
tiefenbestimmung unmöglich. Nimmt man dagegen die  
Stationen des von der Universität Jena betriebenen Ost-  
thüringennetzes und die Regionalnetz-Station Collm (CLL)  
dazu (Abb. 11), so wird deutlich, dass für den gesam-  
ten Bereich der Leipzig-Regensburger Störungszone zwi-  
schen dem Vogtland im Süden und Zwickau im Norden

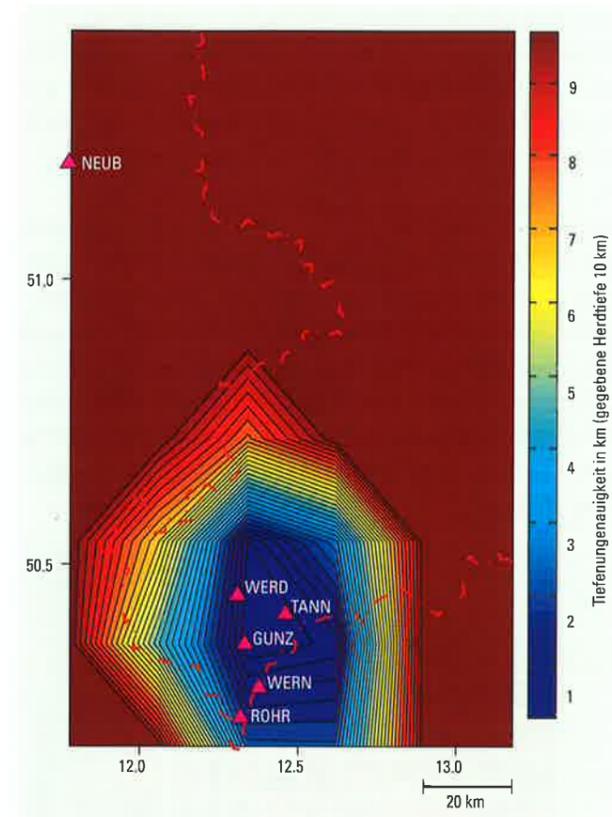


Abb. 10: Tiefenengenauigkeit simulierter Ereignisse  
in 10 km Tiefe mit Online-Netz

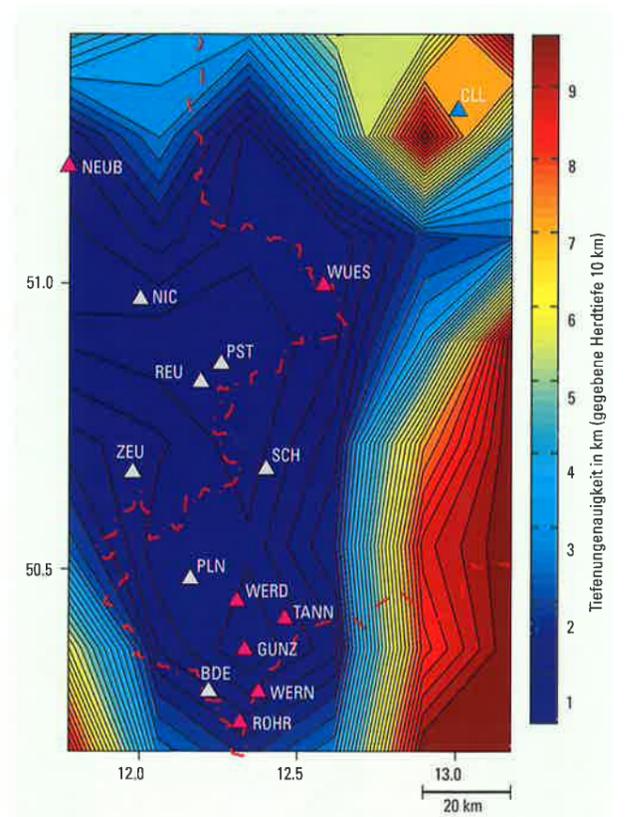


Abb. 11: Tiefenengenauigkeit simulierter Ereignisse in  
10 km Tiefe mit Online-Netz ▲, OTSN-Netz ▲  
und Regionalnetz-Station CLL ▲

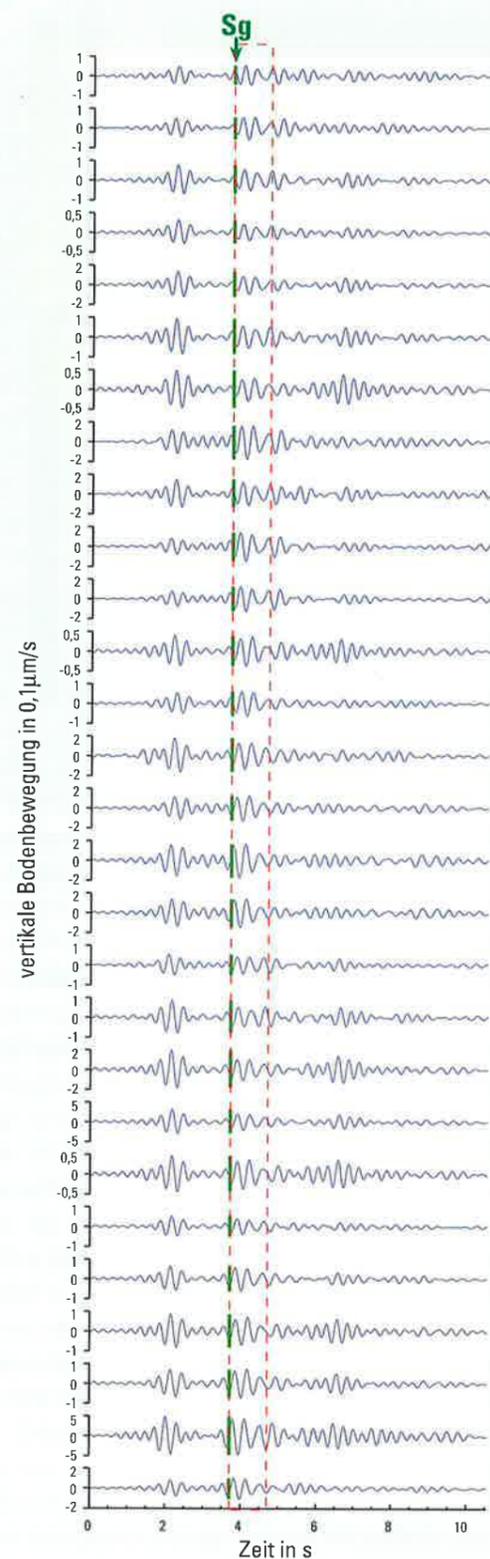
eine ausreichende Genauigkeit erreicht werden kann. Die  
tektonisch relevanten Gebiete Westsachsens und Ost-  
thüringens sind damit sehr gut abgedeckt. In Zukunft soll  
daher die Zusammenarbeit beider Netze im Sinne eines  
automatisierten Datenaustausches optimiert werden.

Neben der Lokalisierung eines Erdbebens interessiert vor  
allem seine Stärke (Magnitude). Die klassische Wood-  
Anderson-Magnitude wird aus der maximalen horizonta-  
len Bodenbewegung bestimmt und die MSgV-Magnitude  
aus dem Maximum der Vertikalkomponente der in der  
Kruste gelaufenen S-Welle, unter Verwendung einer für die  
Region geltenden und in Collm bestimmten empirischen  
Eichkurve. In beiden Varianten führen Lokalisierungsfehler  
im Nahbereich wegen der starken Entfernungsabhängigkeit  
der Eichkurven zu erheblichen Magnitudenfehlern. Sobald  
genügend Material vorliegt, soll eine simultane Bestim-  
mung von Eichkurve und Stationskorrekturen vorgenom-  
men werden. In Tab. 1 und in den Abb. 3a und b wird die  
Wood-Anderson-Magnitude verwendet, da die MSgV-  
Magnitude nicht für alle Ereignisse vorliegt.

### 3.5 Herdanalyse und Wellenformen

Am einmaligen Datensatz des Erdbebenschwarms 2000  
konnten einige weiterführende Untersuchungen vorgenom-  
men werden, die sich mit den detaillierten Aufzeichnungen  
der Wellenformen beschäftigen. Sie sind Beispiele für eine  
vertiefte Datenauswertung, die wesentlich weitergehenden  
Nutzen aus den aufgezeichneten Daten zieht, als dies  
bei der täglichen Routineauswertung geschehen kann. Das  
Online-Netz mit seinem Archiv aus kontinuierlichen Daten,  
auf die sehr einfach und schnell zugegriffen werden kann,  
bietet beste Voraussetzungen für solche Untersuchungen.  
Mit zunehmender Betriebszeit des Netzes wird der Be-  
stand an interessanten Daten kontinuierlich wachsen.

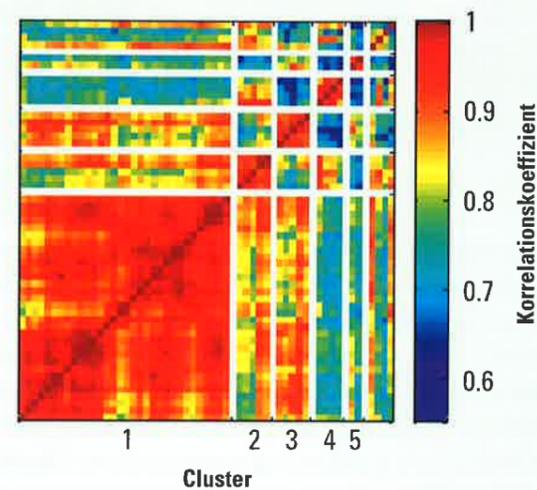
Finden zwei Ereignisse zu verschiedenen Zeiten an exakt  
der gleichen Stelle und mit dem gleichen Herdmecha-  
nismus statt, so sollten ihre Wellenformen identisch sein.  
Rücken die Hypozentren auseinander, so verändern sich  
auch die Wellenformen wegen der heterogenen Struktur  
im Herdgebiet.



**Abb. 12:** Wellenformen der 28 Ereignisse des Schwarms 2000, die im Frequenzbereich 2–4 Hz am ähnlichsten sind  
 --- Zeitfenster der Ähnlichkeitsanalyse (1 s ab dem Einsatz der Direkten S-Welle Sg)

Aber auch bei identischem Hypozentrum kann es zu unterschiedlichen Wellenformen kommen, wenn sich die Struktur mit der Zeit verändert hat, z. B. durch Auftreten von Bruchflächen, Änderungen des Spannungsregimes, Eindringen von Fluiden, Änderung des Porenraums usw.

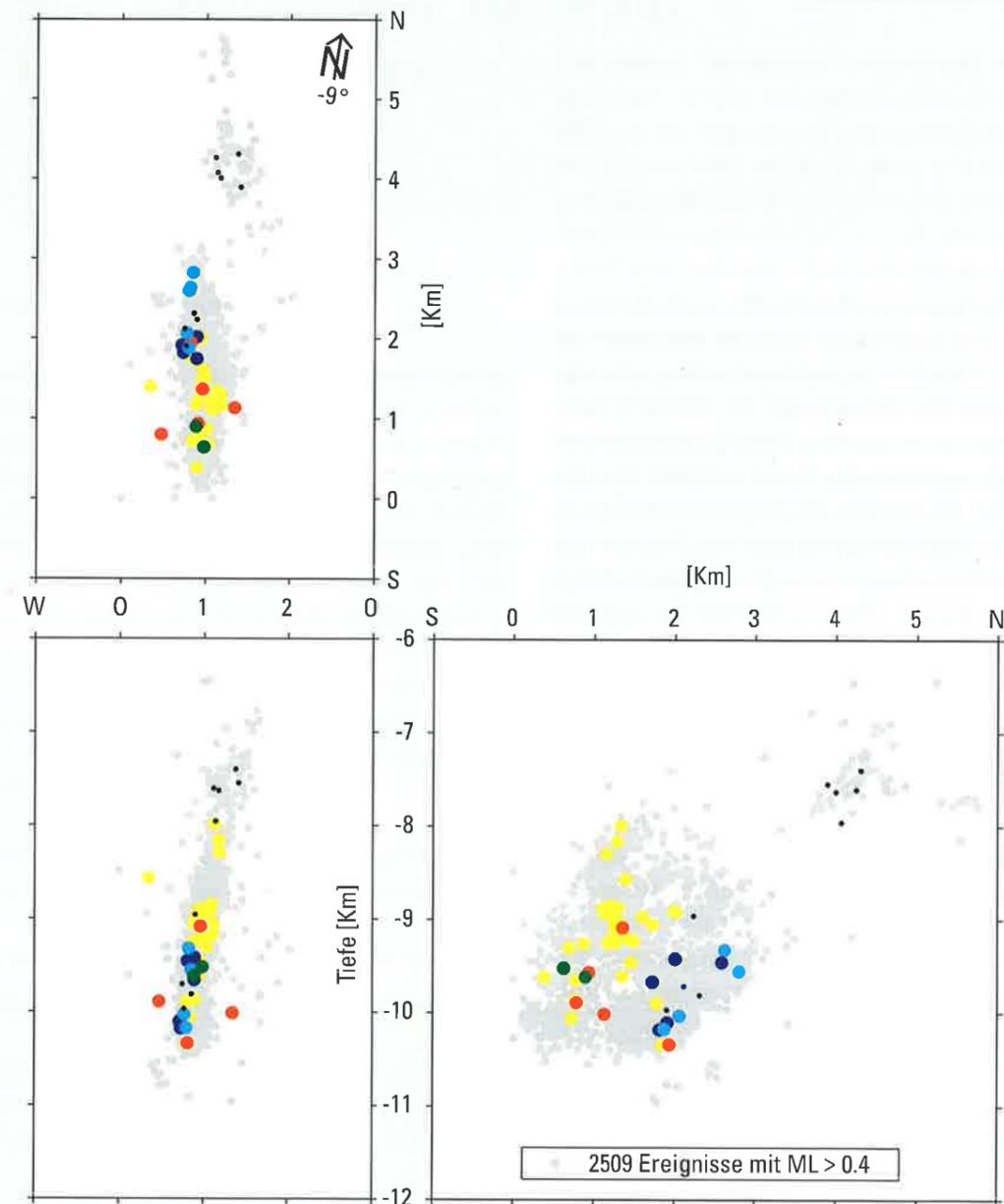
Die Abb. 12 zeigt Aufzeichnungen mehrerer Ereignisse aus dem Erdbebenschwarm 2000 an der Station Wernitzgrün (WERN). Insgesamt wurden 57 Ereignisse untersucht. Es zeigt sich, dass die Wellenformen insgesamt recht ähnlich sind. Die Ereignisse wurden jetzt paarweise miteinander verglichen und ihre Ähnlichkeit durch einen Korrelationskoeffizienten quantitativ ausgedrückt. Das Resultat wird in sogenannten Ähnlichkeitsmatrizen dargestellt (Abb. 13).



**Abb. 13:** Ähnlichkeitsmatrize der Ereignisse für 2–4 Hz

Zeilen und Spalten der Matrizen entsprechen den einzelnen Ereignissen. Rot bedeutet hohe Ähnlichkeit und blau geringe. Die Ereignisse sind dabei so sortiert worden, dass jeweils zueinander ähnliche Ereignisse unmittelbar nebeneinander stehen. Man erkennt, dass es mehrere Ereignis-Cluster gibt. Alle Ereignisse eines Clusters sind untereinander sehr ähnlich, unterscheiden sich aber deutlich von den anderen Clustern.

Eine Zuordnung der Ereignisse eines Clusters zu der räumlichen Lage ihrer Hypozentren ist in der Abb. 14 zu sehen. Die grauen Punktwolken stellen alle lokalisierten Ereignisse (2509 Ereignisse mit  $ML > 0,4$ ) des Schwarms dar, die untersuchten Ereignisse sind farbig



**Abb. 14:** Räumliche Verteilung der Epizentren der untersuchten Ereignisse im Erdbebengebiet des Schwarms 2000. Dargestellt sind die Ereignisse im Frequenzbereich 2–4 Hz und das Zeitfenster der Sg-Welle. Die Farben bezeichnen die Zugehörigkeit zu einzelnen Clustern und deren räumliche Begrenzung. Schwarze Punkte sind Beben, die keinem Cluster zugeordnet werden können. Grau hinterlegt sind alle lokalisierten Ereignisse des Schwarms mit dargestellt.

hervorgehoben. Es zeigt sich deutlich, dass die gefundenen Cluster ähnlicher Ereignisse jeweils auf Teilgebiete des gesamten Herdvolumens beschränkt sind. Jedoch sind in jedem Cluster Ereignisse aus verschiedenen zeitlichen Phasen des Schwarmbebens geschehens enthalten.

Daraus ergibt sich, dass offensichtlich während des Verlaufs des Erdbebenschwarms 2000 keine gravierenden Veränderungen der Struktur im Herdgebiet stattgefunden haben können, etwa durch Fluiddiffusion, Porenraumänderungen o.ä. Die Clusterung ist somit rein durch zeitliche stationäre kleinräumige Heterogenitäten im Herdvolumen bedingt.

### 3.6 Zusammenfassung

Mit Abschluss des Projekts besteht das Sachsenetz aus insgesamt 15 permanenten und mobilen Stationen, von denen 7 als Online-Stationen betrieben werden. Das mobile Netz dient in erster Linie der Überwachung der flutungsbedingten induzierten Seismizität im Raum Aue sowie dem Monitoring von Erschütterungsimmissionen an Talsperrenbauwerken und bildet eine räumliche Ergänzung des Online-Netzes im Bereich der Gera-Jáchymov-Störungszone. Das Online-Netz deckt die Schwerpunkte tektonischer Erdbeben im Vogtland und entlang der Leipziger-Regensburger Störungszone ab. Es wurde so konzipiert, dass eine kontinuierliche Datenübertragung per Telefonverbindung möglich ist. Damit wird eine schnelle Auswertung und Information von Behörden und Öffentlichkeit möglich. Während der Laufzeit des Projekts von Mai 2001 bis Februar 2004 wurden 29 tektonische Ereignisse in einem Bulletin erfasst und lokalisiert, Darüber hinaus wurden 27 induzierte Ereignisse im Raum Aue und 34 Sprengungen in der Nähe der Talsperre Eibenstock registriert.

Die Beobachtung der flutungsbedingten Seismizität über mehrere Jahre hinweg ergibt ein Zeitmuster der Magnitudenverteilung, das mit dem Flutungsanstieg korreliert. Die Verteilung der Epizentren ist dagegen unauffällig. Die Mehrzahl der Ereignisse finden im Granit statt. Es konnte eine maximal zu erwartende Lokalmagnitude von 2,0 abgeschätzt werden. Die Herdparameter zeigen systematische Trends, die auf eine Beruhigung der Spannungsumlagerungen im Flutungsgebiet hinweisen.

Der Aufbau des Online-Netzes ist im Wesentlichen abgeschlossen. Stationstechnik und Datenübertragung funktionieren zuverlässig. Grafische Darstellungen der Registrierungen, Informationen über einzelne Ereignisse und Resultate der Routineauswertungen sind im Internet verfügbar ([http://www.uni-leipzig.de/collm/Vogtland\\_1.html](http://www.uni-leipzig.de/collm/Vogtland_1.html)). Die Originaldaten einiger Stationen werden auch an nationale und internationale Datenzentren weitergegeben und stehen wissenschaftlichen Nutzern weltweit zur Verfügung. Eine Untersuchung zur Lokalisierungs-genauigkeit des Online-Netzes zeigt, dass bei gemeinsamer Auswertung der sächsischen und ostthüringischen Stationsnetze eine besonders hohe Lokalisierungs-genauigkeit in der interessierenden Region erreicht wird.

## 4 Seismische Netze in Sachsen

### 4.1 Offline-Netz (mobiles Netz)

Das aktuelle Netz besteht aus 7 Stationen, deren Ausstattung, technische Daten und Verfügbarkeit in Tab. 4 zusammengestellt sind. Alle Stationen werden mit einheitlicher Abtastrate von 125 Hz betrieben, so dass der nutzbare Frequenzbereich (Bandbreite) bei 50 Hz endet. Die Seismometer besitzen eine geschwindigkeitsproportionale Übertragungsfunktion oberhalb ihrer Eigenfrequenz von 1 Hz. Die Zeitsynchronisation, also die einheitliche Zeit an mehreren Stationen, wird über DCR (Langwellensignal des Senders DCF-77) mit einem Signal von 77,5 kHz hergestellt. Die Datenspeicherung erfolgt lokal auf wechselbaren Datenträgern und wird durch ein langjährig erprobtes Triggerregime im Online-Betrieb gesteuert.

Die Konfiguration des Offline-Netzes ist so gestaltet, dass eine Erfassung der natürlichen Seismizität insbesondere im

Bereich der Gera-Jáchymov-Störungszone gewährleistet ist. Die Stationskonzentration und -konfiguration im Bereich des Wismut-Bergbaureviers Aue-Alberoda dient der optimalen Erfassung der bergbauinduzierten Seismizität, die durch die Flutung des ehemaligen Grubengebäudes generiert wird. Die Wahl von Standorten in bzw. an Stauanlagen dient des Weiteren objektbezogenen Untersuchungen, die eine Verifizierung ingenieur-seismologischer Parameter für die Gefährdungsanalyse von Staumauern und Dämmen zum Ziel hat.

Abb. 15 zeigt eine Zusammenfassung aller tektonischen Ereignisse in Westsachsen seit 1997, die mit mindestens 3 Stationen des Offline-Netzes erfasst wurden und eine Lokalmagnitude zwischen 0,7 und 2,6 aufweisen. Aus der Clusterung der Epizentren ist ersichtlich, dass damit eine adäquate Erfassung der Seismizität des westsächsischen Raumes erreicht worden ist (vgl. Abb. 3a und b).

Tab. 4: Standorte, technische Daten und Betriebszeiten des Offline-Netzes

| Station | Ort  | Breite °N | Länge °O | Höhe (m NN) | Seismometertyp | Datenloggertyp     | Auflösung Dynamik (bit) | Betriebszeit  |
|---------|--|-----------|----------|-------------|----------------|--------------------|-------------------------|---|
| CAF     | Carlsfeld, Talsperre, Mauerfuß Lotmesshaus                         | 50.4258   | 12.5976  | 859         | Lennartz 3D/1s | Lennartz MARS Lite | 20                      | 01.12.00–12.03.02<br>seit 03.04.02                      |
| EIB     | Eibenstock, Staumauer  | 50.5309   | 12.6004  | 528         | Lennartz 3D/1s | Lennartz MARS Lite | 20                      | 18.12.97–12.03.02<br>03.04.02–24.05.02<br>seit 18.06.02 |
| HLD     | Helmsdorf, ehem. Kompressorstation                                 | 50.7552   | 12.4596  | 332         | Lennartz 3D/1s | Lennartz MARS Lite | 20                      | seit 24.12.99   |
| AUC     | Aue, Viehzucht   | 50.6215   | 12.7054  | 446         | Lennartz 3D/1s | Lennartz MARS-88   | 16                      | seit 22.02.00   |
| AUP     | Aue, „Prinzenhöhle“, Garage  | 50.6383   | 12.6795  | 374         | Lennartz 3D/1s | Lennartz MARS-88   | 16                      | seit 29.11.99   |
| AUM     | Aue, Markus-Semmler-Str., Keller 1, Wohnhaus<br>Keller 2, Wohnhaus | 50.6072   | 12.6801  | 398         | Lennartz 3D/1s | Lennartz MARS-88   | 16                      | 07.05.01–19.11.01<br>03.12.01–25.11.02<br>seit 13.12.02 |
| CZS     | Aue, Clara-Zetkin-Siedlung   | 50.6045   | 12.6512  | 460         | Lennartz 3D/1s | Lennartz MARS-88   | 16                      | seit 05.06.01   |

Unterbrechungen, bedingt durch technische Störungen an den Apparaturen, Überschreitung der Speicherkapazität, Stromausfall u.a.: EIB 13.05.02–24.05.02; CZS 07.06.03–16.09.03; AUM 12.11.01–19.11.01

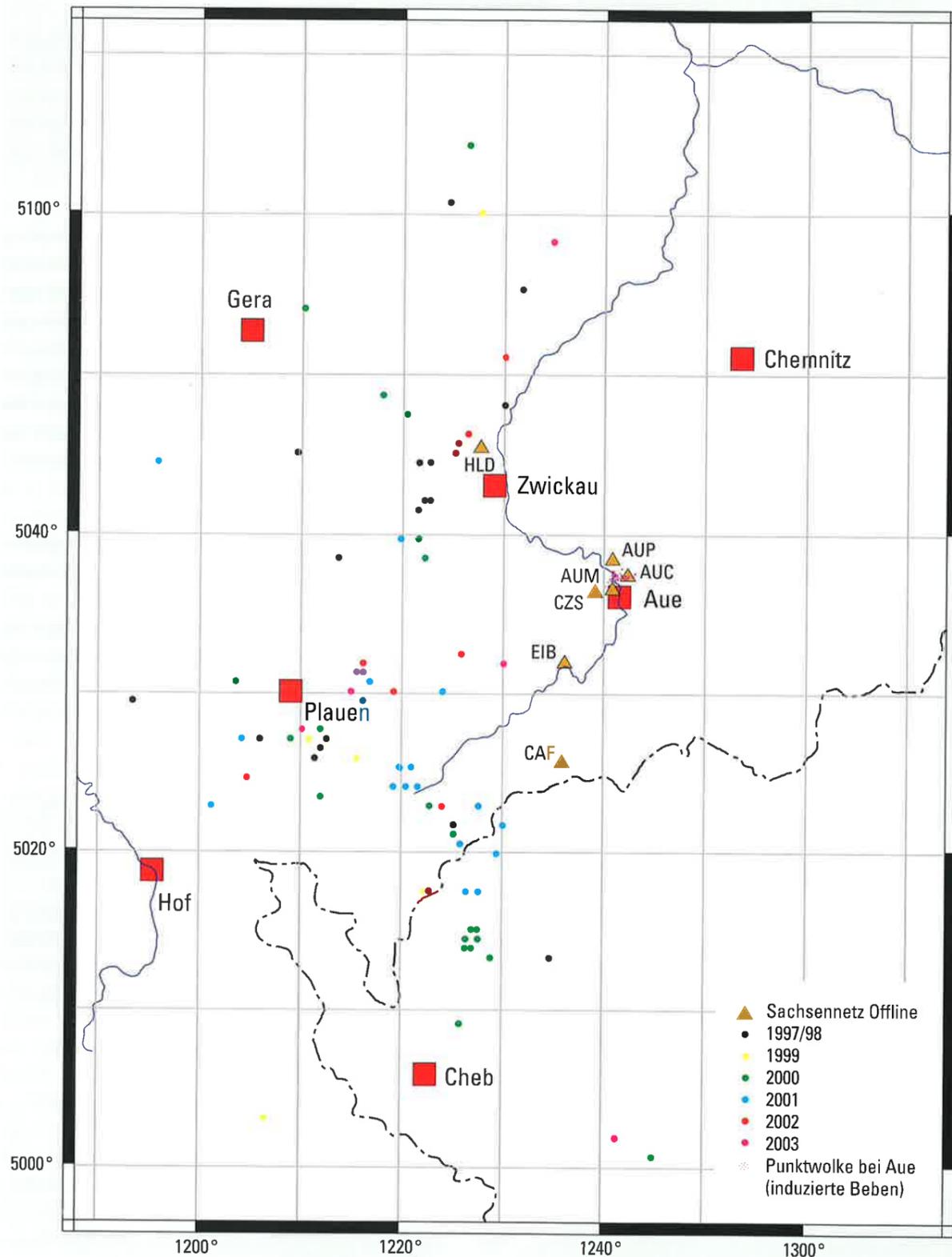


Abb. 15: Offline-Netz und Epizentren der seit 1997 mit diesem Netz georteten tektonischen Beben (mit  $\geq 3$  Stationen und Lokalmagnituden zwischen 0,7 und 2,6)

## 4.2 Online-Netz (Permanentnetz)

### 4.2.1 Stationstechnik

#### Technische Grundausrüstung des Stationsnetzes

Abb. 16 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Permanentstationen des Online-Netzes. Sie umfasst drei Hauptbestandteile: Seismometer, Digitalisierer und Erfassungsrechner sowie die Kommunikationswege. Die verwendete Technik orientiert sich an der Standardausrüstung des Deutschen Seismologischen Regionalnetzes (GRSN), wurde jedoch leicht modifiziert und an die örtlichen Gegebenheiten angepasst. Die wichtigsten funktionalen Änderungen gegenüber dem GRSN bestehen darin, dass das Breitbandseismometer vom Typ STS-2 überwiegend durch eines mit niedrigerer Eigenperiode ersetzt und dass die Abtastrate von 80 Hz auf 100 Hz gesteigert wird.

Abb. 17 zeigt außer dem Seismometer die Grundausrüstung an einer Station. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Komponenten der Stationen erläutert.

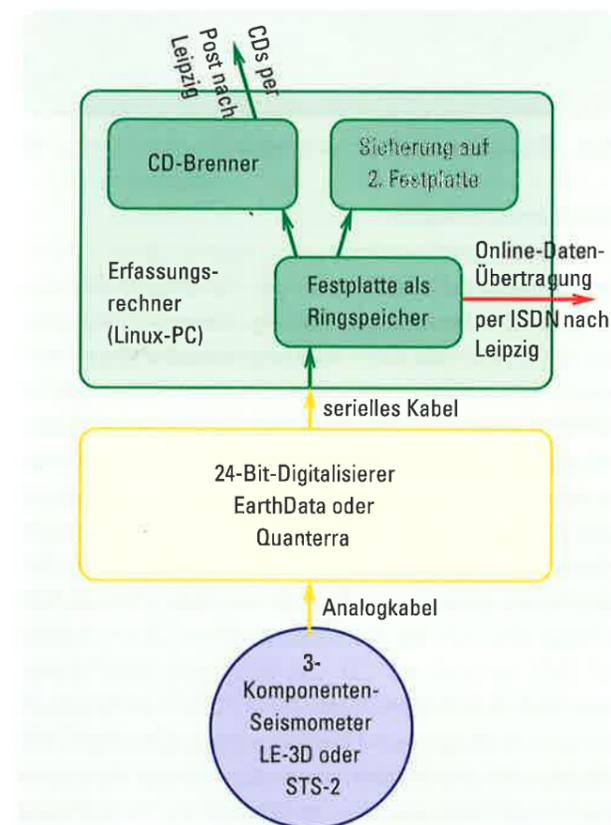


Abb. 16: Funktionsschema der Permanentstationen des Online-Netzes

#### Dreikomponenten-Seismometer

Als Sensoren kommen zwei Typen von Dreikomponenten-Seismometern zum Einsatz. Die Stationen Tannenbergesthal (TANN) und Neuenburg (NEUB) sind wie das GRSN mit Breitbandseismometern STS-2 der Firma Streckeisen (Schweiz) ausgestattet, welches über eine konstante Empfindlichkeit zwischen 0,08 Hz (120 s) und 50 Hz verfügt.

Alle anderen Stationen sind mit 5s-Seismometern der Firma Lennartz, Tübingen, (in Abb. 16 mit LE abgekürzt) ausgestattet, die über eine konstante Empfindlichkeit zwischen 0,2 Hz (5 s) und 40 Hz verfügen. Da die Hauptaufgabe des Sachsennetzes in der Überwachung der lokalen Seismizität liegt, stellen diese Seismometer einen guten Kompromiss zwischen Preis und Leistung dar, besonders auch im Vergleich zu kurzperiodischen Seismometern mit unteren Grenzfrequenzen von 1 Hz. Für zwei typische Fragestellungen der lokalen Seismologie sind Perioden zwischen einer und fünf Sekunden, die mit diesen Seismometern zuverlässig registriert werden, unabdingbar: Die Oberflächenwellen von Steinbruchsprengungen, die ein wichtiges Merkmal zur Unterscheidung von Lokalbeben sind, werden erst bei Perioden größer als eine Sekunde beobachtet. Momententensorbestimmungen für Herdflächenlösungen können ebenfalls nur für tieffrequente Signalanteile vorgenommen werden.

#### Digitalisierer

Die Stationen TANN, Wernitzgrün (WERN) und Rohrbach (ROHR) sind wie das GRSN mit einem Digitalisierer der Firma Quanterra (USA) vom Typ Q730 ausgestattet, der Datenströme mit Abtastraten von 1 Hz, 20 Hz und 100 Hz erzeugt. Die Auflösung beträgt 24 Bit, damit kann die maximale Messspannung von 10 V in  $2^{24} = 16777216$  Schritte unterteilt werden, was gleichzeitig auf den kleinsten Messwert von weniger als 1 Mikrovolt führt. Diese Auflösung ist sehr wichtig, um einerseits kleinste Bodenbewegungen registrieren zu können, andererseits aber bei großen Amplituden (z. B. einem lokalen Ereignis) die Registrierung nicht zu übersteuern. Der Digitalisierer wird über ein etwa 4 m langes Analogkabel an das Seismometer und über zwei ebenfalls etwa 4 m lange serielle Digitalkabel (RS232) an den Erfassungsrechner angeschlossen (Abb. 16).

Weitere Kabelverbindungen führen zur Stromversorgung und zur GPS-Antenne. Die GPS-Antenne selbst muss mit

freiem Blick zum Himmel in einer Entfernung von maximal 25 m montiert sein, um den Digitalisierer mit der erforderlichen Zeitinformation zu versorgen.

An allen anderen Stationen des Online-Sachsenetzes werden Digitalisierer PS2400 der Firma EarthData (Großbritannien) eingesetzt, die bei ähnlichen technischen Daten eine kleinere Bauform und einen günstigeren Preis als die Quanterra-Geräte aufweisen (Abb. 17). Die Zeitsynchronisation wird über einen GPS-Empfänger realisiert, der maximal 30 m entfernt montiert werden kann. Die Verbindung zum Erfassungsrechner erfolgt über eine einzelne serielle Verbindung (RS232).

#### Stationsrechner

Die Datenerfassung erfolgt an allen Stationen einheitlich mit einem Linux-PC (Abb. 16 und 17), dessen Erfassungsssoftware SeisComP vom GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) und vom Seismologischen Zentralobservatorium Gräfenberg (SZGRF) in Erlangen zur Verfügung gestellt wird. Die Ausstattung der PCs folgt dem Konzept des GRSN, das sich durch ein robustes Industriegehäuse, zwei separate Festplatten mit jeweils mindestens 30 Gb Speicherplatz, einen CD-Brenner und eine interne ISDN-Karte auszeichnet. Die Registrierung der drei Komponenten der Bodenbewegung erfolgt in drei separaten Datenströmen, die sich durch die Abtastrate und damit durch die Menge der anfallenden Daten unterscheiden. Beim 1-Hz-Datenstrom entsteht jede Sekunde ein Messwert, entsprechend mehr Messwerte entstehen bei den Datenströmen mit Abtastraten von 20 Hz und 100 Hz. Für die drei Datenströme fallen je Station und Tag etwa 35 Mb Daten an, die als Dateien im MiniSEED-Format auf der Festplatte gespeichert werden, der als Ringspeicher organisiert ist und nach 100 Tagen wieder überschrieben wird. Zu Steigerung der Datensicherheit werden alle Daten zusätzlich auf eine separate zweite Festplatte kopiert.

Die Registrierungen füllen nach 9 bis 14 Tagen eine CD (600 Mb) und werden dann automatisch auf eine CD gebrannt. Die CDs stellen die primären Datenträger dar und werden auf dem Postweg bzw. durch Boten zum Collm-Observatorium der Universität Leipzig sowie zum SZGRF gebracht. Die 1-Hz- und die 20-Hz-Datenströme werden per ISDN-Telefonverbindung zum Datenzentrumsrechner im Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig übertragen.

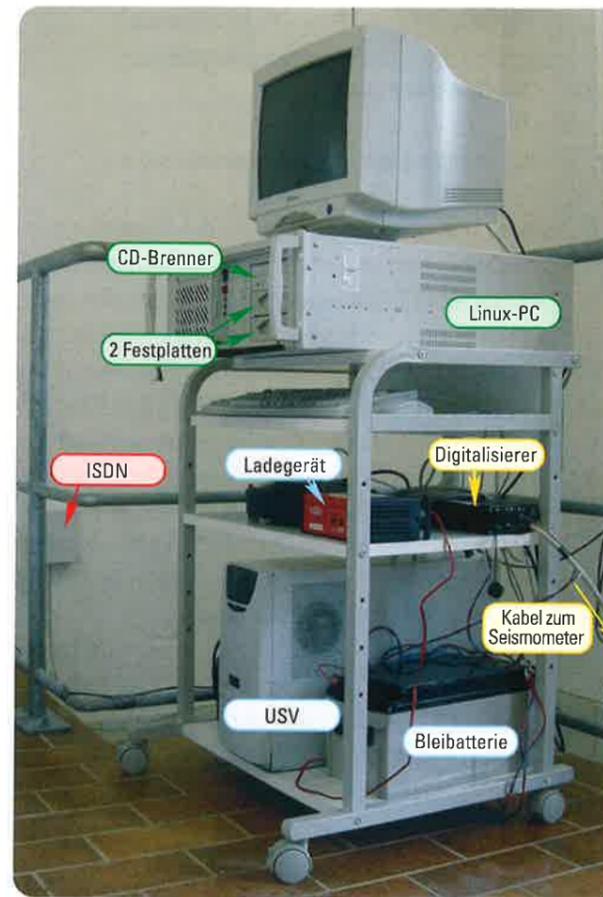


Abb. 17: Gerätetechnik einer Station

#### Datenzentrumsrechner

Das Datenzentrum ist im Leipziger Institutsgebäude eingerichtet und besteht gegenwärtig aus einem Linux-PC, auf dem ebenfalls die Erfassungsssoftware SeisComP vom GFZ installiert ist. Um eine hohe Ausfallsicherheit zu erreichen, besteht der Festplattenspeicher aus mehreren, redundant verknüpften Festplatten (RAID) mit einem nutzbaren Speicherplatz von 205 Gb, die Stromversorgung wird von zwei unabhängigen Netzteilen gewährleistet. Es können ca. 2 Jahre Daten des gesamten Netzes auf den Festplatten gehalten werden. Je ein DVD- und ein CD-Brenner erlauben die Archivierung älterer Daten sowohl auf DVD als auch auf CD. Die Verbindung zum lokalen Datennetz (LAN) der Universität und zum Internet übernimmt eine Netzkarte mit einer Übertragungsleistung von 100 Mb/s. Für die Telefonkommunikation sorgt wie an den Stationsrechnern eine interne ISDN-Karte. Per Software kann auch ein Analogmodem simuliert werden, damit werden auch Verbindungen zu Modems im analogen Festnetz und zu Funkmodems möglich.

Um innerhalb des universitätseigenen Telefonnetzes einen ISDN-Anschluss zu realisieren, wurde seitens der Universität ein so genannter Multimediaadapter (MMA) zur Verfügung gestellt, der die Funktion des Netzabschlussgerätes eines ISDN-Anschlusses (NTBA) übernimmt.

#### Telefonanbindung

Eine zentrale Rolle für einen effektiven Stationsbetrieb spielt die Telefonanbindung, die einen Online-Zugriff auf die Stationen und ihre Daten sowie in gewissem Umfang die Fernwartung der Stationen erlaubt.

Die Standardvariante des Online-Netzes wird über ISDN-Anschlüsse realisiert (Abb. 17). Der Datenzentrumsrechner wählt bei Bedarf oder zu vorgegebenen Zeiten die Stationsrechner an und überträgt ausgewählte Daten nach Leipzig. Diese Übertragung kann in weitem Rahmen konfiguriert werden, sie wird hauptsächlich durch folgende Gesichtspunkte bestimmt:

- Kosten für die Telefonverbindungen,
- Auswahl der zu übertragenden Datenströme,
- Datenanfall in den zu übertragenden Datenströmen,
- gewünschte Häufigkeit der Aktualisierung des Datenzentrums.

Gegenwärtig werden die kontinuierlichen 1-Hz- und 20-Hz-Datenströme über die Telefonverbindung zum Leipziger Datenzentrumsrechner automatisch übertragen, was an jeder Station eine tägliche Übertragung von etwa 6 Mb erfordert. Mit den ISDN-Anschlüssen der Stationen Gunzen (GUNZ), NEUB, TANN und Werda (WERD) sind dazu 15 bis 25 min Übertragungszeit je Station und Tag nötig. Von der Station TANN werden seit Ende Januar zusätzlich die 100-Hz-Daten abgerufen, was die tägliche Übertragungszeit auf knapp 2 Stunden steigert. In Kapitel 4.2.3 wird der Datenfluss noch detaillierter dargestellt.

An den Stationen ROHR und Wüstenhain (WUES) werden künftig die Daten ebenfalls über die Telefonverbindung zum Leipziger Datenzentrumsrechner übertragen, sobald die ISDN-Anschlüsse verfügbar sind.

Die Station WERN ist die einzige Station, an der keine ISDN-Anbindung möglich ist.

#### Stromversorgung

Die Spannungsversorgung der Seismometer und Digitalisierer erfolgt von 12-Volt-Bleibatterien, die aus dem 230-Volt-Netz nachgeladen werden (Abb. 17). Die Erfassungsrechner und alle anderen Geräte werden direkt bzw. über spezielle Netzteile ebenfalls aus dem 230-Volt-Netz versorgt. Um die gesamte Datenerfassung vor kurzzeitigen Stromausfällen zu schützen, werden alle Geräte über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung USV betrieben. Zum Schutz vor Überspannungen (z. B. bei Gewittern) ist in jede 230-Volt-Zuleitung und in die Koaxialkabel der GPS-Antennen der Quanterra-Digitalisierer ein Überspannungsschutz eingefügt.

An den Stationen GUNZ und TANN wurden weitere Störspannungen durch den Einsatz eines Trenntrafos in der 230-Volt-Zuleitung zu den Ladegeräten von Seismometer und Digitalisierer sowie durch eine elektrische Isolation zwischen den Füßen der Seismometer und deren Aufstellfläche beseitigt.

#### 4.2.2 Beschreibung der einzelnen Standorte

Das Online-Netz besteht aus insgesamt sieben Stationen (Tab. 5). Im Auftrag des LfUG werden die fünf Stationen GUNZ, TANN, ROHR, WERD und WUES betrieben. Die Station WERN betreibt die Universität Leipzig in eigener Verantwortung, die Station NEUB im Auftrag des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt. Die Daten aller sieben Stationen werden in identischer Weise in das Datenarchiv aufgenommen. Die Station Obertriebel (OTR) wird ebenfalls im Auftrag des LfUG betrieben, jedoch z. Z. als mobile Station ohne Telefonanbindung, mit einer Reftek-Apparatur. Am Standort Obertriebel betrieb die TU Bergakademie Freiberg bereits über mehrere Jahre eine Station des temporären Netzes. Ihre Daten stehen wegen der fehlenden Online-Übertragungsmöglichkeit nicht für die tägliche Routineauswertung zur Verfügung.

TANN ist die einzige Untertagestation des Sachsennetzes, das Seismometer befindet sich in einem Blindstollen etwa 200 Meter vom Stollenmundloch entfernt. Für langperiodische Registrierungen wird dieser Standort als am geeignetsten angesehen, deshalb steht hier ein Breitbandseismometer STS-2.

Tab. 5: Standorte, technische Daten und Betriebszeiten des Online-Netztes

| Station | Ort  | Breite °N | Länge °O | Höhe (m NN) | Seismo-<br>metertyp | Digita-<br>lisierung<br>(Hz) | Abtast-<br>rate<br>(bit) | Auflösung<br>Dynamik | In Betrieb<br>seit |
|---------|--|-----------|----------|-------------|---------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|
| GUNZ    | Gunzen<br>Trinkwasser-<br>hochbehälter                           | 50.3635   | 12.3316  | 669         | LE-3D/5s            | Earth Data<br>PS2400         | 100                      | 24                   | 16.12.2000         |
| NEUB    | Neuenburg,<br>Schlossmuseum<br>Neuenburg                         | 51.2083   | 11.7752  | 200         | STS-2               | Earth Data<br>PS2400         | 100                      | 24                   | 21.08.2003         |
| OTR     | Obertriebel  | 50.3543   | 12.1406  | 510         | CMG-<br>3ESP        | Reftak<br>72A-08             | 50                       | 24                   | 19.12.2001         |
| ROHR    | Rohrbach,<br>Trinkwasser-<br>hochbehälter                        | 50.2346   | 12.3168  | 626         | LE-3D/5s            | Quanterra<br>Q730            | 100                      | 24                   | 07.08.2001         |
| TANN    | Tannenbergsthal,<br>Besucherberg-<br>werk, „Grube<br>Tannenberg“ | 50.4149   | 12.4614  | 836         | STS-2               | Quanterra<br>Q730            | 100                      | 24                   | 19.12.2000         |
| WERD    | Werda, eben-<br>erdiger Bunker                                   | 50.4476   | 12.3064  | 589         | LE-3D/5s            | Earth Data<br>PS2400         | 100                      | 24                   | 13.06.2001         |
| WERN    | Wernitzgrün,<br>Trinkwasser-<br>hochbehälter                     | 50.2874   | 12.3761  | 672         | LE-3D/5s            | Quanterra<br>Q730            | 100                      | 24                   | 02.08.2000         |
| WUES    | Wüstenhain,<br>Wohnhaus  | 51.0082   | 12.5782  | 207         | LE-3D/5s            | Earth Data<br>PS2400         | 100                      | 24                   | 23.01.2004         |

#### 4.2.3 Datenfluss

Abb. 18 illustriert schematisch den Datenfluss von der Station über das Datenzentrum im Leipziger Institutsgebäude zum Collm-Observatorium sowie zum SZGRF, ohne auf stationsspezifische Einzelheiten einzugehen. In Leipzig werden die Daten gesammelt, archiviert und online für die weitere Auswertung dem SZGRF und dem Collm-Observatorium zur Verfügung gestellt.

##### Aktivitäten des Stationsrechners

Im Quanterra-Digitalisierer werden bereits die Datenströme der drei verschiedenen Abtastraten erzeugt, während im EarthData-Digitalisierer nur die 100-Hz-Datenströme entstehen und erst die SeisComP-Software im Erfassungsrechner daraus die anderen Datenströme erzeugt. Der Erfassungsrechner speichert die Daten auf seiner ersten Festplatte in Tagesdateien ab, die nach 100 Tagen wieder gelöscht werden. Gleichzeitig werden sämtliche Daten zusätzlich in dem SeedLink-Puffer für den Datenabruf per SeedLink etwa 7 Tage lang bereitgehalten. Der SeedLink-Abruf wird vom Datenzentrumsrechner in Leipzig veranlasst.

Kurz nach Mitternacht werden alle Tagesdateien des Vortages von der ersten auf die zweite Festplatte des Stationsrechners in ein Spiegelverzeichnis kopiert und dort ebenfalls 100 Tage lang gespeichert. Zusätzlich werden die Dateien des Vortages in ein weiteres Verzeichnis kopiert, um sie dort zu sammeln und später auf CD zu brennen. Zu diesem Zeitpunkt sind die Daten viermal auf zwei physikalisch separaten Festplatten des Stationsrechners vorhanden. Damit ist eine hohe Datensicherheit gewährleistet. Nach 9 bis 14 Tagen können die aktuellen Daten eine CD füllen. In WERN können die Daten nicht per SeedLink aus Leipzig abgerufen werden. Deshalb baut dieser Stationsrechner als einziger die Wahlverbindung über das externe Festnetzmodem zum Einwahlknoten der Universität Leipzig auf und überträgt morgens vor 6 Uhr die Daten des Vortages per FTP.

##### Aktivitäten des Datenzentrumsrechners

Vom Datenzentrumsrechner kann jederzeit eine ISDN-Verbindung zu den einzelnen Stationen aufgebaut werden. Mit der einen vorhandenen ISDN-Karte und dem

einen ISDN-Anschluss sind gegenwärtig zwei Verbindungen gleichzeitig möglich. Die Datenverbindungen zu den Stationen werden nach einem vorgegebenen Zeitplan automatisch aufgebaut und die auf den Stationsrechnern bereitgestellten SeedLink-Daten abgeholt. Das SeedLink-Protokoll ist dabei so organisiert, dass die ältesten Daten zuerst übertragen werden. Damit wird eine möglichst lückenlose Datenübertragung erreicht. Solange die Daten am Stationsrechner lückenlos bereitgestellt werden, werden so auch nach einer mehrtägigen Unterbrechung der Telefonverbindung Verluste der Onlinedaten vermieden. Allerdings müssen dann kurzzeitig wesentlich größere Datenmengen übertragen werden, was unter Umständen zur vorübergehenden Überlastung der Übertragungskapazität führen könnte, besonders wenn 100-Hz-Daten abgerufen werden.

Dank der Unterstützung des InfoHighways des Freistaates Sachsen konnte für die Telefonverbindungen zwischen dem Leipziger Datenzentrumsrechners und den Stationsrechnern in GUNZ, TANN und WERD ein Abrechnungsmodus gefunden werden, durch den der Universität Leipzig seit Ende Januar 2004 keinerlei Telefongebühren entstehen. Für diese drei Stationen werden

die Daten jetzt ganztägig im 10-Minuten-Takt abgerufen. An den Stationen GUNZ und WERD werden die 1-Hz- und die 20-Hz-Datenströme abgerufen. Für die in den jeweils zurückliegenden 10 Minuten angefallenen Daten reicht eine Übertragungszeit von knapp 10 s aus. Von der Station TANN werden zusätzlich auch die 100-Hz-Daten übertragen, was Übertragungszeiten von knapp 50 s erfordert. Auf diese Weise liegen mit einer Verzögerung von nur 10 min die kompletten Registrierungen der Station TANN auf dem Leipziger Datenzentrumsrechner vor.

Von der NEUB werden die Daten der Abtastraten von 1 Hz und 20 Hz in den Morgenstunden per SeedLink abgerufen, so dass gegen 5 Uhr die Daten bis gegen 4 Uhr vollständig in Leipzig vorhanden sind.

Vom Datenzentrumsrechner können die Daten ohne weiteren Zeitverzug übers Internet abgerufen werden, was routinemäßig vom SZGRF in Erlangen genutzt wird. Die Daten des Online-Netztes gehen daher auch in die Routineauswertung des SZGRF ein.

Gleichzeitig mit dem SeedLink-Abruf wird für jede Station eine Tagesübersicht der 20 Hz-Vertikal-Kompo-

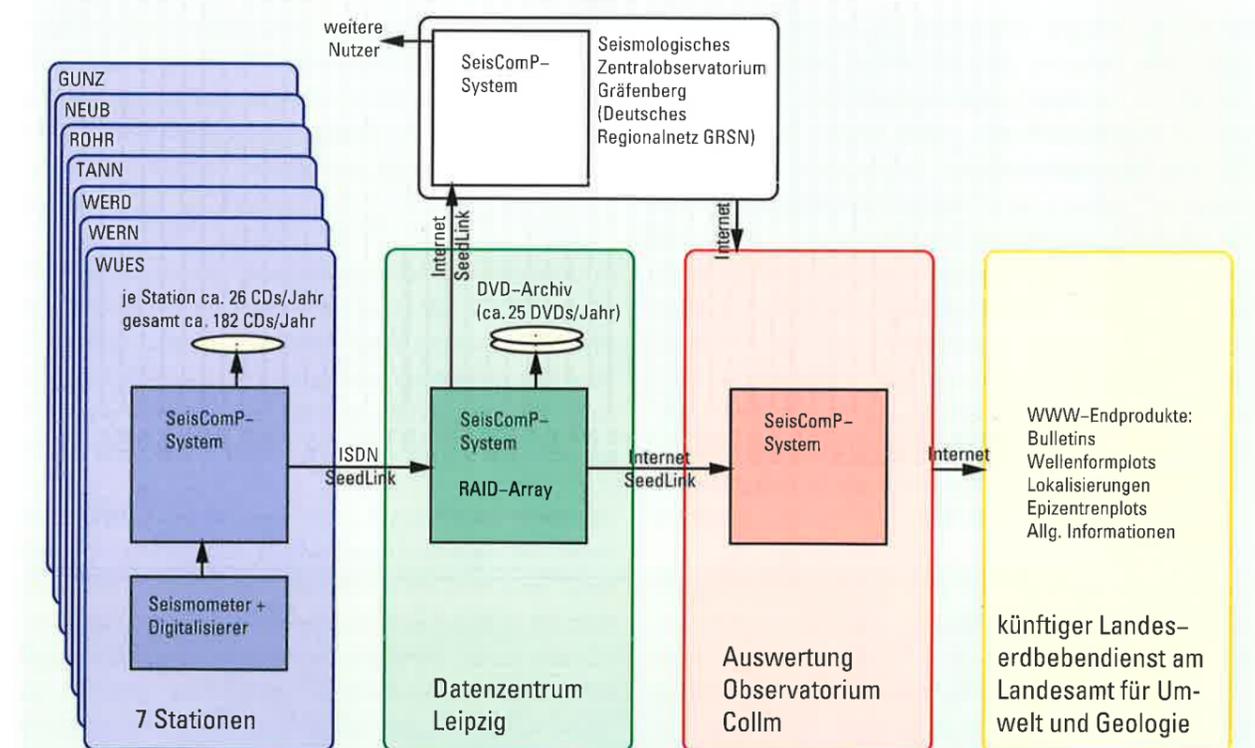


Abb. 18: Datenfluss zwischen Datenzentrum Leipzig und Collm-Observatorium

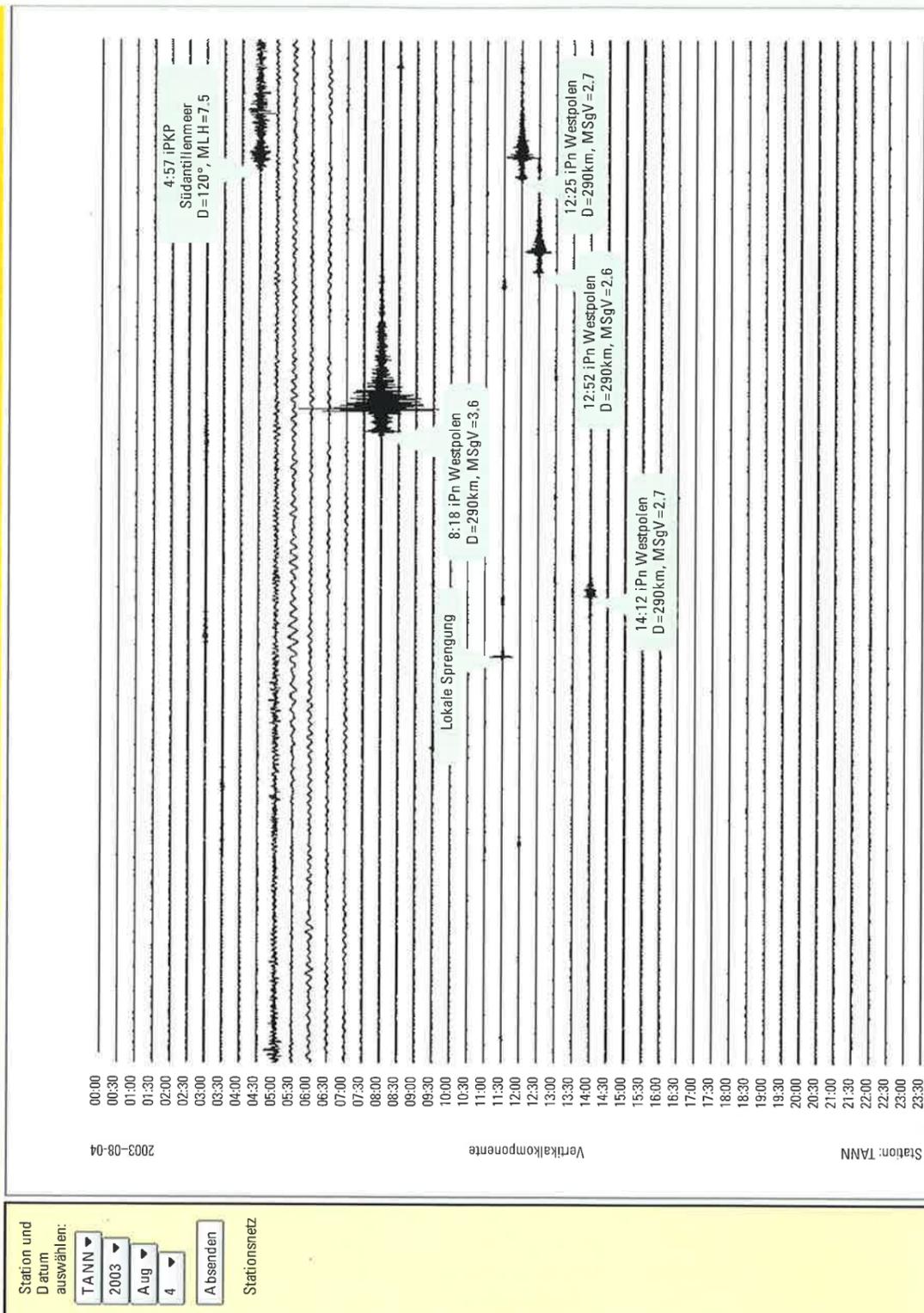


Abb. 19: Tagesübersicht vom 4. August 2003, Vertikalkomponente der Station TANN, 20 Hz Abtastrate

nente erzeugt. Diese Darstellungen, die wie die Daten aller 10 min aktualisiert werden, sind auch im Internet unter der Adresse <http://occam.geo.uni-leipzig.de/christop/> zu finden. Sie sind sehr gut zur laufenden Betriebskontrolle der SeedLink-Stationen geeignet. Gleichzeitig sind dort auch alle älteren Tagesübersichten verfügbar.

In der gegenwärtigen Konfiguration endet hier die routinemäßige Nutzung des SeedLink-Datenflusses. 100-Hz-Daten werden bisher nur aus TANN per SeedLink übertragen. Da die tägliche Datenübertragung aus WERN nicht mit dem SeedLink-Protokoll erfolgt, können diese Daten auch nicht in den SeedLink-Datenfluss eingefügt werden.

Die CDs, die den alternativen Datenfluss bilden, kommen per Bote (GUNZ, WERN, künftig auch ROHR und WUES) oder auf dem Postweg (NEUB, TANN, WERD) nach Leipzig und enthalten neben den Daten, die bereits per SeedLink übertragen wurden, zusätzlich die 100-Hz-Daten. Diese Daten werden von der CD vollständig auf den Datenzentrumsrechner in eine tageweise gegliederte Verzeichnisstruktur abgelegt, die das eigentliche Seismogrammarchiv bildet. Mit den Programmen der SeisComp-Software können beliebige Zeitfenster aus einzelnen Seismogrammen ausgeschnitten werden. Darüber hinaus liegen erste Software-Werkzeuge zum Zugriff auf dieses Seismogrammarchiv vor. So können für vorgegebene Zeitfenster Ereignisdateien aller jeweils verfügbaren Stationen weitgehend automatisch extrahiert werden.

Der öffentliche Zugriff auf die Daten des Sachsennetzes ist über das SZGRF Erlangen möglich. Da das SZGRF mit der Universität Leipzig permanent übers Internet verbunden ist, liegen die Daten in Erlangen nur geringfügig später als in Leipzig vor. Unter der Adresse <http://www.szgrf.bgr.de> erfolgt der Internetzugriff.

Abb. 19 zeigt am Beispiel des 4. August 2003 die Tagesübersicht der Station TANN. Das Fernbeben fällt weniger durch große Amplituden als durch über zwei Stunden andauernde Oberflächenwellen auf. Die polnischen Bergschläge zeigen bei unterschiedlicher Stärke erstaunlich ähnliche Seismogramme. Die lokale Sprengung hat nur einen sehr kleinen Ausschlag verursacht. Zur Detektion solcher kleinen Ereignisse reicht das Tagesplot nicht aus.

### 4.3 Datenqualität

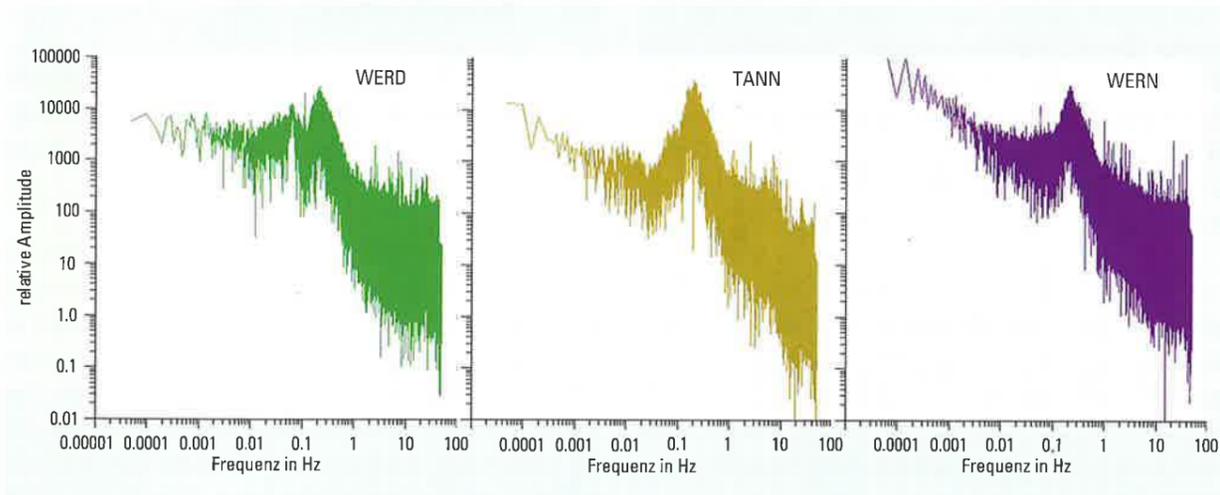
Die Datenqualität hängt sowohl vom unterbrechungsfreien Betrieb aller Komponenten als auch von der möglichst geringen Bodenunruhe am jeweiligen Stationsstandort ab.

Das Konzept der kontinuierlichen Registrierung mit Abtastraten von 1 Hz, 20 Hz und 100 Hz hat sich bewährt: die Stationstechnik arbeitet weitgehend störungsfrei, die Datenströme werden beherrscht. In der Aufbauphase traten jedoch sowohl am Seismometer als auch an Digitalisierer und Erfassungsrechner einzelne Ausfälle auf, die weitgehend behoben werden konnten. So wies z. B. in TANN das Breitbandseismometer Anfang des Jahres 2002 zunehmend mechanische Störungen (langperiodische Sprünge) auf, deren Ursache Korrosion an Federn im Seismometer war.

Ab Mitte 2003 konnte die Verfügbarkeit der Stationen deutlich verbessert werden, was auf zwei Ursachen zurückzuführen ist: Durch die Telefonanbindung der meisten Stationen können eventuelle Störungen schneller erkannt werden. Außerdem konnten einige Fehlerquellen beseitigt werden.

Die Bodenunruhe und eventuelle örtliche Störquellen variieren sowohl zeitlich als auch zwischen den Stationen. Abb. 20 zeigt ausgewählte Spektren der Bodenunruhe einer ruhigen Nacht. Das Rauschmaximum bei ca. 5 s ist weitgehend stationsunabhängig und von der Meereswellenmikroseismik verursacht. Die niederfrequenten Unterschiede sind weitgehend gerätebedingt, so weist TANN mit dem Breitbandseismometer besonders bei Frequenzen unter 0,1 Hz ein deutlich geringeres Rauschen auf. Der niederfrequente Peak in WERD bei 0,07 Hz (etwa 15 s) wird vermutlich von der Umgebung des Standortes verursacht. Bei höheren Frequenzen (besonders zwischen 1 und 10 Hz) tritt stärkeres Rauschen überwiegend in der Umgebung des jeweiligen Standortes auf.

Insgesamt gestaltete sich die Standortsuche als unerwartet schwierig. Es mussten an sehr vielen Versuchsorten Testmessungen mit mobilen Apparaturen durchgeführt werden, um Standorte zu finden, die einerseits eine geringe Bodenunruhe, andererseits aber die notwendige Infrastruktur aufweisen. Die jetzt festliegenden Standorte stellen in diesem Sinn oft Kompromisse dar.



**Abb. 20:** Spektren der Bodenunruhen der Stationen WERD, TANN und WERN einer seismisch ruhigen Nacht (20.07.2003, 0:00 bis 3:00 Uhr)

## 5 Aufgaben eines zukünftigen Landeserdbebendienstes im Freistaat Sachsen

### Zuständigkeit und Zusammenarbeit

Auf dem Territorium von Sachsen wird im Vergleich zu anderen Bundesländern sowohl historisch als auch rezent eine bemerkenswerte seismische Aktivität beobachtet. So wurden allein im Zeitraum von 1968 bis 2003 in Sachsen und den angrenzenden Gebieten 77 sowohl tektonische (Erdbeben) als auch künstlich induzierte seismische Ereignisse (Bergschläge) mit Magnituden  $> 3$  registriert, die zur Beunruhigung der Bevölkerung und teils zu erheblichen Gebäudeschäden geführt haben. Auf Grund der über einen langen Zeitraum beobachteten seismischen Aktivität ist auch in Zukunft prinzipiell mit einer Gefährdung von Menschen und Bauwerken durch seismische Ereignisse zu rechnen.

Das LfUG wurde beauftragt, in Zusammenarbeit mit den in Sachsen seismologisch tätigen Einrichtungen und Institutionen einen Seismologie-Verbund zur Erdbebenbeobachtung in Sachsen einzurichten. Hintergrund ist die

Gewährleistung einer allgemeinen Gefahrenabwehr durch öffentliche Einrichtungen. Damit sollten einige grundlegende Aufgaben eines Landeserdbebendienstes, wie z. B. ein kontinuierliches seismisches Monitoring, vorbereitet bearbeitet werden.

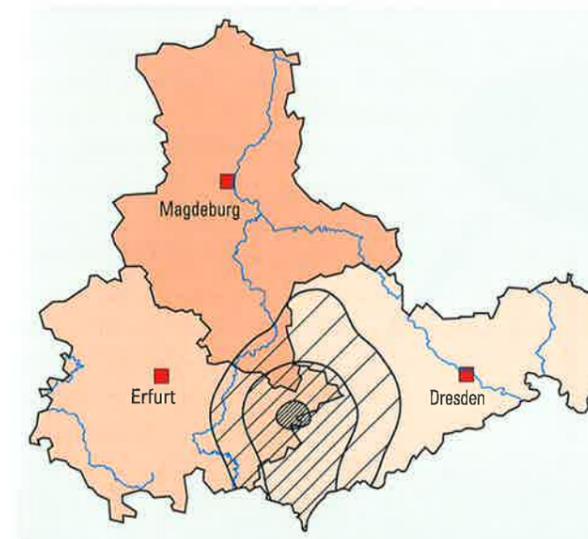
Um die Aufgaben der kontinuierlichen und flächendeckenden Überwachung der seismischen Aktivität erfüllen zu können, ist die Schaffung eines Landeserdbebendienstes unumgänglich. Die Aufgaben eines Landeserdbebendienstes (LED) sind nur in Kooperation der in Sachsen seismologisch tätigen Universitäten und der angeschlossenen seismologischen Observatorien des seismischen Regionalnetzes einerseits, sowie den zuständigen Geologischen Diensten der benachbarten Länder, insbesondere Thüringens und Sachsen-Anhalts andererseits, befriedigend zu lösen. Das betrifft besonders die schnelle Information im Ereignisfall (Abb. 21).

### Arbeitsweise beim Ereignisfall

Eine Vorhersage von Erdbeben ist gegenwärtig nicht möglich. Daher kann auch keine Alarmstufe vergleichbar mit einer Hochwassersituation ausgelöst werden. Es können jedoch verschiedene Fälle bezüglich der Stärke der Erdbeben und der Region ihres Auftretens unterschieden werden.

#### Fall 1: Schwarmbeben im Gebiet Nordwestböhmen/Vogtland

Besondere Aufmerksamkeit gehört den periodisch wiederkehrenden vogtländischen Schwarmbeben, die in ihrer Erscheinungsform einmalig in Mitteleuropa sind. Die letzten bedeutenden Bebenschwärme traten hier 1985/86 und im Herbst 2000 auf, wobei jeweils Tausende Einzelereignisse registriert wurden. Solche Bebenschwärme können wenige Tage bis mehrere Monate andauern. Die stärkeren Beben mit Magnituden  $> 3$  liegen in der Regel innerhalb dieser Schwärme. Im letzten Jahrhundert waren hier 12 Ereignisse stärker als Magnitude 4.



**Abb. 21:** Erdbebenzonen (nach DIN 4149, Entwurf) im Bereich der Länder Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt

### Fall 2: Beben außerhalb des Vogtlandes

Die Beben außerhalb des Vogtlandes treten als Einzelbeben ohne Vorwarnung auf. Potentielle Auftretensgebiete sind die Regionen um Gera, Ronneburg und um Leipzig. Hier wurden 1872 (Magnitude 5,1); 1905 (Magnitude 4,1); 1914 (Magnitude 4,3) und 1982 (Magnitude 3,7) stärkere Beben registriert. Aus historischen Unterlagen ergibt sich, dass in dieser Region mit Beben von Magnituden > 5 ca. alle 200–300 Jahre zu rechnen ist.

Der vorgesehene Informationsfluss im Ereignisfall gliedert sich in 3 Etappen (Abb. 22):

#### Automatische Detektion

Es ist vorgesehen, die Registrierungen ausgewählter seismischer Stationen des „Sachsennetzes“ im Datenzentrum automatisch zu registrieren und auszuwerten. Ab einem bestimmten Schwellwert (vorläufig: Magnitude 2,5) werden alle Stationen des „Sachsennetzes“ und des Regionalnetzes in die Auswertung einbezogen und eine vorläufige Bestimmung der Lokalität und der Magnitude (Bebestärke) durchgeführt.

Diese Erstmeldung kann innerhalb von 15 bis 20 Minuten nach dem Ereignis vorliegen.

#### Manuelle Relokalisierung

Die automatisch zusammengestellten Ergebnisse werden an den diensthabenden Seismologen des LED weitergeleitet, der alle verfügbaren Informationen zusammenstellt, überprüft und die automatisch ermittelten Ergebnisse präzisiert und verifiziert. Danach erfolgt die Einbeziehung weiterer Ergebnisse, wie Alarmmeldungen anderer seismischer Netze und die Auswertung von Registrierungen zusätzlicher Stationen.

#### Weiterleitung der Informationen

Vom LED erfolgt die Information an die für den Ereignisfall zuständigen Einrichtungen und Behörden sowie Presse und Medien.

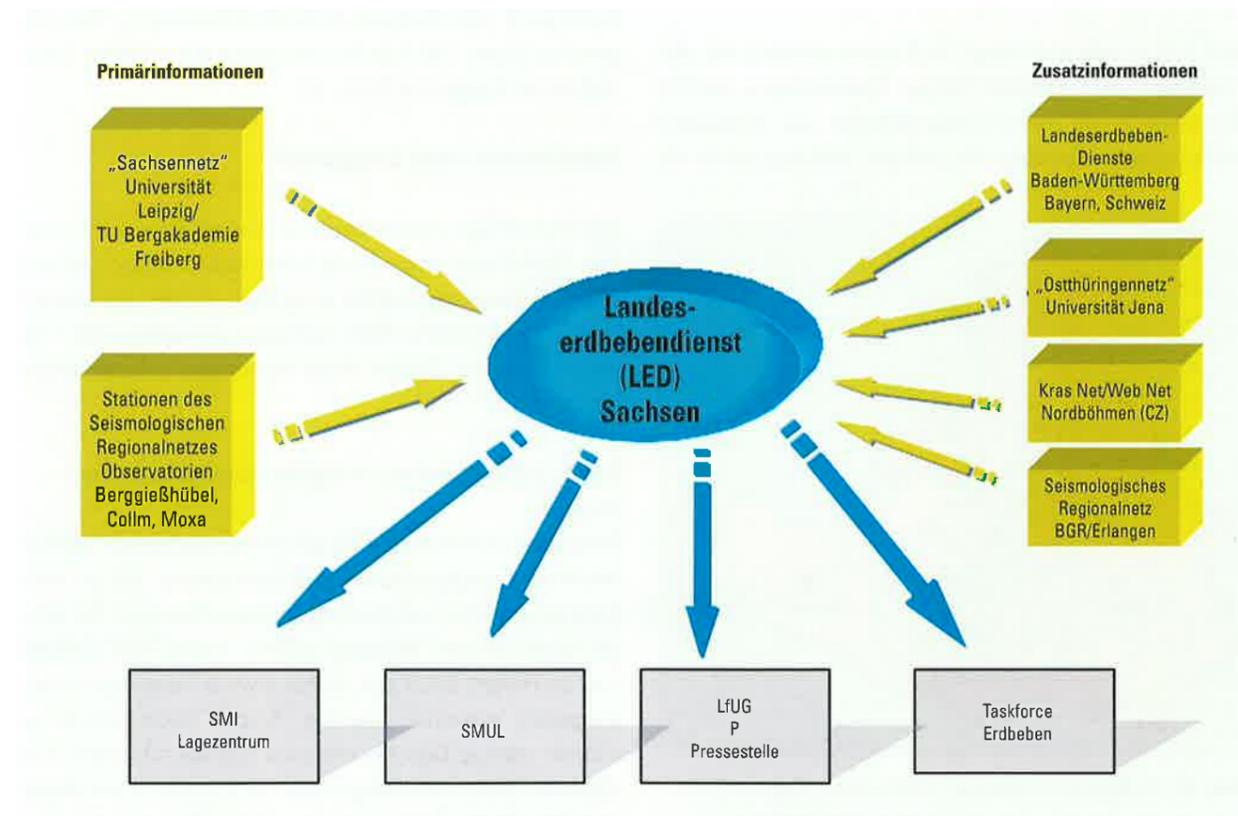


Abb. 22: Informationswege eines Landeserdbebendienstes in Sachsen

## 6 100 Jahre Seismologie in Leipzig

Im sächsischen Raum wurden in der Vergangenheit immer wieder seismische Ereignisse beobachtet, deren Intensität oberhalb von 6,5 auf der MSK-Skala lag. Spürbare Erdbeben um 1875 veranlassten den Leipziger Paläontologen und Geologen Hermann Credner (1841–1913) (Abb. 23), genaue Informationen über solche Ereignisse zu sammeln und auszuwerten. Bis 1897 wurden 38 Beben bemerkt, von denen allein 22 im Vogtland Aufsehen erregten. 1898 gründete Credner eine Erdbebenkommission für Sachsen, der 55 Personen aus dem ganzen Land angehörten, die als „Erdbebenreferenten“ eigene und über Fragebogen eingezogene Beobachtungen zu Erschütterungen sammelten. Eisenbahnstationen wurden von ihrer Direktion angewiesen, von eventuellen Erderschütterungen sofort telegraphisch zeitgenaue Meldung zu machen.

Da die alleinige phänomenologische Beobachtung nicht ausreichte und die technische Entwicklung der Seismographen beachtliche Fortschritte gemacht hatte, richtete Credner im Jahre 1902 im Keller des Hauses Talstraße 35 eine Erdbebenwarte ein. Ihr genauer Standort ist noch heute an einem Hinweis an der hofseitigen Hauswand des Institutsgebäudes zu erkennen. Anlässlich des 100jährigen Jubiläums seismologischer Registrierungen in Leipzig wurde im Jahre 2002 zusätzliche eine Gedenkplakette angebracht (Abb. 24). Im von Credner geleiteten Paläontologischen Institut betreute Franz Etzold (1859–1928) die Warte. Das installierte Pendelseismometer (Masse 1,1 Tonnen) (Abb. 25a, b) war von Emil Wiechert (1861–1928) entwickelt und von der Firma Spindler & Hoyer, Göttingen, gebaut worden. 250fache Vergrößerung machte Signale nicht nur von Beben aus dem sächsisch-vogtländischen Raum sichtbar, sondern auch aus fernen Gebieten der Erde in überraschend guter Qualität.

Schon kurz nach Inbetriebnahme der Station konnte am 28. März 1902 ein Fernbeben aus dem Raum der Molukken registriert werden, wenige Wochen später ein Nahbeben, und zwar das Greizer Beben vom 1. Mai 1902. Eine weitere markante Registrierung aus dieser Zeit war das ab-

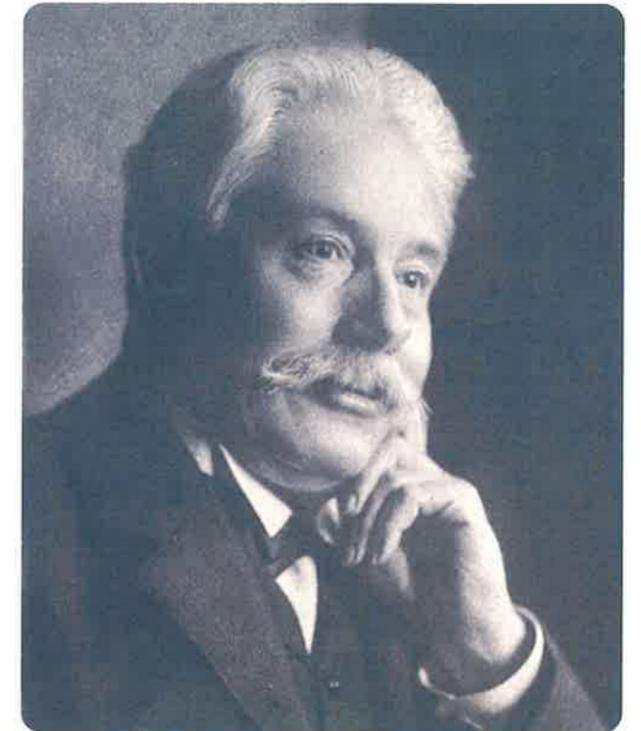
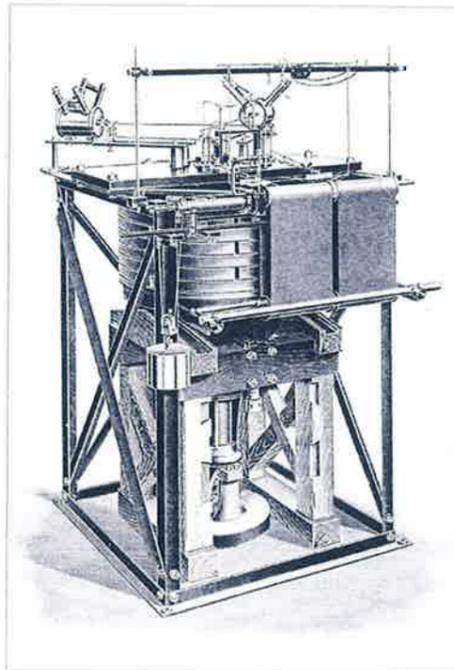


Abb. 23: Herrmann Credner (1841–1913)

gebildete Kaschgar-Beben vom 22. August 1902 (Abb. 26). Die Errichtung der Erdbebenwarte und die Publikation der Messergebnisse gelang durch finanzielle Unterstützung insbesondere der Sächsischen Gesellschaft (ab 1919: Akademie) der Wissenschaften zu Leipzig.

Nach dem Ersten Weltkrieg wurde die Verwaltung der Erdbebenwarte durch das 1913 gegründete Geophysikalische Institut übernommen. Der Seismograph befand sich allerdings mittlerweile in einem schlechten Zustand. Ludwig Weickmann stellte deshalb bei seiner Berufung auf den Lehrstuhl für Geophysik im Jahre 1923 die Bedingung, dass der Seismograph einer gründlichen Überholung unterzogen werden müsse. Dies geschah, seine Einzelteile wurden vollkommen erneuert, nur die stationäre Masse blieb unverändert. Zu Beginn des Jahres 1925 konnte der Apparat wieder an seinem alten Platz aufgestellt werden.



**Hier befand sich 1902-1934  
die älteste sächsische  
ERDBEBENWARTE.  
Gegründet von Hermann  
Credner registrierte sie  
weltweit Beben mit einem  
Horizontalpendel-Seismographen  
nach WIECHERT.  
Noch heute arbeitet  
der Seismograph am Geophysika-  
lischen Observatorium der  
Universität Leipzig auf dem  
Collm bei Oschatz.**

Leipzig, 2002

100 Jahre Seismometrie

Abb. 24: Gedenkplatte am Institutsgebäude Talstraße 35 in Leipzig

Der zunehmende Straßenverkehr und die wachsende Industrialisierung in der Stadt Leipzig mit den damit verbundenen Störungen setzten jedoch den wissenschaftlichen Wert der Registrierungen immer mehr herab. Dies war – neben weiteren aus geophysikalischer Forschung und akademischer Lehre resultierenden Motiven – ein wesentlicher Grund, die Schaffung eines Außenobservatoriums ins Auge zu fassen. Das wurde Weickmann 1927 vom Sächsischen Ministerium für Volksbildung zugestanden, nachdem er eine Berufung an die Universität Hamburg abgelehnt hatte.

Am Collm bei Oschatz, weitab von Störungen durch Erderschütterungen infolge Straßenverkehr oder Steinbruchsprengungen, frei von Beeinflussungen des erdmagnetischen Feldes durch Gleichstromanlagen und entfernt von Quellen atmosphärischer Trübung durch Rauchentwicklung aus Industrieanlagen, wurde ein geeigneter Platz für das Geophysikalische Observatorium gefunden. Die ordo-

vizische Grauwacke am Standort bot günstige Bedingungen für rauscharmen seismologischen Dauerbetrieb. Nach mehrjähriger, aus wirtschaftlichen Gründen immer wieder unterbrochener Bautätigkeit, wurde das Hauptgebäude des Observatoriums im Oktober des Jahres 1932 eingeweiht. Nach Errichtung der erforderlichen Nebengebäude (Abb. 27) konnte 1935 auch der Seismograph zum Collm gebracht werden, wo er bis heute einwandfrei arbeitet. Kriegsbedingte Wirren führten nur zu unbedeutenden Registrierausfällen.

Bemühungen um die Modernisierung der Erdbebenwarte sind trotz Schwierigkeiten immer wieder erfolgreich gewesen. In Jena entwickelte und gebaute fotografisch registrierende elektrodynamische Seismometer (horizontal, vertikal) prägten insbesondere seit 1965 den hohen Qualitätsstandard der Erdbebenstation Collm. Seit der Installation einer modernen digitalen Breitbandstation im April 1993 ist die Collmer Erdbebenwarte (CLL) Teil des

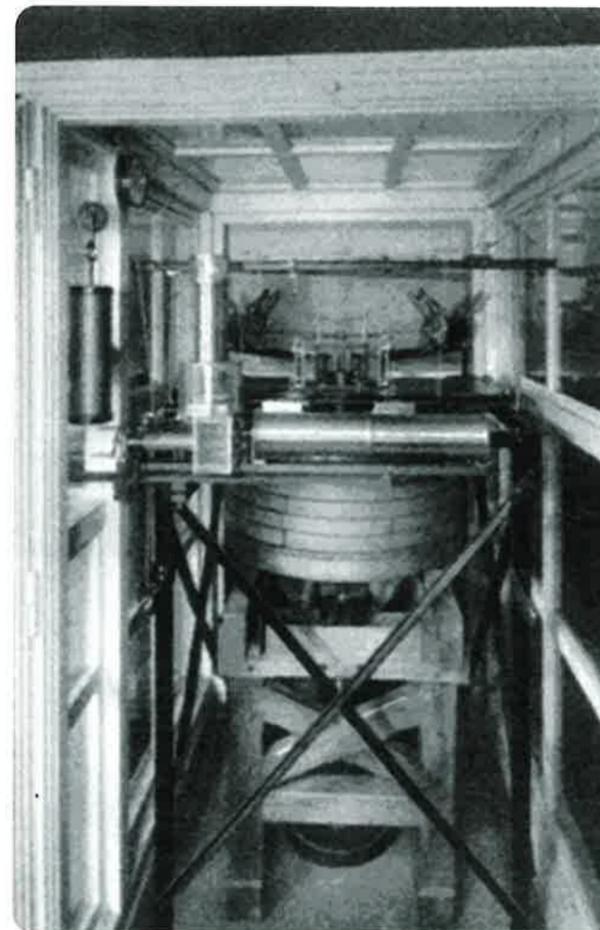


Abb. 25a: Wiechert'scher Seismograph im Bauzustand nach 1924 mit abgenommenem Registrierstreifen

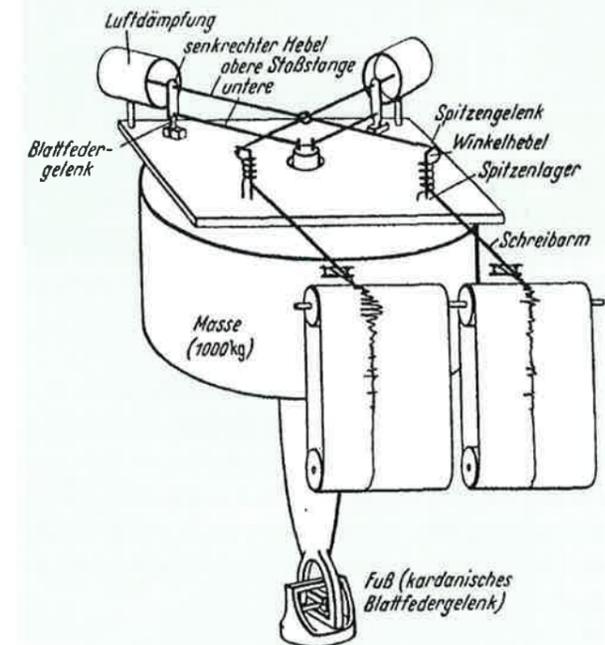


Abb. 25b: Prinzipskizze des Wiechert'schen Seismographen

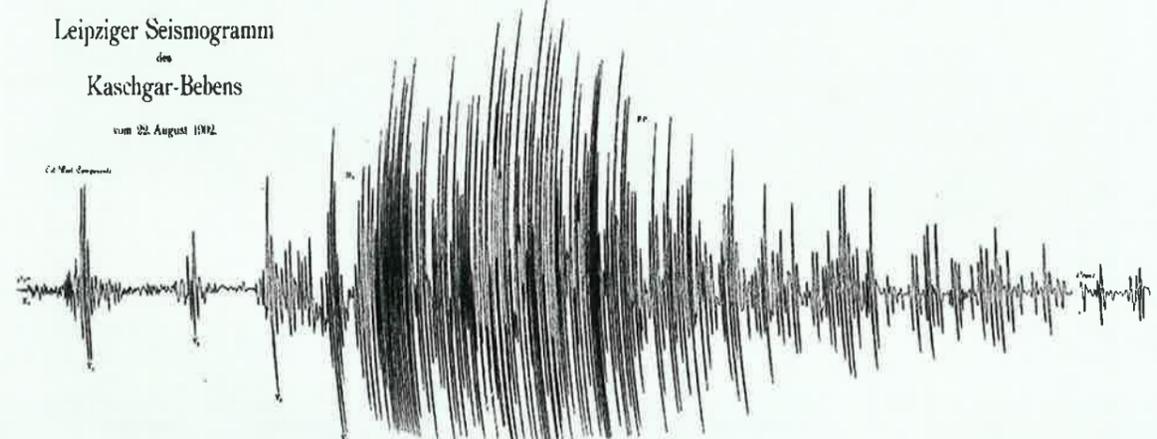


Abb. 26: Seismogramm des Kaschgar-Bebens vom 22. August 1902



Abb. 27: Nebengebäude auf dem Collmburg, in dem der Seismograph untergebracht ist

German Regional Seismological Network (GRSN). Die digitalen Daten werden am Seismologischen Zentralobservatorium Erlangen (SZGRF) kontinuierlich archiviert und sind über das Internet weltweit für Interessenten verfügbar. Seismologische Forschung und Lehre an der Universität Leipzig haben seither eine stetige Entwicklung erfahren.

Zur Feier des hundertjährigen Jubiläums Leipziger seismologischer Registrierungen wurde am 30. Mai 2002 am Institut für Geophysik und Geologie eine Festveranstaltung mit internationaler Beteiligung abgehalten.

Weitere Informationen unter: <http://www.uni-leipzig.de/collm/> und <http://www.szgrf.bgr.de>

## 7 Weitere Forschungsarbeiten zur Seismologie in Sachsen

### 7.1 Das seismologische Tomographieprojekt BOHEMA

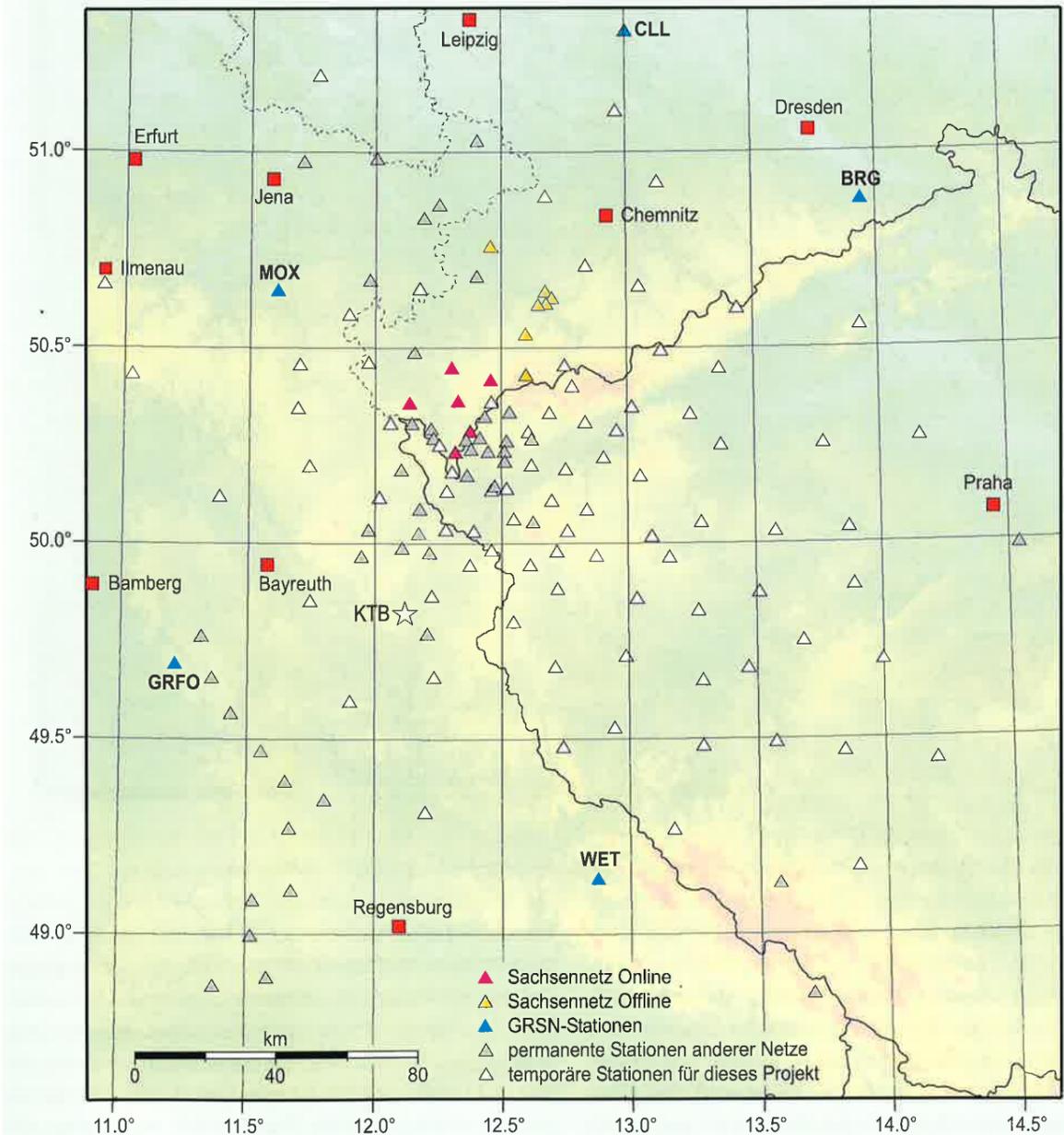


Abb. 28: Seismische Stationen des BOHEMA Projektes

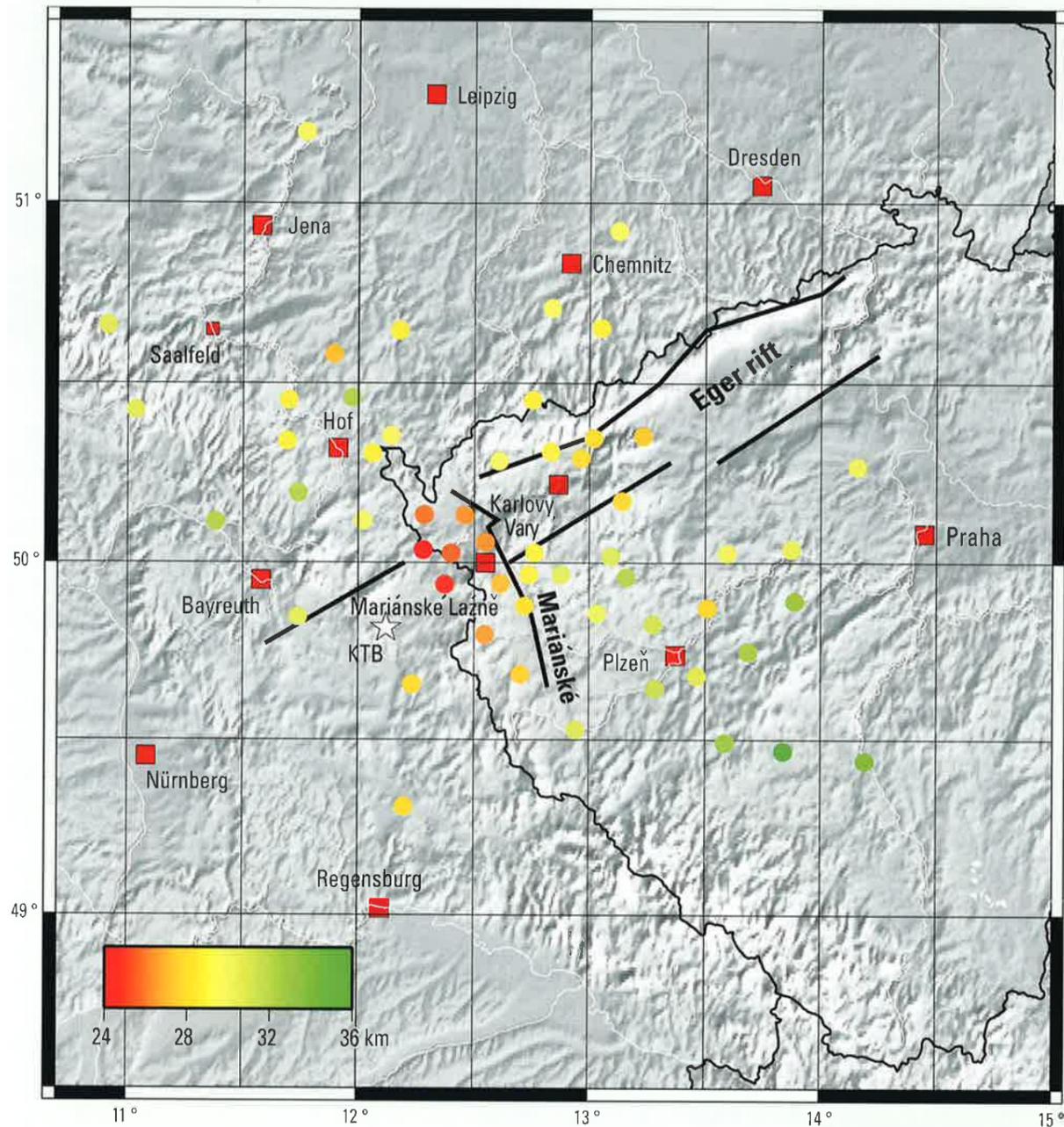


Abb. 29: Tiefe der Krusten-Mantel-Grenze (Moho) an einzelnen Stationen des BOHEMA-Netzes

Zwischen Oktober 2001 und Januar 2004 fand das internationale seismologische Tomografieexperiment BOHEMA (Bohemian Massif Heterogeneity and Anisotropy) statt. An dem Projekt arbeiten 10 Institutionen aus Deutschland, der Tschechischen Republik und Frankreich zusammen. Von deutscher Seite sind das Geoforschungszentrum Potsdam, die Universität Leipzig und das Seismologische Zentralobservatorium Erlangen beteiligt.

Während des Experiments wurden zusätzlich zu den existierenden 61 Permanentstationen der bestehenden Stationsnetze noch 92 temporäre Stationen betrieben. Dabei wurde ein Gebiet überdeckt, das um die seismisch aktive Region des Egergrabens zentriert war und sich auf etwa 270 km Länge und 150 km Breite erstreckte (Abb. 28). Das Stationsnetz registrierte alle Lokal- und Fernbeben sowie künstliche Ereignisse wie Sprengungen.

Ziel des Projekts ist es, Strukturen und Prozesse in der Erdkruste und im oberen Erdmantel im Westteil des Böhmisches Massivs zu erkennen, zu interpretieren und in direkter Zusammenarbeit mit Geochemikern stofflich zu erkunden. Von besonderem Interesse ist die Suche nach einem Magmenkörper im oberen Erdmantel, der als Ursache für die seismische Aktivität, den Aufstieg von Mantelfluiden und neotektonische Krustenbewegungen angesehen wird. Mit den gekoppelten geophysikalisch-geochemischen Untersuchungen soll ein komplexes Modell des oberen Mantels unter NW-Böhmen entwickelt werden.

Nach dem Abschluss des Feldexperimentes Anfang 2004 läuft nunmehr die Phase der Datenauswertung und wissenschaftlichen Interpretation. Ein vorläufiges Resultat aus dem Zentralteil des Projektes ist in der Abb. 29 gezeigt. Hier wurde aus den Registrierungen von Fernbeben die Tiefe der Krusten-Mantel-Grenze (Moho) an den einzelnen Stationen abgeleitet. Die mittlere Tiefe der mitteleuropäischen Moho liegt bei ca. 30 km und ist gelb dargestellt. Rot entspricht einer geringeren, grün einer größeren Tiefe. Bereits an den teilweise ausgewerteten Daten ist deutlich eine Aufwölbung der Moho im westlichen Egergraben etwa im Bereich des Schwarmbebengebietes zu erkennen. Hier wird der Magmenkörper vermutet. In südwestlicher Richtung deutet sich ein Abtauchen der Moho in größere Tiefen an.

Diese vorläufigen Ergebnisse bedürfen noch einer genaueren Untersuchung. Bis zum Abschluss der wissenschaftlichen Auswertung werden noch einige Jahre vergehen.

## 7.2 Fluiduntersuchungen im Schwarmbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen

Das Vogtland und das angrenzende nordwestliche Böhmen sind auf Grund der permanenten Schwarmbebenaktivität ein interessantes Untersuchungsgebiet für die Seismologie. Aber noch ein weiteres Merkmal ruft großes geowissenschaftliches Interesse an dieser Region hervor, eine weit verbreitete Fluidemission aus der Erdkruste, vor allem von Kohlendioxid. Über 300 Stellen sind derzeit bekannt, an denen diese Fluide aus großer Tiefe bis an die Oberfläche aufsteigen. Meist tritt dabei das CO<sub>2</sub> als gelöstes Kohlendioxid in Mineralwässern zu Tage, den Sauerlingen, aber auch trockene Gasaustritte, so genannte Mofetten (Abb. 30) sind vereinzelt zu finden.



Abb. 30: Mofette im Naturpark Soos, nahe Františkovy Lázně (Franzensbad). An Mofetten tritt kaltes Gas, in der Regel CO<sub>2</sub>, kontinuierlich und oft mit hohem Druck frei aus. Teilweise sind sie mit Oberflächenwasser gefüllt.

Abb. 31 vermittelt einen Eindruck über die regionale Verteilung dieser Fluidaustritte. Aus den Isotopenuntersuchungen der Gase ist bekannt, dass sie aus einem magmatischen Reservoir der unteren Erdkruste in ca. 15 bis 30 km Tiefe stammen. Speziell die anomal hohen Helium-3/ Helium-4 Verhältnisse bis über 5 sind ein eindeutiges Indiz dafür (WEINLICH et al. 1999). Tiefreichende, regionale geologische Störungszonen, wie sie zum Beispiel entlang des Leipzig-Regensburger Lineaments zu finden sind, oder lokale tektonische Strukturen, wie die Marienbader Störungszone, stellen bevorzugte Aufstiegsbahnen für die Fluide dar. Fast alle Fluidaustrittsstellen sind in unmittelbarer Nähe von Bach- bzw. Flussläufen zu finden. Strukturgeologisch gesehen spiegelt sich auf diese Weise oft das Streichen der oberflächennahen Störungen in der Morphologie und dem daraus entstandenen Drainagemuster wider. So ist es nicht verwunderlich, dass auch die Verteilung der Gasaustritte in ihren jeweiligen Bach- bzw. Flusstälern die Lage und das Streichen der regionalen Störungszonen markiert (Abb. 31). Nord-Süd streichende Elemente sind darin genauso zu finden wie die typischen herzynischen und erzgebirgischen Streichrichtungen.

Aktive geodynamische Prozesse, die sich in dieser Region z.B. durch die relativ hohe Seismizität oder durch langsame Oberflächenverschiebungen entlang der Störungszonen (s. Zweijahresbericht 2000–2001) bemerkbar machen, sind im Wesentlichen auf einen Spannungsaufbau im Untergrund zurückzuführen. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand könnten rezente magmatische Prozesse

im unteren Krusten-/oberen Mantelbereich Ursache dafür sein. Diese geodynamischen Prozesse wirken sich aber auch auf die Transportpfade der aufsteigenden Fluide aus, es kommt dabei zu veränderten Porenwasserdrücken, Klüftzonen werden erweitert oder geschlossen. Auch Mischungsprozesse mit anderen Fluidreservoirs und die Aufweitung vorhandener bzw. Schaffung neuer Klüftwegsamkeiten durch einen erhöhten Porenwasserdruck sind denkbar. Letzteres wurde schon in ersten Versuchen an der KTB und in Modellrechnungen nachvollzogen. Dass solche Vorgänge dabei auch seismische Ereignisse auslösen können, wird derzeit in Fachkreisen diskutiert.

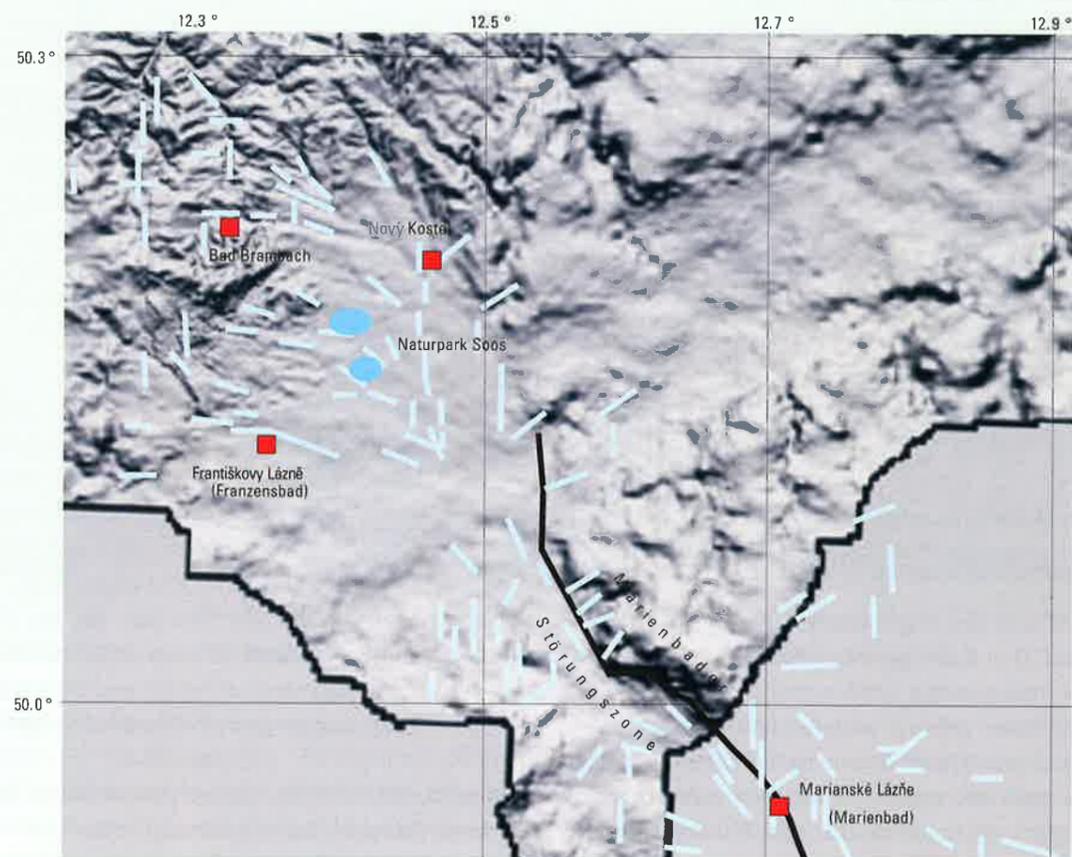
Weitgehend akzeptiert hingegen ist ein Prozess, bei dem diese Spannungsumlagerungen im Klüftsystem über die Fluide bis hin zur Erdoberfläche transportiert werden können. Messbare Effekte wären z. B. Wasserspiegelschwankungen, Änderungen in der Entgasungsmenge oder in der chemi-

schen Zusammensetzung bzw. der Temperatur der Fluide.

Der Zeitraum für diesen „Informationstransport“ aus der Tiefe kann in Abhängigkeit von den lokalen Strömungsparametern und dem dominierenden Transportprozess mehrere Tage bis Jahre betragen.

Eine Arbeitsgruppe der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig versucht im Rahmen langfristiger Grundlagenforschung diese Änderungen der Fluidemission im Zusammenhang mit den seismischen Ereignissen im Vogtland zu erfassen. Ein Forschungsschwerpunkt ist dabei die hydrogeochemische Untersuchung der Bad Brambacher Wetzinquelle (Abb. 32).

Neben der Quellschüttung, Wassertemperatur, Radonkonzentration, Gasemissionsrate und weiteren hydrogeochemisch interessanten Parametern werden in Koope-



**Abb. 31:** Lage der Flussabschnitte in der Region Vogtland/NW-Böhmen an denen die wichtigsten CO<sub>2</sub>-Emissionsstellen auftreten (blaue Signatur). Zahlreiche Drainagerichtungen spiegeln dabei das Streichen der regionalen Störungs-zonen wider: N-S – das Leipzig-Regensburger-Lineament; NW-SO – herzynisch; NO-SW – erzgebirgisch.



**Abb. 32:** Wetzinquelle Bad Brambach: Fassungskeller mit Quellschacht, Vorratsbehälter, Gasuhr, hydraulischen und hydrochemischen Sensoren am Überlauf



**Abb. 33:** Gas-Wasser-Eruption nach der Wasserprobenahme an einer 200 m tiefen CO<sub>2</sub>-übersättigten Mineralwasserbohrung im Kurpark von Bad Brambach

ration mit dem UmweltForschungsZentrum Leipzig/Halle, dem GFZ Potsdam und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover auch verschiedene Isotopenverhältnisse, Mineral- bzw. Gaskonzentrationen kontinuierlich erfasst. Nahezu reines Kohlendioxid tritt hier im Mineralwasser gelöst oder als freie Gasblasen zu Tage. Die CO<sub>2</sub>-Übersättigung der Fluide zeigte sich bei der Probenahme an einer ungenutzten Bohrung, bei der durch die Druckabsenkung eine plötzliche CO<sub>2</sub>-Entmischung auftrat. Die Folge davon war eine Gas/Wassereruption (Abb. 33).

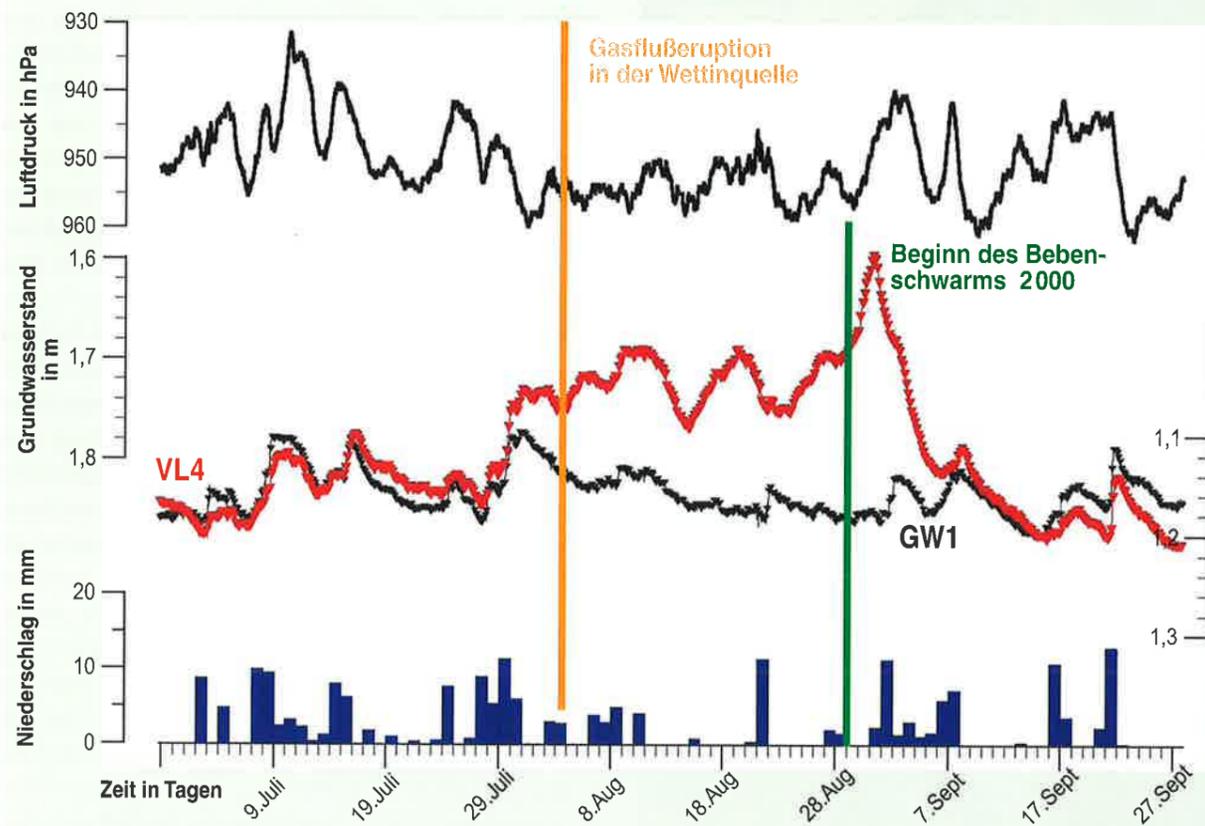
Schon in den 90iger Jahren wurden zahlreiche Anomalien in der Fluidfreisetzung an der Wetzinquelle festgestellt. Eine Korrelation mit der lokalen Seismizität ergab, dass diese Anomalien meistens vor – und nur teilweise mit bzw. nach dem Beginn von Schwarmbeben im Epizentralgebiet von Nový Kostel (Tschechische Republik) auftraten (HEINICKE et al. 1995, 2000; KOCH et al. 2003). Das Epizentralgebiet von Nový Kostel befindet sich nur ca. 11 km östlich von Bad Brambach. Bei dieser kurzen Distanz ist eine gleichzeitige Beeinflussung durch Änderungen im lokalen Spannungsfeld anzunehmen. So kann man davon ausgehen, dass Spannungsakkumulationen in der oberen Erdkruste einerseits zu Erdbeben entlang einer Störungszone und andererseits in einem benachbarten Gebiet zu registrierbaren Porendruckänderungen und anomalen Fluidemissionen führen können.

Bisher wurden in Zusammenhang mit dem letzten großen Erdbebenschwarm im Herbst 2000 folgende Anomalien festgestellt, die auf eine geodynamische Beeinflussung der Fluidtransportwege zurückzuführen sind:

- Anomaler Anstieg des Grundwasserspiegels in der Pegelbohrung VL4 um bis zu 25 cm gegenüber dem vergleichbaren, unbeeinflussten Grundwasserspiegel der Pegelbohrung GW1, beginnend 4 Wochen vor dem Schwarm (Abb. 34),
- Kurzzeitige, anomale Eruption im Gasfluss der Wetzinquelle 3 Wochen vor dem Beginn des Schwarms

Änderungen im <sup>13</sup>C- und Helium-Isotopen-Verhältnis einige Wochen nach einem Schwarm wurden bereits 1994 an der Mofette Bublak und an der Wetzinquelle gemessen (BRÄUER et al., 2003).

Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand wird dieses anomale Verhalten des Grundwasserspiegels als Anstieg des Porenwasserdrucks durch eine Druckübertragung aus



**Abb. 34:** 3–4 Wochen vor dem Beginn des Bebenschwarms im August 2000 wurden ein anomaler Grundwasseranstieg im Mineralwasserleiter der Pegelbohrung VL4 sowie eine kurzzeitige Gaseruption in der Wettinquelle registriert. Ähnliche Anomalien traten schon mehrfach vor Schwarmbeben im Epizentralgebiet von Nový Kostel auf. Parallel zu den hydraulischen und hydrogeochemischen Parametern werden auch meteorologische Größen kontinuierlich aufgezeichnet, um deren Einfluss bei der Dateninterpretation zu berücksichtigen.

tiefer liegenden Fluidreservoirs interpretiert. Derartige Druckimpulse, generiert durch den Spannungsaufbau in der oberen Erdkruste, können so relativ schnell zur Erdoberfläche gelangen.

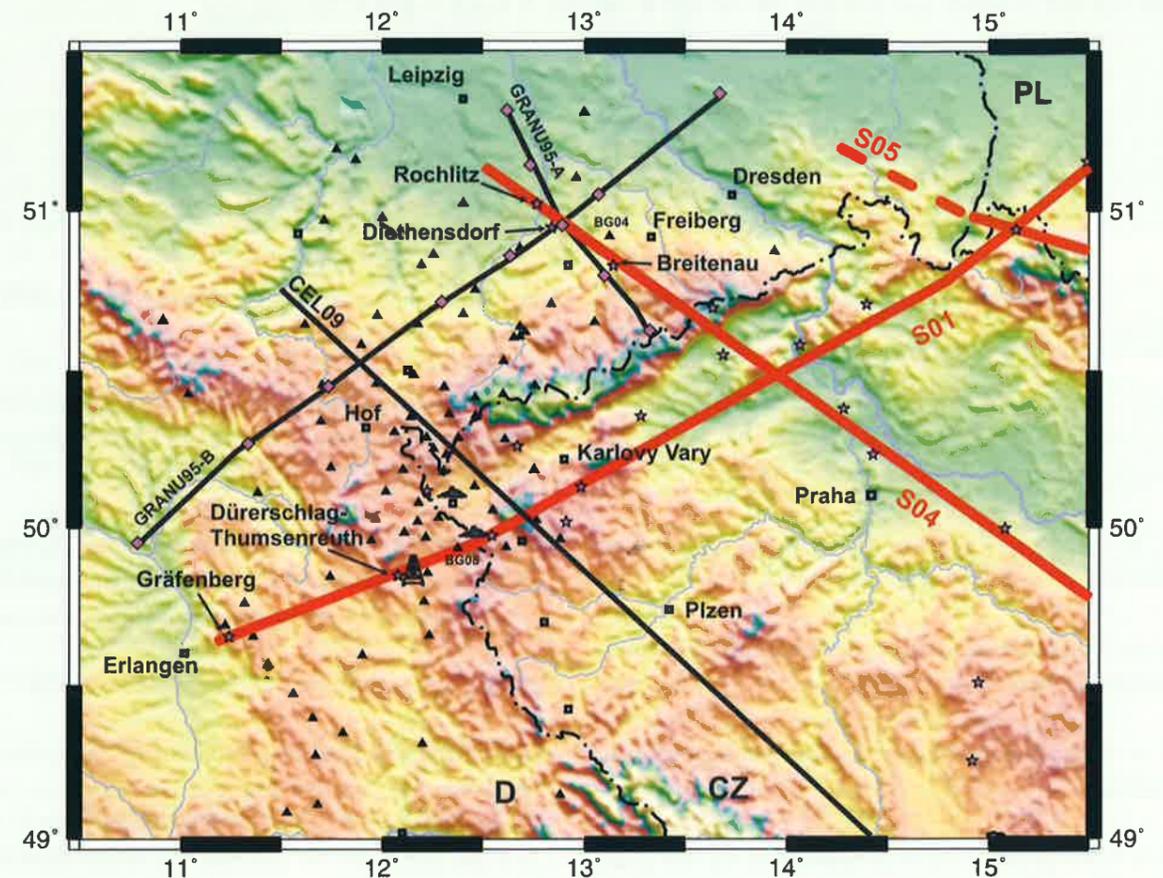
Diese ermutigenden Ergebnisse, welche auch international große Beachtung finden, geben Anlass zu weiterführenden, interdisziplinären Untersuchungen.

So wird in jüngster Zeit von der TU Bergakademie Freiberg die Mikroflora des Mineralwassers der Wettinquelle parallel zu den hydrogeochemischen Parametern untersucht, um mögliche Zusammenhänge zwischen physiko-chemischen und geomikrobiologischen Parametern festzustellen.

Allein die Komplexität der Fragestellung läßt erahnen, dass weiterführende Lösungen einer Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen bzw. Forschungseinrichtungen bedürfen. Das im Jahr 2000 begonnen DFG-Bündelprojekt „Schwarmbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen“ war ein erster wesentlicher Schritt dazu.

### 7.3 Seismische Weitwinkeluntersuchungen im Rahmen des Projektes SUDETES 2003

SUDETES 2003 ist ein internationales Projekt, bei dem mittels Weitwinkelseismik das Böhmisches Massiv untersucht werden soll. Hierfür wurden Profile längs und quer



**Abb. 35:** Profile S01, S04 und S05 des Projektes SUDETES 2003 im deutschen Teil. Die Sprengpunkte sind mit Sternen und teilweise mit Ortsnamen gekennzeichnet. Weiterhin sind die Profile von GRANU95 mit den Sprengpunkten als Rauten sowie das Profil CEL09 des Projektes CELEBRATION 2000 dargestellt. Ebenso sind die Stationen des Deutschen Regionalnetzes und des BOHEMA Projektes mit Dreiecken eingezeichnet. Die BOHEMA Stationen BG04 und BG08 sind als profilnahe Stationen extra beschriftet.

durch den Egergraben und das Böhmisches Massiv gelegt (Abb. 35). Dabei verlief das Profil S04 von Ungarn bis nach Sachsen und hatte Anbindung an die Profile MVE 90 und GRANU 95. Weiterhin verlief das Profil S01 von Polen bis nach Bayern und hatte Anbindung an die KTB und ein Profil des CELEBRATION 2000 Projektes. Außerdem wurde das polnische Profil S06 in die Lausitz verlängert.

Die Messungen wurden Anfang Juni 2003 innerhalb einer Woche durchgeführt. Dafür wurde das sächsische Profil durch Studenten und Mitarbeiter der TU Bergakademie Freiberg aller ca. 3 km mit Messgeräten bestückt. Die Universität Jena übernahm die Arbeiten auf dem bayrischen

Profilabschnitt. Die gleichzeitige Registrierung an allen Messpunkten, erforderte eine genaue Koordination aller Sprengungen um keine Überschneidungen der seismischen Wellen zu erhalten in sächsischen (Rochlitz, Diethensdorf und Breitenau) und bayrischen (bei Gräfenberg und Thum-senreuth) Steinbrüchen.

Ziel der Untersuchungen ist es, ein 3D-Modell der krustalen Tiefenstruktur zu erhalten. Dabei soll der Verlauf der Moho präzisiert und daraus Aussagen über mögliche Ursachen der Schwarmbeben im Gebiet Vogtland/NW-Böhmen und über mögliche anisotrope Eigenschaften des oberen Mantels abgeleitet werden.

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Zeitliche Verteilung der Lokalmagnituden tektonischer Beben 2002–2003

Abb. 2: Kumulative Anzahl N von Erdbeben größer Lokalmagnitude ML in Sachsen 2002–2003 und der aus der Verteilung  $\log N = b \cdot ML + a$ , abgeleitete b-Wert

Abb. 3a: Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2002–2003 (mit Lokalmagnitude  $ML \geq 1$ )

Abb. 3b: Seismische Ereignisse im Vogtland 2002–2003 (Ausschnitt aus Abb. 3a)

Abb. 4: Seismische Netze in Westsachsen und angrenzenden Gebieten

Abb. 5: Flutungsverlauf und Magnitudenverteilung 1998–2003

Abb. 6: Lage der Stationen im Raum Aue-Alberoda sowie geortete Epizentren (oben) und Hypozentren in ihrer Lage zur Granitoberfläche (unten) im Zeitraum 1998–2003

Abb. 7: BENIOFF-Kurve Aue-Alberoda 1998–2003 (Mittelwert aller induzierten Ereignisse)

Abb. 8a und 8b: Resonanzverhalten der Staumauer Eibenstock in Abhängigkeit vom Stauvolumen: Zeit-Frequenz-Analyse vor der Jahrhundertflut  
a) in Mauerrichtung ( $12^\circ$ )  
b) senkrecht zur Mauer ( $102^\circ$ )

Abb. 8c und 8d: Resonanzverhalten der Staumauer Eibenstock in Abhängigkeit vom Stauvolumen: Zeit-Frequenz-Analyse während der Jahrhundertflut  
c) in Mauerrichtung ( $12^\circ$ )  
d) senkrecht zur Mauer ( $102^\circ$ )

Abb. 9: Einfluss der Stationsverteilung auf die Ortungsgenauigkeit beim Beben vom 05.11.2003, 22:37:12.3, 50.42 °N; 12.33 °O in der Nähe von Schöneck/Vogtland

Abb. 10: Tiefenungenauigkeit simulierter Ereignisse in 10 km Tiefe mit Online-Netz

Abb. 11: Tiefenungenauigkeit simulierter Ereignisse in 10 km Tiefe mit Online-Netz ▲; OTSN-Netz ▲ und Regionalnetz-Station CLL ▲

Abb. 12: Wellenformen der 28 Ereignisse des Schwarms 2000, die im Frequenzbereich 2–4 Hz am ähnlichsten sind  
-----: Zeitfenster der Ähnlichkeitsanalyse (1 s ab dem Einsatz der direkten S-Welle Sg)

Abb. 13: Ähnlichkeitsmatrize der Ereignisse für 2–4 Hz

Abb. 14: Räumliche Verteilung der Epizentren der untersuchten Ereignisse im Erdbebengebiet des Schwarms 2000. Dargestellt sind die Ereignisse im Frequenzbereich 2–4 Hz und das Zeitfenster der Sg-Welle. Die Farben bezeichnen die Zugehörigkeit zu einzelnen Clustern und deren räumliche Begrenzung. Schwarze Punkte sind Beben die keinem Cluster zugeordnet werden können. Grau hinterlegt sind alle lokalisierten Ereignisse des Schwarms mit dargestellt.

Abb. 15: Offline-Netz und Epizentren der seit 1997 mit diesem Netz georteten tektonischen Beben (mit  $\geq 3$  Stationen und Lokalmagnituden zwischen 0,7 und 2,6)

Abb. 16: Funktionsschema der Permanentstationen des Online-Netzes

Abb. 17: Gerätetechnik einer Station

Abb. 18: Datenfluss zwischen Datenzentrum Leipzig und Collm-Observatorium

Abb. 19: Tagesübersicht vom 4. August 2003, Vertikalkomponente der Station TANN, 20 Hz Abtastrate

Abb. 20: Spektren der Bodenunruhen der Stationen WERD, TANN und WERN einer seismisch ruhigen Nacht (20.07.2003, 0:00 bis 3:00 Uhr)

Abb. 21: Erdbebenzonen (nach DIN4149, Entwurf) im Bereich der Länder Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt

Abb. 22: Informationswege eines Landeserdbebendienstes in Sachsen

Abb. 23: Herrmann Credner (1841–1913)

Abb. 24: Gedenkplatte am Institutsgebäude Talstraße 35 in Leipzig

Abb. 25a: Wiechert'scher Seismograph im Bauzustand nach 1924 mit abgenommenem Registrierstreifen

Abb. 25b: Prinzipskizze des Wiechert'schen Seismographen

Abb. 26: Seismogramm des Kaschgar-Bebens vom 22. August 1902

Abb. 27: Nebengebäude auf dem Collmberg, in dem der Seismograph untergebracht ist

Abb. 28: Seismische Stationen des BOHEMA Projektes

Abb. 29: Tiefe der Krusten-Mantel-Grenze (Moho) an den einzelnen Stationen des BOHEMA-Netzes

Abb. 30: Mofette im Naturpark Soos, nahe Františkovy Lázně (Franzensbad). An Mofetten tritt kaltes Gas, in der Regel  $CO_2$ , kontinuierlich und oft mit hohem Druck frei aus. Teilweise sind sie mit Oberflächenwasser gefüllt.

Abb. 31: Lage der Flussabschnitte in der Region Vogtland/NW-Böhmen an denen die wichtigsten  $CO_2$ -Emissionsstellen auftreten (blaue Signatur). Zahlreiche Drainagerichtungen spiegeln dabei das Streichen der regionalen Störungszonen wider: N-S – das Leipzig-Regensburger Lineament; NW-SO – herzynisch; NO-SW – erzgebirgisch.

Abb. 32: Wetтинquelle Bad Brambach: Fassungskeller mit Quellschacht, Vorratsbehälter, Gasuhr, hydraulischen und hydrochemischen Sensoren am Überlauf

Abb. 33: Gas-Wasser-Eruption nach der Wasserprobenahme an einer 200 m tiefen  $CO_2$ -übersättigten Mineralwasserbohrung im Kurpark von Bad Brambach

Abb. 34: 3–4 Wochen vor dem Beginn des Bebenschwarms im August 2000 wurden ein anomaler Grundwasseranstieg

im Mineralwasserleiter der Pegelbohrung VL4 sowie eine kurzzeitige Gaseruption in der Wetтинquelle registriert. Ähnliche Anomalien traten schon mehrfach vor Schwarmbeben im Epizentralgebiet von Nový Kostel auf. Parallel zu den hydraulischen und hydrogeochemischen Parametern werden auch meteorologische Größen kontinuierlich aufgezeichnet, um deren Einfluss bei der Dateninterpretation zu berücksichtigen.

Abb. 35: Profile S01, S04 und S05 des Projektes SUDETES 2003 im deutschen Teil. Die Sprengpunkte sind mit Sternen und teilweise mit Ortsnamen gekennzeichnet. Weiterhin sind die Profile von GRANU 95 mit den Sprengpunkten als Rauten sowie das Profil CEL 09 des Projektes CELEBRATION 2000 dargestellt. Ebenso sind die Stationen des Deutschen Regionalnetzes und des BOHEMA Projektes mit Dreiecken eingezeichnet. Die BOHEMA Stationen BG04 und BG08 sind als profilnahe Stationen extra beschriftet.

# Literatur-, Tabellen- und Anlagenverzeichnis

## Literatur

BERG, I. (2001): Seismologische Untersuchungen für die Gefährdungsanalyse von Talsperrenbauwerken. – Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, unveröff.

BRÄUER, K.; KÄMPF, H.; STRAUCH, G. & WEISE, S. M.: Isotopic evidence ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ) of fluid triggered intraplate seismicity. – Journal Geophysical Research 108, 2003, ESE 3-1 – ESE 3-11.

Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen: Zweijahresbericht 1998–99; (Materialien zur Geologie), Red. B. WITTHAUER, O. KRENTZ. – Hrsg. Landesamt für Umwelt und Geologie; Dresden, Freiberg 2000.

Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen: Zweijahresbericht 1998–99; (Materialien zur Geologie), Red. B. WITTHAUER, O. KRENTZ. – Hrsg. Landesamt für Umwelt und Geologie; Dresden, Freiberg 2002.

DIN 4149 – Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. – Entwurf.

GRÜNTAL, G. (1993): European Macroseismic Scale 1992 (updated MSK-scale). – European Seismological Commission, Luxembourg.

HEINICKE, J.; KOCH, U. & MARTINELLI, G. (1995),  $\text{CO}_2$  and Radon measurements in the Vogtland area (Germany) – a contribution to earthquake prediction research. – Geoph. Res. Letters 22: 771–774.

HEINICKE, J.; KOCH, U. (2000), Slug flow – a possible explanation for hydrogeochemical earthquake precursors at Bad Brambach, Germany. – Pure appl. geophys. 157, 10: 1621–1641.

KOCH, U.; HEINICKE, J. & VOSSBERG, M. (2003), Hydrogeological effects of the latest Vogtland-NW Bohemian swarm-quake period (August to December 2000). – J. Geodynamics 35, 1-2: 107–123.

Lexikon der Geowissenschaften (2000): Bd. 1, A bis Edi, 500 S. – Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg.

MURAWSKI, H. (1977): Geologisches Wörterbuch. – Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

MURAWSKI, H. (1988): Deutsches Handwörterbuch der Tektonik (in 6 Bänden). – Hannover.

NEUMANN, W.; JACOBS, F. & TITTEL, B. (1986): Erdbeben. – [Hrsg.] Aulis Verlag Deubner & Co. KG, Köln.

WEINLICH, F. H.; K. BRÄUER, H.; KÄMPF, G.; STRAUCH, J.; TESAŘ & WEISE, S. M. (1999): An active subcontinental mantle volatile system in the western Eger rift, Central Europe: Gas flux, isotopic (He, C, and N) and compositional fingerprints. – Geochim. Cosmochim. Acta 63: 3653–3671.

## Tabellen

Tab. 1: Seismische Ereignisse in Sachsen und angrenzenden Gebieten 2002–2003 (mit Lokalmagnitudo  $ML \geq 1,0$ )

Tab. 2: Seismische Ereignisse 2002–2003 (größer Magnitudo 4) außerhalb Sachsens im Entfernungsbereich ca. 500 km

Tab. 3a: Lokalisierung induzierter Ereignisse im ehemaligen Wismut Bergbaurevier Aue-Alberoda 1998–2001

Tab. 3b: Lokalisierung induzierter Ereignisse im ehemaligen Wismut Bergbaurevier Aue-Alberoda 2002–2003

Tab. 4: Standorte, technische Daten und Betriebszeiten des Offline-Netzes

Tab. 5: Standorte, technische Daten und Betriebszeiten des Online-Netzes

## Anlagen

Anlage 1: EMS-92 [Kurzform]

Anlage 2: 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; vgl. Erdbebenserie

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

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

**Detektionsschwelle:** schwächstes noch erfasstes Erdbeben, durch die Empfindlichkeit der Seismometer bestimmt  $\nearrow$  Bodenunruhe

**EMS:** Europäische Makroseismische Skala  $\nearrow$  Intensität

**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  $\nearrow$  Vorbeben  $\nearrow$  Nachbeben  $\nearrow$  Schwarmbeben

**Epizentralintensität:**  $\nearrow$  Intensität im  $\nearrow$  Epizentrum

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

**Erdbebengefährdung:** Wahrscheinlichkeit des Auftretens seismischer Erschütterungen

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

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

**GRSN:** German Regional Seismological Network (Deutsches Regionalnetz seismologischer Breitbandstationen – BRG = Berggießhübel; CLL = Collm; GRFO = Gräfenberg; MOX = Moxa; WET = Wettzell)

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

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

**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.

**Konfidenzintervall:** Bereich in dem der Messwert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegt

**KTB:** Tiefbohrung (Endteufe 9 101 m) bei Windischeschenbach im Rahmen des Kontinentalen Tiefbohrprogrammes der Bundesrepublik Deutschland

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

**Mantelplume:** Nach oben aufdringende Schmelzmassen von Mantelmaterial

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

**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

**Neotektonik:** Tektonik der jüngsten Erdgeschichte bis heute

**OTSN:** Ostthüringer seismisches Netz – (BDE = Bad Elser; NIC = Nichelsdorf; PLN = Plauen; PST = Posterstein; REU = Reust; SCH = Schönfels; ZEU = Zeulenroda)

**Schwarmbeben:** ↗ Bebenschwarm

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

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

**Seismogramm:** zeitlicher Verlauf der vom Seismographen wiedergegebenen Bodenbewegungen

**Seismograph:** Messgerät zur Registrierung von Bodenbewegungen, bestehend aus Seismometer (Empfänger der mechanischen Energie) und Aufzeichnungssystem (Messdatenanzeige und 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:** wissenschaftlich-technische 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:** (griech. tektonikos = zum Bau gehörend): Lehre vom Aufbau und den Bewegungsformen der Erdkruste und des oberen Erdmantels

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

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

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

# Anlagen



**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
- Erdrutsche                       Felsstürze
- Veränderungen an Gewässern, Brunnen, Staueisen (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: \_\_\_\_\_

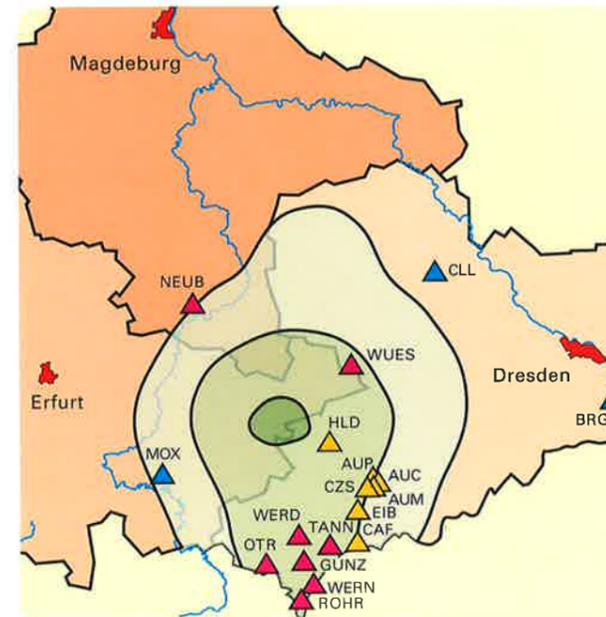
Telefax: \_\_\_\_\_

E-Mail: \_\_\_\_\_

**Impressum**

Materialien zur Geologie

Erdbebenbeobachtung im Freistaat Sachsen  
Zweijahresbericht 2002-2003



**Titelbild:** Bundesländer Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt mit Erdbebenzonen (nach DIN 4149 Entwurf) und seismische Netze (Offline- und Online-Netz in Sachsen; GRNS-Stationen)

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

**Autoren:** Kapitel 1: O. Krentz, B. Witthauer<sup>1)</sup>  
Kapitel 2: R. Mittag, E. Novak<sup>2)</sup>  
S. Wendt, P. Buchholz<sup>3)</sup>  
Kapitel 3: M. Korn, S. Funke, S. Wendt<sup>3)</sup>  
B. Forkmann, A. Docekal, F. Donner<sup>2)</sup>  
Kapitel 4: B. Forkmann<sup>2)</sup>, S. Funke, S. Wendt<sup>3)</sup>  
Kapitel 5: O. Krentz, B. Witthauer<sup>1)</sup>  
Kapitel 6: M. Korn<sup>3)</sup>  
Kapitel 7: M. Korn<sup>3)</sup>, J. Heinicke<sup>4)</sup>, T. Temmler<sup>2)</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> Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig

Redaktionsschluss: September 2004

Gestaltung, Satz und Repro:  
c-macs publishingservice  
Tannenstraße 2, 01099 Dresden

Druck:  
saxoprint GmbH Digital- und Offsetdruckerei  
Lingnerallee 3, 01069 Dresden

Versand:  
saxoprint GmbH  
Lingnerallee 3, 01069 Dresden  
Fax: 03 51/49 21-200 (Versand)  
E-Mail: versand@saxoprint.de

Auflage: 1.000

**Bezugsbedingungen:**  
Diese Veröffentlichung kann kostenfrei von der saxoprint GmbH 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 2004

Artikelnummer: L VII - 2/3

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