

# Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

## Verfahrensunterlage

**Titel:** Seismologisches Gutachten für den Standort des Endlagers für radioaktive  
Abfälle Morsleben

**Autor:** Leydecker, G. & Kopera, J.

**Erscheinungsjahr:** 1999

**Unterlagen-Nr.:** I 074

**Revision:** 00

**Unterlagenteil:**



<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
Verkürzte Zusammenfassung	5
Zusammenfassung	6
1 Einleitung	9
1.1 Aufgabe	9
1.2 Forderungen aus KTA 2201	9
1.3 Vorgehensweise	10
1.4 Begriffserläuterungen	12
2 Geologische und tektonische Gliederung des Standortraumes	16
2.1 Geologische Großstrukturen	16
2.2 Großräumige Bruchstrukturen	17
2.3 Regionale Bruchstrukturen	17
2.4 Tektonik des Nahbereichs	19
2.5 Neotektonik	21
2.6 Schlußfolgerung	22
3 Beschreibung der Seismizität	24
3.1 Seismologische Datenbasis	24
3.2 Erdbebengeographische Regionalisierung	25
3.2.1 Die Seismotektonische Region des Standortes Morsleben	26
3.3 Die Seismizität der den Standort umgebenden Regionen	27
3.3.1 Seismizität der Region Altmark	27
3.3.2 Seismizität der Region Zentral-Sachsen	29
3.3.3 Seismizität der Region Vogtland	29
3.3.4 Seismizität der Region Zentral-Thüringen	30
3.3.5 Seismizität der Region Harz	30
3.3.6 Seismizität der Region Bergbaugebiet Süd-Harz	30
3.3.7 Seismizität der Region Hessische Senke	31

3.3.8 Seismizität der Region Südliches Niedersachsen	31
3.3.9 Seismizität der Region Nördliches Niedersachsen und Holstein	31
3.4 Seismizität im Umkreis um den Standort Morsleben	33
3.4.1 Seismizität im Umkreis von 100 km	33
3.4.2 Seismizität im Umkreis von 200 km ab Intensität V	33
4 Deterministische Abschätzung des Bemessungserdbebens nach KTA	34
4.1 Frühere seismologische Untersuchungen mit Bezug zum Standort Morsleben	34
4.1.1 Seismologisches Gutachten von SPONHEUER aus dem Jahre 1971	34
4.1.2 Seismologische Gefährdung des Standortes Morsleben aus Risikokarten	34
4.1.3 Ergebnisse der seismischen Station ALT in Morsleben	35
4.2 Seismologisches Gutachten von SCHNEIDER aus dem Jahre 1994	36
4.3 Neufestlegung des Bemessungserdbebens nach KTA 2201	38
4.3.1 Beben in der tektonischen Einheit des Standortes	38
4.3.2 Weitere Beben in benachbarten tektonischen Einheiten	38
4.3.3 Festlegung des Bemessungserdbebens	39
4.4 Auftreten eines Gebirgsschlags oder Einsturzbebens in Standortnähe	39
5 Probabilistische Risikountersuchung	41
5.1 Seismische Quellgebiete und Hintergrundseismizität	44
5.2 Bewertung der Seismizitätsmodelle	45
5.3 Zusammenfassung der probabilistischen Berechnung	48
6 Ingenieurseismologische Parameter und lokale Untergrundverhältnisse	50
6.1 Empirische Beziehung zwischen Intensität und Maximalbeschleunigung	51
6.2 Lokale Untergrundverhältnisse	52
6.3 Untergrundklassen am Schacht Bartensleben und unter Tage	53
6.4 Dauer der Starkbewegungsphase	55
7 Bemessungs-Antwortspektren	56
7.1 Standard-Antwortspektren und intensitäts- und untergrundabhängige Antwortspektren	56

7.2	Festlegung von Bemessungs-Antwortspektren für den Standort des Endlagers Morsleben	58
7.3	Vergleich mit dem Bemessungs-Antwortspektrum von SCHNEIDER (1994)	60
8	Abschließende Beurteilung	61
8.1	Ergebnisse des Gutachtens von SCHNEIDER aus dem Jahre 1994	61
8.2	Ergebnisse des hier vorgelegten Gutachtens	62
	Danksagung	64
	Unterschriftenseite	65
9	Literatur	66
10	Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen	74
11	Verzeichnis der Abbildungen	76
	Abbildungen	80
12	Verzeichnis der Tabellen	97
	Tabellen	100 - 128

## **Verkürzte Zusammenfassung**

**Autoren:** Leydecker, Günter, Kopera, Jürgen R.

**Titel:** Seismologisches Gutachten für den Standort des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

**Stichwörter:** Bemessungserdbeben, Haldenslebener Abbruch, ingenieurseismologische Kenngrößen, Maximalbeschleunigung, standortspezifische Antwortspektren, Starkbewegungsdauer.

Aufgabe des hier vorgelegten seismologischen Gutachtens für den Standort des Endlagers für radioaktive Abfälle bei Morsleben (ERAM) ist die Ermittlung der Standortintensität des Bemessungserdbebens und der ingenieurseismologischen Kenngrößen.

Nach den Kriterien von KTA 2201.1 (1990) ergibt sich bei deterministischer Ermittlung des Bemessungserdbebens eine Intensität von VI  $\frac{1}{2}$  MSK. Die nächstgelegene tektonische Störung für ein solches Ereignis ist der östlich vom Standort gelegene Haldenslebener Abbruch, der nach SW unter den Standort einfällt und bis tief in die mittlere Erdkruste reicht. Mittels probabilistischer Berechnungen wird für die Intensität VI  $\frac{1}{2}$  MSK eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $10^{-5}$ /Jahr ermittelt.

Das Bemessungs-Antwortspektrum wird über intensitäts- und untergrundabhängige Freifeld-Antwortspektren (HOSSER-Spektren) festgelegt. Wegen der örtlich rasch wechselnden Untergrundverhältnisse am Standort wurde für die Umgebung des Schachtes Bartensleben ein Antwortspektrum gebildet, das die beiden vorherrschenden Untergrundklassen A (Lockersedimente) und M (mittelsteife, halbverfestigte Sedimente) abdeckt.

Als resultierende horizontale Beschleunigungen ergeben sich aus den Antwortspektren 113  $\text{cm/s}^2$  über Tage und 70  $\text{cm/s}^2$  unter Tage. Die Starkbewegungsdauern sind 4 s an der Erdoberfläche und 1.5 sec im Bergwerk.

## Zusammenfassung

Aufgabe des hier vorgelegten seismologischen Gutachtens für den Standort des Endlagers für radioaktive Abfälle bei Morsleben (ERAM) ist die Ermittlung der Standortintensität des Bemessungserdbebens und der ingenieurseismologischen Kenngrößen.

Das von SPONHEUER im Jahre 1971 erstellte seismologische Gutachten für den Raum Morsleben kommt zu einer maximalen Standortintensität von IV MSK<sup>1</sup>. Im seismologischen Standortgutachten von SCHNEIDER aus dem Jahre 1994 wird zur Festlegung des Bemessungserdbebens ein Schadenbeben in 30 km Epizentralentfernung mit der Epizentralintensität VII-VIII MSK angenommen. Dieses führt am Standort zu einem Bemessungserdbeben der Intensität VI  $\pm$  ½ MSK mit einer maximalen Horizontalbeschleunigung von 125 cm/s<sup>2</sup>. Aus Annahmen über die mittlere Verschiebungsgeschwindigkeit in ostdeutschen Herdgebieten und der Herddislokation bei einem potentiellen Erdbeben leitet SCHNEIDER eine Überschreitenswahrscheinlichkeit von 10<sup>-4</sup>/Jahr für die seismischen Lastannahmen am Standort ab.

Das hier vorgelegte Gutachten ist auf die Erfordernisse der gültigen KTA 2201.1 (1990) ausgerichtet. Es stützt sich auf die Daten des Deutschen Erdbebenkataloges und auf Kenntnisse über die geologische und tektonische Entwicklung sowie die strukturelle Gliederung des Standortraumes. Gemäß der seismogeographischen Einteilung Deutschlands liegt der Standort in der Region Altmark. Ihr südlicher Teil kann als eigene seismotektonische Einheit Südliche Altmark mit allerdings geringer seismischer Aktivität betrachtet werden.

Auch unter Einbeziehung entfernterer aber seismisch aktiverer Regionen kommt den wenigen Beben der Südlichen Altmark in Bezug auf den Standort die größte Bedeutung zu. Die stärksten Beben sind die von Magdeburg 997 und 1409 mit Epizentralintensitäten von VI MSK. Bei deterministischer Festlegung des Bemessungserdbebens muß dessen Intensität demnach mindestens mit VI MSK angenommen werden. Um dem eingeschränkten Beob-

---

<sup>1</sup> MSK: 12-teilige makroseismische Skala nach Medvedev-SPONHEUER-Kárník

achtungszeitraum und der ungewissen Vollständigkeit historischer Erdbebendaten Rechnung zu tragen, wird über die bisher in der tektonischen Einheit maximal beobachtete Intensität um 0.5 Grad MSK hinausgegangen, was zu einem Bemessungserdbeben der Intensität VI ½ MSK führt. Die nächstgelegene tektonische Störung, die als potentielle seismogene Struktur für ein solches Ereignis in Frage kommt, ist der 17 km östlich vom Standort gelegene Haldenslebener Abbruch. Diese Störung fällt nach SW unter den Standort ein und erstreckt sich bis tief in die mittlere Erdkruste.

Für die probabilistische Abschätzung der Erdbebengefährdung werden mehrere Seismizitätsmodelle betrachtet. Sie bestehen aus unterschiedlich vielen Quellregionen und einer jeweiligen Hintergrundseismizität, die alle verbleibenden Beben außerhalb der Regionen aus dem Umkreis von ca. 200 km enthält. Wegen der geringen Erdbebenaktivität des Norddeutschen Raumes ist es entscheidend, ob die Südliche Altmark als eigene seismische Quellregion verwendet wird, dann bestimmt diese das Gefährdungsniveau, oder ob die Erdbeben der Altmark zur Seismizität des Hintergrundes gezählt werden, die dann die Gefährdung dominiert. Die letztgenannte Variante ist wegen der sehr geringen Seismizität der Südlichen Altmark die angemessene. Für das Bemessungserdbeben der Intensität VI ½ MSK ergibt die probabilistische Berechnung eine Überschreitenswahrscheinlichkeit von  $10^{-5}$ /Jahr.

Das Bemessungs-Antwortspektrum wird über intensitäts- und untergrundabhängige Freifeld-Antwortspektren (HOSSER-Spektren) festgelegt. Wegen der örtlich rasch wechselnden Untergrundverhältnisse am Standort wurde für die Umgebung des Schachtes Bartensleben ein Antwortspektrum gebildet, das die beiden vorherrschenden Untergrundklassen A (Lockersedimente) und M (mittelsteife, halbverfestigte Sedimente) abdeckt. Die Maximalbeschleunigung ergibt sich aus der Starrkörperbeschleunigung des Bemessungs-Antwortspektrums.

Für das Bemessungs-Antwortspektrum am Standort Morsleben (Schacht Bartensleben) ergeben sich folgende Kenngrößen:

Intensität	VI ½ MSK	
Überschreitenswahrscheinlichkeit	< 10 <sup>-5</sup> /Jahr	
	über Tage	unter Tage
resultierende horizontale Beschleunigung	113 cm/s <sup>2</sup>	99 cm/s <sup>2</sup>
vertikale Beschleunigung	57 cm/s <sup>2</sup>	50 cm/s <sup>2</sup>
Dauer der Starkbewegungsphase (Energiekriterium 5% - 75%)	4 sec	1.5 sec

Das hier bestimmte Bemessungserdbeben der Intensität VI ½ MSK und die ingenieurseismologischen Kenngrößen sind in Anbetracht der äußerst geringen Seismizität des norddeutschen Raumes konservativ und decken die seismische Gefährdung für den Standort Morsleben mit einem hohen Maß an Sicherheit ab.

## 1 Einleitung

Im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) in Salzgitter wurde eine Neubewertung der seismischen Gefährdung für den Standort des Endlagers Morsleben, östlich Helmstedt durchgeführt. Der Standort liegt in Sachsen-Anhalt unmittelbar an der Landesgrenze zu Niedersachsen und hat die Koordinaten  $52^{\circ} 13.5' N$  und  $11^{\circ} 6.1' E$  (Abb. 3.1).

### 1.1 Aufgabe

Aufgabe des vorliegenden Gutachtens ist es, die ingenieurseismologischen Kenndaten für den Standort zu ermitteln. Hierzu müssen aus der neuzeitlichen und der historischen Erdbeben-tätigkeit die maximal zu erwartende Bebenstärke (Intensität) des Bemessungserdbebens bestimmt, die maximale Bodenbeschleunigungen abgeschätzt sowie Beschleunigungs-Antwortspektren und Starkbewegungsdauer unter Berücksichtigung der lokalen geologi-schen Verhältnisse angegeben werden.

### 1.2 Forderungen aus KTA 2201

Die für Kernkraftwerke gültige sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschus-ses KTA 2201.1 (1990)<sup>2</sup> kann sinngemäß auch der Auslegung aller übrigen kerntechni-schen Anlagen zugrundegelegt werden. Das folgende Gutachten ist auf die Erfordernisse dieser Regel ausgerichtet.

In KTA 2201.1 wird explizit verlangt, gemäß dem „Stand von Wissenschaft und Technik“ vorzugehen und unter Verwendung angemessener Beziehungen die für die Auslegungs-rechnung benötigten ingenieurseismologischen Kenndaten zu gewinnen.

Zur Festlegung des Bemessungserdbebens wird in KTA 2201.1 u.a. folgendes ausgeführt:

1. „Als Bemessungserdbeben ist das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität an-zunehmen, das unter Berücksichtigung einer größeren Umgebung des Standortes (bis etwa

---

<sup>2</sup> Im folgenden wird auf die Fassung 6/90 aus dem Jahr 1990 Bezug genommen, sofern nichts anderes erwähnt ist.

200 km vom Standort) nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auftreten kann.“

2. „Wenn sich Epizentren oder Bereiche höchster Intensität von Erdbeben in der gleichen tektonischen Einheit wie der des Standortes befinden, ist bei der Ermittlung der Beschleunigung am Standort anzunehmen, daß diese Erdbeben in der Nähe des Standortes eintreten.“
3. „Wenn sich Epizentren oder Bereiche höchster Intensität von Erdbeben in einer anderen tektonischen Einheit als der des Standortes befinden, sind die Beschleunigungen am Standort unter der Annahme zu ermitteln, daß Epizentren oder Bereiche höchster Intensität dieser Erdbeben an dem dem Standort nächstgelegenen Punkt auf der Grenze der tektonischen Einheit liegen, in der sie auftreten.“
4. „Horizontale und vertikale Beschleunigungen sind als gleichzeitig wirkend anzunehmen. Die maximale Vertikalbeschleunigung ist mit 50% der maximalen Horizontalbeschleunigung anzusetzen.“
5. „Die Maximalbeschleunigung des Bemessungserdbebens ist mit  $a_{\max} = 1.0 \text{ m/s}^2$  anzunehmen, wenn ein Wert für  $a_{\max}$  zwischen  $0.5 \text{ m/s}^2$  und  $1.0 \text{ m/s}^2$  ermittelt wurde.“
6. Unter Maximalbeschleunigung versteht die Regel KTA 2201.1:
  - „die Starrkörper-Horizontalbeschleunigung des Freifeldantwortspektrums (Einhängewert)“
  - „den Maximalwert der Resultierenden der Horizontalbeschleunigungskomponenten in der Starkbewegungsphase des Erdbebenzeitverlaufs (Amplitudenwert).“

### 1.3 Vorgehensweise

Nach der geologischen und tektonischen Gliederung des Standortraumes unter Berücksichtigung der letzten Bewegungsphasen dem Standort benachbarter Störungen in **Kap. 2**, erfolgt in **Kap. 3** die Beschreibung der Seismizität innerhalb der den Standort umgebenden seismogeographischen Regionen bzw. eines Umkreises von ca. 200 km um den Standort. Die Seismizität der letzten 1200 Jahre wird in Form von Erdbebenlisten und der geographischen Verteilung der Epizentren dargestellt.

Methodisch hält sich dieses Gutachten an die in KTA 2201.1 definierten Grundsätze zur

Festlegung des Bemessungserdbebens (vgl. Pkte. 1 bis 3 im Abschnitt 1.2). Diese Vorgehensweise wird als deterministisch bezeichnet und in **Kap. 4** angewandt.

Weitere, insbesondere probabilistische Methoden zur Bestimmung des Bemessungserdbebens werden in KTA 2201 nicht gefordert, jedoch auch nicht ausgeschlossen. Probabilistische Methoden zur Berechnung der seismischen Gefährdung eines Standortes sind international gebräuchlich und werden seit den 80er Jahren auch in Deutschland angewandt (AHORNER & ROSENHAUER 1983, u.a.). Die Berechnung der Überschreitenswahrscheinlichkeiten von Intensitäten für den zu beurteilenden Standort erfolgt in **Kap. 5** nach der von CORNELL (1968) formulierten Theorie mit dem numerischen Algorithmus von McGUIRE (1976).

Die Umsetzung der in Kap. 4 und 5 bestimmten Stärke (Intensität) des Bemessungserdbebens in ingenieurseismologische Kenndaten wie Starkbewegungsdauer, standortspezifische Antwortspektren und Maximalbeschleunigungen erfolgt in den **Kap. 6** und **7** unter Berücksichtigung der lokalen geologischen Verhältnisse

KTA 2201.1 macht keine Aussagen bezüglich Art und Methode der anzuwendenden Antwortspektren. Die Bedeutung, die dem ingenieurseismologischen Parameter Maximalbeschleunigung beigemessen wird zeigt aber, daß der Regel das Konzept der Standard-Antwortspektren zugrunde liegt. Ein Standard-Antwortspektrum benötigt einen Einhängewert zu seiner Skalierung. Das absolute spektrale Amplitudenniveau wird erst durch die Skalierung über die Maximalbeschleunigung festgelegt und damit an die seismologischen Standortbedingungen angepaßt.

Im Unterschied zum Standard-Antwortspektrum werden bei den hier verwendeten Antwortspektren die am Standort zu erwartende makroseismische Intensität und die dort herrschenden Untergrundbedingungen (Untergrundklassen) dazu benutzt, die spektrale Form und gleichzeitig das spektrale Amplitudenniveau festzulegen. Diese intensitäts- und untergrundabhängigen Antwortspektren (HOSSER 1987) werden, wenn sie an den Standort angepaßt worden sind, im folgenden auch als standortspezifische Antwortspektren bezeichnet.

Die in KTA 2201.1 als Starrkörperbeschleunigung definierte Maximalbeschleunigung kann direkt aus dem für den Standort bestimmten standortspezifischen Antwortspektren (dem Bemessungs-Antwortspektrum) abgelesen werden.

In der abschließenden Beurteilung in **Kap. 8** werden die Ergebnisse dieses Gutachtens zusammengefaßt und dem Gutachten von SCHNEIDER aus dem Jahre 1994 gegenübergestellt.

#### **1.4 Begriffserläuterungen**

Fachbegriffe werden generell wie in KTA 2201 gebraucht. Davon abweichende Bedeutungen oder neue Begriffe werden explizit erläutert.

Die lokale Magnitude ML (nach C.F. RICHTER) ist ein logarithmisches Maß für die im Erdbebenherd freigesetzte seismische Wellenenergie. Die Zunahme um einen Magnitudenwert bedeutet dabei die Vergrößerung der seismischen Energie um das ca. 30-fache. Die Magnitude wird aus instrumentellen Aufzeichnungen bestimmt.

Die makroseismische Intensität I eines Erdbebens, kurz Intensität genannt, beschreibt das Ausmaß der Einwirkung seismischer Wellen und Dislokationen auf Menschen, Bauwerke und Landschaft. Eine Kurzform der 12-teiligen Makroseismischen Intensitätsskala MSK-1964 (nach Medvedev-Sponheuer-Kárník, s. SPONHEUER 1965), im folgenden kurz MSK genannt, ist in Tabelle 1.1 auf S. 100 wiedergegeben. Tabelle 1.2 auf S. 101 - 102 gibt einen Auszug aus der MSK-Skala für die Intensitäten IV bis VIII wieder. Daraus ist ersichtlich, daß ab Intensität VII beträchtliche Schäden an Gebäuden auftreten.

Das Abklingen der vom Erdbebenherd (Epizentralintensität  $I_0$ ) ausgehenden Erschütterungen mit der Entfernung läßt sich nach KÖVESLIGETHY (s. SPONHEUER 1960) durch folgende, vielfach bewährte Intensitäts-Abnahmefunktion beschreiben:

$$I = I_0 - 3 \cdot \log_{10}(R/H) - 1.3 \cdot \alpha \cdot (R - H)$$

- I = Intensität in der Entfernung R vom Hypozentrum  
I<sub>0</sub> = Epizentralintensität  
R = Entfernung in km vom makroseismisch bestimmten Hypozentrum  
H = Herdtiefe in km (mittlere Herdtiefe in Deutschland ca. 8 km)  
α = Absorptionskoeffizient (ca. 0.05 bis 0.001 [1/km])

Zur statistischen Beschreibung der Häufigkeiten des Auftretens von Beben unterschiedlicher Stärke innerhalb einer Region für einen bestimmten Zeitraum wird das von GUTENBERG und RICHTER (s. RICHTER 1958) eingeführte Verteilungsgesetz, häufig in seiner kumulativen Form, angewendet:

$$\log_{10} N_c = a - b \cdot I_0$$

N<sub>c</sub> = Zahl der Beben größer gleich der Epizentralintensität I<sub>0</sub> (kumulative Häufigkeit)

a = Aktivitätsmaß

b = proportional dem Verhältnis der Anzahl großer zu kleiner Beben

Berücksichtigt man noch den Zeitraum der Datenerhebung, so erhält man die mittlere kumulative Zahl der Beben pro Jahr oder, als reziproken Wert davon, die mittlere Wiederholungsperiode in Jahren für Beben ab einer bestimmten Intensität I<sub>0</sub> in dem untersuchten Gebiet. Die Intensitäts-Häufigkeitsbeziehung wird im deterministischen Ansatz nicht weiter verwendet, wohl aber bei der probabilistischen Berechnung.

In Deutschland können verschiedene Arten von Erdbeben auftreten, die im folgenden näher erläutert werden:

- a) tektonische Beben: durch Spannungen und Verschiebungen in der Erdkruste ausgelöster Bruchvorgang im Gestein;
- b) Einsturzbeben: Einsturz natürlich entstandener Hohlräume;

- c) Gebirgsschläge: plötzliches Zubruchgehen von Grubenbauen infolge des Unterschreitens ihrer Standfestigkeit;
- d) seismische Ereignisse in Bergbaugebieten: Reaktion des Gebirges auf den gestörten Spannungszustand durch das bergmännische Auffahren von unterirdischen Hohlräumen, ohne sichtbare Auswirkungen auf das Bergwerk; man spricht deshalb auch von Entspannungsschlägen;
- e) seismische Ereignisse in Gas/Ölfördergebieten: durch massive Förderung entsteht ein Spannungsungleichgewicht im Förderhorizont; Ausgleich erfolgt durch disruptive Verschiebungen.

Die unter c), d) und e) genannten Bebenarten werden wegen ihrer anthropogenen Ursachen als induzierte Beben bezeichnet.

Zu a): Natürliche oder tektonische Erdbeben ereignen sich in Deutschland überwiegend in der oberen Erdkruste, d. h. in Tiefen zwischen ca. 5 und 20 km. Tektonische Beben könnten sich prinzipiell an jedem Ort ereignen. Die Verteilung der Epizentren zeigt aber global und auch in Deutschland, daß Erdbeben gehäuft in bestimmten Regionen auftreten, andere Gebiete aber praktisch frei von verspürten Erdbeben bleiben.

Zu b): Einsturzbeben in Nicht-Bergbaugebieten sind mit ihrer Schadenswirkung sehr lokal begrenzt und auch die Erschütterungswirkung bleibt auf die direkte Umgebung beschränkt. Die Gebäudeschäden sind auf das Absenken der Erdoberfläche und nicht auf die Einwirkung seismischer Wellen zurückzuführen.

Zu c): Gebirgsschläge: In Bergbaugebieten können sehr große Gebirgsschläge auftreten, sofern die zum Einsturz benötigten weit ausgedehnten Hohlräume (in km<sup>2</sup> Größe) vorhanden und zusätzlich die die Deckgebirgslast tragenden Pfeiler bis über die Grenze ihrer Belastbarkeit beansprucht sind. So ereignete sich am 13. März 1989 im Kalibergbaugbiet des Werratal der weltweit größte Gebirgsschlag mit ML = 5.6 und der Intensität VIII-IX (LEYDECKER et al. 1998); 6.8 km<sup>2</sup> des Grubengebäudes gingen zu Bruch. Trotz der dabei

freigesetzten enormen Energien, die sich besonders auf den direkt über dem Bergwerk liegenden Ort Völkershäusen verheerend auswirkten, wurden bereits in ca. 6 km Entfernung keine Gebäudeschäden mehr beobachtet. Wegen der geringen Tiefe (bis ca. 1 km) des Bruchvorgangs können Gebirgsschläge in einer engen Umgebung des Epizentrums große Bauwerkschäden verursachen; ihre Wirkung nach außen klingt jedoch sehr rasch ab.

Zu d): Seismische Ereignisse in Bergbaugebieten sind an diese Gebiete gebunden. Entsprechend der maximalen Teufe deutscher Bergwerke um 1000 m sind die Herdtiefen ebenfalls sehr gering. Die makroseismische Wirkung bleibt auf die nächste Umgebung beschränkt.

Zu e): Seismische Ereignisse in Gas/Ölfördergebieten sind an die Fördergebiete gebunden. Die Förderhorizonte in Norddeutschland liegen meist in Tiefen um 3 km, maximal bis 5 km. Wegen der geringen Herdtiefe der induzierten Beben bleibt ihre makroseismische Wirkung auf die nächste Umgebung beschränkt. Schadenswirkungen sind nicht bekannt.

## 2 Geologische und tektonische Gliederung des Standortraumes<sup>3</sup>

### 2.1 Geologische Großstrukturen

Der Standort des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) befindet sich am Rande des Norddeutschen Beckens. Dieses war seit dem Perm überwiegend Senkungsgebiet, so daß sich seither über dem gefalteten Grundgebirge (Schichten des Karbons und älter) eine Gesteinsschicht von mehreren 1000 m Mächtigkeit abgelagert. Für die strukturelle Ausgestaltung waren die in großen Teilen des Beckens über 1000 m mächtigen Salzlager des Perm prägend. Die ursprüngliche Schichtmächtigkeit des Zechsteins im Bereich des ERAM dürfte ca. 500 m bis 700 m betragen haben. Infolge instabiler Dichteschichtung und tektonischer Anstöße haben sich seit der Trias Salzkissen und Salzstrukturen gebildet (JARITZ 1992).

Die nach der unterschiedlichen Entwicklungsgeschichte hinsichtlich Hebung, Senkung und tektonischer Beanspruchung vorgenommene Großgliederung des Norddeutschen Beckens führt aus tektonischer Sicht zu einer Zweiteilung in Pompeckj-Scholle und Niedersächsische-Scholle (vgl. Abb. 2.1) (u.a. JARITZ 1973; BOIGK 1981; BALDSCHUHN & KOKKEL 1994; BALDSCHUHN et al. 1996 b). Die Niedersächsische Scholle, in deren östlichem Randbereich der Standort des ERAM liegt, ist eine weitgehend durch Lineamente begrenzte Inversionsstruktur, die durch grabenartige Senkungen im höheren Jura und in der Unterkreide sowie durch mit Aufschiebungen verbundene Hebungen in der mittleren Oberkreide gekennzeichnet ist.

Die Südgrenze der Niedersächsischen Scholle ist das Osning-Lineament (vgl. Abb. 2.1). Die etwa parallel zum südlichen Rand des Teutoburger Waldes verlaufende Osning-Überschiebung trennt die Niedersächsische-Scholle von der Münsterland-Scholle im Süden. Die Niedersächsische-Scholle ist hier gegen die Münsterland-Scholle aufgeschoben.

---

<sup>3</sup> Abschnitt 2.3 bis 2.6 von BEST, G. & STORK, G.H.

## 2.2 Großräumige Bruchstrukturen

Von überregionaler Bedeutung sind große Störungszonen (Lineamente) im prä-mesozoischen Sockel. Ihre Orientierung ist abhängig von der zur Zeit ihrer Entstehung vorherrschenden Hauptspannungsrichtung. Bei den Bruchstrukturen im Norddeutschen Becken sind drei Richtungen vorherrschend, WNW-ESE (hetzynisch), NNE-SSW (rheinisch) und NNW-SSE (eggisch). Dagegen tritt die NE-SW Richtung (erzgebirgisch), die dem Streichen des varistischen Faltenbaus im Untergrund entspricht, kaum in Erscheinung.

Die triassischen Riftsysteme auf der Pompeckj-Scholle stehen nicht in Zusammenhang mit dem tertiären Riftsystem des Oberrhein-Grabens oder der Niederrheinischen Bucht, obgleich dieses ebenfalls, zumindest in Teilen, eine NNE-SSW Richtung aufweist. Ein genetischer Zusammenhang zwischen der rezenten großräumigen Hauptspannungsrichtung NW-SE (AHORNER 1975, 1982; MÜLLER et al. 1992) und den NNE-SSW verlaufenden Störungen kann daher für die alten Störungen nicht gesehen werden. Erkennbare Störungen im Oberbau sind häufig an den Verlauf der Salzstöcke gebunden. Meist handelt es sich um unbedeutende Abschiebungen, Gräben oder Halbgräben. Beachtung verdienen jedoch die alten NNE-SSW streichenden Störungen im Sockel unter dem Gesichtspunkt einer möglichen Reaktivierung im heutigen Spannungsfeld.

Rezente tektonische Aktivitäten der großräumigen Bruchstrukturen sind wie z.B. im Oberrheingraben deutlich an Hand der Epizentrenverteilung zu erkennen. In Norddeutschland im Bereich der unterschiedlich streichenden Rifts und Lineamente (Allertallinie, Leer - Bremen-, Rheder Moor - Oythe-, Goldenstedt - Blenhorst- und Ems-Lineament, Braunschweig-Gifhorn-Bruchzone oder Glückstadt-Graben) sind dagegen in den letzten 1200 Jahren keinerlei seismische Aktivitäten beobachtet worden (s. Abb. 3.1).

## 2.3 Regionale Strukturgeologie

Der Standort des ERAM liegt in der Subherzynen Senke, einem Teil der Niedersächsischen-Scholle des Norddeutschen Beckens.

Die Niedersächsische Scholle weist im Vergleich zur Pompeckj-Scholle in Malm und Un-

terkreide erhöhte Sedimentmächtigkeiten auf und zeichnet sich damit in dieser Zeit als Senkungsgebiet aus. Charakteristisch sind grabenartige Senkungen, die von Hebungen abgelöst werden, die mit Auf- und Überschiebungen in der mittleren Oberkreide verbunden sind (Inversionstektonik). Auf der Niedersächsischen-Scholle sind zwei Richtungen großer Störungszonen vorherrschend, WNW-ESE bis NW-SE (herzynisch) und NNE-SSW (rheinisch). Die NE-SW Richtung (erzgebirgisch), die dem Streichen des Faltenbaus im Untergrund entspricht, tritt kaum in Erscheinung. Die herzynisch streichenden Störungszonen beherrschen weite Teile der Niedersächsischen-Scholle. Einige von ihnen, z.B. die Allertalzone, waren bereits im Buntsandstein aktiv. Die meisten dieser Störungszonen sind jedoch jünger. Nach einer durch Extension verursachten Absenkungen der Beckenschollen im Malm und der Unterkreide kam es in der mittleren Oberkreide an den Störungszonen zu Aufschiebungen. Fast alle Störungszonen kamen innerhalb der Oberkreide zur Ruhe und wurden später nicht mehr aktiv.

In der späten Oberkreide und im Tertiär setzten großräumige Hebungen der Niedersächsischen-Scholle ein, die zu einer Abtragung des Deckgebirges führten. Im Bereich des ERAM wurden dabei die Schichten flächenhaft bis in das Niveau des Jura und der Trias abgetragen.

Das Gebiet zwischen Harz-Scholle und Flechtingen-Rosslauer Scholle wird als Subherzynische Senke bezeichnet. Sie wird durch die NNE-SSW streichende Braunschweig-Gifhorn-Störungszone mit ihren Salzstrukturen im Westen begrenzt (Abb. 2.2). In der Subherzynischen Senke fällt der subsalinare Untergrund von Geländehöhe entlang des Flechtinger Höhenzuges bis auf über 3000 m Tiefe vor dem Harznordrand ab.

In der Subherzynischen Senke selbst spielen NNE-SSW streichende Störungen keine Rolle. Bei den herzynisch streichenden Strukturelementen wechseln relativ breite Sättel und Mulden mit schmalen Salzstrukturen und Gräben. Die Allertalzone ist die beherrschende Störungszone in der Subherzynischen Senke.

## 2.4 Tektonik des Nahbereiches

Die tektonische Gliederung im Bereich des ERAM ist in Abb. 2.2 dargestellt.

Die Allertalzone erstreckt sich von Wolfsburg im Nordwesten bis etwa Seehausen im Südosten über eine Länge von etwa 50 km. Im Gebiet des ERAM wird die Allertalzone, an der mehrfach in der Erdgeschichte Bewegungen stattgefunden haben, auch Allergraben genannt, da zwischen der Nordost-Randstörung und der Westrandstörung jüngere Schichten über der Salzstruktur erhalten geblieben sind. Südlich von Morsleben spalten sich zwei weitere Störungszonen ab. Die Ummendorfer Störung liegt in Verlängerung der Südwest-Randstörung, während die Hauptgrabenstörung und der Uhrslebener Graben sich bogenförmig von der Nordost-Randstörung nach Südosten abspalten. Zwischen der Weferlinger Triasplatte und dem Zentrum der Lappwald-Scholle besteht im Subsalinar ein Teufenunterschied von rund 600 m.

Nordöstlich an die Allertalzone grenzt die Weferlinger Triasplatte mit einer Breite von ca. 8 km bis zum Flechtinger Höhenzug (Teil der Flechtingen-Rosslauer-Scholle). Am Flechtinger Höhenzug treten die Schichten des präsalinaren Untergrundes (Rotliegendes und gefaltetes Karbon) zu Tage. Die Nordost-Begrenzung der Flechtingen-Rosslauer-Scholle zur Scholle von Calvörde mit wieder vollständigem postsalinarem Deckgebirge wird von dem Haldenslebener Abbruch gebildet. Dieser hat in der mittleren Oberkreide seine letzte große Aktivitätsphase erlebt. Wie durch die Auswertung des DEKORP-Profiles BASIN '96 (DEKORP-BASIN Research Group, 1999) bekannt wurde, haben Nachbewegungen geringen Ausmaßes im Tertiär und im Zeitraum Jungtertiär/Altpleistozän stattgefunden.

Ähnlich hat sich die Harz-Nordrand-Störung, das für das gesamte System namensgebende Lineament, verhalten. Auch sie war besonders in der mittleren Oberkreide aktiv, im Jungtertiär und im Altpleistozän fand jedoch eine erneute stärkere Heraushebung des Harzes statt.

Die Allertal-Salzstruktur (Abb. 2.3) wird im Gebiet des ERAM im Südwesten von der Südwest-Randstörung begrenzt, die die Triasgesteine der Lappwald-Scholle vom Salzkör-

per trennt. Sie taucht nach unten ins Zechsteinsalinar unter die Lappwaldmulde ab. Entlang der Südwest-Randstörung sind jüngere Gesteine, die gegenwärtig nicht mehr im normalen stratigraphischen Verband vorkommen, durch jüngere Subrosions- und Abgleitvorgänge erhalten geblieben. So werden hier Dogger, Malm und Oberkreide angetroffen. Diese Gesteine stammen von ursprünglich weiter verbreiteten Vorkommen, die vermutlich an der Wende Kreide/Tertiär und im Jungtertiär abgetragen wurden. Sie lagern als Versturz- und Abgleitmassen direkt der Salzstruktur im Westen auf, wobei es zu stratigraphischen Umstapelungen gekommen ist.

Die Nordost-Randstörung stellt als Gegenstück die Begrenzung zur Weferlinger Triasplatte dar, von der sich die heutige Tiefscholle (Lappwald-Scholle) in der Trias ablöste. Diese Trennfläche stellt die später modifizierte ursprüngliche Abschiebungsbahn dar, an der sich im Keuper die Allertalspalte öffnete und durch Abgleitvorgänge die Bildung einer Salzstruktur ermöglichte. Sowohl Südwest-Randstörung als auch Nordost-Randstörung werden von einer kompliziert gebauten Übergangszone begleitet.

Im zentralen Teil der Struktur ragt das Hutgestein z.T. bis dicht unter die Oberfläche, überwiegend bedeckt von tertiären und quartären Bildungen (Abb. 2.3).

Im östlichen Teil des Allergrabens wird die Salzstruktur von Keuper (Gipskeuper im Süden, Steinmergelkeuper im Norden) bedeckt. Diese Bedeckung stellt die Reste der ersten Sedimentation auf der initialen Salzstruktur im Keuper dar. An der Nordost-Randstörung knicken die auf der Weferlinger Triasplatte flach gelagerten triassischen Schichten mit ca. 45° Einfallen nach Südwesten zum Allergraben hin ab. Stellenweise sind Gesteine des Muschelkalk mit in die Störungszone einbezogen.

Im Untergrund der Salzstruktur sind Sockelstörungen von 50 m - 150 m Versatz vorhanden, an denen der präsalinare Sockel von rund 500 m unter NN im Nordosten auf 700 m unter NN im Südwesten stufenweise abfällt. Diese Störungen sind durch triaszeitliche Dehnungstektonik angelegt und vermutlich in der Oberkreide durch Einengungsvorgänge reaktiviert worden.

### Strukturen im Liegenden des Zechsteinsalinars

Die Zechsteinbasis liegt im Bereich des Allergrabens konkordant, jedoch mit einer Schichtlücke, dem Oberrotliegend auf. Nach verschiedenen Bohrungen wird das unmittelbare Liegende von den feinklastischen Sandsteinschiefern der Eisleben-Schichten gebildet, die in mehr oder weniger konstanter Mächtigkeit den Zechstein unterlagern. Diese Subparallelität der Rotliegend-Reflektoren ermöglichte eine Betrachtung der Lagerungsverhältnisse anhand der reflexionsseismischen Profile.

Die strukturelle Analyse der Sockelstrukturen führte zu folgenden Beobachtungen:

- Die an der Zechsteinbasis festgestellten Versätze setzen sich als gleichsinnige und gleich große Versätze in den Rotliegend-Schichten fort.
- Aus der Geometrie der Störungen folgt, daß sowohl relative Ab- als auch relative Aufschiebungen auftreten.
- Das Störungsmuster ist weitgehend entkoppelt vom postsalinaren Oberbau. Der Puffer ist die mobile Salzschiefer des Zechsteinsalinars.
- Die einzelnen Störungen lösen sich fiederförmig ab, soweit dies mit Hilfe von 2-D-Seismik feststellbar ist.

Als Ergebnis der Strukturbetrachtung des Präsalinars ist festzustellen:

Das sich in den seismischen Schnitten und im Strukturplan der Zechsteinbasis abzeichnende Störungsmuster weist auf einen kompressiven Beanspruchungsplan hin, der bei der oberkretazischen Inversionstektonik entstanden sein dürfte und zu linkslateralen Bewegungen führte.

### **2.5 Neotektonik**

Die neotektonische Entwicklung Norddeutschlands erlebte im späten Tertiär und im frühen Quartär eine Beschleunigung. Nach Unterlagen des Nordseeatlas (KOCKEL 1995) fand eine Einsenkung des zentralen Nordseebereiches von über 1000 m ab dem späteren Tertiär (Mittelmiozän) statt. Dies hatte eine Heraushebung der Beckenränder (Süddeutschland, Ostsee, Dänemark, England) in gleicher Größenordnung zur Folge.

Vermutlich erst nach dem mittelmiozänen Meeresvorstoß, dessen Relikte auch noch im Allertal zu finden sind, überwog die Hebung gegenüber der Abtragung, so daß die heutige oligozäne Basisfläche, die als Maß für die seitdem stattgefundene Verstellung genommen werden darf, in verschiedenen Höhenlagen bis zu 140 m über NN anzutreffen ist. Es zeigt sich, daß sowohl die Schollenteilung des Untergrundes als auch die Salzbewegungen modifizierend auf die heutige Höhenlage der oligozänen Basisfläche eingewirkt haben.

Im Quartär wurde die heutige Morphologie herausgearbeitet, wobei es im Allertal durch verstärkte Ausräumung und weitergehende Subrosion zu Quartärmächtigkeiten bis 95 m gekommen ist.

Aus Feinnivellements für die bergmännische Überwachung des Grubengebäudes und seiner weiteren Umgebung ermittelte rezente Bewegungen belegen ein uneinheitliches Bild von Senkungen und Hebungen und liefern keine belastbaren Aussagen zu rezenten geologisch bedingten Senkungserscheinungen im Bereich der Allertalzone.

## **2.6 Schlußfolgerung**

Die Ergebnisse der reflexionsseismischen Messungen im Gebiet Morsleben, die DEKORP-Messungen BASIN '96 und die detaillierten Strukturuntersuchungen haben die Bewegungsgeschichte des Standortes und seines weiteren Umfeldes aufgedeckt. Dabei ist deutlich geworden, daß die tiefreichenden Störungszonen ihre letzte große Aktivitätsphase in der mittleren Oberkreide erlebt hatten. Nachbewegungen geringeren Ausmaßes haben im Tertiär und im Jungtertiär/Altpleistozän stattgefunden.

Die dem Standort nächstliegende (ca. 17 km entfernt) und bedeutendste Störungszone ist der Haldenslebener Abbruch. Er reicht bis tief in den Sockel und taucht in Richtung Harz unter die Allertalzone und damit auch unter die Salzstruktur mit dem ERAM ab. Seine letzte große Aktivitätsphase erlebte der Haldenslebener Abbruch ebenfalls in der mittleren Oberkreide. An der Erdoberfläche sind präglaziale Sedimente mit einem Alter von ca. 0.5 oder 2 Mio Jahren um einige Zehner Meter verstellt. Hierbei handelt es sich um langandauernde differentielle Vertikalbewegungen an Schollenrändern. Aufgrund des großen Zeit-

raums und der geringen Verstellungen sind die mittleren Bewegungsraten sehr gering und ein weitgehend bruchloser Ausgleich ist wahrscheinlich.

Obwohl aus der Historie als seismologisch unauffällig überliefert, erscheint der sich tief in die Erdkruste fortsetzende Haldenslebener Abbruch als die einzige bedeutende Störung im näheren Umfeld des ERAM, die als Ort eines künftigen Erdbebens angesehen werden kann. Andererseits streicht an der Erdoberfläche der überwiegende Teil dieser Störung NW-SE und ist damit parallel zur derzeitigen großräumigen Hauptspannungsrichtung Mitteleuropas (MÜLLER et al. 1992), was bruchmechanisch gegen eine Reaktivierung spricht. Lediglich kleinere Elemente der Störung stehen in einem „günstigeren“ Winkel, so daß allenfalls Beben kleinerer Herdfläche und damit moderater Magnitude möglich erscheinen.

Die von JUBITZ et al. (1991) angenommene und von SCHNEIDER (1994) in seinem seismologischen Gutachten verwendete NNE verlaufende Störungen von Querenhorst und Steinberghorst sind nach den neuesten reflexionsseismischen Untersuchungen lediglich kleinräumige Störungen im Deckgebirge und setzen sich nicht im Grundgebirge fort. Als Herd eines künftigen moderaten Erdbebens sind sie demnach ungeeignet.

### 3 Beschreibung der Seismizität

#### 3.1 Seismologische Datenbasis

Grundlage zur Beschreibung der Seismizität der nahen und weiteren Umgebung des Standortes ist die neueste Version des Erdbebenkataloges von LEYDECKER (1998) für den Zeitraum 800 bis 1993. Die Vollständigkeit eines Erdbebenkatalogs ist zeitabhängig, d.h. je weiter man in die Vergangenheit zurückgeht, um so lückenhafter werden die Überlieferungen und um so höher wird die noch vollständig erfaßte untere Intensitätsschwelle. Durch die verstärkte Neuinstallation von Seismometerstationen in den vergangenen 25 Jahren ist die Erfäßbarkeit kleinerer Beben ständig verbessert worden. Für die letzten ca. 15 Jahre dürften Beben ab einer Magnitude von  $M_L = 2.0$  nahezu vollständig erfaßt sein, sowie alle makroseismisch verspürten Beben. Die Epizentrenkarte in Abb. 3.1 zeigt die geographische Verteilung aller dieser Beben. In Abb. 3.2 sind nur die Beben ab Intensität VI-VII, ab der erste Bauwerkschäden einsetzen, dargestellt.

Die Angaben über historische Beben im deutschen Erdbebenkatalog basieren auf Dokumenten verschiedenster Art. Die Interpretation und seismologische Umsetzung der beschriebenen Erdbebenwirkungen in numerische Erdbebenparameter wie z.B. Epizentrumskordinaten und Intensität erfordert ein großes Maß an Erfahrung im Umgang mit historischen Quellen und der makroseismischen Bewertung der darin beschriebenen Ereignisse.

Trotz des Bemühens um Objektivität verbleibt häufig wegen der gegebenen Quellenlage ein Ermessensspielraum, in dem nur eine individuell gewichtete Festlegung von Bebenparametern erfolgen kann. Das Auffinden bisher unbekannter Dokumente kann für einzelne seismische Ereignisse deren Neubewertung mit einer möglichen Revision der bisher angenommenen Werte bis hin zu einer Streichung des Ereignisses erforderlich machen.

Ein Erdbebenkatalog ist keine abgeschlossene, statische Datensammlung, sondern muß, entsprechend den jeweils verfügbaren Quellen, den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und deren sorgfältiger Wertung stetig überprüft, wenn nötig abgeändert und weiter-

entwickelt werden.

Die Änderungen im deutschen Erdbebenkatalog sind dokumentiert, die Gründe sind entweder direkt aufgeführt oder durch öffentlich zugängliche Publikationen belegt, so daß eine Überprüfung jederzeit möglich ist.

Der deutsche Erdbebenkatalog hat gegenüber seiner erstmaligen Publikation im Jahre 1986 (LEYDECKER 1986; Vorbericht LEYDECKER & HARJES 1978) folgende Änderungen erfahren:

- Beginn ab dem Jahr 800, gegenüber dem Jahr 1000 wie zuvor;
- Überarbeitung und Einarbeitung des Erdbebenkatalogs der DDR (GRÜNTHAL 1988);
- Abgleich mit Katalogen aus angrenzenden Ländern;
- Neu- und Nachbearbeitung historischer Quellen;
- Änderungen von Parametern bereits aufgenommener Beben;
- Aufnahme neuer Beben und Streichen irrtümlich angenommener Beben;
- Aktualisierung bis einschließlich 1993 für Beben ab Magnitude 2.0 durch Einarbeitung der Berichte über die jährliche Erdbeben­tätigkeit in Deutschland ab dem Jahre 1974 (HENGER & LEYDECKER 1987 ff.);
- Aktualisierung der Schadenbeben bis einschließlich 1998.

### **3.2 Erdbebengeographische Regionalisierung**

Die Epizentrenkarten in Abb. 3.1 und 3.2 zeigen, daß es in Deutschland Gebiete unterschiedlichster seismischer Aktivitäten gibt. Für die (damalige) Bundesrepublik Deutschland wurde erstmals im Jahr 1970 eine erdbebengeographische Einteilung von AHORNER et al. (1970) durchgeführt.

Die neue und detailliertere erdbebengeographische Einteilung der Bundesrepublik Deutschland (Abb. 3.3) ist jüngst abgeschlossen worden (LEYDECKER & AICHELE

1998). Diese Regionalisierung wurde mehrfach in der „Arbeitsgruppe Seismologische Auswertung“, einem Zusammenschluß der verantwortlichen Seismologen aller deutschen seismologischen Observatorien, erörtert und einvernehmlich akzeptiert. Die Einteilung wird im Auftrag der IASPEI (International Association of Seismology and Physics of the Earths Interior) weltweit durchgeführt, um die rechnerische Zuordnung georteter Erdbeben zu einer Region und damit die verbale Beschreibung eines Epizentrums zu ermöglichen.

Die Regionalisierung ist wegen der Berücksichtigung von Geologie, Tektonik und Erdbeben-tätigkeit auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland grundsätzlich für eine seismi-sche Gefährdungsanalyse verwendbar. Abb. 3.3 zeigt die neue erdbebengeographische Ein-teilung mit den Namen der Regionen, Abb. 3.4 die Epizentrenkarte mit allen Beben zu-sammen mit den Regionen und Abb. 3.5 die Epizentrenkarte der Schadenbeben und die Regionen.

### **3.2.1 Die Seismotektonische Region des Standortes Morsleben**

Nach der neuen erdbebengeographischen Einteilung liegt der zu beurteilende Standort in der Region Altmark (engl. Altmark). Die Berandung dieser Region ist durch folgende Ele-mente (Abb. 3.3 und Abb. 2.1) definiert (Aufzählung im Uhrzeigersinn):

nördlicher und östlicher Rand: Abgrenzung zur Region Nordost-Deutschland (engl. North-eastern Germany), einem Gebiet großer tektonischer Ruhe ohne größere Sockelstö-rungen und ohne Salzstöcke;

südöstlicher Rand: Abgrenzung zur Region Zentral – Sachsen (engl. Central Saxony)

südwestlicher Rand: Abgrenzung zur Region Harz (engl. Harz Area); Elm-Scholle nördlich des Harz-Nordrand-Lineaments

westlicher Rand: Abgrenzung zu den Regionen Südliches Niedersachsen (engl. Southern Lower Saxony) und Nördliches Niedersachsen und Holstein (engl. Northern Lower Saxony and Holstein); Braunschweig - Gifhornzone, nördlich gefolgt von der S-N streichende Rosenthal-Gülden-Braudel-Peckensen Störzone.

Wie in Abb. 3.4 zu erkennen ist, treten in der Altmark alle Beben südlich einer Linie auf,

die etwa mit dem Verlauf des Elbe-Lineaments zusammenfällt. Das Elbe-Lineament trennt die Altmark in eine Südaltsmark- und eine Nordaltsmark-Scholle (BALDSCHUHN et al. 1996a). Im folgenden wird das Gebiet südlich der in Abb. 3.4 gestrichelt eingezeichneten Linie als eigene seismotektonische Region Südliche Altmark behandelt, in der auch der Standort Morsleben liegt. Die Region Südliche Altmark wird damit durch altangelegte Bruchstrukturen und durch geologisch und morphologisch unterscheidbare Elemente begrenzt.

### **3.3 Die Seismizität der den Standort umgebenden Regionen**

Im folgenden werden die Region Südliche Altmark mit dem Standort des Endlagers Morsleben, direkt benachbarte sowie weiter entfernte aber seismisch aktivere Regionen betrachtet. Der von ihnen ausgehende Einfluß auf den Standort wird abgeschätzt. Zusätzlich wird die Beben-tätigkeit im Umkreis von ca. 200 km und ihre Auswirkung auf den Standort untersucht. Erläuterungen zu den Erdbebenlisten der Tabellen 3.2 - 3.12 (S. 107 - 119) können Tab. 3.1 (S. 103 - 106) entnommen werden.

Da in Norddeutschland intensiv Erdöl und Erdgas gefördert werden, treten hierbei auch sogenannte induzierte Beben auf. Der Nachweis über einen Zusammenhang mit der Gewinnung von Kohlenwasserstoffen kann ohne seismologische Messungen direkt im Fördergebiet nur indirekt geführt werden. So ist z.B. beim Beben vom 9. Okt. 1993 bei Pennigsehl (LEYDECKER 1998 a) zur Erklärung für die dabei beobachteten Phänomene ein solcher Zusammenhang höchst wahrscheinlich.

Die Region **Nordost-Deutschland** (engl. Northeastern Germany) weist eine derart geringe Seismizität auf, daß sie ohne Einfluß auf den Standort ist und deshalb nicht gesondert betrachtet wird.

#### **3.3.1 Seismizität der Region Südliche Altmark**

Der Standort Morsleben liegt in der in Abschnitt 3.2 definierten seismotektonischen Region Südliche Altmark, einem Teilgebiet der seismogeographischen Einheit Altmark (engl. Altmark). Das früher ganz Norddeutschland dominierende Beben war das angebliche Erdbeben

von 1410 in der Prignitz zwischen Wittstock und Havelberg am östlichen Rand der Altmark. GRÜNTAL & MEIER (1996) sichtet und interpretierten die historischen Quellen neu und kamen dabei zu folgenden Aussagen:

- Das Beben vom 23. August 1410 hat tatsächlich ein Jahr zuvor am 24. August 1409 stattgefunden.
- Das Epizentrum lag nicht in der Prignitz sondern ca. 110 km SSW in der Gegend von Magdeburg und damit in der Region Südliche Altmark.
- Es war kein Schadenbeben mit Epizentralintensität  $I_0 = VII$  sondern hatte höchstens  $I_0 = VI$ .

Damit entfällt das Prignitz Beben von 1410 als herausragendes Ereignis für Norddeutschland und damit auch für den Standort.

Die geringe Seismizität der Altmark wird auch durch hochempfindliche Messungen bestätigt. So wurden parallel zur Erkundung des Salzstockes bei Gorleben als Endlager für radioaktive Stoffe im Jahr 1984 sechs seismische Stationen installiert. Das Stationsnetz besteht aus fünf Vertikalseismometern, die in einem Fünfeck mit 20 km Durchmesser angeordnet sind und einem 3-Komponenten Seismometer in dessen Zentrum. Zum Erreichen einer hohen Empfindlichkeit sind alle Seismometer in 300 m Tiefe in Bohrungen installiert. Seit Inbetriebnahme des Netzes im Jahre 1986 wurden aus dem 100 km Umkreis lediglich energiewache Beben mit einer maximalen Magnitude von  $ML = 2.6$  aus dem Raum westlich von Salzwedel beobachtet. Sie entstammen einem eng begrenzten Gebiet mit massiver Erdgasförderung und sind deshalb als induziert anzusehen. Ein weiterer Hinweis hierzu ergibt sich daraus, daß die ohnehin geringe Bebenaktivität nach dem Zurückfahren der Fördertätigkeit seit 1993 auf etwa ein Beben jährlich abgenommen hat.

Somit läßt sich feststellen, daß aufgrund historischer Überlieferungen und instrumenteller Beobachtungen die Altmark als ein erdbebenarmes Gebiet anzusehen ist (s. Tab. 3.2, S. 107), mit insgesamt lediglich neun tektonischen Beben. Als maximale Intensität trat  $I_0 = VI$  bei zwei Beben in den Jahren 997 und 1409 auf.

Nach KTA 2201.1 (s. Abschnitt 1.2) kommen diesen Beben der Standortregion bei der deterministischen Bestimmung des Bemessungserdbebens (s. Abschnitt 4.3) besondere Bedeutung zu.

### **3.3.2 Seismizität der Region Zentral-Sachsen**

In dieser Region (engl. Central Saxony, s. Abb. 3.3) gibt es mehrere Häufungspunkte von Erdbeben (Tab. 3.3, S. 108). Die beiden wichtigsten sind:

- Leipziger Bucht: stärkstes Beben 1711 mit  $I_0 = VI - VII$ ;
- Nord-Sachsen: stärkste Beben 827 und 1088 mit  $I_0 = VII - VIII$ ;

Man kann davon ausgehen, daß sich auch in Zukunft die Hauptbeben-tätigkeit auf diese Gebiete konzentrieren wird. Für eine Schadenswirkung am Standort sind alle diese Beben zu weit entfernt, sie wurden hier höchstens nur noch unwesentlich verspürt.

In Tabelle 3.3, S. 108 sind nur Beben ab Intensität V aufgeführt, da die Vielzahl schwacher Beben im südlichen Sachsen für den Standort ohne Bedeutung sind.

### **3.3.3 Seismizität der Region Vogtland**

Die Region Vogtland (engl. Vogtland Region) ist die am weitesten entfernte Region mit einem gewissen Einfluß auf den Standort. Es gibt darin zwei Schwerpunkte der Erdbebenaktivität.

Im nördlichen Teil die Gegend um Jena und Gera:

Bereits aus dem 14. Jahrhundert sind zwei starke Beben mit Intensität VIII und VII-VIII aus der Gegend um Gera bekannt. Am 6. März 1872 ereignete sich bei Posterstein das große mitteldeutsche Erdbeben mit der Intensität VII-VIII.

Im südöstlichen Teil im Städteviereck Plauen-Klingenthal-Cheb (Eger)-Hof:

Dort liegt das vogtländische Schwarmbebengebiet, in dem nach einer Periode relativer seismischer Ruhe (im Mittel 50 Jahre) dann in sehr kurzer Zeit (2-3 Monate) sehr viele Be-

ben auftreten. So ereigneten sich beim letzten Schwarm in der Zeit Dez. 1985 - Feb. 1986 mehr als 8000 Erdbeben; die überwiegende Zahl der Beben hatte jedoch eine Magnitude ML wesentlich kleiner 2.0. Aber auch Schadenbeben mit bisher maximal beobachteter Intensität VII treten auf.

Wegen der Vielzahl der Beben sind in Tab. 3.10, S. 115 - 117 nur die Beben ab Intensität V enthalten. Die Beben in dieser Region sind allerdings zu weit vom Standort Morsleben entfernt, um hier noch Schäden verursachen zu können.

### **3.3.4 Seismizität der Region Zentral-Thüringen**

Das stärkste Beben in dieser Region (engl. Central Thuringia) ereignete sich im Jahre 1847 und hatte die Intensität VI (Tab. 3.4, S. 109). Die Aktivität ist konzentriert auf den Bereich Jena und Stadroda. Die Auswirkungen auf den Standort sind vernachlässigbar.

### **3.3.5 Seismizität der Region Harz**

Die Region Harz (engl. Harz Area) weist insgesamt eine sehr geringe Seismizität auf (Tab. 3.5, S. 110). Das früheste überlieferte Beben geschah im Jahre 1894 im östlichen Harzvorland in Eisleben und gehört zu einer Reihe von Erderschütterungen, die durch den Einsturz unterirdischer Hohlräume im Salzgestein ausgelöst wurden. Die Hohlräume entstanden mittelbar auf Grund der Wasserhaltung im Mansfelder Kupferschiefer-Bergbau.

Das verbleibende und als tektonisch anzusprechende seismische Ereignis aus dem Jahre 1908 liegt mit seiner Intensität von III weit unterhalb einer Gefährdungsschwelle. Man muß Beben dieser Stärke zur normalen Grundaktivität zählen, die immer und überall auftreten können. Die Harzrandverwerfungen sind während der vergangenen 1200 Jahre seismisch nicht aktiv gewesen. Es liegen keine überlieferten Beobachtungen vor, die eine seismologische Quantifizierung erlauben.

### **3.3.6 Seismizität der Region Bergbauggebiet Süd-Harz**

Aus diesem Gebiet (engl. Southern Harz Mining District) mit den großflächigen Salzbergwerken in ausgedehnten Salzlagerstätten sind nur bergbaubedingte seismische Ereignisse

bekannt (Tab. 3.6, S. 110). Auch hier gilt, daß wegen der bei Gebirgsschlägen nach außen sehr schnell abnehmenden Schadenswirkung für den weit entfernten Standort Morsleben von dieser Region keine makroseismisch relevante Wirkung ausgeht.

### **3.3.7 Seismizität der Region Hessische Senke**

Das stärkste Beben (Tab. 3.7, S. 111 - 112) in dieser Region (engl. Hessian Depression) ereignete sich 1767 bei Rotenburg/Fulda. Es hatte eine Epizentralintensität von VI-VII und einen Schütteradius von 70 km. AHORNER et al. (1970) bezeichnen es als natürliches Einsturzbeben infolge Subrosion der dortigen Salzlager. Auf Grund der weiten Verspürbarkeit und wegen jüngerer tektonischer Beben in der näheren Umgebung interpretieren LEYDECKER et al. (1998) dieses als tektonisches Beben. Die dortige Aktivität ist jedoch zu weit vom Standort entfernt. Aus dem nördlichen Bereich sind keine Beben bekannt.

### **3.3.8 Seismizität der Region Südliches Niedersachsen**

In dieser Region (engl. Southern Lower Saxony) haben sich, wie Tabelle 3.8, S. 113 ausweist, in den Jahren 1991 bis 1993 drei kleinere Beben ereignet, die wegen ihrer Nähe zu Gasfördergebieten und ihrer Verspürbarkeit trotz kleiner Magnituden als induzierte Beben in geringer Tiefe (2-3 km) angenommen werden. In historischen Überlieferungen finden sich zwar hin und wieder Berichte über schwach verspürte Beben z.B. aus dem Raum Hannover, die vereinzelt Schilderungen gestatten jedoch keine Bestimmung eines Epizentrums.

Die Region Südliches Niedersachsen besitzt eine sehr geringe und für die Sicherheit des Standortes zu vernachlässigende Seismizität.

### **3.3.9 Seismizität der Region Nördliches Niedersachsen und Holstein**

In dieser weit ausgedehnten Region (engl. Lower Saxony and Holstein) mit nur sehr wenigen Erdbeben (Tab. 3.9, S. 114) ist dasjenige aus dem Jahre 1977 bei Soltau ( $I_0 = V 1/2$ ,  $ML = 4.0$ ) das einzige, dessen tektonische Ursache eindeutig nachgewiesen werden konnte (LEYDECKER et al. 1980).

### Das Erdbeben von Lüneburg aus dem Jahre 1323

Als stärkstes Ereignis in der Region Nördliches Niedersachsen und Holstein wurde lange Zeit das Beben von Lüneburg aus dem Jahre 1323 angesehen. In früheren Arbeiten, die auf Angaben von SIEBERG (1940) beruhten, wie z.B. AHORNER et al. (1970), wurde es mit einer Epizentralintensität von  $I_0 = VII$  MSK belegt. STEINWACHS (1983) konnte jedoch durch umfangreiche Quellenstudien nachweisen, daß es sich bei dem Text im Erdbebenkatalog von SIEBERG (1940) um die Fehlinterpretation einer Eintragung in der handgeschriebenen Erdbebenchronik von LERSCH (1897) handelte und sprach dem Beben die Intensität VI MSK zu.

Nach neueren Überlegungen von LEYDECKER & KOPERA (1998 a) kann das Beben von 1323 bei Lüneburg, sofern es sich überhaupt um ein tektonisches Beben und nicht um ein Einsturzbeben oder um einen Erdfall handelte, nur mit einer Intensität zwischen  $I_0 = IV$  bis maximal VI MSK eingeordnet werden. Im Hinblick auf die Quellenlage erschien es deshalb folgerichtig, die Intensität auf  $I_0 = V \pm 1.0$  Grad MSK zu reduzieren und im deutschen Erdbebenkatalog dieses Ereignis als „zweifelhaftes Ereignis“ zu kennzeichnen.

### Das Erdbeben von Soltau am 2. Juni 1977

Bei dem eindeutig als tektonisches Beben identifizierten Ereignis von Soltau am 2. Juni 1977 (LEYDECKER et al. 1980), dessen Epizentralintensität mit  $I_0 = V \frac{1}{2}$  MSK im Erdbebenkatalog angegeben wird, ist zu beachten, daß die makroseismischen Beobachtungen den Stärkegrad V der MSK-Skala nicht überschritten haben. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß der Epizentralbereich wegen der großräumigen Truppenübungsplätze nur dünn mit Bauernhöfen besiedelt ist und deshalb mit nur wenigen Meldungen belegt ist. Die Einpassung der Isoseistenradien in Abklingkurven nach SPONHEUER (1960) (s. Abschnitt 1.3) haben zu einer theoretischen Epizentralintensität um  $I_0 = V \frac{1}{2}$  geführt, die auch in den deutschen Erdbebenkatalog übernommen wurde.

### Weitere Beben

Alle Beben in Hamburg sind makroseismisch nur sehr kleinräumig verspürt worden und auf den Einsturz von oberflächennahen Teilen des Gipshutes über abgelaugten Salzstöcken zurückzuführen.

Die energiewachen Beben im westlichen Teil der Region Nördliches Niedersachsen und Holstein können als induzierte Beben bezeichnet werden; ein Zusammenhang mit der Gewinnung von Kohlenwasserstoffen ist stark zu vermuten.

Alle Beben aus der Region Nördliches Niedersachsen und Holstein sind zu schwach und zu weit vom Standort Morsleben entfernt, um sich darauf auswirken zu können.

### **3.4 Seismizität im Umkreis um den Standort Morsleben**

#### **3.4.1 Seismizität im Umkreis von 100 km**

Die tektonischen Beben im Umkreis von 100 km um den Standort Morsleben sind in Tabelle 3.11, S. 118 zusammengefaßt. Es sind fast ausnahmslos die Beben aus der Südlichen Altmark mit maximaler Intensität VI. Die Wirkung der restlichen, bergbau- bzw. förderbedingten Ereignisse bleibt wegen der geringen Herdtiefe auf die allernächste Umgebung der jeweiligen Grube bzw. des Gasfeldes begrenzt.

#### **3.4.2 Seismizität im Umkreis von 200 km ab Intensität V**

In Tabelle 3.12, S. 119 sind alle Beben ab Intensität V im Umkreis von 210 km um den Standort Morsleben aufgelistet (s. auch Abb. 3.4 und Abb. 3.5). Der gegenüber dem 200 km Umkreis aus KTA 2201.1 etwas erweiterte Radius wurde gewählt, um die Ungenauigkeiten bei der Festlegung der Epizentren historischer Beben zu berücksichtigen. Neben den bereits besprochenen sind nur wenige Beben hinzugekommen, die jedoch, wie z.B. die Beben im Vogtland oder die Gebirgsschläge, an ihre Herd- bzw. Bergbauregion fest gebunden sind; sie sind zudem weit vom Standort entfernt.

## **4 Deterministische Abschätzung des Bemessungserdbebens nach KTA**

### **4.1 Frühere seismologische Untersuchungen mit Bezug zum Standort Morsleben**

#### **4.1.1 Seismologisches Gutachten von SPONHEUER aus dem Jahre 1971**

Ein Seismisches Standortgutachten für den Raum Morsleben ist von Prof. SPONHEUER, Jena, mit Datum vom 15.10.1971 angefertigt worden (SPONHEUER 1971). Darin wird die zu erwartende Standortintensität auf folgende Art ermittelt: Aus einer Karte der maximal beobachteten makroseismischen Erschütterungen des Territoriums der DDR seit dem Jahre 1400 wird die Standortintensität III MSK abgelesen. Unter Berücksichtigung der örtlichen Bodenverhältnisse wird für den Übertagestandort eine Erhöhung um 1 Grad auf Intensität IV MSK vorgenommen, für Untertage bleibt es bei Intensität III MSK. Im Gutachten gibt es keine Epizentrenkarte.

Diese Vorgehensweise entsprach nicht dem damaligen Stand der Wissenschaft zur Abschätzung der möglichen seismischen Gefährdung eines Standortes. Üblicherweise betrachtete man die Erdbeben in der Umgebung und diskutierte die Möglichkeit ihres Auftretens an den dem Standort benachbarten tektonischen Störungen.

#### **4.1.2 Seismologische Gefährdung des Standortes Morsleben aus Risikokarten**

Die Anwendung probabilistischer Verfahren auf die Erdbebentätigkeit führt zu Überschreitenswahrscheinlichkeiten für Beben bestimmter Stärke an einem vorgegebenen Standort. Unter Annahme großräumiger Seismizitätsmodelle berechneten AHORNER & ROSENHAUER (1983) und SCHENK et al. (1984) probabilistische Erdbebengefährdungskarten für die damalige Bundesrepublik Deutschland bzw. für die DDR, jeweils mit Randgebieten. Für die Überschreitenswahrscheinlichkeit von  $10^{-4}$  pro Jahr läßt sich für Morsleben aus der Karte von AHORNER & ROSENHAUER (1983) die Intensität 6 MSK ablesen, aus der Karte von SCHENK et al. (1984) dagegen ergibt sich lediglich 4.7 MSK.

#### 4.1.3 Ergebnisse der seismischen Station ALT in Morsleben

Um die Frage nach einer gegenwärtigen mikroseismischen und damit auch tektonischen Aktivität beantworten zu können, wurde Ende 1981 in der Grube Morsleben die Station ALT (ALTmark), bestehend aus einem kurzperiodischen Vertikalseismometer mit der Eigenfrequenz 1 Hz, installiert (BAUMBACH, 1991). Die Daten des Seismometers wurden zum Zentralinstitut für die Physik der Erde nach Potsdam übertragen und gemeinsam mit den Daten des seismischen Stationsnetzes der DDR ausgewertet. Wegen ihres Aufstellungsortes tief unter Tage war die Bodenunruhe sehr gering und ALT zählte in der DDR zu den Stationen mit den besten Registrierbedingungen. Die Station wurde bis Ende 1991 betrieben und somit liegt ein zehnjähriger Beobachtungszeitraum von 1982 bis 1991 vor.

Da ALT nur aus einem einzigen Vertikalseismometer bestand und die beiden nächsten Stationen des DDR-Netzes 85 km bzw. 164 km entfernt waren, konnten Erdbeben aus dem Umfeld des Bergwerkes nur dann an den für eine Ortung erforderlichen drei Stationen registriert werden, wenn ihre Magnitude  $M_L$  größer ca. 2.0 war. Schwächere seismische Ereignisse, die nur in ALT registriert wurden und folglich nicht lokalisierbar waren, wurden von den Bearbeitern der seismischen Registrierungen auf Grund verschiedener Indizien, - z.B. Auftreten während der allgemeinen Arbeitszeit, Ausbildung von Oberflächenwellen, bestimmtes Muster im Seismogramm, Nähe zu bekannten Steinbrüchen - als Steinbruchsprengungen bewertet.

Nach JUBITZ et al. (1987, S.34) wurden bis 1987 keine seismischen Ereignisse „mit Relevanz für die Bewertung der Standortsicherheit (des Bergwerkes, Anm. der Autoren) registriert“. Die Ergebnisse der zehnjährigen Überwachung sind im Zwischenbericht von WYLEGALLA & BORMANN (1990) kurz und im Bericht von BAUMBACH (1991) ausführlich dargestellt. Nach BAUMBACH gibt es im Beobachtungszeitraum 1982 - 1991 im Umkreis von ca. 100 km keine natürlichen Beben mit Magnituden größer 2.0. Schwächere Erdbeben könnten nicht ausgeschlossen werden. Einschränkend wird angemerkt, daß wegen fehlender Informationen über die Durchführung von Sprengarbeiten eine eindeutige Identifizierung schwacher seismischer Ereignisse nicht möglich war. In keinem der Berichte gibt es jedoch eine Auflistung der Ausfallzeiten der Station ALT, so daß über mögliche tektoni-

sche Beben mit Magnituden kleiner 2.0 - größere Beben wären von den anderen Stationen entdeckt worden - auch aus diesem Grund keine belastbaren Angaben gemacht werden können.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß sowohl die instrumentellen Messungen als auch die aus Jahrhunderten überlieferten Beobachtungen die Aussage rechtfertigen, daß es sich bei Morsleben und Umgebung um ein Gebiet mit sehr geringer Seismizität handelt.

Die Station ALT wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz im Jahre 1992 stillgelegt.

#### 4.2 Seismologisches Gutachten von SCHNEIDER aus dem Jahre 1994

SCHNEIDER entwickelt das Bemessungserdbeben im Sinne der KTA 2201.1 (1990) aus drei verschiedenen Modellerdbeben (Tab. 4.1) in unterschiedlicher Entfernung:

**Tabelle 4.1: Parameter der Modellerdbeben nach SCHNEIDER (1994)**

Beben	Magnitude Ms	Herdmoment [Nm]	Herd-tiefe	Epizentral-entfernung	Intensität MSK am Standort	horiz. Beschleunigung am Standort	Starkbebenphase
A	5.2	$10^{17}$	12 km	30 km	VI $\pm$ 1/2	125 cm/s <sup>2</sup>	3 s
B	4.0	$10^{16}$	10 km	15 km	V	102 cm/s <sup>2</sup>	-
C	3.2	$10^{15}$	8 km	5 km	V	102 cm/s <sup>2</sup>	-

Die wesentlichen Aussagen von SCHNEIDER zu den Bemessungsbeben sind:

- Für Frequenzen bis 20 Hz ist das Ereignis A auslegungsbestimmend, für höhere Frequenzen das Ereignis C.
- Die makroseismische Intensität am Standort wird durch das Ereignis A bestimmt.
- Der Wert der maximalen horizontalen Beschleunigung  $a_h$  entspricht einem statistischen Mittelwert zuzüglich einer Standardabweichung  $\sigma$ ;  $a_h = 70 \text{ cm/s}^2$ ,  $a_{h+1\sigma} = 125 \text{ cm/s}^2$ .
- Für die Vertikalkomponente der Bodenbeschleunigung sind nach KTA 2201.1 50 % der

horizontalen Beschleunigung anzusetzen.

- Die Wiederkehrperiode des Ereignisses A liegt bei etwa 2600 Jahren.
- Die Überschreitenswahrscheinlichkeit für das Ereignis A beträgt  $4 \cdot 10^{-4}$ /Jahr
- Die Überschreitenswahrscheinlichkeit der Lastannahmen liegt bei  $10^{-4}$ /Jahr.

Dem **Beben A** werden die Eigenschaften des Posterstein Bebens von 1872 (Epizentrum in der seismogeographischen Region Vogtland) mit der Epizentralintensität  $I_0 = \text{VII-VIII}$  zugrunde gelegt. Sein fiktiver Herd wird der Kreuzung zwischen der wichtigsten Störung des Elbe-Lineaments, dem Gardelegener Abbruch, und rheinisch (NNE-SSW) streichenden Störungen in einer Entfernung von 30 km zum Standort Morsleben zugeordnet.

Einen zweiten potentiellen Herd sieht SCHNEIDER im Abbruch von Haldensleben, dessen kürzeste Entfernung zum Standort etwa 17 km beträgt. Es wird angenommen, daß das **Beben B** mit den angenäherten Eigenschaften des Magdeburg Bebens von 997 ( $I_0 = \text{VI}$ ) mit einer Epizentralintensität von  $I_0 = \text{VI - VII}$  in einer Entfernung von 15 km und in einer Tiefe von 8-10 km stattfindet.

Als mögliches **Ereignis C** wird ein Beben der Stärke des Soltau-Bebens (Epizentrum in der seismogeographischen Region Nördliches Niedersachsen und Holstein) mit  $I_0 = \text{V - VI}$  aus dem Jahre 1977 im Kreuzungsbereich zwischen der Allertalzone einerseits mit der Steinberghorst-Störung und mit der Querenhorst-Störung andererseits angenommen.

Zur frequenzabhängigen Beschreibung der seismischen Anregung werden Beschleunigungs-Antwortspektren benötigt, die nach Möglichkeit die standortspezifischen Verhältnisse berücksichtigen sollen. Ausgehend vom Herd mit seinen spezifischen Herdparametern werden unter Berücksichtigung der Bodenübertragungseigenschaften für den Standort Basispektren der Bodenbeschleunigung berechnet und daraus wiederum die Antwortspektren für verschiedene Tiefenbereiche des Endlagers. Für das Antwortspektrum an der Erdoberfläche wird im hochfrequenten Bereich die maximale Horizontalbeschleunigung des Bemessungserdbebens mit  $125 \text{ cm/s}^2$  angenommen.

Damit waren in dem seismologischen Gutachten von SCHNEIDER (1994) alle für die seismische Lastannahme benötigten Größen festgelegt.

### **4.3 Neufestlegung des Bemessungserdbebens nach KTA 2201**

Da es sich bei dem zu beurteilenden Standort um den Standort einer kerntechnischen Anlage handelt, wird der folgenden deterministischen Abschätzung des Bemessungserdbebens die Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses KTA 2201.1 zugrunde gelegt. Danach ist, wie in Abschnitt 1.2 ausführlich zitiert, die folgende Vorgehensweise festgelegt:

Wenn sich Epizentren oder Bereiche höchster Intensität von Erdbeben in der gleichen tektonischen Einheit befinden wie der Standort, ist anzunehmen, daß diese Erdbeben in der Nähe des Standortes eintreten könnten. Für tektonische Einheiten außerhalb der Standortregion ist von der Annahme auszugehen, daß Epizentren oder Bereiche höchster Intensität an dem zum Standort nächstgelegenen Punkt auf der Grenze der tektonischen Region liegen, in der sie auftreten.

#### **4.3.1 Beben in der tektonischen Einheit des Standortes**

In der Region Altmark, in der der Standort liegt, ist als höchste Intensität VI MSK zweimal aufgetreten. Es sind dies die Beben aus dem Jahre 997 und 1409, beide nahe Magdeburg. Da sich die Epizentren dieser Beben in der gleichen tektonischen Einheit wie der Standort befinden, ist anzunehmen, daß ein Erdbeben dieser Stärke in der Nähe des Standortes eintreten könnte.

#### **4.3.2 Weitere Beben in benachbarten tektonischen Einheiten**

Die Region Zentral-Sachsen ist minimal 65 km vom Standort Morsleben entfernt. Ein im nächstgelegenen Randpunkt angesiedeltes Beben würde bei einer konservativ angesetzten Herdtiefe von 15 km und einem Absorptionskoeffizienten von 0.001 am Standort eine im Vergleich mit der Epizentralintensität um ca. 2 Grad MSK verminderte Intensität hervorrufen.

Die Beben der Jahre 827 und 1088 hatten mit  $I_0 = VII - VIII$  die höchsten Intensitäten in der Region Zentral-Sachsen. Die Annahme eines Bebens gleicher Stärke im nächstgelegenen Randpunkt würde am Standort Morsleben höchstens mit der Intensität  $V \frac{1}{2}$  verspürt werden. Selbst eine Anhebung der Epizentralintensität um 0.5 bis 1.0 Grad MSK, um ein maximal mögliches Beben zu simulieren, würde am Standort zu einer vergleichsweise moderaten Intensität von  $VI - VI \frac{1}{2}$  MSK führen.

### 4.3.3 Festlegung des Bemessungserdbebens

Bei der deterministischen Festlegung des Bemessungserdbebens wird allgemein um einen bestimmten Wert, 0.5 oder 1.0 Grad MSK, über die bisher maximal beobachtete Intensität hinaus gegangen. Damit soll dem eingeschränkten Beobachtungszeitraum und der ungewissen Vollständigkeit historischer Daten Rechnung getragen werden.

Die Beschreibung der makroseismischen Wirkung der beiden relevanten historischen Beben der Standortregion Altmark aus weit zurückliegender Zeit ist für eine verlässliche Intensitätsfestlegung unzureichend. Für den deutschen Erdbebenkatalog erfolgte deshalb die Festlegung konservativ und orientierte sich bereits am noch vertretbaren Maximum. Weiterhin ist zu beachten, daß die Erdbeben­tätigkeit im norddeutschen Raum insgesamt sehr gering ist. Das letzte in der Standortregion beobachtete Beben stammt aus dem Jahre 1736. Ein Zuschlag von 0.5 Grad MSK auf die maximal beobachtete Intensität VI ist aus diesen Gründen ausreichend konservativ.

Unter Abwägung aller hier genannten Fakten wird deterministisch nach KTA 2201.1 für das Bemessungserdbeben die **Intensität  $VI \frac{1}{2}$  MSK** angesetzt. Dieser Wert liegt um 1/2 Grad MSK über den in historischer Zeit in der Standortregion beobachteten maximalen Intensitäten und ist damit hinreichend konservativ.

## 4.4 Auftreten eines Gebirgsschlags oder Einsturzbebens in Standortnähe

Neben der Möglichkeit eines tektonischen Bebens ist auch das Auftreten von Einsturzbeben und Gebirgsschlägen zu prüfen. Voraussetzung für einen Gebirgsschlag großer Schadenswirkung in einem Salzbergwerk mit Kammer-Pfeiler Bau sind ausgedehnte Hohlräume und

das gleichzeitige Zubruchgehen großflächiger Bereiche des Hangenden von 1 km<sup>2</sup> und mehr. Nach einem von LEYDECKER (1998 b) empirisch ermittelten Zusammenhang zwischen Flächengröße des eingestürzten Bereichs und Bebenmagnitude läßt sich die mögliche Gefährdung abschätzen. Für ein Beben der Intensität VI ½ MSK sind danach zusammenhängenden Hohlräume von mindestens 25000 m<sup>2</sup> Grundfläche erforderlich, die dann auch gleichzeitig einstürzen müßten. Dagegen betrug im Bergwerk in Morsleben die maximale Baufeldgröße weniger als 11000 m<sup>2</sup>, die zudem bereits zum Teil verfüllt sind (MEISTER et al. 1997).

Eine durch einen möglichen Gebirgsschlag im Bergwerk verursacht Erschütterungswirkung kann demnach bei weitem nicht die Intensität des Bemessungserdbebens von VI ½ an der Erdoberfläche erreichen.

Eine Gefährdung des Standortes durch stärkere Einsturzbeben über anderen benachbarten Salzstöcken ist schon allein wegen der größeren Entfernung nicht gegeben.

## 5 Probabilistische Risikountersuchung<sup>4</sup>

Für die probabilistische Abschätzung der seismischen Gefährdung des Standortes Morsleben wird ein von McGUIRE (1976) entwickelter Algorithmus verwendet. Es handelt sich dabei um ein international bewährtes Verfahren (z.B. McGUIRE 1993), das auf einer von CORNELL (1968) eingeführten Methode basiert. Als Maß für die Bebenstärke werden in dem vorliegenden Gutachten ausschließlich (makroseismische) Intensitätswerte benutzt. Damit entfallen problematische Umrechnungen in andere seismologische Kenngrößen, wie z.B. von Intensitäten in Magnituden.

Die Erdbebenherde werden nach dieser Methode unter Berücksichtigung der geologischen, tektonischen und seismologischen Gegebenheiten in seismische Quellgebiete annähernd gleichartiger seismotektonischer Verhältnisse zusammengefaßt. Jedes dieser seismischen Quellgebiete, die im folgenden auch als seismotektonische Einheiten bezeichnet werden, wird anhand der vorliegenden Daten über die Intensitäts-Häufigkeitsverteilung statistisch charakterisiert. Es werden nur Erdbeben tektonischen Ursprungs berücksichtigt, da Einsturzbeben, Gebirgsschläge und seismische Ereignisse in Bergbaugebieten örtlich fixiert und in ihrer Schadenswirkung auf die nächste Umgebung des Epizentrums begrenzt sind. Die seismische Wirkung der Quellgebiete auf den zu untersuchenden Standort erfolgt über Intensitäts-Abnahme Gesetze. In der vorliegenden Untersuchung wird die Abnahmebeziehung von KÖVESLIGETHY (s. Kap. 1) angewendet.

Die Schwierigkeit einer probabilistischen Analyse für den zu untersuchenden Standort liegt in der sehr geringen Seismizität des norddeutschen Raumes. Wie zu erwarten, ergibt sich die seismische Gefährdung hier hauptsächlich als Folge von nicht an seismische Quellgebiete gebundener (diffuser) Seismizität, die als sogenannte Hintergrundaktivität (engl. background seismicity) modelliert werden kann. Der Anteil der seismischen Hintergrundaktivität am Gesamtrisiko tritt allerdings dann stark zurück, wenn die seismotektonische Region Südliche Altmark (siehe Kap. 3), in der der Standort liegt, trotz ihrer relativ geringen Bebenzahl als eigene seismische Quellregion definiert wird (vgl. Abb. 3.4 und 5.5, Tab. 5.1

---

<sup>4</sup> Der Begriff „Risiko“ wird hier im Sinne von „seismic risk“ bzw. „seismic hazard assessment“ benutzt und bezieht sich ausschließlich auf die seismische Gefährdung.

bis 5.3, S. 122 - 124).

Im folgenden wird die Unterteilung einer größeren Umgebung ( $\geq 200$  km) um den Standort in seismotektonische Einheiten unter Verwendung der seismogeographischen Einteilung Deutschlands nach LEYDECKER & AICHELE (1998) vorgenommen.

Aus Abb. 3.3 bis 3.5 ist zu ersehen, daß der Standort Morsleben in der seismisch wenig aktiven Region Südliche Altmark (vgl. Kap. 3) liegt. Die jeweilige Seismizität der unmittelbar angrenzenden seismogeographischen Regionen Nördliches Niedersachsen und Holstein, Südliches Niedersachsen, Harz und Nordostdeutschland ist für eine eigene statistische Auswertung zu gering; die Region Nördliche Altmark ist bebenfrei. Schwache aber noch statistisch quantifizierbare Seismizität ist in der Region Zentral-Thüringen vorhanden, deren Wirkung auf den Standort aber vernachlässigbar ist. Deutlich höhere Seismizität weisen die sich im Südosten anschließende Region Zentral-Sachsen und das weiter südlich gelegene Vogtland auf.

Mit den drei Regionen Südliche Altmark, Zentral-Sachsen und Vogtland werden Seismizitätsmodelle im Sinne der Methode von McGUIRE (1976) erstellt. Die Wirkung der nicht in diesen Quellgebieten liegenden tektonischen Erdbeben, bis zu einer Entfernung von ca. 200 km um den Standort, wird als Hintergrundseismizität erfaßt. Hierfür werden alle tektonischen Beben im Umkreis von ca. 200 km, die nicht einer der vorgenannten Quellregionen angehören, einbezogen und gleichmäßig über dieses Restgebiet verteilt.

Die Vollständigkeit historischer Erdbebenkataloge ist zeitabhängig, d.h. je weiter man in die Vergangenheit zurückgeht, um so höher ist die noch vollständig erfaßte untere Intensitätsgrenze. Um bei der geringen Bebenzahl und der relativ niedrigen maximal beobachteten Intensität in der Quellregion Südliche Altmark noch eine statistische Auswertung durchführen zu können, wurde für die zu berücksichtigenden Erdbeben die untere Intensitätsgrenze mit IV festgelegt, für die übrigen Regionen mit V (vgl. Wertebereich für die lineare Regression in Tab. 5.1, S. 122). Ein Ausgleich für die Unvollständigkeit der Datensammlung erfolgt dadurch, daß der Beginn des Erfassungszeitraums für jede Quelle unterschiedlich festgelegt wurde. Das Kriterium hierzu ist das erste Auftreten eines Bebens mit  $I_0 \geq V$  vor

dem Jahre 1700, danach mit  $I_0 \geq IV$ . Als Ende des Erfassungszeitraums wurde für alle Quellregionen das aktuelle Katalogsjahr 1993 gewählt; aktuelle stärkere Beben ab Intensität V wären bekannt und berücksichtigt worden. Damit ist sichergestellt, alle starken in historischer Zeit eingetretenen Erdbeben erfaßt zu haben.

In der probabilistischen Berechnung wird das rechnerisch anzusetzende maximale Beben innerhalb des jeweiligen Quellgebietes um eine halbe bzw. eine Intensitätsstufe höher festgelegt, als das in historischer Zeit beobachtete stärkste tektonische Beben. Das gleiche gilt für die seismische Hintergrundaktivität. Diese in der Praxis übliche Vorgehensweise geht davon aus, daß das maximale Beben einer Region ein äußerst seltenes Ereignis ist, das nicht notwendigerweise während des bisherigen Beobachtungszeitraums aufgetreten ist.

In Tab. 5.1 (S. 122) sind die Parameter der genannten seismischen Quellgebiete zusammengefaßt. Eingetragen sind Beginn des Beobachtungsintervalls und zugehöriger Intensitätswert  $I_0$ , Herdtiefe, kumulative Bebenzahl  $N_c$  für die Intensitätsklasse<sup>5</sup>  $I_k$ ,  $I_{max,beob}$ , die a- und b-Werte aus der linearen Regressionsanalyse der Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (Abb. 5.1 bis 5.4) und die daraus berechnete Aktivitätsrate  $N_y$  für die angegebene Intensitätsklasse  $I_k$ . Die Aktivitätsrate ist die statistisch berechnete kumulative Anzahl der Beben (ab einer bestimmten Intensität), dividiert durch das Beobachtungsintervall in Jahren. Die Aktivitätsrate der Hintergrundseismizität ist allerdings nicht mehr die Anzahl der Ereignisse pro Jahr, sondern eine Ereignisdichte, also die Anzahl der Beben pro Jahr und Flächeneinheit ( $km^2$ ) für einen definierten Intensitätsgrad.

Eine wichtige Rolle in der Wirkung entfernter, starker seismischer Quellen spielen die für die Quellen anzusetzenden mittleren Herdtiefen und die mittleren Absorptionskoeffizienten  $\alpha$ . Die mittleren Herdtiefen in den seismogeographischen Regionen wurden aus den Tiefenangaben des Katalogs ermittelt bzw. abgeschätzt.

Absorptionskoeffizienten sind für das Einflußgebiet des Standortes nicht exakt bekannt.

---

<sup>5</sup> Die Intensitätsklasse  $I_k$  ist hier so definiert, daß sie alle Beben mit  $I_0 = I_k - 0.5$  und  $I_0 = I_k$  enthält.

Gebräuchliche Werte liegen zwischen  $\alpha = 0.05$  und  $0.001$  (AHORNER & ROSENHAUER 1978; LEYDECKER & HARJES 1978). In der probabilistischen Berechnung des vorliegenden Gutachtens wurde einheitlich der konservativere Wert von  $\alpha = 0.001$  angenommen.

## 5.1 Seismische Quellgebiete und Hintergrundseismizität

Die seismische Gefährdung des Standortes wird anhand zweier unterschiedlicher Ansätze erfaßt.

Im Modell 1 wird die Aktivität der oben beschriebenen zwei seismischen Quellen Zentral-Sachsen und Vogtland, die beide für statistische Untersuchungen ausreichende Bebenzahlen aufweisen, bestimmt und die Restaktivität der verbleibenden Beben aus dem 200 km Umkreis als Hintergrundaktivität berücksichtigt. Die Aktivitätsrate der Hintergrundseismizität wird auf die verbleibende Restfläche bezogen. Die daraus berechnete Überschreitenswahrscheinlichkeit der Standortintensitäten ist in Abb. 5.5 dargestellt. Die beiden zugehörigen Kurven A1 und A2 unterscheiden sich lediglich in der für die probabilistische Rechnung angesetzten oberen Intensitätsgrenze  $I_{\max}$ . Diese liegt sowohl für die Quellen als auch für die Hintergrundaktivität  $BG_1$  um einen halben bzw. um einen ganzen Intensitätsgrad über der jeweils maximal beobachteten Intensität  $I_{\max, \text{beob}}$  (s. Tab. 5.1, S. 122).

Modell 2 betrachtet drei Quellen, nämlich Zentral-Sachsen, Vogtland und die seismotektonische Region Südliche Altmark (sAM) in der der Standort liegt (s. Abb. 3.4). Alle verbleibenden tektonischen Beben aus dem 200 km Bereich um Morsleben werden wieder einer Hintergrundaktivität zugerechnet. Diese Hintergrundaktivität  $BG_2$  umfaßt damit eine kleinere Fläche und weniger Beben als  $BG_1$ . Wie bei Modell 1 unterscheiden sich die Eingangsparameter in der oberen Intensitätsgrenze  $I_{\max}$ . Zusätzlich wird die mittlere Herdtiefe für die Region Südliche Altmark zwischen  $H = 6$  und  $8$  km variiert. Die Kurven 1 bis 4 in Abb. 5 zeigen die Ergebnisse der probabilistischen Rechnung.

Das konservativste Ergebnis - Kurve 4 in Abb. 5.5 - ergibt sich dann, wenn die Standortregion Südliche Altmark als eigene seismische Quelle definiert und darin die größere mittlere

Herdtiefe  $H = 8$  km angenommen wird. Beide Modellannahmen – eigene Quellregion und Herdtiefe – sind jedoch wenig vertrauenswürdig. Die Datenbasis für eine Bebenstatistik der Region Südliche Altmark ist zu gering (s. Abb. 5.1), die mittlere Herdtiefe der Altmark ist lediglich ein Schätzwert in Anlehnung an die mittleren Herdtiefen der Nachbarregionen. Die Annahme der Südlichen Altmark als eigene Quellregion wird deshalb verworfen. Sie diene dazu, die Modellpalette durch ungünstigere Fälle abzurunden und die Variationsbreite auszuloten.

Um den Einfluß der Quellgebiete und der Hintergrundseismizität auf das probabilistische Ergebnis aufzuzeigen, werden in Tabelle 5.2 und 5.3 (S. 123-124) die Anteile der seismischen Quellgebiete und der Hintergrundaktivität im Verhältnis zum seismischen Gesamtrisiko der beiden Modellvarianten für die Standortintensitäten  $I_s \geq 5.5$  und  $I_s \geq 6.5$  betrachtet.

## 5.2 Bewertung der Seismizitätsmodelle

Prinzipiell ist die Datenbasis mit über 9000 Ereignissen im deutschen Erdbebenkatalog (LEYDECKER 1998) für eine probabilistische seismische Gefährdungsanalyse in Deutschland als gut zu bewerten. Allerdings ist die Verteilung der Epizentren nicht gleichförmig sondern neben Bereichen hoher Bebenkonzentration gibt es weite Gebiete mit sehr geringer Erdbebentätigkeit. Für die Berechnung des seismischen Risikos sehr geringer Überschreitenswahrscheinlichkeiten um  $10^{-4}$ /Jahr bis  $10^{-5}$ /Jahr oder darunter (also für höhere Standortintensitäten), wirken sich nur Beben aus, die in der näheren Umgebung des Standortes liegen (weniger als ca. 100 km Umkreis) bzw. stärkere Beben ( $I_0 \geq VII$ ) in größerer Entfernung. Daraus resultiert die Schwierigkeit in der Berechnung der seismischen Gefährdung in erdbebenarmen Regionen wie dem Norddeutschen Tiefland, in dem sich der Standort Morsleben befindet.

Die Qualität der Ergebnisse einer seismischen Gefährdungsberechnung ist u.a. abhängig von der zur Verfügung stehenden Datenbasis (Bebenzahl, Unsicherheiten der Intensitäten etc.) aber auch von der betrachteten Überschreitenswahrscheinlichkeit  $P(i \geq I_s)$ , und zwar in dem Sinne, daß die Unsicherheit der probabilistischen Aussage anwächst, je kleiner  $P(i \geq I_s)$  wird.

Eine qualitative Bewertung der Güte der Überschreitenswahrscheinlichkeit in den beiden Intensitätsniveaus  $5\frac{1}{2}$  und  $6\frac{1}{2}$  MSK wird im folgenden anhand der unterschiedlichen Beiträge der einzelnen seismischen Quellgebiete zum Standortrisiko diskutiert. Die Betrachtungen beziehen sich hier immer auf den ungünstigeren Fall einer rechnerischen Maximalintensität von  $I_{\max} = I_{\max, \text{beob.}} + 1.0$ .

Generell ist davon auszugehen, daß die Güte der Resultate sowohl vom gewählten Modell als auch vom Niveau der Überschreitenswahrscheinlichkeit, d.h. von der Standortintensität abhängen wird. Die Tabellen 5.2 und 5.3 (S. 123 - 124) zeigen, daß sich die beiden Modelle der probabilistischen Gefährdungsabschätzung zunächst signifikant bezüglich der Wirkung der Hintergrundaktivität auf den Standort unterscheiden. Die einzelnen Beiträge der seismischen Quellen bzw. der Hintergrundaktivität zum Gesamtrisiko werden außerdem deutlich anders gewichtet, wenn verschiedene Standortintensitäten ( $5\frac{1}{2}$  bzw.  $6\frac{1}{2}$  MSK) betrachtet werden (vgl. Abb. 5.6, S. 91).

Die stärkste seismische Wirkung auf den Standort geht von der Region Südliche Altmark aus, wenn diese wie im Modell 2 als eigene seismische Quelle definiert wird. Ihr Anteil am Gesamtrisiko beträgt bei einer Standortintensität von  $I_s = 5\frac{1}{2}$  fast 60 % und nahezu 96 % bei  $I_s = 6\frac{1}{2}$  MSK (Tab. 5.3, S.124, und Abb. 5.6). Die aktiven Quellregionen Zentral-Sachsen und Vogtland liefern als entfernte Regionen lediglich bei der niedrigeren Intensität von  $I_s = 5\frac{1}{2}$  MSK einen merklichen Beitrag von zusammen ca. 36 %. Die Hintergrundaktivität ist in diesem Modell vernachlässigbar. Sie beträgt lediglich ca. 4 % bei  $I_s = 5\frac{1}{2}$ . Die Standortregion dominiert also das seismische Risiko am Standort. Die Datenbasis für eine probabilistische Einbeziehung der Region Altmark bzw. Südliche Altmark (die sich nur flächenmäßig und nicht in ihrer seismischen Aktivität unterscheiden, vgl. Abb. 3.4 und Abb. 5.1) ist jedoch zu schwach, um diesem Modell dieselbe Bedeutung wie Modell 1 zukommen zu lassen.

Im Modell 1 (ohne Südliche Altmark als eigene Quellregion) dominiert die Hintergrundaktivität die seismische Wirkung auf den Standort. Für die Standortintensität  $I_s = 5\frac{1}{2}$  tragen die entfernten seismischen Quellen Zentral-Sachsen und Vogtland noch zu ca. 16 % bzw.

32 % bei. Der Einfluß dieser Quellen verringert sich aber auf unter 5% wenn die um eine Einheit höhere Standortintensität  $6\frac{1}{2}$  MSK betrachtet wird (Tab. 5.2, S. 123 und Abb. 5.6b).

Aus den Beiträgen der verschiedenen Quellregionen bzw. der Hintergrundseismizität zum seismischen Gesamtrisiko lassen sich Hinweise zur Güte bzw. zur Unsicherheit der probabilistischen Aussagen ableiten. Hierzu werden die prozentualen Beiträge zum Gesamtrisiko dem Stichprobenumfang (Zahl der Beben und Beobachtungsintervall) aus Tab. 5.1, S. 122 gegenübergestellt.

Die statistischen Parameter der seismischen Quellregionen Zentral-Sachsen und Vogtland stützen sich auf eine deutlich breitere Datenbasis, also einen größeren Stichprobenumfang, als die Südliche Altmark oder BG<sub>2</sub>. Dies wird besonders augenfällig in den graphischen Darstellungen der Intensitäts-Häufigkeitsverteilungen der seismischen Quellregionen in den Abb. 5.1 bis 5.4.

Das Beobachtungsintervall ist für alle Quellregionen von vergleichbarer Dauer. Das seismische Standortrisiko im Modell 1 mit einer Überschreitenswahrscheinlichkeit von ca.  $1.5 \cdot 10^{-4}$ /Jahr für die Intensität  $5\frac{1}{2}$  MSK basiert mit nahezu 48 % auf Beiträgen der Quellregionen Zentral-Sachsen und Vogtland. Damit ist dieses Gefährdungsniveau statistisch besser abgesichert als die um eine Größenordnung niedrigere Überschreitenswahrscheinlichkeit von ca.  $10^{-5}$ /Jahr für die Standortintensität  $I_s = 6\frac{1}{2}$  MSK, die sich zu etwa 95 % auf die seismische Hintergrundaktivität BG<sub>1</sub> und damit auf eine deutlich geringere Zahl von Erdbeben stützt (s. Tab. 5.1, S. 122).

Eine grundsätzlich andere Ursache für die Streuung probabilistisch berechneter Standortintensitäten liegt in der Festlegung unterschiedlicher seismotektonischer Modelle und der Variation ihrer Parameter. Aus den möglichen Modellvarianten wurden zwei Modelle ausgewählt und die rechnerische Maximalintensität sowie die mittlere Herdtiefe variiert. Abb. 5.5 zeigt in sechs Kurven die Ergebnisse der Berechnungen. Geht man von einer mittleren Kurve aus, dann erhält man Streubreiten von:

$$\Delta I_s = \pm 0.15 \quad \text{bei } P = 10^{-3} / \text{Jahr}$$

$$\Delta I_s = \pm 0.30 \quad \text{bei } P = 10^{-4} / \text{Jahr und } 10^{-5} / \text{Jahr}$$

Diese Streubreiten sind lediglich in der Wahl der Modelle und der Festlegung ihrer Parameter begründet und nicht in der zugrunde liegenden Datenbasis wie Zahl der Erdbeben, Unsicherheiten der Intensitätsangaben etc.

### 5.3 Zusammenfassung der probabilistischen Berechnung

Die Resultate der probabilistischen Berechnung der seismischen Gefährdung für den Standort Morsleben sind in Abb. 5.5 für zwei unterschiedliche Modellansätze dargestellt.

Modell 1 besteht aus den zwei entfernt gelegenen seismischen Quellgebieten Zentral-Sachsen und Vogtland. Die nicht in den Quellgebieten erfaßten tektonischen Beben im Umkreis von ca. 200 km werden in eine nach McGUIRE definierte Hintergrundaktivität ( $BG_1$ ) eingebracht.

Modell 2 definiert zusätzlich die seismotektonische Region Südliche Altmark als eigene seismische Quelle. Die verbleibenden tektonischen Beben aus dem 200 km Umkreis bilden die seismische Hintergrundaktivität  $BG_2$ .

Die rechnerisch anzusetzende maximal mögliche Intensität  $I_{\max}$  einer Quelle bzw. der Hintergrundseismizität wird in beiden Modellen durch Addition von +0.5 und, bei einem zweiten Rechengang, von +1.0 auf die jeweils beobachtete Maximalintensität variiert.

Aus dem in Abb. 5.5 dargestellten Zusammenhang von Überschreitenswahrscheinlichkeit  $P(i \geq I_s)$  und Standortintensität  $I_s$  kann die seismische Gefährdung für den Standort Morsleben abgelesen werden. Modell 2 wird wegen der zu geringen Datenbasis der Region Südliche Altmark, die in diesem Modell die Beiträge zur Überschreitenswahrscheinlichkeit dominiert, verworfen. Legt man die konservativste Kurve von Modell 1 zu Grunde (Abb. 5.5, Kurve A2) so ergeben sich die folgenden Rechenwerte:

$$P(i \geq I_s) = 10^{-3} / \text{Jahr} \text{ f\u00fcr } I_s = 4.8$$

$$P(i \geq I_s) = 10^{-4} / \text{Jahr} \text{ f\u00fcr } I_s = 5.6$$

$$P(i \geq I_s) = 10^{-5} / \text{Jahr} \text{ f\u00fcr } I_s = 6.4$$

Demnach liefert die probabilistischen Untersuchung f\u00fcr den Standort Morsleben bei einer \u00dcberschreitenswahrscheinlichkeit von  $10^{-4}$  /Jahr eine Intensit\u00e4t von ca. 5½ MSK.

Wie in Kapitel 7 ausgef\u00fchrt, ist bei Verwendung der 50% Fraktile bei den Antwortspektren dem dadurch geringeren Amplitudenniveau durch ein Absenken der \u00dcberschreitenswahrscheinlichkeit und damit einer h\u00f6heren Standortintensit\u00e4t zu begegnen. Dieser Sicherheitszuschlag ist durch die Annahme des konservativeren Ansatzes im Modells 1 (Kurve A2 in Abb. 5.5) und einer \u00dcberschreitenswahrscheinlichkeit von  $P < 10^{-5}$  /Jahr f\u00fcr das Bemessungserdbeben und damit durch die Intensit\u00e4t 6½ MSK gew\u00e4hrleistet.

Somit l\u00e4\u00dft sich feststellen, da\u00df bei der Bestimmung des Bemessungsbebens die beiden grundverschiedenen Vorgehensweisen - deterministische Festlegung nach KTA 2201.1 und probabilistische Berechnung - zu sich erg\u00e4nzenden Resultaten gef\u00fchrt haben.

## **6 Ingenieurseismologische Parameter und lokale Untergrundverhältnisse**

Unter den für einen Standort spezifischen ingenieurseismologischen Parametern werden hier die Kenngrößen Antwortspektrum, Dauer der Starkbewegungsphase und maximale Bodenbeschleunigung verstanden.

In der vorliegenden Untersuchung wird das Antwortspektrum nicht über ein generalisiertes Standard-Antwortspektrum festgelegt, sondern intensitäts- und untergrundabhängig aus einem Katalog von Antwortspektren ausgewählt.

Standardantwortspektren werden über eine standortspezifische Bodenbeschleunigung skaliert. MURPHY & O'BRIEN (1977) weisen allerdings explizit auf die schwache Korrelation von Maximalbodenbeschleunigung und makroseismischer Intensität hin. Deshalb wird im vorliegenden Gutachten von der für den Standort bestimmten Intensität des Bemessungsbereichs ausgegangen und ein dem dortigen Untergrund entsprechendes Antwortspektrum bevorzugt. Hierfür werden die in zwei Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik Berlin (IfBt-Abschlußbericht 1983, 1986; HOSSER 1987) erarbeiteten untergrund- und intensitätsabhängigen Antwortspektren eingesetzt. Es handelt sich dabei um statistisch ermittelte Antwortspektren und Starkbewegungsdauern, die aus einem Ensemble ausgewählter Strong-Motion Registrierungen berechnet wurden. Die Auswahl der Registrierungen erfolgte dabei unter Berücksichtigung von Magnitude, Herdtiefe, Epizentraldistanz, Epizentral- und Standortintensität.

Bei der Methode der untergrund- und intensitätsabhängigen Antwortspektren entfällt die problematische Umrechnung von Intensitäten in den ingenieurseismologischen Parameter maximale Bodenbeschleunigung. Nach KTA 2201.1 ist jedoch die Festsetzung des Bemessungserdbebens mit Angaben über zu erwartende Maximalbeschleunigung vorzunehmen.

## 6.1 Empirische Beziehung zwischen Intensität und Maximalbeschleunigung

In einem ersten Ansatz erfolgt die Berechnung der maximalen horizontalen Bodenbeschleunigung aus der Intensität nach der empirischen Formel von MURPHY & O'BRIEN (1977):

$$\log_{10}(a_H) = 0.25 + 0.25 \cdot I$$

$a_H$  = Horizontalbeschleunigung im Freifeld in  $\text{cm/s}^2$

$I$  = Intensitätswert MM (Modified Mercalli Intensity)

Modified Mercalli (MM) - Skala und Medvedev-Sponheuer-Kárník (MSK-1964) - Skala sind ab Intensität größer III praktisch identisch (MURPHY & O'BRIEN 1977).

Horizontale und vertikale Beschleunigungen sind nach KTA 2201.1 als gleichzeitig wirkend anzunehmen. Die Vertikalkomponente ist mit 50% der maximalen Horizontalbeschleunigung anzusetzen. Unter der Maximalbeschleunigung  $a_{H\max}$  wird nach KTA 2201.1 der Maximalwert der Resultierenden der Horizontalbeschleunigungskomponenten verstanden.

Die in der Beziehung von MURPHY & O'BRIEN (1977) angegebene maximale Horizontalbeschleunigung  $a_H$  ist der Mittelwert der Maximalwerte aller Horizontalkomponenten. Die Größe  $a_H$  wird also nicht aus den Resultierenden beider H-Komponenten gebildet; dies gilt u.a. auch für eine ähnliche von TRIFUNAC & BRADY (1975) angegebene Formel.

Die Resultierende der Horizontalbeschleunigungen wird in diesem seismologischen Standortgutachten als der  $\sqrt{2}$ -fache Wert von  $a_H$  angesetzt. Es wird hierbei von dem Fall ausgegangen, daß zeitgleich in beiden Horizontalkomponenten gleich große Beschleunigungen  $a_H$  auftreten.

Für die Intensität VI  $\frac{1}{2}$  MSK des Bemessungserdbebens liefert die Beziehung von MURPHY & O'BRIEN (1977) als maximale Beschleunigung einer Komponente den Wert  $a_H = 75 \text{ cm/s}^2$ .

Die Maximalbeschleunigung als Resultierende der beiden Horizontalkomponenten wird danach bestimmt zu

$$a_{H\max} = 75 \cdot \sqrt{2} = 106 \text{ cm/s}^2 .$$

Für die Vertikalkomponente ergibt sich nach KTA 2201.1 somit ein Wert von

$$a_{V\max} = \frac{1}{2} \cdot a_{H\max} = 53 \text{ cm/s}^2 .$$

Die hier verwendete Beschleunigungs-Intensitätsrelation nach MURPHY & O'BRIEN (1977) stützt sich auf eine breite Datenbasis von ca. 900 Strong-Motion Registrierungen, überwiegend aus den USA und Japan und zum geringen Teil aus Südeuropa. Zu beachten ist allerdings, daß die Beschleunigungswerte, die bei der jeweiligen makroseismischen Intensität beobachtet wurden, stark streuen; hierauf weisen MURPHY & O'BRIEN (1977) ausdrücklich hin.

Im Sinne von KTA 2201.1 ist unter der Maximalbeschleunigung die Starrkörperbeschleunigung (spektrale Amplituden im hochfrequenten Bereich) des Freifeldantwortspektrums zu verstehen. Da nach der hier angewandten Vorgehensweise das Freifeld-Antwortspektrum aus der Standortintensität und den lokalen geologischen Verhältnissen bestimmt wird, kann damit die Maximalbeschleunigung direkt aus dem Antwortspektrum abgeleitet werden (vgl. Kap. 7).

## 6.2 Lokale Untergrundverhältnisse

Die hier verwendete Klassifizierung des Standortuntergrundes wurde ebenfalls in dem interdisziplinären Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik, Berlin (IfBt-Abschlußbericht 1983; HOSSER 1987) definiert und erfolgt über physikalische Materialparameter des Untergrundes, wie z.B. die Raumwellengeschwindigkeiten  $v_p$  und  $v_s$  (Tab. 6.1, S. 125).

Die nähere Umgebung des Standortes Morsleben, also die Allertalzone mit der Salzstruktur, ist gekennzeichnet durch komplizierte geologische Verhältnisse. Informationen über den Untergrund im Bereich der Schächte des Endlagers stammen aus 14 Bohrungen und hochauflösender Seismik (ZIRNGAST 1997). In allen Bohrungen, die nach Vorgaben der BGR 1995 abgeteuft wurden, erfolgten Geophonversenkmessungen. Die maximalen Teufen reichen von 150 m bis 750 m. Weitere 19 Bohrungen mit Messungen der Raumwellengeschwindigkeiten liegen aus der weiteren Umgebung bis in ca. 30 km Entfernung vor. Die Auswertungen dieser letztgenannten Bohrungen zeigen im Vergleich zur Allertalzone geologisch ruhiger gelagerte Bereiche mit der Werferlinger Triasplatte östlich und der Lappwald-Mulde westlich vom Standort (Abb. 2.3, S. 82).

Sicherheitstechnisch relevante Bauwerke über Tage, wie Förderturm und Lagerhalle, befinden sich nahe des Schachtes Bartensleben. Deshalb ist es für die folgende Untersuchung ausreichend, die Untergrundverhältnisse im nahen Umfeld dieses Schachtes zu betrachten.

Die seismische Bodenbewegung an der Erdoberfläche kann stark durch lokale oberflächennahe geologische Schichten beeinflusst werden. Eine Klassifizierung der Untergrundverhältnisse für den Durchgang seismischer Wellen erfolgt hier mit Hilfe der aus den Bohrungen bekannten Kenngrößen, d.h. insbesondere der teufenabhängigen Ausbreitungsgeschwindigkeit von Kompressionswellen. Messungen der Scherwellengeschwindigkeiten liegen nicht vor.

### **6.3 Untergrundklassen am Schacht Bartensleben und unter Tage**

Die lateral sehr unterschiedlichen geologischen Verhältnisse der Allertalzone zeigen sich sowohl in den unterschiedlichen Geschwindigkeiten der jeweiligen stratigraphischen Schicht, als auch in deren Mächtigkeit und Tiefenlage. In Tab. 6.2 a, S. 126 sind die Materialparameter der stratigraphisch klassifizierten Schichten der zum Schacht Bartensleben nächstgelegenen Bohrungen aufgelistet. Zur Lage der Bohrungen siehe Abb. 6.1, S. 92. Zur Verdeutlichung der komplizierten und rasch sich ändernden Untergrundverhältnisse sind in Tab. 6.2 b, S. 127 die Materialparameter der Schichten einer außerhalb der Salzstruktur gelegenen Bohrung zusammengestellt.

Der Untergrund im Bereich der Bohrung DpMors69 (Tab. 6.2 a, S. 126), ca. 330 m nordöstlich vom Schacht Bartensleben, kann aufgrund seiner obersten 80 m mächtigen Schicht aus quartären Sedimenten mit  $v_p = 1364$  m/s als Untergrundklasse **M** eingestuft werden.

Der Untergrund ca. 125 m südwestlich vom Schacht Bartensleben gehört aufgrund der Ergebnisse der Bohrung DpMors51 (Tab. 6.2 a, S. 126) mit Lockersedimenten des Oberen Keuper bis in das Teufenniveau von ca. 20 m und  $v_p = 842$  m/s zur Klasse **A**.

Die quartären Sedimente aus der ca. 400 m nordwestlich vom Schacht Bartensleben gelegenen Bohrung DpMors40 (Tab. 6.2 a, S. 126) (Quartär mit  $v_p = 416$  m/s, 6 m mächtig, über Oberem Keuper mit  $v_p = 2073$  m/s bis in 66 m Teufe) gehören ebenfalls zu der Untergrundklasse **A**. Wegen der Gründungstiefe über Tage der Bauwerke können die oberen quartären Lockersedimente unberücksichtigt bleiben. Der Untergrund im Bereich dieser Bohrung ist damit der Untergrundklasse **M** zuzuordnen.

Die ca. 900 m westlich vom Schacht Bartensleben und damit am Rande außerhalb der Salzstruktur gelegene Bohrung DpMors52 (Tab. 6.2 b, S. 127) kann, aufgrund einer ca. 120 m mächtigen Schicht des Oberen Keuper mit  $v_p = 1843$  m/s, zur Klasse **M** gerechnet werden. Wegen ihres relativ großen Abstandes zum Schacht Bartensleben fand sie jedoch keine Berücksichtigung.

Weitere Bohrungen aus der näheren Umgebung des Schachtes Bartensleben, für die jedoch keine Geophonversenkmessungen vorliegen, konnten deshalb zur Klassifizierung der lokalen Untergrundverhältnisse nicht genutzt werden (vgl. Abb. 6.1). Für fünf schachtnahe Bohrungen (zwei am Schacht Marie und drei am Schacht Bartensleben) liegen noch keine verwertbaren Geschwindigkeits-Teufenverläufe vor. Auch diese Bohrungen konnten hier nicht einbezogen werden.

Aufgrund der lateral sehr unterschiedlichen geologischen Verhältnisse und Geschwindigkeits-Tiefenverteilungen erscheint es angebracht, für den Standort Morsleben keine einheitliche Untergrundklasse festzulegen. Eine am Standort einfallende seismische Welle wird - in Abhängigkeit von der Wellenlänge - von der Summe der lateralen Untergrundeigenschaften

ten beeinflusst. Da die beiden Untergrundklassen A und M in unmittelbarer Nachbarschaft auftreten, wird aus Gründen der Konservativität von standortspezifischen Antwortspektren ausgegangen, die beide Klassen abdecken.

Das im Bergwerk anstehende Salzgestein entspricht aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften (z.B.  $v_p > 3000$  m/s) der Untergrundklasse R (Fels). Am Standort des Endlagers Morsleben wird daher für unter Tage die Untergrundklasse **R** angesetzt.

#### **6.4 Dauer der Starkbewegungsphase**

Für die Dauer der Starkbewegungsphase, in KTA 2201.1 als Dauer der Erschütterungen bezeichnet, gibt es verschiedene Definitionen; plausibel verknüpft mit der für die Bauwerksbeanspruchung maßgebenden Bewegungsenergie ist das Zeitintervall, das einen bestimmten Teil der Signalenergie der Beschleunigungszeitverläufe repräsentiert. HOSSER (1987) hielt dafür das Zeitintervall zwischen 5% und 75% des Energieinhaltes für relevant. Für die Dauer der Starkbewegungsphase wurden in Abhängigkeit von der Intensitäts- und Untergrundklasse (Ukl.) die in Tabelle 6.3, S.127 zusammengestellten Werte ermittelt.

Als Dauer der Starkbewegungsphase am Standort Morsleben werden für das Bemessungs-erdbeben mit der Intensität VI  $\frac{1}{2}$  MSK und die am Standort angenommenen Untergrundklassen A bis M für über Tage 4 Sekunden angesetzt. Für unter Tage wird, wie in Kap. 7 erläutert, die gleiche Intensitätsklasse wie über Tage, jedoch die Untergrundklasse R angenommen. Unter Berücksichtigung der Verlängerung der Signaldauer durch Reflexion an der Erdoberfläche wird für unter Tage die Dauer der Starkbewegungsphase zu 1.5 Sekunden abgeschätzt.

Wegen der geringen Unterschiede der Dauer der Starkbewegungsphase zwischen den 3 Intensitätsklassen schlägt HOSSER (1987) eine intensitätsunabhängige Dauer für jede der 3 Untergrundklassen vor. Als Mittelwert für A und M ergibt sich daraus 3.85 s. Der Wert für R von 1.7 s ist offensichtlich dominiert durch die Intensitätsklassen 2 (1.8 s) und 3 (3.1 s). Der im Gutachten vorgeschlagene Wert von 1.5 s für die unterste Intensitätsklasse erscheint deshalb angemessen.

## **7 Bemessungs-Antwortspektren**

### **7.1 Standard-Antwortspektren und intensitäts- und untergrundabhängige Antwortspektren**

Das Bemessungs-Antwortspektrum gemäß KTA 2201 ist ein Freifeld-Antwortspektrum und ermöglicht die im dynamischen Lastfall Erdbeben am Bauwerk angreifenden Zusatzkräfte zu berechnen.

Antwortspektren für einen Standort lassen sich prinzipiell über einen theoretischen Ansatz berechnen oder aus herdnahen instrumentellen Messungen der Bodenbeschleunigung (Strong-Motion Registrierungen) bestimmen. In beiden Methoden haben neben Bebenstärke und Herdentfernung insbesondere die Untergrundverhältnisse am Standort einen entscheidenden Einfluß auf Dauer und Amplitude der Bodenbewegung.

Der theoretische Ansatz wurde in dem seismologischen Gutachten für Morsleben von SCHNEIDER (1994) gewählt (s. Absch. 4.2).

Im empirischen Ansatz werden aus Strong-Motion Registrierungen Antwortspektren berechnet, die damit eine Auswahl potentieller Erdbebenstärken, Hypozentraldistanzen und Untergrundverhältnisse repräsentieren. Auf der Grundlage dieser Daten lassen sich zum einen generalisierte Antwortspektren, sog. Standard-Antwortspektren, bestimmen, die die seismotektonischen Verhältnisse eines größeren Gebietes (z.B. der westlichen USA) widerspiegeln, ohne jedoch die Besonderheiten eines einzelnen Standortes zu berücksichtigen. Zum anderen kann versucht werden, die herdnahen Seismogramme nach Bebenstärke, Herdentfernung, Untergrundverhältnissen und Standortintensitäten zu klassifizieren um somit intensitäts- und untergrundabhängige Antwortspektren zur Verfügung zu stellen.

#### Standard-Antwortspektren

Zur Anpassung von Standard-Antwortspektren an die seismologischen Gegebenheiten eines

Standortes dient eine, z.B. aus Intensitäts-Beschleunigungsrelationen bestimmte Maximalbeschleunigung. Sie wird als Einhängewert bei hohen Frequenzen im normierten Standard-Antwortspektren zu dessen Skalierung benutzt.

Sehr gebräuchlich war bisher das Standard-Antwortspektrum der USAEC (U.S. Atomic Energy Commission) aus dem "Regulatory Guide 1.60" (1973) der USA (vgl. KTA-Dok., 1977, S. 31), das für mitteleuropäische Verhältnisse im tieffrequenten Bereich (unter 2.5 Hz) abgewandelt wurde. Es ist ein auf die Starrkörperbeschleunigung normiertes 84%-Fraktile (Mittelwert plus Standardabweichung) vieler Einzelspektren. Normierte Spektren können jedoch bezüglich ihres Amplitudenniveaus nicht mehr als 84% Fraktile gelten.

Die diesen Standard-Antwortspektren zugrunde liegenden Akzelerogramme stammen fast ausschließlich von Erdbeben aus den USA, sie decken damit einen Magnitudenbereich ab, der über die in Mitteleuropa zu erwartenden größten Magnituden hinausgeht. Außerdem repräsentieren die darin enthaltenen Untergrundverhältnisse mehr mittelsteife, halbverfestigte Sedimente als Fels oder Lockersedimente.

#### Intensitäts- und untergrundabhängige Antwortspektren

Durch die vermehrte Installation von Strong-Motion-Instrumenten auch in Europa standen erstmals in den achtziger Jahren eine Reihe von Bebenaufzeichnungen für die Berechnung von Antwortspektren zur Verfügung, die mehr den europäischen seismotektonischen Gegebenheiten gerecht wurden. Solche Bemessungs-Antwortspektren wurden im interdisziplinären Forschungsvorhaben des Instituts für Bautechnik in Berlin (IfBt-Abschlußbericht 1983, 1986, HOSSER 1987) für drei Intensitätsklassen (6-7, 7-8, 8-9) und für drei Untergrundklassen (A: Lockersedimente; M: mittelsteife, halbverfestigte Sedimente; R: Fels) berechnet (Tab. 6.3, S 127; Abb. 7.1, S. 93). Da es Absolut-Spektren sind, besteht keine Notwendigkeit, eine Maximalbeschleunigung als Einhängewert im hochfrequenten Bereich definieren zu müssen.

Diese untergrund- und intensitätsabhängigen Antwortspektren sind durch Mittelwertbildung der logarithmierten spektralen Amplituden erzeugt und stellen somit unter der Annahme

log-normaler Verteilung 50%-Fraktile dar. Die Einbuße an Konservativität gegenüber dem 84%-Fraktile soll nach HOSSER (1987, S. 571) „durch Senkung der Eintrittsrate bei probabilistischer Definition der Standortintensität von  $10^{-4}$ /Jahr auf  $10^{-5}$ /Jahr kompensiert werden“ (vgl. Kap. 5). Das bedeutet eine Erhöhung der Standortintensität.

Bei den hier zur Anwendung kommenden Antwortspektren des IfBt (HOSSER 1987) handelt es sich um Spektren der horizontalen Komponenten und nicht um deren Resultierende. Es gelten daher für diese Antwortspektren ähnliche Überlegungen wie zuvor bei der Festlegung der Maximalbeschleunigung nach KTA 2201.1. Für das Bemessungs-Antwortspektrum werden die IfBt-Beschleunigungs-Antwortspektren der Intensitätsklasse 1 (Intensität 6-7) und der Untergrundklassen A, M und R durch Multiplikation der spektralen Amplituden mit dem Faktor  $\sqrt{2}$  auf die horizontalen Resultierenden umgerechnet (vgl. Abb. 7.2).

Die Eckwerte der Beschleunigungs-Antwortspektren in Abb. 7.1, S. 93, und Abb. 7.2, S. 94, können Tab. 7.1, S. 128 entnommen werden.

## **7.2 Festlegung von Bemessungs-Antwortspektren für den Standort des Endlagers Morsleben**

Die in diesem seismologischen Standortgutachten benutzten intensitäts- und untergrundabhängigen Antwortspektren sind keine normierten Standard-Antwortspektren, wie z.B. das USAEC-Spektrum, und daher nicht für eine Skalierung mittels der Starrkörperbeschleunigung  $a_{\max}$  als Einhängewert konzipiert. Nach LEYDECKER & KOPERA (1998 b) muß auch dann keine Skalierung dieser Spektren vorgenommen werden, wenn deren Starrkörperbeschleunigung unter  $1 \text{ m/s}^2$  liegt. Letzteres ist in KTA 2201.1 für den Fall vorgesehen, daß die Maximalbeschleunigung (Starrkörperbeschleunigung des Antwortspektrums) zwischen  $0.5$  und  $1.0 \text{ m/s}^2$  liegt, wie z.B. hier im Falle der Untergrundklasse A.

Wie im Kap. 6.2 erläutert, kann aufgrund der komplizierten lokalen geologischen Verhältnisse für den Standort der Endlagers Morsleben keine einheitlichen Untergrundklasse für das Freifeldantwortspektrum angenommen werden. Ein standortspezifisches Antwortspek-

trum muß daher beide am Standort anzutreffenden Untergrundklassen, A (Lockersedimente) und M (mittelsteife, halbverfestigte Sedimente), repräsentieren. Konservativ wird das Bemessungs-Antwortspektrum an der Erdoberfläche (über Tage) daher als Einhüllende der Antwortspektren der beiden Untergrundklassen (A) und (M) bestimmt (Abb. 7.3).

Nach ALHEID (1986) kann nicht grundsätzlich von einer Reduktion der Schwingungsamplituden um 50% unter Tage gegenüber der freien Oberfläche ausgegangen werden. Nach seinen Berechnungen für einen anderen Standort betragen die Amplituden der seismischen Wellen im Teufenbereich 800 – 1200 m frequenzabhängig 60 – 75 % der Werte an der freien Erdoberfläche. Für unter Tage in Morsleben wird daher konservativ von der selben Standortintensität wie über Tage ausgegangen, jedoch gut verfestigtes Gestein der Untergrundklasse R (Fels) angesetzt (Abb. 7.3).

Im Sinne von KTA 2201.1 ist unter der Maximalbeschleunigung die Starrkörperbeschleunigung (spektrale Amplitude im hochfrequenten Bereich) des Freifeldantwortspektrums zu verstehen. Somit kann dem Bemessungs-Antwortspektrum die **Maximalbeschleunigung** direkt entnommen werden.

Abb. 7.4 enthält das Bemessungs-Antwortspektrum für den Standort Morsleben am Schacht Bartensleben als Freifeldspektrum (über Tage) sowie das für unter Tage angesetzte Antwortspektrum. Die Eckwerte dieser Beschleunigungs-Antwortspektren können Tabelle 7.2 S. 129 entnommen werden.

Damit sind alle ingenieurseismologischen Kenngrößen für den Standort Morsleben festgelegt. Die Werte sind nach dem heutigen Kenntnisstand der Seismologie als ausreichend konservativ anzusehen und decken das Erdbebenrisiko mit einem hohen Maß an Sicherheit ab.

### **7.3 Vergleich mit dem Bemessungs-Antwortspektrum von SCHNEIDER (1994)**

Zum Vergleich ist in Abb. 7.3 das von SCHNEIDER (1994) angegebene Bemessungs-Antwortspektrum für den Standort des Endlagers Morsleben eingezeichnet. Es ist ein theoretisches Spektrum, ausgehend von einem für den Raum Morsleben plausiblen Herdprozeß mit einer seismisch abgestrahlten Herdenergie, die durch die Magnitude des von SCHNEIDER festgelegten Bemessungsbebens bestimmt wird. Das geschichtet angesetzte Ausbreitungsmedium zwischen Herd und Standort wirkt mit seinen physikalischen Eigenschaften auf die seismischen Wellen, d.h. das angenommene Herdpektrum wird zu einem Standortpektrum verändert; dieses wiederum wird zum Antwortspektrum umgerechnet.

Das SCHNEIDER-Antwortspektrum folgt in etwa dem im vorliegenden Gutachten für unter Tage angesetzten Antwortspektrum für Fels, unterscheidet sich allerdings sowohl in der Form als auch in den spektralen Amplituden deutlich von dem hier vorgeschlagenen standortspezifischen Antwortspektrum für über Tage.

Ohne eine Wertung beider Methoden damit zu verbinden, werden hier die aus Beobachtungen mit Strong-Motion Instrumenten abgeleiteten Antwortspektren den theoretischen von SCHNEIDER vorgezogen.

## 8 Abschließende Beurteilung

### 8.1 Ergebnisse des Gutachtens von SCHNEIDER aus dem Jahre 1994

Die Festlegung des Bemessungserdbebens gemäß KTA 2201.1 für den Standort Morsleben erfolgte in dem Gutachten von SCHNEIDER (1994) durch Zuordnung von möglichen Erdbeben an bekannte tektonische Strukturen im Umfeld des Standortes. Es wurden drei potentiell seismogene Strukturen unterschiedlicher Bedeutung in Epizentralentfernungen von 5, 15 und 30 km erkannt und mit je einem Beben der Oberflächenwellen-Magnitude  $M_s = 3.2, 4.0$  bzw.  $5.2$  belegt, wobei größere Magnituden zu größeren Entfernungen gehören. Die jeweiligen Wirkungen auf den Standort wurden über ein Entfernungs-Abnahmegesetz der Bodenbeschleunigung ermittelt. Standortspezifische Antwortspektren für alle drei Modellderbeben wurden unter Zugrundelegung von Herd- und Untergrundmodellen berechnet und die in Tab. 8.1 aufgelisteten ingenieurseismologischen Kenngrößen festgelegt.

**Tabelle 8.1: Ingenieurseismologische Kenngrößen für den Standort des Endlagers Morsleben nach SCHNEIDER (1994)**

Standortintensität	VI $\pm$ 1/2 MSK
Überschreitenswahrscheinlichkeit	$4 \cdot 10^{-4}$ /Jahr
Bodenbeschleunigung horizontal	125 cm/s <sup>2</sup>
Bodenbeschleunigung vertikal	63 cm/s <sup>2</sup>
Dauer der Starkbewegungsphase	3 s

Das von SCHNEIDER angegebene Bemessungs-Antwortspektrum ist in Abb. 7.3 zusammen mit den hier neu bestimmten Antwortspektren dargestellt.

## 8.2 Ergebnisse des hier vorgelegten Gutachtens

Gemäß der in KTA 2201.1 (1990) definierten deterministischen Vorgehensweise zur Bestimmung des Bemessungserdbebens und unter Berücksichtigung der seismogeographischen Neueinteilung Deutschlands würde die Verlagerung der Epizentren von Beben innerhalb der tektonischen Einheit Südliche Altmark in Standortnähe dort eine maximale Intensität von ca. VI MSK hervorrufen (vgl. Kap. 4.3). Eine Anhebung der maximal möglichen Intensität um  $\frac{1}{2}$  Grad MSK über die bisher in der Standortregion beobachtete ergäbe damit am Standort eine Intensität von VI  $\frac{1}{2}$  MSK.

Die nächstgelegene seismogeographische Region mit deutlich stärkerer seismischer Aktivität ist Zentral-Sachsen. Die höchste in dieser Region beobachtete Intensität liegt bei VII  $\frac{1}{2}$  MSK. Wie im Kap. 4.3 dargelegt, hätte eine um 1.0 Grad MSK angehobene Intensität am Standort ebenfalls eine Intensität von ca. VI  $\frac{1}{2}$  MSK zur Folge.

Für das **Bemessungserdbeben** gemäß KTA 2201.1 wird in dem hier vorgelegten seismologischen Standortgutachten die **Intensität VI  $\frac{1}{2}$  MSK** festgelegt. Hierzu wird eine Überschreitenswahrscheinlichkeit von kleiner  $10^{-5}$  pro Jahr berechnet.

Aus der Standortintensität VI  $\frac{1}{2}$  MSK errechnet sich unter Anwendung der empirischen Beziehung von MURPHY & O'BRIEN (1977) eine maximale horizontale resultierende Bodenbeschleunigung von  $106 \text{ cm/s}^2$ . Nach KTA 2201.1 wird die Maximalbeschleunigung als die Starkkörper-Horizontalbeschleunigung des Freifeld-Antwortspektrums (Einhängewert) definiert. Im hier vorliegenden Fall ergibt sich aus dem angesetzten Freifeld-Antwortspektrum ein Wert von  $113 \text{ cm/s}^2$ . Das zugehörige Spektrum ist in Abb. 7.3 dargestellt.

Als **Bemessungs-Antwortspektren** für den Standort Morsleben werden die in Tab. 7.2, S. 129 definierten und in Abb. 7.3 und 7.4 dargestellten standortspezifischen Antwortspektren angesetzt. Das Spektrum für über Tage ist die Einhüllende der Untergrundklassen A und M (Lockersedimente geringer Impedanz und mittelsteife, halbverfestigte Sedimente).

Für unter Tage wird das Antwortspektrum der Untergrundklasse R (Fels) angesetzt.

Die hier verwendeten Spektren sind statistisch als 50 % Fraktil aus einem Ensemble ausgewählter Registrierungen generiert worden. Die Einbuße an Konservativität gegenüber einem 84 % Fraktil-Spektrum (bezüglich seiner spektralen Amplituden) soll nach HOSSER (1987) bei probabilistischer Bestimmung der Standortintensität durch Senkung der Eintrittsrate des Bemessungserdbebens von  $10^{-4}$ /Jahr auf  $10^{-5}$ /Jahr ausgeglichen werden, dies ist bereits oben erfolgt.

Die unterschiedlichen Ansätze und Ergebnisse bei der Bestimmung der maximalen resultierenden Horizontalbeschleunigung sind in Tab. 8.2 zusammengefaßt dargestellt.

**Tabelle 8.2: Maximale resultierende Starrkörper-Horizontalbeschleunigungen für den Standort des Endlagers Morsleben**

	aus Intensität	über Antwortspektrum	
		über Tage	unter Tage
resultierende horizontale Beschleunigung	106 cm/s <sup>2</sup>	113 cm/s <sup>2</sup>	99 cm/s <sup>2</sup>
vertikale Beschleunigung	53 cm/s <sup>2</sup>	57 cm/s <sup>2</sup>	50 cm/s <sup>2</sup>

Bei der Festlegung des Bemessungserdbebens und der ingenieurseismologischen Kenngrößen wurde konservativ der jeweils ungünstigere Fall ausgewählt. Die wesentlichen Entscheidungen werden hier zusammengefaßt:

- Anhebung der maximal beobachteten Intensität innerhalb der seismotektonischen Einheit des Standortes um eine halbe Einheit der MSK-Skala, außerhalb um eine ganze Einheit
- Verschiebung der Bereiche maximaler Epizentralintensitäten in Standortnähe
- Aufrundung halber Intensitäten bei der statistischen Auswertung der Intensitätshäufig-

keiten

- Annahme derselben Intensität des Bemessungserdbeben für über Tage auch für unter Tage

Für den Standort Morsleben wurden die in Tab. 8.3 aufgeführten Werte bestimmt.

**Tabelle 8.3: Bemessungserdbeben und ingenieurseismologische Kenngrößen für den Standort des Endlagers Morsleben**

<b>Intensität</b>	<b>VI ½ MSK</b>	
<b>Überschreitenswahrscheinlichkeit</b>	<b>&lt; 10<sup>-5</sup> /Jahr</b>	
	<b>über Tage</b>	<b>unter Tage</b>
<b>resultierende horizontale Beschleunigung</b>	<b>113 cm/s<sup>2</sup></b>	<b>99 cm/s<sup>2</sup></b>
<b>vertikale Beschleunigung</b>	<b>57 cm/s<sup>2</sup></b>	<b>50 cm/s<sup>2</sup></b>
<b>Dauer der Starkbewegungsphase (Energiekriterium 5% - 75%)</b>	<b>4 sec</b>	<b>1.5 sec</b>

Das im vorliegenden seismologischen Standortgutachten zugrunde gelegte Bemessungserdbeben der Intensität VI ½ MSK und die standortspezifischen ingenieurseismologischen Kenngrößen sind in Anbetracht der geringen beobachteten Seismizität des norddeutschen Raumes während der zurückliegenden 1200 Jahre und wegen der genannten kumulativ wirkenden Sicherheitsfaktoren nachgewiesen konservativ. Sie decken das seismische Risiko für den Standort Morsleben mit einem hohen Maß an Sicherheit ab.

### **Danksagung**

Wir danken Herrn Dr. K.-G. Hinzen, Bensberg, und Herrn Dr. A. Rudloff, Hannover/Karlsruhe, für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

**BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN  
UND ROHSTOFFE**

Im Auftrag  
Abteilungsleiter B2

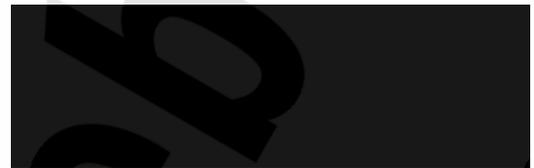
Hannover, den 11.6. 1999



(Dr. Helmut Raschka)

Arbeitspaketleiter

Hannover, den 7. Juni 1999



(Dr. Günter Leydecker)

Projektleiter Endlagerung

Hannover, den 14.06.1999



(Dr. Manfred Wallner)

## 9 Literatur

- AHORNER, L. (1975): Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault zones in Central Europe. -- *Tectonophysics* **29**, 233-249.
- AHORNER, L. (1982): Seismicity and neotectonic structural activity of the Rhine graben system in Central Europe. -- In: A.R. Ritsema & A. Gürpınar (eds.): *Seismicity and Seismic Risk in the Offshore North Sea Area*. 101-111, Reidel Publishing Comp., Dordrecht.
- AHORNER, L. & ROSENHAUER, W. (1978): Seismic Risk Evaluation for the Upper Rhine Graben and its Vicinity. -- *J. Geophys.* **44**, 481-497.
- AHORNER, L. & ROSENHAUER, W. (1983): Erdbebenzonenkarte. -- Kap.9 in *IfBt-Abschlußbericht (1983)*, s. ebendort.
- AHORNER, L., MURAWSKI, H. & SCHNEIDER, G. (1970): Die Verbreitung von schadenverursachenden Erdbeben auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. -- *Z. Geophys.*, **36**: 313-343, 1970; Würzburg.
- ALHEID, H.-J. (1986): Seismische Lastannahmen unter Tage. Ableitung der Bewegungsgrößen für unter Tage. – Bericht, Archiv Nr.: 99586, 59 S., 28 Abb., 6 Tab., Bundesanstalt für Geowissenschaften u. Rohstoffe, Hannover.
- BALDSCHUHN, R. & KOCKEL, F. (1994): Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland - Abgedeckte geologische Karte der Unterkreidebasis 1:300 000. -- 1 Karte auf 4 Blatt, Bundesanst. f. Geowissenschaft. u. Rohstoffe, Hannover.
- BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F. (1996 a): Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland 1:300 000. (aktualisierte Karte des Sockelstörungsmusters, 1997) -- Bundesanstalt f. Geowissenschaft. u. Rohstoffe, Hannover.

- BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F. (1996 b): Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland 1:300 000. - Teil 17: Strukturübersicht 1 : 500 000. -- Bundesanstalt f. Geowissenschaft. u. Rohstoffe, Hannover.
- BEST, G. (1996): Floßtektonik in Norddeutschland: Erste Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen an der Salzstruktur „Oberes Allertal“. -- Z. dt. geol. Ges. **147/4**, 455-464, 4 Abb., Stuttgart.
- BEST, G. & ZIRNGAST, M. (1998): Analyse der strukturgeologischen Entwicklung der Salzstruktur Oberes Allertal und ihrer Umgebung. -- Abschlußbericht, Archiv Nr.: 116 873, Tgb. Nr.: 10428/98, 112 S. (einschl. Anlagen), 20 Abb., 6 Tab., 6 Anl., Bundesanstalt f. Geowissenschaft. u. Rohstoffe, Hannover.
- BOIGK, H. (1981): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland. Erdölprovinzen, Felder, Förderung, Vorräte, Lagerstättentechnik. -- Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- BAUMBACH, M. (1991): Analyse und Auswertung der Seismizität im Umfeld des ERA Morsleben -- Bericht v. 30.7.1991, 18 S., 4 Tab., 17 Abb., 1 Anhang. -- Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam.
- CORNELL, C. A. (1968): Engineering seismic risk analysis. -- Bull. Seismol. Soc. America, Vol. 58, No.5, 1583-1606.
- DEKORP-BASIN Research Group (1999): Deep crustal structure of the Northeast German basin: New DEKORP-BASIN '96 deep-profiling results. -- Geology, January 1999, vol. 27, no. 1, p. 55-58, 4 fig., 1 insert.
- GRÜNTAL, G. (1988): Erdbebenkatalog des Territoriums der Deutschen Demokratischen Republik und angrenzender Gebiete von 823 bis 1984, Zentralinstitut für Physik der Erde, No 99, Potsdam.

GRÜNTAL, G. & R. MEIER (1996): Das „Prignitz“-Erdbeben von 1409. -- Brandenburgische Geowiss. Beitr., 2, 2, 5-27, Kleinmachnow.

HENGER, M. & LEYDECKER, G. (eds.) (1987 ff.): Erdbeben in der Bundesrepublik Deutschland 1982. (ab 1993: Erdbeben in Deutschland) -- ISSN 0723-3465, Bundesanstalt für Geowiss. und Rohstoffe, Hannover. -- Die Erdbebendaten für die folgenden Jahre bis 1993 sind der gleichen Publikationsserie entnommen.

HOSSER, D. (1987): Realistische seismische Lastannahmen für Bauwerke. Ergebnisse einer interdisziplinären Forschungsarbeit. -- Bauingenieur 62, 567-574, Springer Verlag.

IfBt-Abschlußbericht (1983) (HOSSER, D., KLEIN, H.; AHORNER, L., ROSENHAUER, W., BERCKHEMER, H., KOPERA, J., SCHNEIDER, G., KUNZE, TH., WAAS, G., WERKLE, H. & WEBER, W.): Realistische seismische Lastannahmen für bauliche Anlagen mit erhöhtem Sekundärrisiko. -- Im Auftrag d. Instituts f. Bautechnik, Berlin, 236 pp. (Aktenzeichen IV/1-5-377/82); Berlin.

IfBt-Abschlußbericht (1986): Realistische seismische Lastannahmen für Bauwerke. -- König und Heunisch, Beratende Ingenieure, Frankfurt a.Main / Erdbebenstation Bensberg der Universität Köln / Institut für Geophysik der Universität Stuttgart. -- Im Auftrag des Instituts für Bautechnik, Berlin, 334 pp. (Aktenzeichen IV/1-5-442/85, 443/85, 441/85); Berlin.

JARITZ, W. (1973): Zur Entstehung der Salzstrukturen Nordwestdeutschlands. -- Geol. Jb. A 10, 77 S., Hannover.

JARITZ, W. (1992): Fortschritte und offene Fragen zur Entstehung der Salzstrukturen NW-Deutschlands. -- In: Salz in Niedersachsen, Nds. Akad. Geowiss. Veröfftl., Heft 8, 16-24, Hannover.

- JUBITZ, K.-B. u.a. (1987): Geologisch-tektonisches Umfeld der Endablagerung Morsleben für radioaktive Abfälle. – Ergebnisbericht GZ 4; 30.06.1987, Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam.
- JUBITZ, K.-B., BEUTLER, G. & SCHWAB, G., STACKEBRANDT, W. (1991): Zur Strukturbildung des Spaltendiapirs der Allertalzone (Subherzyna Senke). -- Ztschr. Geol. Wiss., 19, 409-421.
- KOCKEL, F. (1995): Structural and paleogeographical development of the German North Sea Sector. - In: Beitr. regionale Geol. Erde, 26, 96 S., 7 Abb., 16 Anl., Stuttgart (Borntraeger).
- KTA 2201.1 (1975): Sicherheitstechnische Regel des KTA (Kerntechnischer Ausschuss): Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 1: Grundsätze.
- KTA-Dok.-Nr. 2201.2.1/77/5 (1977): Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen. Teil: 2.1 Kenndaten seismischer Erregung. -- Beratungsunterlage zu TOP 4.3 der 16. KTA-Sitzung am 18.10.1977.
- KTA 2201.1 (1990): Sicherheitstechnische Regel des KTA (Kerntechnischer Ausschuss): Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen, Teil 1: Grundsätze; Fassung 6/90. Kerntechnischer Ausschuss (KTA). Carl Hauptmanns Verlag, Köln, Berlin.
- LERSCH, B.M. (1897): Erdbeben-Chronik für die Zeit von 2362 v.Chr. bis 1897. -- Neunzehnbändig Handschrift. Stadtverwaltung Aachen, z.Zt. GeoForschungsZentrum Potsdam.
- LEYDECKER, G. (1980): Erdbeben in Norddeutschland. -- Z. Dtsch. Geol. Ges., 131: 547-555; Hannover.

- LEYDECKER, G. (1986): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000 - 1981. -- Geol.Jb., **E 36**, 3-83, 7 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- LEYDECKER, G. (1998): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 - 1993 (Schadenbeben bis 1997). -- erweiterter Datenfile; Bundesanstalt f. Geowissenschaften u. Rohstoffe, Hannover.
- LEYDECKER, G. (1998 a): Das Erdbeben vom 9. Oktober 1993 bei Pennigsehl nahe Nienburg/Weser im Norddeutschen Tiefland. -- in: HENGER M. & LEYDECKER G. (eds.): Erdbeben in Deutschland 1993. -- ISBN 3-510-95808-X. - BGR, Hannover.
- LEYDECKER, G. (1998 b): Beziehung zwischen Magnitude und Größe des Bruchfeldes bei starken Gebirgsschlägen im deutschen Kalibergbau - ein Beitrag zur Gefährdungsprognose. -- Zeitschrift für angewandte Geologie, **44**, 1, 22-25, Hannover.
- LEYDECKER, G. & HARJES, H.-P. (1978): Seismische Kriterien zur Standortauswahl kern-technischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland. -- (mit einem Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000-1974). Abschlußbericht - RS 170. Archiv-Nr.: 81577. -- Bundesanstalt f. Geowissenschaften u. Rohstoffe, Hannover.
- LEYDECKER, G. & AICHELE, H. (1998): The Seismogeographical Regionalisation of Germany.- The Prime Example for Third-Level Regionalisation.-- Geol. Jahrbuch, **E 55**, 85-98, 6 figs., 1 tab., Hannover.
- LEYDECKER, G. & KOPERA, J.R. (1998 a): Das Erdbeben von Lüneburg aus dem Jahre 1323. -- in: HENGER, M. & LEYDECKER, G. (eds.): Erdbeben in Deutschland 1993. -- ISBN 3-510-95808-X. - BGR, Hannover

- LEYDECKER, G. & KOPERA, J.R. (1998 b): Zum Problem der Skalierung standortspezifischer Bemessungsspektren im Zusammenhang mit der Forderung der KTA 2201.1 nach Mindestbeschleunigungen. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Archiv Nr.: 117 123 , Tagebuch Nr : 10 488/98, März 1998, 13 S., 3 Abb., 1 Tab., Hannover.
- LEYDECKER, G., STEINWACHS, M., SEIDL, D., KIND, R., KLUSSMANN, J. & ZERNA, W. (1980): Das Erdbeben vom 2. Juni 1977 in der Norddeutschen Tiefebene bei Soltau. -- Geol Jb., E 18: 3-18, 5 Abb., 3 Tab., Hannover.
- LEYDECKER, G., GRÜNTAL, G. & AHORNER, L. (1998): Der Gebirgsschlag vom 13. März 1989 bei Völkershäusen in Thüringen im Kalibergbaugebiet des Werratal.- Makroseismische Beobachtungen und Analysen. -- Geol. Jahrbuch, E 55, 5-24, 4 Abb., 5 Tab. Hannover.
- McGUIRE, R.K. (1976): FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Analysis. -- US Departement of the Interior, Geological Survey: Open-File Report 76-67, pp. 90.
- McGUIRE, R.K. (edt.) (1993): The Practice of Earthquake Hazard Assessment, -- Internat. Assoc. of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) and European Seismological Commission (ESC), pp 284, Denver, Colorado/USA.
- MEIER, R. & GRÜNTAL, G. (1992): Eine Neubewertung des Erdbebens vom 3. September 1770 bei Alfhausen (Niedersachsen). -- Osnabrücker naturwissenschaftliche Mitteilungen 18, S. 67-80, Osnabrück.
- MEISTER, D., EICKEMEIER, R., LEYDECKER, G., SCHNIER, H. & SCHULZE, O. (1997): Gebirgsschlaggefährdung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben, -- Im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Archiv Nr.: 116261 , Tagebuch Nr.: 11 236/97, 19.06.1997, 29 S., 27 Abb., 3 Tab., Hannover.

- MÜLLER, B., ZOBACK, M.L., FUCHS, K., MASTIN, L., GREGERSEN, S., PAVONI, N., STEPHANSSON, O. & LJUNGGREN, C. (1992): Regional patterns of stress in Europe. -- Journ. Geophys. Res., **97**, 11783-11803.
- MURPHY, J.R. & O'BRIEN, L.J. (1977): The Correlation of Peak Ground Acceleration Amplitude with Seismic Intensity and other Physical Parameters. -- Bull. Seism. Soc. Am., **67**, 877-915.
- REGULATORY GUIDE 1.60 (1973): Design Response Spektra for Seismic Design of Nuclear Power Plants. -- U.S. Atomic Energy Commission (USAEC); Directorate of Regulatory Standards.
- RICHTER, C.F. (1958): Elementary Seismology. -- W.H. Freeman & Company, San Francisco.
- SCHENK, V., GRUNTHAL, G. & SCHENKOVA, Z. (1984): Seismic Hazard Assessment for the German Democratic Republic. -- Engineering Geology, **20**, 73-88.
- SCHNEIDER, G. (1994): Seismologisches Gutachten Morsleben, 90 S. - Im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS).
- SIEBERG, A. (1940): Beiträge zum Erdbebenkatalog Deutschlands und angrenzender Gebiete für die Jahre 58 bis 1799. -- Mitt. Deutsch. Reichserdbebedienst **2**: 1-111; Berlin.
- SPONHEUER, W. (1960): Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik.-- Freiburger Forschungshefte C **88**, 1 - 120.
- SPONHEUER, W. (1965): Bericht über die Weiterentwicklung der seismischen Skala (MSK-1964).-- Dtsch. Akad. d. Wiss., Veröff. Inst. Geodynamik, Jena, Heft 8, Akademie Verlag, Berlin.

- SPONHEUER, W. (1971): Seismisches Standortgutachten für den Raum Morsleben. -- Gutachten im Auftrag des Deutschen Brennstoffinstituts Freiberg/Sachsen. ZIPE Jena, 15.10.1971.
- STEINWACHS, M. (1983): Die historischen Quellen eines Erdbebens zu Lüneburg anno 1323. -- Geol. Jb., E 26, 77-90, Hannover.
- TRIFUNAC, M.D. & BRADY, G. (1975): On the correlation of seismic intensity scales with peaks of recorded strong ground motion. --Bull. Seism. Soc. Am. 65, 139-162.
- WYLEGALLA, K. & BORMANN, P. (1990): Seismische Überwachung des Endlagers Morsleben. -- Zwischenbericht v. 30.1.1990, 2 Seiten. ZIPE Potsdam.
- ZIRNGAST, M. (1997): ERA Morsleben Flachseismische Untersuchungen - Begleitungen und Auswertung. -- Abschlußbericht, Archiv Nr.: 116374, 79 S. (ohne Anlagen), 37 Abb., 17 Tab., 35 Anl., Bundesanstalt f. Geowissenschaft. u. Rohstoffe, Hannover.

## 10 Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen

a	Aktivitätsmaß, aus der Intensitäts-Häufigkeitsverteilung berechnet
$a_H$	Einzelkomponente der Horizontalbeschleunigung
$a_{Hmax}$	Resultierende der Horizontalkomponenten der Maximalbeschleunigung
$a_{Hres}$	Resultierende der Horizontalbeschleunigung
$a_{max}$	Maximalbeschleunigung, nach KTA 2201.1 definiert als Starrkörperbeschleunigung im Antwortspektrum, z.B. in [cm/s <sup>2</sup> ]
$a_{Vmax}$	Vertikalkomponente der Maximalbeschleunigung
b	Steigung der Regressionsgeraden der Intensitäts-Häufigkeitsverteilung, Maß für das Verhältnis der Anzahl großer zu kleiner Beben
H	Herdtiefe in km
I	allgemeine makroseismische Intensität (MSK-1964 Skala)
$I_0$	Epizentralintensität (MSK-1964 Skala)
$I_0$	wird an Stelle von $I_0$ aus technischen Gründen in einigen Abbildungen verwendet
$I_k$	Intensitätsintervall, das alle Beben von $I_0 = (I_k - 1/2)$ bis $I_0 = I_k$ enthält
$I_{max}$	in der probabilistischen Analyse rechnerisch anzusetzende Maximalintensität einer seismischen Quelle bzw. der Hintergrundseismizität
$I_{max,beob}$	maximale beobachtete Intensität (MSK-1964 Skala)
$I_s$	Standortintensität (MSK-1964 Skala)
log	Logarithmus zur Basis 10
$N_c$	kumulative Häufigkeit, d.h. Zahl der Beben größer gleich einer Epizentralintensität $I_0$
$N_y$	Aktivitätsrate: Zahl der Ereignisse einer bestimmten Stärke (Intensität) pro Zeitintervall (hier 1 Jahr) und innerhalb eines Gebietes, z.B. einer seismischen Quellregion
$P(i \geq I)$	Überschreitenswahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Intensität, definiert als Zufallsvariable $i$ , größer oder gleich dem Wert $I$ ; Zahlenwert von $P$ zwischen 1 und 0
R	Entfernung in km vom Hypozentrum
$v_p$	Kompressionswellengeschwindigkeit in [m/s]
$v_s$	Scherwellengeschwindigkeit in [m/s]

### Abkürzungen

- BG<sub>i</sub> seismische Hintergrundaktivität (engl. background activity) des i-ten Modells  
MSK Makroseismische Intensitätsskala MSK-1964 (nach Medvedev-Sponheuer-Kárník)  
MM Modified Mercalli Skala. In den USA gebräuchliche makroseismische Skala; entspricht ab der Intensität III der MSK-Skala

### Griechische Buchstaben

- $\alpha$  Absorptionskoeffizient (ca. 0.05 bis 0.001 [1/km])  
 $\Delta_s$  Streubereich der Standortintensität bei der probabilistischen Berechnung

## 11 Verzeichnis der Abbildungen (Seiten 80 - 96)

Abb. 2.1: Sockelstörungsmuster in NW-Deutschland 1:500 000 (verkleinert)

(BALDSCHUHN, FRISCH & KOCKEL 1996 a). ★ Morsleben.

Abb. 2.2: Strukturgeologische Übersichtskarte (nach BALDSCHUHN, FRISCH & KOCKEL 1996 b).

Abb. 2.3: Schematischer geologischer Schnitt durch die Struktur „Oberes Allertal“ in der Höhe von Schacht Bartensleben, nicht überhöht (BEST & ZIRNGAST 1998).

Abb. 3.1: Karte mit den Epizentren der Erdbeben für die Jahre 800-1993 (LEYDECKER 1998). Die Symbolgröße der Beben ist abhängig von der Epizentralintensität  $I_0$ . Dreiecke kennzeichnen nichttektonische Beben bzw. Ereignisse in Bergbaugebieten.  $I_0 < 4.5$  meint auch nicht verspürte Beben. ★ Standort Morsleben.

Abb. 3.2: Karte mit den Epizentren der Schadenbeben (ab Intensität VI-VII) für die Jahre 800-1998 (LEYDECKER 1998).

Parameter ist die Epizentralintensität  $I_0$ . ★ Standort Morsleben.

Abb. 3.3: Neue erdbebengeographische Einteilung der Bundesrepublik Deutschland mit den englischen Namen der Regionen (LEYDECKER & AICHELE 1998). ★ Standort Morsleben.

Abb. 3.4: Karte mit den Epizentren der Erdbeben für die Jahre 800-1993 und der neuen erdbebengeographischen Einteilung (LEYDECKER 1998; LEYDECKER & AICHELE 1998).

Parameter ist die Epizentralintensität  $I_0$ . Die gestrichelte Linie trennt südliche und nördliche Altmark. Kreisradien um den Standort Morsleben (★): 100 km und 200 km.

Abb. 3.5: Epizentrenkarte der Schadenbeben (ab Intensität VI-VII) für die Jahre 800-1998 mit der neuen erdbebengeographischen Einteilung. (LEYDECKER 1998; LEYDECKER & AICHELE 1998).

Parameter ist die Epizentralintensität  $I_0$ . Die gestrichelte Linie trennt südliche und nördliche Altmark. Kreisradien um den Standort Morsleben (★): 100 km und 200 km.

Abb. 5.1: Normale und kumulative Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (allg.:  $\log_{10} N = a - b \cdot I$ ) der Erdbeben in der erdbebengeographischen Region Altmark (AM).

Die tektonischen Beben liegen alle in der Region Südliche Altmark (sAM).

Abb. 5.2: Normale und kumulative Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (allg.:  $\log_{10} N = a - b \cdot I$ ) der Hintergrundaktivität.

Einbezogen wurden alle Erdbeben im Umkreis von 210 km um den Standort des Endlagers Morsleben, ohne die Beben aus den Regionen Zentral-Sachsen (CS) und Vogtland (VG). Zur Berechnung der Ausgleichsgeraden wurden nur die mit x gezeichneten Meßwerte verwendet.

Abb. 5.3: Normale und kumulative Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (allg.:  $\log_{10} N = a - b \cdot I$ ) der Erdbeben in der erdbebengeographischen Region Zentral-Sachsen (CS). Zur Berechnung der Ausgleichsgeraden wurden nur die mit x gezeichneten Meßwerte verwendet.

Abb. 5.4: Normale und kumulative Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (allg.:  $\log_{10} N = a - b \cdot I$ ) der Erdbeben in der erdbebengeographischen Region Vogtland (VG).

Abb. 5.5: Überschreitenswahrscheinlichkeiten von Intensitäten für den Standort des Endlagers Morsleben.

Berechnet wurden sie aus der Hintergrundaktivität ( $BG_1$  bzw.  $BG_2$ , für ca. 200 km Umkreis) und der seismischen Aktivität verschiedener Regionen: sAM = Südliche Altmark mit der Herdtiefe  $H_{AM}$ , CS = Zentral-Sachsen, VG = Vogtland.

Maximalintensität:  $I_{max} = I_{max,beob.} + 0.5$  bzw.  $I_{max} = I_{max,beob.} + 1.0$  Grad MSK.

Abb. 5.6 a: Rechnerische Beiträge der seismischen Quellgebiete ( $I_{\max} = I_{\max, \text{beob.}} + 1.0$ )  
zur seismischen Gefährdung am Standort Morsleben für die Intensität 5 ½ MSK.  
Modell 1: 2 Quellgebiete und seismische Hintergrundaktivität BG<sub>1</sub>  
Modell 2: 3 Quellgebiete und seismische Hintergrundaktivität BG<sub>2</sub>

Abb. 5.6 b: Rechnerische Beiträge der seismischen Quellgebiete ( $I_{\max} = I_{\max, \text{beob.}} + 1.0$ )  
zur seismischen Gefährdung am Standort Morsleben für die Intensität 6 ½ MSK.  
Modell 1: 2 Quellgebiete und seismische Hintergrundaktivität BG<sub>1</sub>  
Modell 2: 3 Quellgebiete und seismische Hintergrundaktivität BG<sub>2</sub>

Abb. 6.1: Lage der nahe dem Schacht Bartensleben gelegenen Bohrungen mit Tiefen um 250 m.

Die durch ausgefüllte Kreise gekennzeichneten Bohrungen wurden für die Untergrundklassifizierung verwendet. Nur für diese lagen sowohl Geschwindigkeits-Tiefenverteilungen als auch Dichtemessungen vor (s. Tab. 6.2 a).

Abb. 7.1: Antwortspektren der Horizontalbeschleunigungen für die Standortintensität 6 - 7 MSK und für die drei Untergrundklassen A, M und R (IfBt-Abschlußbericht 1983, 1986; HOSSER 1987).

Abb. 7.2: Antwortspektren der resultierenden Horizontalbeschleunigungen (Eckwerte s. Tab. 7.1) für die Standortintensität 6 - 7 MSK und für die drei Untergrundklassen A, M und R (modif. nach HOSSER 1987).

Abb. 7.3: Vergleich von Antwortspektren der Horizontalbeschleunigung für den Standort Morsleben:

- Bemessungs-Antwortspektrum nach SCHNEIDER (1994)
- Bemessungs-Antwortspektrum für über Tage, gebildet als Einhüllende aus den Resultierenden der HOSSER-Antwortspektren (HOSSER 1987) für die Untergrundklassen A und M und der Intensitätsklasse 1 (6 - 7 MSK), gültig für die Standortintensität 6 ½ MSK des Bemessungsbebens

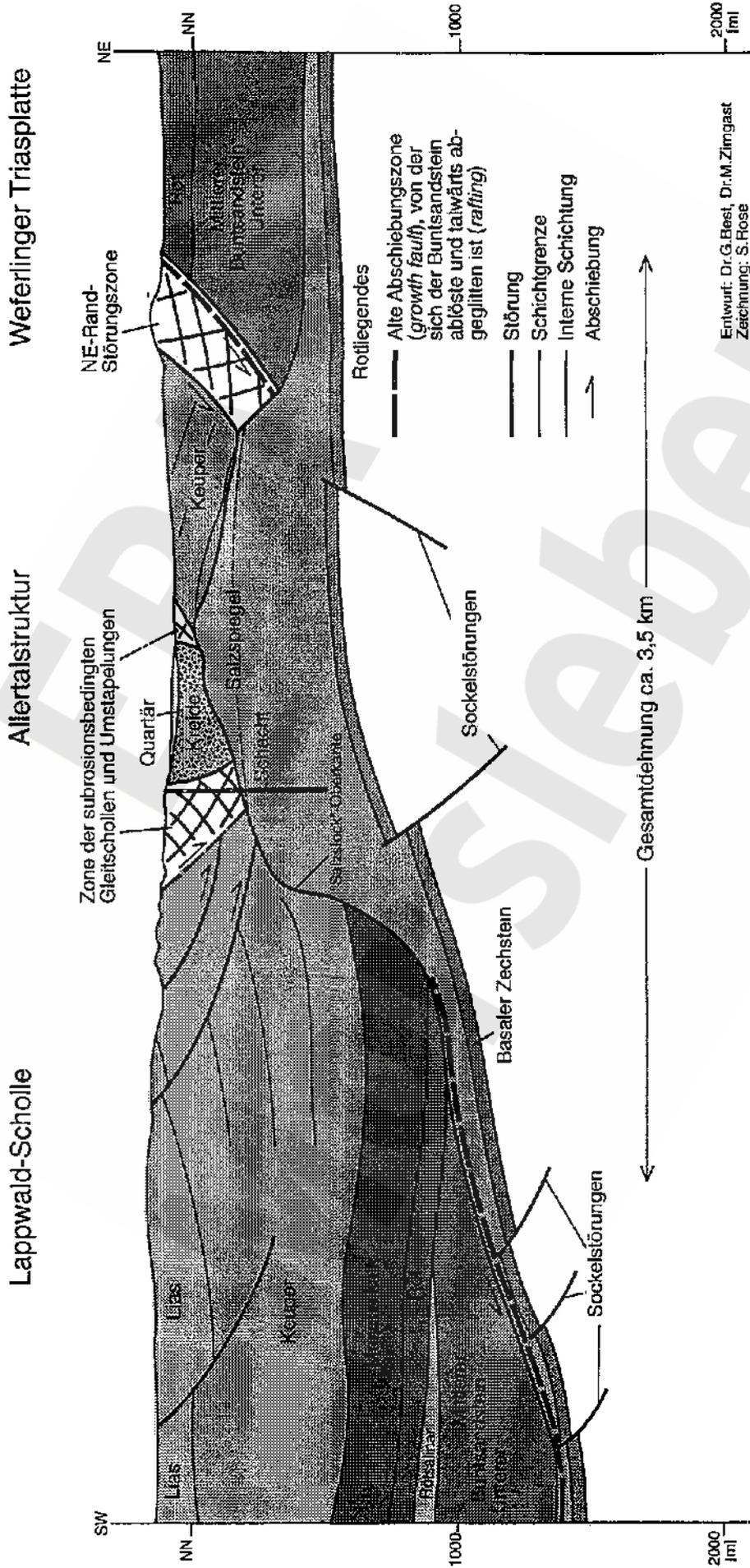
- Bemessungs-Antwortspektrum für unter Tage, gebildet als Resultierende des HOSSER-Antwortspektrums (HOSSER 1987) für die Untergrundklasse R und der Intensitätsklasse 1 (6 - 7 MSK), gültig für die Standortintensität  $6 \frac{1}{2}$  MSK des Bemessungsbebens

Abb. 7.4: Bemessungs-Antwortspektren der resultierenden Horizontalbeschleunigung für das Bemessungsbeben mit der Standortintensität  $6 \frac{1}{2}$  MSK für den Standort des Endlagers Morsleben (modif. nach HOSSER 1987) (Eckwerte siehe Tab. 7.2)

- über Tage, als Einhüllende der Untergrundklassen A und M
- unter Tage, Untergrundklassen R







**Abb. 2.3:** Schematischer geologischer Schnitt durch die Struktur „Oberes Allertal“ in der Höhe von Schacht Bartenleben, nicht überhöht (BEST & ZIRNGAST 1998).

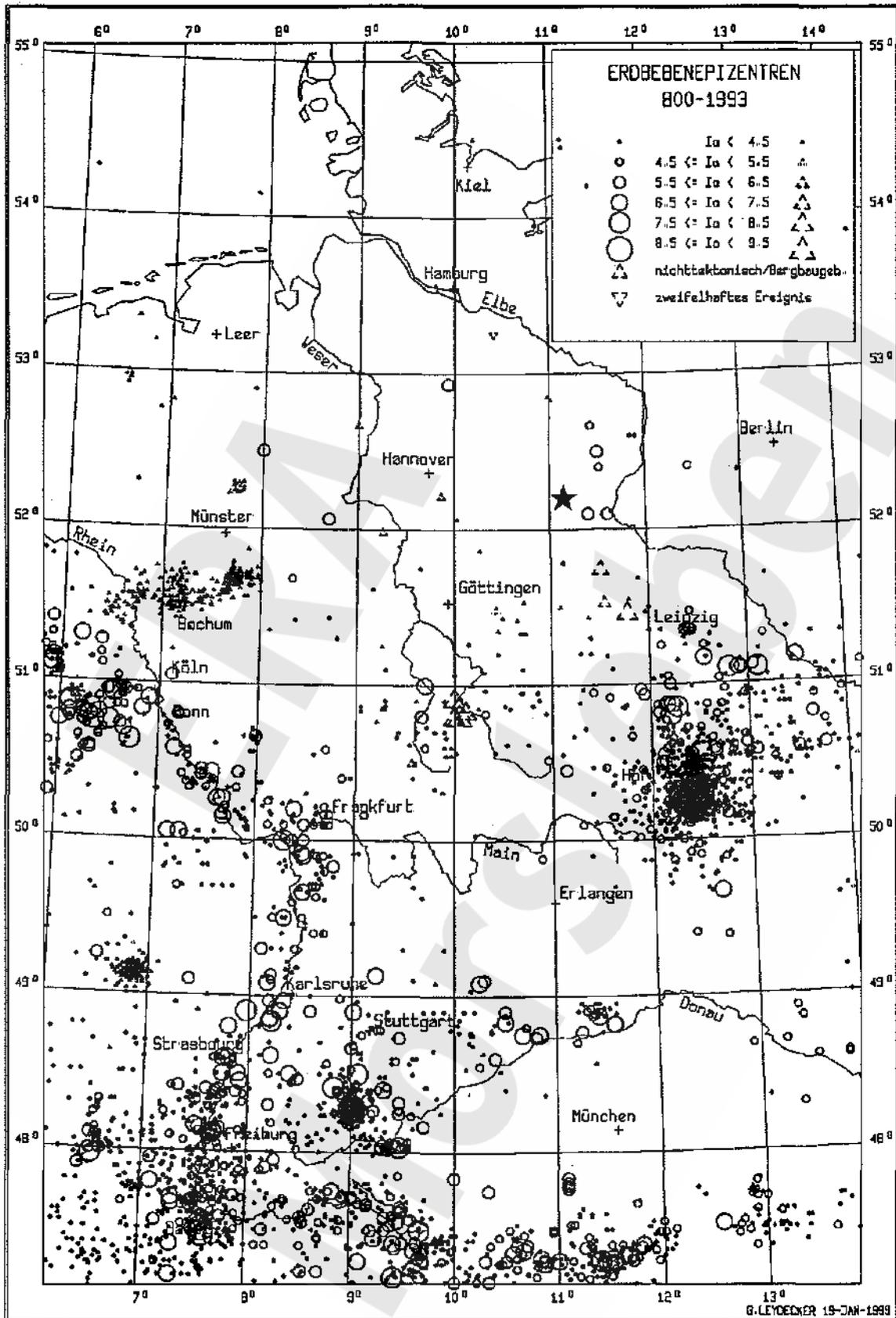


Abb. 3.1: Karte mit den Epizentren der Erdbeben für die Jahre 800-1993 (LEYDECKER 1998)

Die Symbolgröße der Beben ist abhängig von der Epizentralintensität  $I_0$ , Dreiecke kennzeichnen nichttektonische Beben bzw. Ereignisse in Bergbaugengebieten.  $I_0 < 4.5$  meint auch nicht verspurte Beben. ★ Standort Morsleben

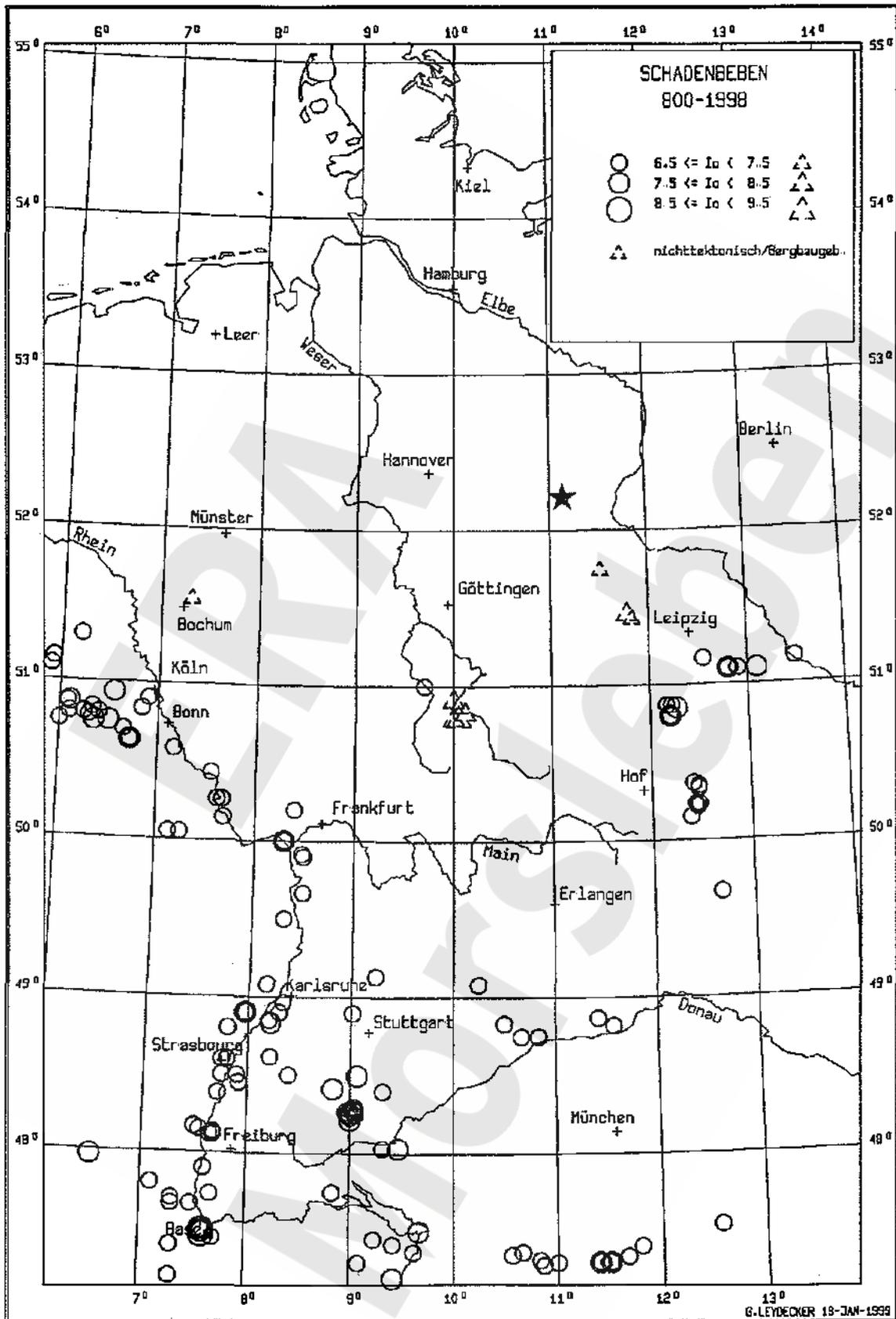
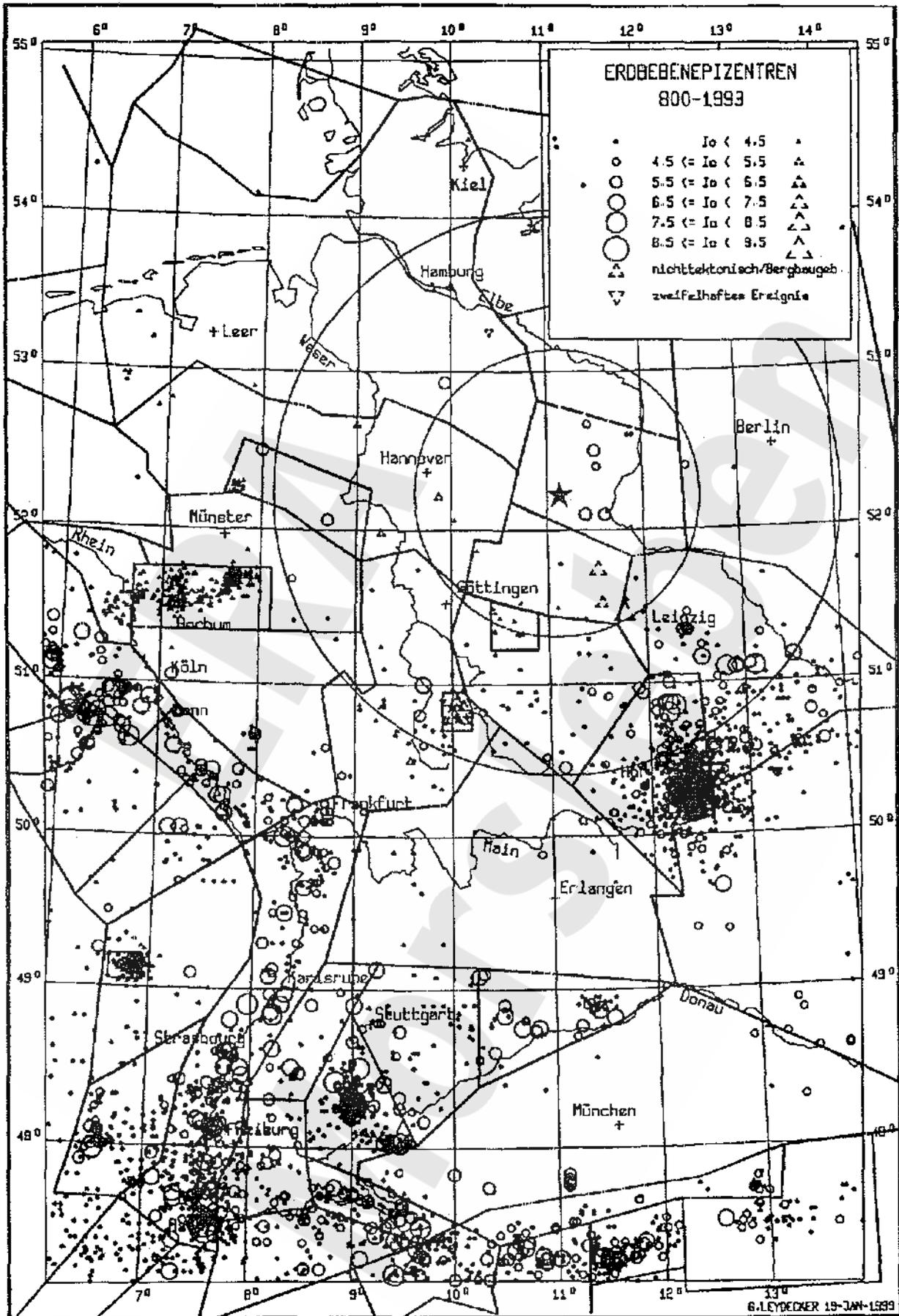
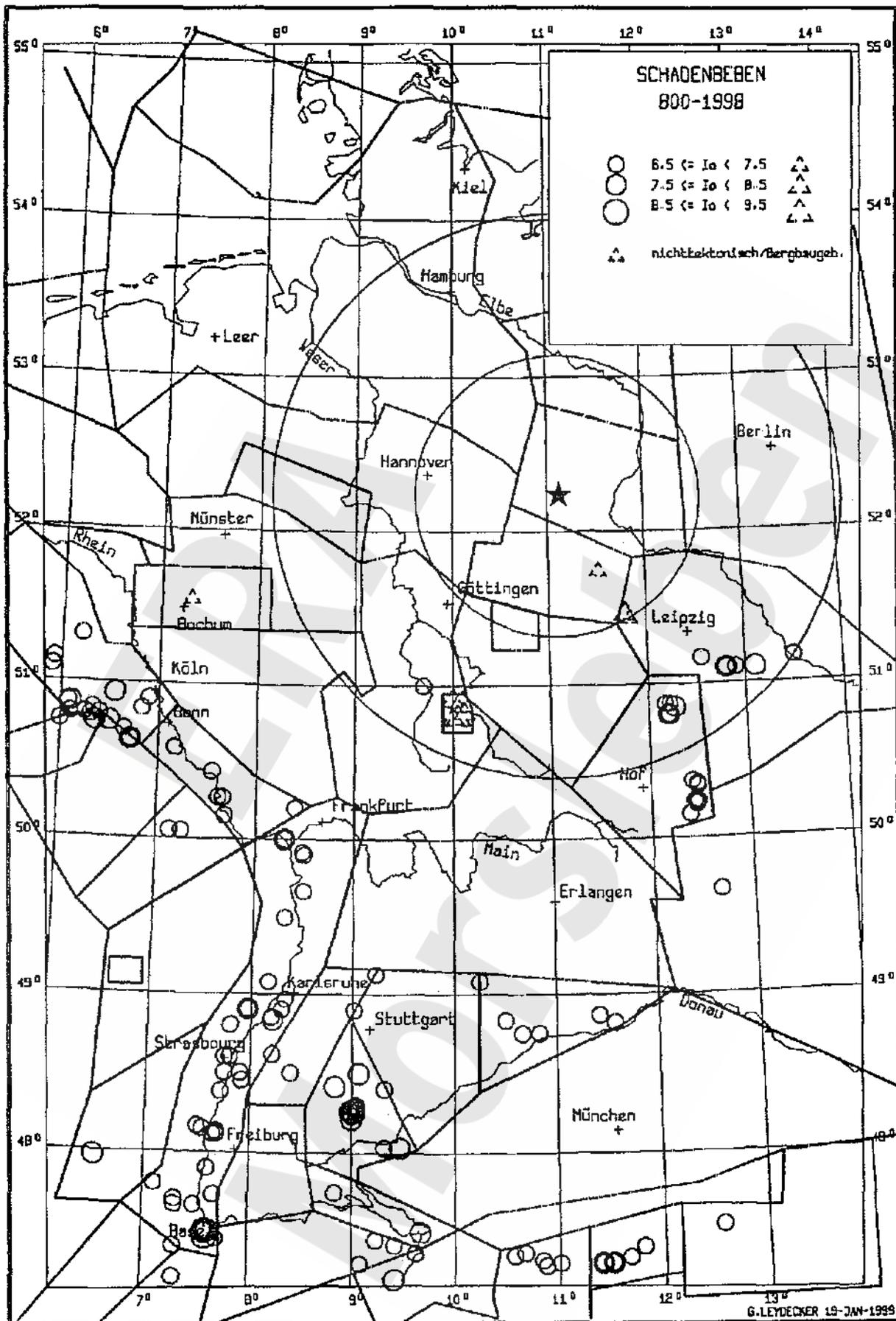


Abb. 3.2: Karte mit den Epizentren der Schadenbeben (ab Intensität VI-VII) für die Jahre 800-1998 (LEYDECKER 1998)  
Parameter ist die Epizentralintensität  $I_0$  ★ Standort Morsleben

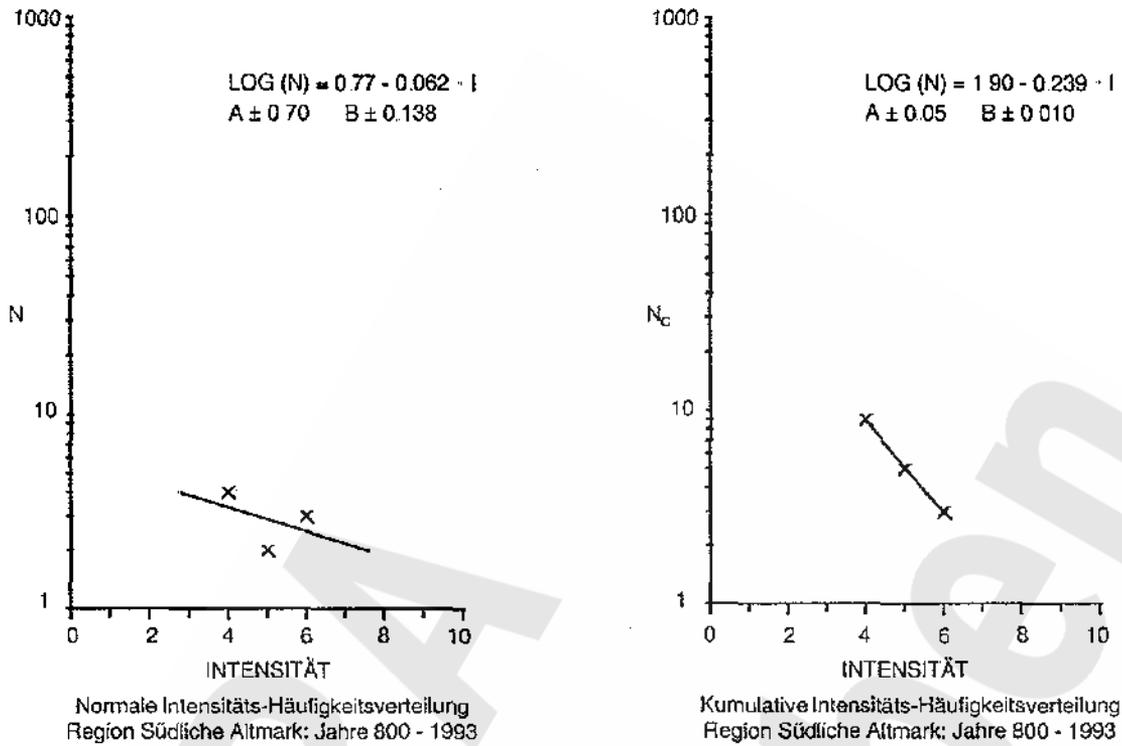




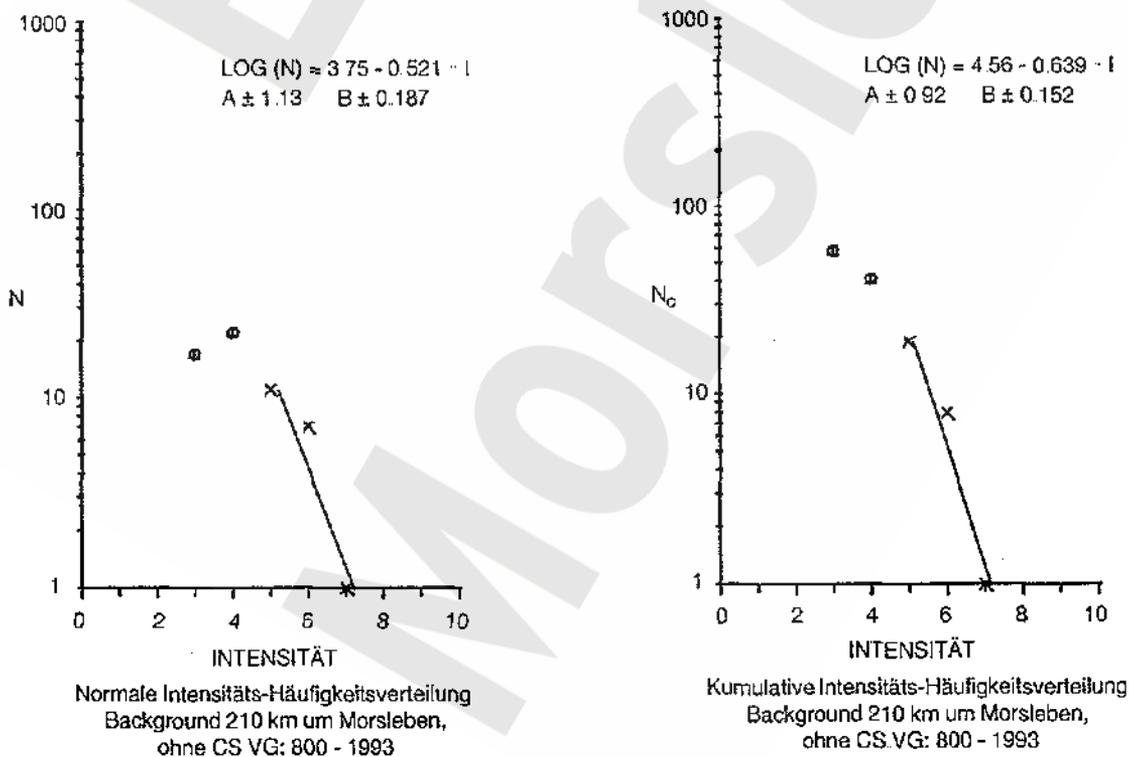
**Abb. 3.4:** Karte mit den Epizentren der Erdbeben für die Jahre 800-1993 und der neuen erdbebengeographischen Einteilung (LEYDECKER 1998; LEYDECKER & AICHELE 1998). Parameter ist die Epizentralintensität  $I_0$ . Die gestrichelte Linie trennt südliche und nördliche Altmark Kreisradien um den Standort Morsleben (★): 100 km und 200 km:



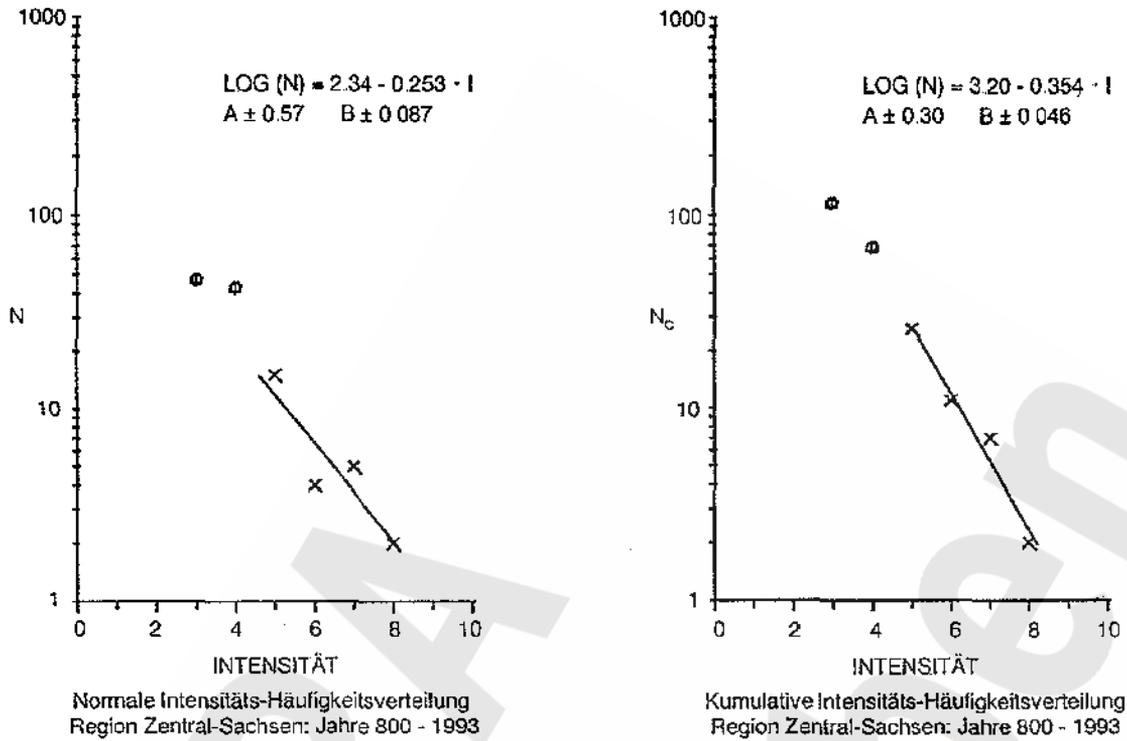
**Abb. 3.5:** Epizentrenkarte der Schadenbeben (ab Intensität VI-VII) für die Jahre 800-1998 mit der neuen erdbebengeographischen Einteilung (LEYDECKER 1998; LEYDECKER & AICHELE 1998). Parameter ist die Epizentralintensität  $I_0$ . Die gestrichelte Linie trennt südliche und nördliche Altmark. Kreisradien um den Standort Morsleben (★): 100 km und 200 km.



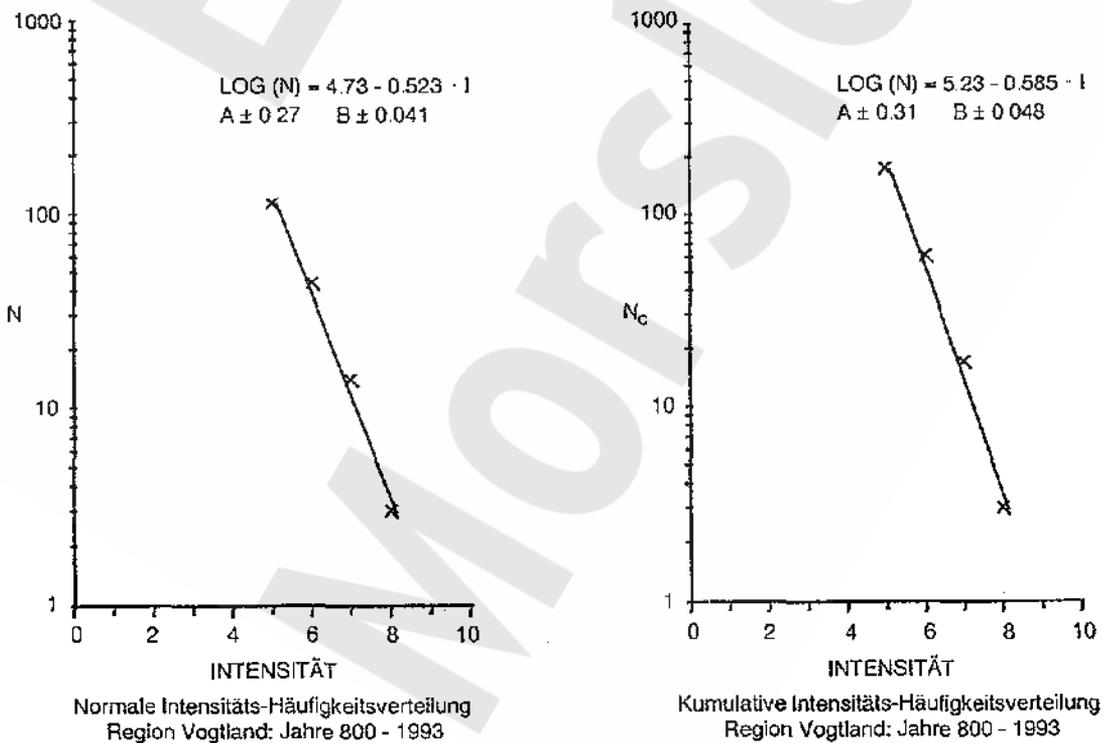
**Abb. 5.1:** Normale und kumulative Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (allg. :  $\log N = a - b \cdot I$ ) der Erdbeben in der erdbebengeographischen Region Altmark (AM)  
Die tektonischen Beben liegen alle in der Region Südliche Altmark (sAM)



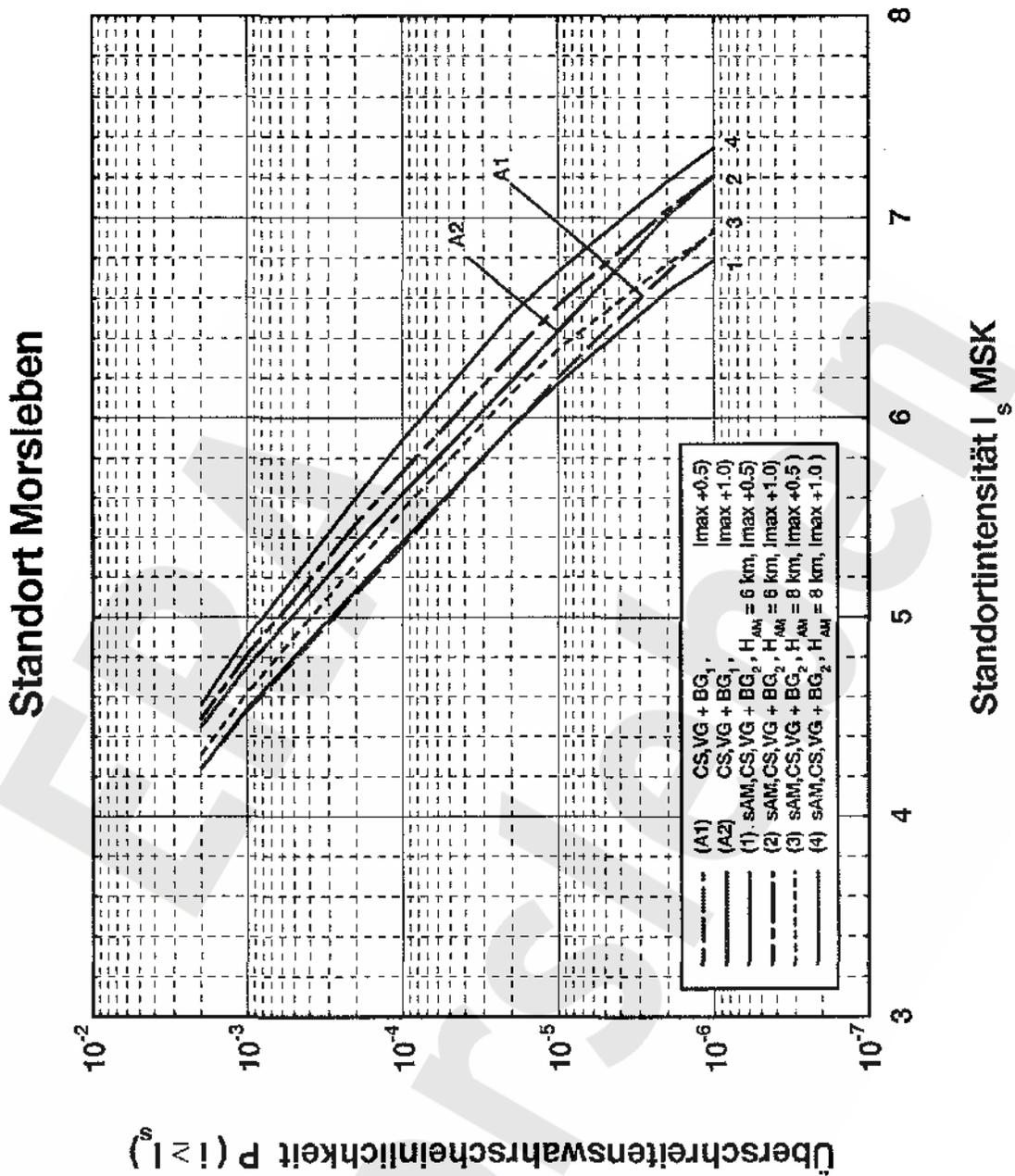
**Abb. 5.2:** Normale und kumulative Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (allg. :  $\log N = a - b \cdot I$ ) der Hintergrundaktivität.  
Einbezogen wurden alle Erdbeben im Umkreis von 210 km um den Standort des Endlagers Morsleben, ohne die Beben aus den Regionen Zentral-Sachsen (CS) und Vogtland (VG) Zur Berechnung der Ausgleichsgeraden wurden nur die mit x gezeichneten Meßwerte verwendet.



**Abb. 5.3:** Normale und kumulative Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (allg.:  $\log N = a - b \cdot I$ ) der Erdbeben in der erdbebengeographischen Region Zentral-Sachsen (CS). Zur Berechnung der Ausgleichsgeraden wurden nur die mit x gezeichneten Meßwerte verwendet.



**Abb. 5.4:** Normale und kumulative Intensitäts-Häufigkeitsverteilung (allg.:  $\log N = a - b \cdot I$ ) der Erdbeben in der erdbebengeographischen Region Vogtland (VG).



**Abb. 5.5:** Überschreitenswahrscheinlichkeiten von Intensitäten für den Standort des Endlagers Morsleben.

Berechnet wurden sie aus der Hintergrundaktivität (BG<sub>1</sub> bzw. BG<sub>2</sub>, für ca. 200 km Umkreis) und der seismischen Aktivität verschiedener Regionen: sAM = Südliche Altmark mit der Herdtiefe  $H_{AM}$ , CS = Zentral-Sachsen, VG = Vogtland.  
 Maximalintensität:  $I_{max} = I_{max, \text{beob.}} + 0.5$  bzw.  $I_{max} = I_{max, \text{beob.}} + 1.0$  Grad MSK.

	Modell 1	Modell 2
Zentral-Sachsen	15,8 %	12,2 %
Vogtland	31,5 %	24,0 %
südl. Altmark	—	59,6 %
Hintergrundseis- mizität	52,4 %	4,4 %

Abb. 5.6 a: Rechnerische Beiträge der seismischen Quellgebiete ( $I_{\max} = I_{\max, \text{beob}} + 1.0$ ) zur seismischen Gefährdung am Standort Morsleben für die Intensität  $5 \frac{1}{2}$  MSK

Modell 1: 2 Quellgebiete und seismische Hintergrundaktivität  $BG_1$

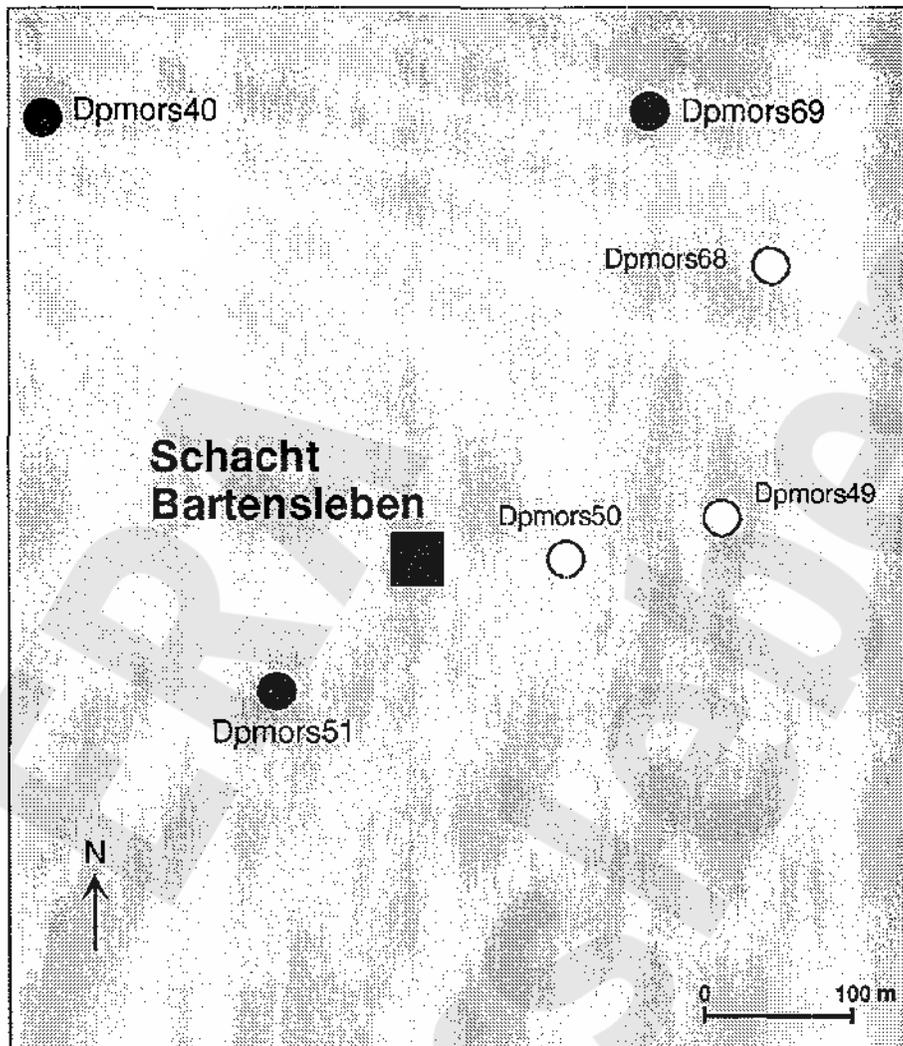
Modell 2: 3 Quellgebiete und seismische Hintergrundaktivität  $BG_2$

	Modell 1	Modell 2
Zentral-Sachsen	2,2 %	1,5 %
Vogtland	2,5 %	1,8 %
südl. Altmark	—	96,6 %
Hintergrundseis- mizität	95,2 %	0,4 %

Abb. 5.6 b: Rechnerische Beiträge der seismischen Quellgebiete ( $I_{\max} = I_{\max, \text{beob}} + 1.0$ ) zur seismischen Gefährdung am Standort Morsleben für die Intensität  $6 \frac{1}{2}$  MSK

Modell 1: 2 Quellgebiete und seismische Hintergrundaktivität  $BG_1$

Modell 2: 3 Quellgebiete und seismische Hintergrundaktivität  $BG_2$



**Abb. 6.1** Lage der nahe dem Schacht Bartensleben gelegenen Bohrungen mit Tiefen um 250 m.

Die durch ausgefüllte Kreise gekennzeichneten Bohrungen wurden für die Untergrundklassifizierung verwendet. Nur für diese lagen sowohl Geschwindigkeits-Tiefenverteilungen als auch Dichtemessungen vor (s. Tab. 6.2a).

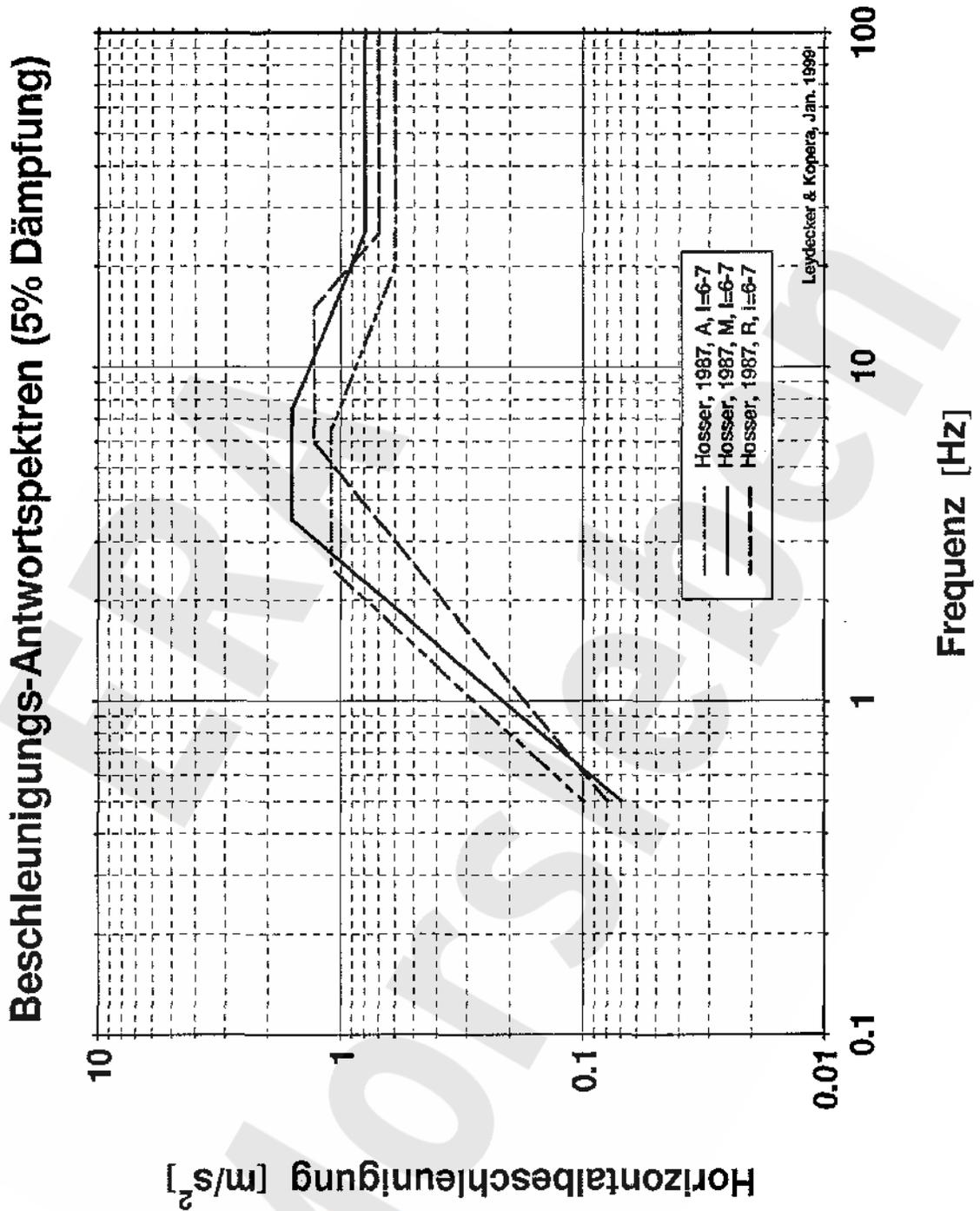


Abb. 7.1: Antwortspektren der Horizontalbeschleunigungen für die Standortintensität 6 - 7 MSK und für die drei Untergrundklassen A, M und R (IfBt-Abschlußbericht 1983, 1986; HOSSER 1987).

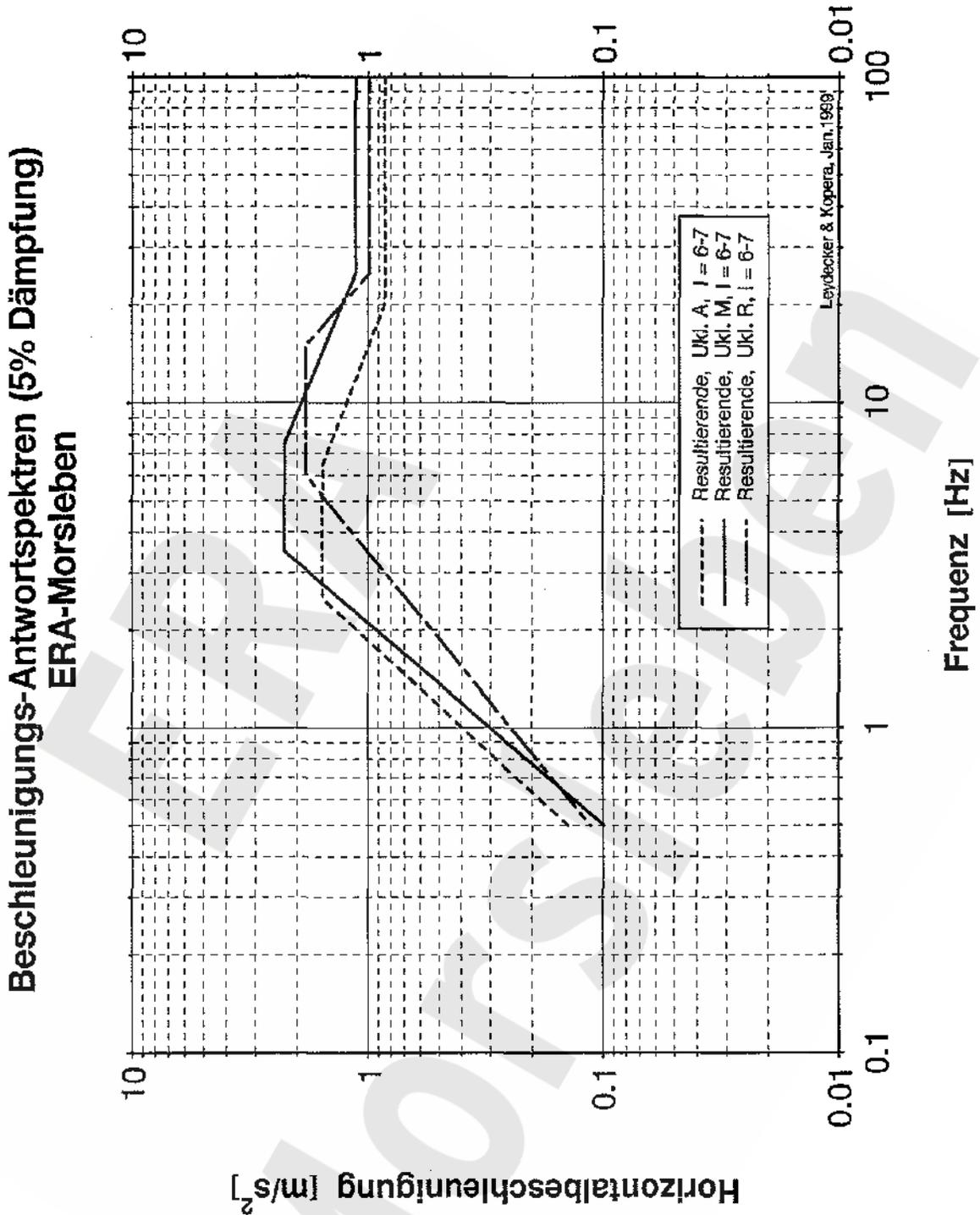


Abb. 7.2: Antwortspektren der resultierenden Horizontalbeschleunigungen (Eckwerte s. Tab. 7.1) für die Standortintensität 6 - 7 MSK und für die drei Untergrundklassen A, M und R (modif. nach HOSSER 1987)

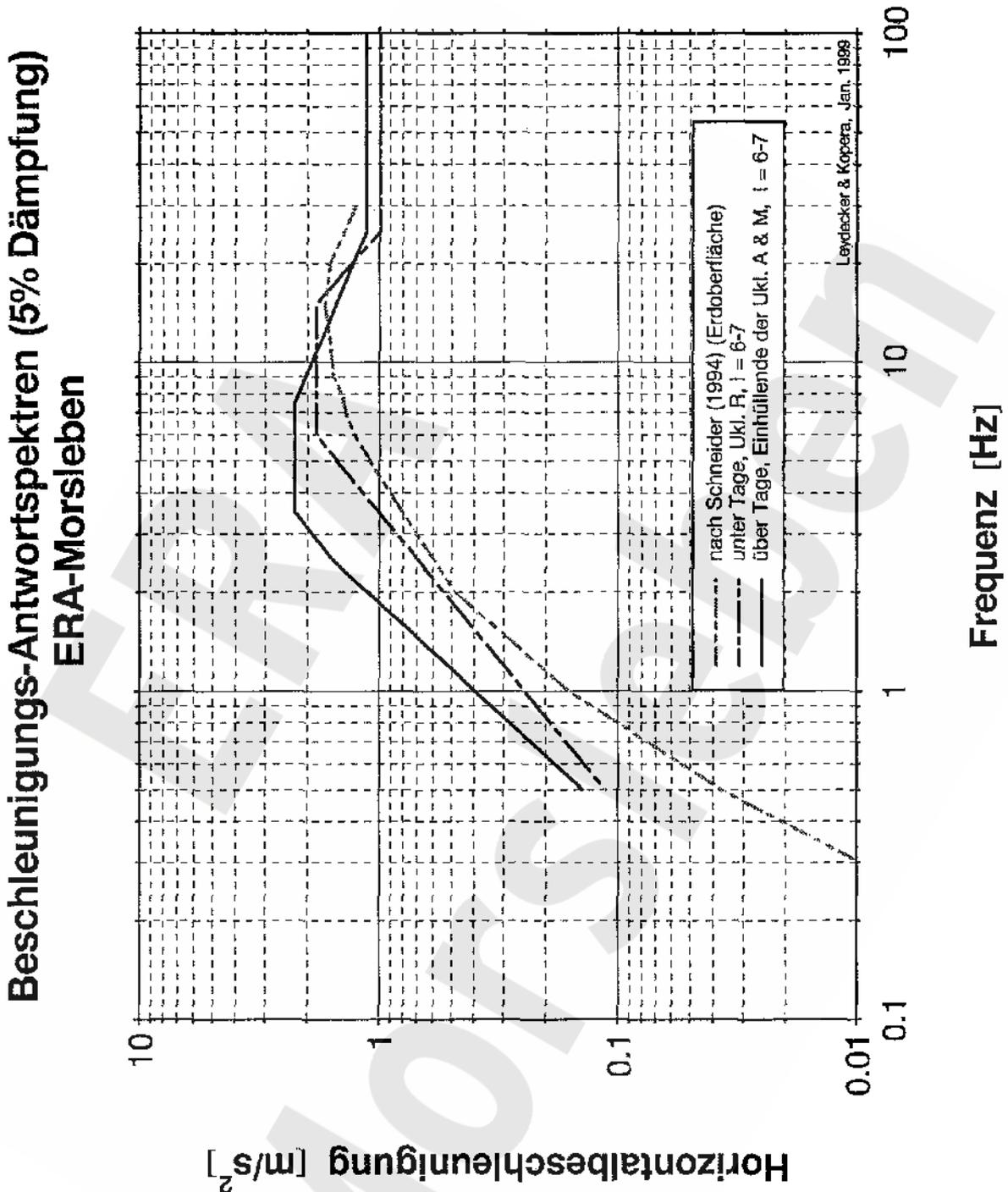


Abb. 7.3: Vergleich von Antwortspektren der Horizontalbeschleunigung für den Standort Morsleben:

- Bemessungs-Antwortspektrum nach SCHNEIDER (1994)
- Bemessungs-Antwortspektrum für über Tage, gebildet als Einhüllende aus den Resultierenden der HOSSER-Antwortspektren (HOSSER 1987) für die Untergrundklassen A und M und der Intensitätsklasse 1 (6 - 7 MSK), gültig für die Standortintensität 6 ½ MSK des Bemessungsbebens
- Bemessungs-Antwortspektrum für unter Tage, gebildet als Resultierende des HOSSER-Antwortspektrums (HOSSER 1987) für die Untergrundklasse R und der Intensitätsklasse 1 (6 - 7 MSK), gültig für die Standortintensität 6 ½ MSK des Bemessungsbebens

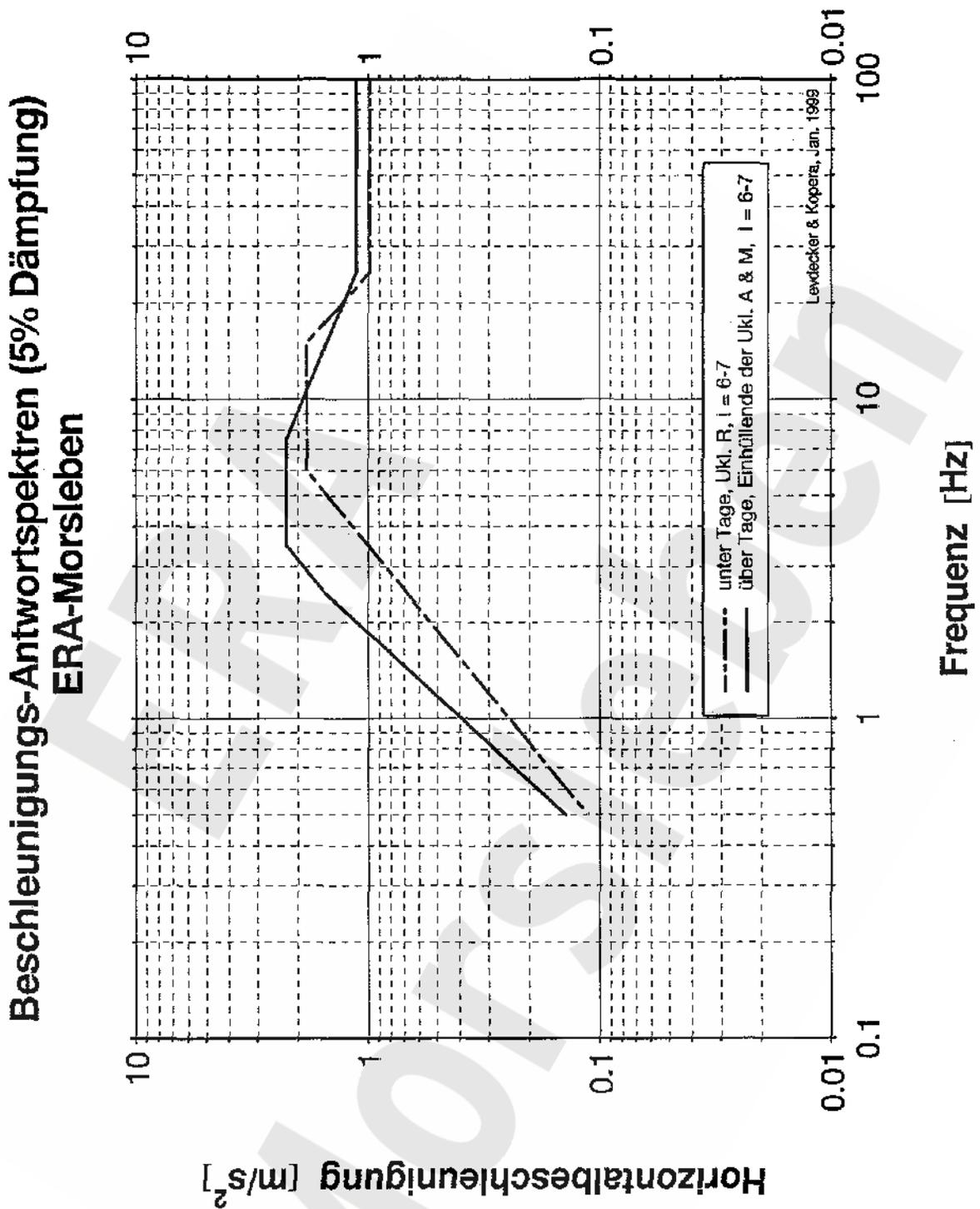


Abb. 7.4: Bemessungs-Antwortspektren der resultierenden Horizontalbeschleunigung für das Bemessungsbeben mit der Standortintensität  $6 \frac{1}{2}$  MSK für den Standort des Endlagers Morsleben (modif. nach HOSSER 1987) (Eckwerte siehe Tab. 7.2)  
- über Tage, als Einhüllende der Untergrundklassen A und M  
- unter Tage, Untergrundklassen R

## 12 Verzeichnis der Tabellen

### Tabellen im Text

	Seite
Tab. 4.1: Parameter der Modellerdbeben nach SCHNEIDER (1994)	36
Tab. 8.1: Ingenieurseismologische Kenngrößen für den Standort des Endlagers Morsleben nach SCHNEIDER (1994)	61
Tab. 8.2: Maximale resultierende Starrkörper-Horizontalbeschleunigungen für den Standort des Endlagers Morsleben	63
Tab. 8.3: Bemessungserdbeben und ingenieurseismologische Kenngrößen für den Standort des Endlagers Morsleben	64

### Tabellen auf den Seiten 100 – 128

Tab. 1.1: Kurzform der zwölfteiligen makroseismischen Intensitätsskala MSK-1964	100
Tab. 1.2: Auszug aus der Makroseismischen Intensitätsskala MSK-1964 nach Medvedev-Sponheuer-Kárník	101
Tab. 3.1: Erläuterungen zu den Erdbebenlisten in Tab. 3.2 - 3.12	103
Tab. 3.2: Liste der Beben der Region Altmark	107
Tab. 3.3: Liste der Beben der Region Zentral-Sachsen ab Intensität V MSK	108
Tab. 3.4: Liste der Beben der Region Zentral-Thüringen	109

Tab. 3.5: Liste der Beben der Region Harz	110
Tab. 3.6: Liste der Beben der Region Bergbaugebiet Süd-Harz	110
Tab. 3.7: Liste der Beben der Region Hessische Senke	111
Tab. 3.8: Liste der Beben der Region Südliches Niedersachsen	113
Tab. 3.9: Liste der Beben der Region Nördliches Niedersachsen und Hostein	114
Tab. 3.10: Liste der Beben der Region Vogtland ab Intensität V-VI MSK	115
Tab. 3.11: Liste der Beben im Umkreis von 100 km um Schacht Bartensleben/Morsleben	118
Tab. 3.12: Liste der Beben ab Intensität V MSK im Umkreis von 210 km um Schacht Bartensleben-Morsleben	119
Tab. 5.1: Parameter der seismischen Quellregionen und der seismischen Hintergrundaktivität	122
Tab. 5.2: Anteil der Quellregionen und der seismischen Hintergrundaktivität im Modell 1 am Gesamtrisiko für die Standortintensitäten $I_s \geq 5.5$ und $I_s \geq 6.5$	123
Tab. 5.3: Anteil der Quellregionen und der seismischen Hintergrundaktivität im Modell 2 am Gesamtrisiko für die Standortintensitäten $I_s \geq 5.5$ und $I_s \geq 6.5$	124
Tab. 6.1: Klassifizierung des Untergrundes nach physikalischen Material- parametern (aus: IfBt-Abschlußbericht, 1983; HOSSER, 1987, Tab. 2)	125

Tab. 6.2 a: Stratigraphie und Geschwindigkeiten $v_p$ der Kompressionswellen über der Salzstruktur nahe Schacht Bartensleben (ZIRNGAST 1997)	126
Tab. 6.2 b: Stratigraphie und Geschwindigkeiten $v_p$ der Kompressionswellen am Rand der Salzstruktur Morsleben (ZIRNGAST 1997)	127
Tab. 6.3: Dauer der Starkbewegungsphase in der Intensitätsklasse 1 ( 6 - 7 MSK) für die drei Untergrundklassen nach HOSSER (1987)	127
Tab. 7.1: Eckwerte der Antwortspektren der Horizontalbeschleunigung für 5% Dämpfung für die Untergrundklassen A, M und R (vgl. Tab. 6.1) und der Intensitätsklasse 1 (Intensität 6-7 MSK) (HOSSER 1987), jeweils Einzelkomponente und Resultierende. 1. Untergrundklasse (Ukl.) A: Lockersedimente niedriger Impedanz 2. Untergrundklasse (Ukl.) M: mittelsteife halbverfestigte Sedimente. 3. Untergrundklasse (Ukl.) R: gut verfestigtes Gestein	128
Tab. 7.2: Eckwerte der Bemessungs-Antwortspektren für 5% Dämpfung für den Standort Morsleben: - Standortintensität $6 \frac{1}{2}$ MSK - resultierende Horizontalbeschleunigung $a_{Hres}$ in $[cm/s^2]$ über Tage: Einhüllende der Untergrundklassen A und M (Lockersedimente niedriger Impedanz und mittelsteife, halbverfestigte Sedimente) unter Tage: Untergrundklasse R (Fels)	129

**Tabelle 1.1: Kurzform der zwölfteiligen makroseismischen Intensitätsskala MSK-1964 (SPONHEUER 1965)**

Intensität	Beobachtungen
I	Nur von Erdbebeninstrumenten registriert
II	Nur ganz vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen
III	Nur von wenigen verspürt
IV	Von vielen wahrgenommen. Geschirr und Fenster klirren
V	Hängende Gegenstände pendeln. Viele Schlafende erwachen
VI	Leichte Schäden an Gebäuden, feine Risse im Verputz
VII	Risse im Verputz, Spalten in den Wänden und Schornsteinen
VIII	Große Spalten im Mauerwerk; Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein
IX	An einigen Bauten stürzen Wände und Dächer ein. Erdrutsche
X	Einstürze von vielen Bauten. Spalten im Boden bis 1m Breite
XI	Viele Spalten im Boden, Bergstürze
XII	Starke Veränderungen an der Erdoberfläche

**Tabelle 1.2: Auszug aus der Makroseismischen Intensitätsskala MSK-1964 nach Medvedev-Sponheuer-Kárník<sup>1</sup> (aus SPONHEUER 1965)**

### **Einteilung der Skala**

- a) Personen und Umgebung
- b) Bauten
- c) Natur

### **Bautypen (nicht erdbebenfest)**

- A: Steinbauten aus Feldsteinen, ländliche Bauten, Bauten aus Luftziegeln (Adobe), Lehm-bauten.
- B: Normale Ziegelbauten, Großblock- und Fertigteilbauten, Fachwerkbauten, Naturstein-bauten aus bearbeiteten Steinen.
- C: Verstärkte Bauten, Holzhäuser.

### **Einteilung der Bauschäden**

#### **Kategorie 1: leichte Beschädigungen**

- Feine Risse im Verputz, Abbröckeln kleiner Putzteile.

#### **Kategorie 2: Mäßige Beschädigungen**

- Kleine Mauerrisse, größere Putzteile fallen ab, Abgleiten von Dachpfannen, Risse an Schornsteinen, Teile von Schornsteinen fallen herab.

#### **Kategorie 3: Starke Beschädigungen**

- Große und tiefe Mauerrisse, Abbrechen von Schornsteinen

#### **Kategorie 4: Zerstörungen**

- Spalten im Mauerwerk, Bauteile können einstürzen. Die einzelnen Bauteile verlieren ihren Zusammenhang. Einsturz von Innenwänden sowie von Wandfüllungen des Skeletts.

#### **Kategorie 5: Totalschaden**

- Völliger Einsturz von Gebäuden.

### **Intensitätsgrade**

#### **IV Größtenteils beobachtet**

a) Das Beben wird in Gebäuden von vielen, im Freien von wenigen Personen verspürt. Vereinzelt erwachen Schlafende. Schrecken wird nicht hervorgerufen. Die Erschütterung ist ähnlich der, wie sie beim Vorüberfahren eines schweren, beladenen Wagens entsteht. Fenster, Türen und Geschirr klirren und klappern, Fußböden und Wände krachen. Möbelstücke erzittern, hängende Gegenstände pendeln leicht. Flüssigkeiten in Gefäßen schwingen leicht. In stehenden Autos ist die Erschütterung zu bemerken.

#### **V Aufweckend**

a) Das Beben wird in Gebäuden von allen, im Freien von vielen beobachtet. Viele Schla-fende erwachen. Vereinzelt fliehen die Bewohner ins Freie. Tiere werden unruhig. Es fin-

---

<sup>1</sup> Es existieren weitere leicht modifizierte Fassungen dieser Skala:

a) nach „Report on the Ad-hoc Panel Meeting of Experts on Up-dating of the MSK-64 Seismic Inten-sity Scale“, Jena (G.D.R.), 1980.

b) „European Macroseismic Scale 1992 (up-dated MSK-scale), Grünthal, 1993.

det eine Erschütterung des ganzen Hauses statt. Freihängende Gegenstände pendeln erheblich. Bilder klappern und verschieben sich. Pendeluhrn bleiben gelegentlich stehen. Wenig standfeste Gegenstände können umfallen oder verschoben werden. Offene Türen und Fensterläden schlagen auf und zu. Flüssigkeiten aus gut gefüllten Behältern laufen in kleinen Mengen über. Die Erschütterung ist ähnlich der, wie sie beim Umfallen eines schweren Gegenstandes im Hause hervorgerufen wird.

- b) Schäden der Kategorie 1 an einzelnen Gebäuden vom Typ A sind möglich.
- c) Vereinzelt ändert sich die Wasserführung von Quellen.

## **VI Erschreckend**

- a) Von den meisten in Häusern und im Freien befindlichen Häusern gefühlt. Viele in den Häusern werden erschreckt und laufen ins Freie. Einzelne Personen verlieren das Gleichgewicht. Haustiere laufen aus den Stellen. In wenigen Fällen können Geschirr und Gläser zerbrechen und Bücher herabfallen. Unter Umständen werden Möbelstücke von der Stelle gerückt. Kleine Turmglocken schlagen an.
- b) Bei einzelnen Gebäuden der Bauart B und vielen der Bauart A entstehen Schäden der Kategorie 1, bei einzelnen der Bauart A Schäden der Kategorie 2.
- c) In einzelnen Fällen werden Risse in feuchtem Boden bis 1 cm Breite, im gebirgigen Gelände Erdbeben, Veränderungen der Wasserführung von Quellen und Änderungen des Brunnenwasserstandes beobachtet.

## **VII Gebäudeschäden**

- a) Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Viele bemerken Schwierigkeiten beim Stehen. Die Erschütterung wird von Personen in fahrenden Autos bemerkt. Große Glocken schlagen an.
- b) Bei vielen Gebäuden vom Typ C entstehen Schäden der Kategorie 1, bei vielen Häusern vom Typ B entstehen Schäden der Kategorie 2. Viele Häuser vom Typ A erleiden Schäden der Kategorie 3, einzelne der Kategorie 4. In einzelnen Fällen Rutschungen an Fahrdämmen an steilen Hängen. Örtlich Risse in Straßen und Steinmauern.
- c) In Gewässern werden Wellen aufgeworfen und das Wasser durch aufgewirbelten Schlamm getrübt. Brunnen ändern ihren Wasserstand; die Wasserergiebigkeit von Quellen ändert sich. In einzelnen Fällen setzt bei trockenen Quellen die Wasserführung wieder ein, oder es versiegen Quellen. Vereinzelt gleiten sandige oder kiesige Uferteile ab.

## **VIII Zerstörungen an Gebäuden**

- a) Allgemeine Furcht; einige Personen fallen in Panik; auch autofahrende Personen werden verwirrt. Hin und wieder brechen Zweige von Bäumen ab. Selbst schwere Möbel werden von der Stelle gerückt und teils umgestürzt. Teilweise werden Hängelampen beschädigt.
- b) Viele Gebäude vom Typ C erleiden Schäden der Kategorie 2, vereinzelt der Kategorie 3. Viele Gebäude vom Typ B erleiden Schäden der Kategorie 3 und einzelne der Kategorie 4. Viele Gebäude vom Typ A erleiden Schäden der Kategorie 4 und einzelne der Kategorie 5. Denkmäler und Statuen werden verschoben bzw. verdrehen sich, Grabsteine fallen um. Steinmauern stürzen ein.
- c) Kleine Erdbeben in Vertiefungen und an Straßendämmen an steilen Böschungen; Risse im Boden bis zu einigen Zentimetern Breite. Neue Wasserreservoirs entstehen. Zuweilen füllen sich wieder trockene Brunnen, andere versiegen. In vielen Fällen ändern sich die Wasserergiebigkeit und der Wasserstand von Brunnen.

**Tabelle 3.1: Erläuterungen zu den Erdbebenlisten in Tab. 3.2 - 3.12**

Datenquelle: LEYDECKER, G. (1998)

**DATUM**

JAHR Jahr  
MO Monat  
TA Tag

**HERDZEIT** (vor 1900 Ortszeit, ab 1900 GMT)

ST Stunde  
M Minute  
S Sekunde (gerundet)

**KOORDINATEN** (Grad, Minuten mit Zehntelminuten)

BREITE nördliche geographische Breite  
LÄNGE östliche geographische Länge  
QE Genauigkeit des Epizentrums, leer oder:  
1:  $\pm 1$  km  
2:  $\pm 5$  km  
3:  $\pm 10$  km  
4:  $\pm 30$  km  
5:  $> \pm 30$  km

**TIEFE**

H Herdtiefe in km  
Q Genauigkeit der Herdtiefe, leer oder:  
G: Herdtiefe unsicher, vom Bearbeiter fest eingesetzt  
1 oder 4:  $\pm 2$  km  
2 oder 5:  $\pm 5$  km  
3 oder 6:  $\pm 10$  km  
(Angabe 4, 5 oder 6 beruht auf makroseismischer Herdtiefenbestimmung)

**REGION**

SR seismische Region (siehe Liste der Abkürzungen)  
PR politische Region (siehe Liste der Abkürzungen)

**STÄRKE**

ML lokale Magnitude  
INT maximal gefühlte Intensität oder Epizentralintensität;  
Skala MSK-1964 (SPONHEUER, 1965)  
RS Schütteradius in km

REF Referenzen (siehe eigene Liste)

DIST Entfernung in km zwischen Epizentrum und einem vorgegebenen Ort

LOKATION Ortsbeschreibung des Epizentrums

**ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN**

Die mit \* gekennzeichnete Kommentarzeile enthält zusätzliche, das vorausgehende Beben betreffende Informationen. Folgende Kommentare bzw. Abkürzungen sind möglich:

R5, ..., R8: Radius der 5., ..., 8. Isoseiste in km  
Bebenarten: im Normalfall tektonisches Beben (ohne Kennzeichnung);  
"Einsturzbeben", "Gebirgsschlag", "Ereignis im Bergbauegebiet",  
"vermutlich Sprengung"

### ABKÜRZUNGEN DER SEISMISCHEN REGIONEN (SR)

Grundlage: LEYDECKER, G. & H. AICHELE (1998)

Namen und Abkürzungen der in den Bebenlisten vorkommenden  
erdbebengeographischen Einheiten des Gebietes der Bundesrepublik  
Deutschland mit Randbereichen  
(abgestimmt mit den Niederlanden)

Abk.	deutscher Name	englische Bezeichnung
AM	Altmark	ALTMARK
CS	Zentral-Sachsen	CENTRAL SAXONY
CT	Zentral-Thüringen	CENTRAL THURINGIA
HM	Süd-Harz Bergbauegebiet	SOUTHERN HARZ MINING DISTRICT
HS	Hessische Senke	HESSIAN DEPRESSION
HZ	Harz	HARZ AREA
MU	Münsterland	MUENSTERLAND
ND	Nordost Deutschland	NORTHEASTERN GERMANY
NF	Nord-Franken	NORTHERN FRANKONIA
NX	Nördliches Niedersachsen und Holstein	NORTHERN LOWER SAXONY AND HOLSTEIN
SX	Südliches Niedersachsen	SOUTHERN LOWER SAXONY
TW	Teutoburger Wald	TEUTOBURGER WALD
VG	Vogtland	VOGILAND REGION
TW	Teutoburger Wald	TEUTOBURGER WALD
WR	Kalibergbauegebiet Werratal	WERRA POTASH MINING DISTRICT

### ABKÜRZUNGEN DER POLITISCHEN REGIONEN (PR)

Bundesrepublik Deutschland

AH	Sachsen-Anhalt
BY	Bayern
BR	Brandenburg /FRG
HS	Hessen /FRG
ND	N-Deutschland/BRD (Niedersachsen, Bremen, Hamburg, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern)
NW	Nordrhein-Westfalen
SA	Sachsen
TH	Thüringen

**REFERENZEN (REF):**

- AH4: AHORNER,L. (1972): Erdbebenchronik für die Rheinlande 1964-70. --Decheniana, 125: 259-283; Bonn.
- BGR: Bundesanstalt f.Geowissenschaften u. Rohstoffe, Stilleweg 2, D-30655 Hannover.
- BNS: AHORNER,L., Geolog.Institut der Universität Köln - Abteilung für Erdbebengeologie, Vinzenz-Pallottistrasse 26, D-51429 Bergisch-Gladbach.
- BUG: CETE,A., Institut für Geophysik der Ruhr-Universität, Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum.
- CLL: Geophysikalisches Observatorium Collm, Universität Leipzig, D-04758 Collm.
- CRO: CROOK,IR. TH. (1993): Chronologische Lijst van Epicentra 217-1992 in Nederland (datafile). -- KNMI, Div. of Seismology, P.O.Box 201, 3730 AE DE BILT, The Netherlands.
- DBN: Seismological Observatory, KNMI, p.o.Box 201, NL-3730 AE De Bilt.
- EMS: European Mediterranean Seismological Centre, 5,Rue Rene Descartes, F-67084 Strasbourg Cedex.
- GOR: Gorleben seismic borehole station network; operated by G.LEYDECKER, Bundesanstalt f. Geowissenschaften u. Rohstoffe, Stilleweg 2, D-30655 Hannover.
- GRM: GRÜNTAL,G. & R.Meier (1996): Das "Prignitz"-Erdbeben von 1409. -- Brandenburgische Geowiss. Beitr.,S.5-27, 4 Abb., 1 Tab. Kleinmachnow.
- GRU: GRÜNTAL,G. (1988): Erdbebenkatalog des Territoriums der Deutschen Demokratischen Republik und angrenzender Gebiete von 823 bis 1984. -- Zentralinstitut für Physik der Erde, Nr. 99, Potsdam.
- GRF: Seismologisches Zentralobservatorium Gräfenberg, Krankenhausstrasse 1-3, D-91054 Erlangen.
- G71: Seismological Bulletin 1971 of the Seismological Stations of the Federal Republic of Germany (1973). -- ed. by Seismol Centralobserv. Gräfenberg, Erlangen.
- HAM: HAMM,F. (1956): Naturkundliche Chronik Nordwestdeutschlands. -- Landbuch Verlag, Hannover.
- HER: HERRMANN,R. (1968): Auslaugung durch aufsteigende Mineralwässer als Ursache von Erdfällen bei Bad Pyrmont. -- Geol.Jb., 85: 265-284, Hannover.
- HHC: HARJES,H.-P., HINZEN,K.-G. & CETE,A. (1983): Das Erdbeben bei Ibbenbüren am 13 Juli 1981. Geol Jb., E 26: 65-76, Hannover.
- IFT: GOMMLICH,G., Institut f. Tief Lagerung/Wissenschaftliche Abteilung der Gesellschaft f. Strahlen- u. Umweltforschung, Theodor-Heuss-Straße 4, D-38122 Braunschweig.
- ISC: International Seismological Center, Newbury RG13 1LX, Berkshire, UK
- LEY: LEYDECKER,G. The reference "LEY" is newly introduced in 1998. It means, that there were different sources for this earthquake or that the decisions made by other authors are not convincing. The given earthquake parameters in the German catalogue therefore are the result of own considerations All earthquakes with reference "LEY" are explained in detail in chapter "V. Literature about fundamentally changed earthquake parameters" or "VI. Documentation about changes in earthquake data parameters" of the documentation about the catalogue literature.
- LGA: LEYDECKER, G., GRÜNTAL, G. & L. AHORNER (1998): Der Gebirgsschlag vom 13. März 1989 bei Völkershäuser in Thüringen im Kalibergbaugebiet des Werratal. - Makroseismische Beobachtungen und Analysen. -- Geol. Jahrbuch, Reihe E, 55, 5-24, 4 Abb., 5 Tab. Hannover.
- LSS: LEYDECKER,G., STEINWACHS,M, SEIDL,D., KIND,R., KLUSSMANN,J. & ZERNA,W. (1980): Das Erdbeben vom 2 Juni 1977 in der Norddeutschen Tiefebene bei Soltau. -- Geol. Jb., E 18: 3-18, 5 Abb., 3 Tab., Hannover.
- LYK: LEYDECKER,G. & J.KOPERA (1998): Das Erdbeben von Lüneburg aus dem Jahre 1323. -- S 35-37; in: Henger,M. & G.Leydecker (eds.): Erdbeben in Deutschland 1993. -- ISBN 3-510-95808-X. - BGR, Hannover.
- LY1: LEYDECKER,G. (1976): Der Gebirgsschlag vom 23.6.1975 im Kalibergbaugebiet des Werratal. Geolog. Jb. Hessen, 104: 271-277, Wiesbaden.

- LY3: LEYDECKER, G. (1997): Das Erdbeben vom 9. Oktober 1993 bei Pennigsehl nahe Nienburg/ Weser im Norddeutschen Tiefland. -- S. 29- 33, 2 Abb., 1 Tab.; in: Henger, M. & G. Leydecker (eds.): Erdbeben in Deutschland 1993. - ISBN 3-510-95808-X. - BGR, Hannover.
- MOX: Seismologisches Observatorium MOXA, D-07381 Moxa.
- NEG: NEUNHÖFER, H. & G. GRÜNTAL (1995): Das Erdbeben vom 7. April 1847 im Thüringer Wald. -- Z. geol. Wiss., 23 (3), 277-286. Berlin.
- NEU: NEUNHÖFER, H. (1992): Das Thüringer Erdbeben vom 28. Januar 1926 aus heutiger Sicht. -- Z. geol. Wiss., 20 (5/6), 611-615. Berlin.
- POT: Geoforschungszentrum Potsdam, Telegrafenberg A 26, D-14473 Potsdam. REI:
- SGM: SPONHEUER, W., GERECKE, F. & MARTIN, H. (1960): Seismische Untersuchungen zum Gebirgsschlag von Merkers/Rhön am 8. Juli 1958. -- Freib Forsch.-H. C 81: 64-79; Berlin.
- SP1: SPONHEUER, W. (1952): Erdbebenkatalog Deutschlands und der angrenzenden Gebiete für die Jahre 1800-1899. -- Mitt. Deutsch. Erdbebendienst 3: 1-195; Berlin.
- SP2: SPONHEUER, W. (1960): Erdbebenkatalog Deutschlands und der angrenzenden Gebiete für die Jahre 1900-1960. -- Manuskript (unveröffentl.), Jena.
- S40: SIEBERG, A. (1940): Beiträge zum Erdbebenkatalog Deutschlands und angrenzender Gebiete für die Jahre 58 bis 1799. -- Mitt. Deutsch. Reichserdbebendienst 2: 1-111; Berlin.
- TKL: TITTEL, B., KORN, M., LANGE, W., LEYDECKER, G., RAPPSILBER, I. & S. WENDT (1997): Der Gebirgsschlag in Teutschenthal bei Halle vom 11. September 1996: Makroseismische Auswertung. -- Ztschr. Angewandte Geologie, Hannover (eingereicht).
- TNS: Institut f Geophysik, J.W. Goethe Universität, Feldbergstrasse 47, D-60323 Frankfurt/Main

**Tabelle 3.2: Liste der Beben der Region Altmark**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region ALTMARK (AM)

DATUM		HERDZEIT			KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE		REF	LOKATION
JAHR	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	QE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS
997						52 6.0	11 36.0	5			AM	AH	6.0	GRU	ALTMARK
1012						52 30.	11 30.	4			AM	AH	5.5	100 S40	ALTMARK
1202						52 36.0	11 54.0	4			AM	AH	3.5	GRU	ALTMARK
1298						52 6.0	11 36.0	4			AM	AH	4.0	GRU	MAGDEBURG
1409	08	23	22			52 06.	11 24	4			AM	AH	6.0	GRM	MAGDEBURG
1562						52 24.0	11 31.8	4			AM	AH	4.5	GRU	ALTMARK
1576	04	27	10:30			52 7.8	11 38.4	3			AM	AH	4.0	30 GRU	MAGDEBURG
1680						52 40.8	11 26.4	4			AM	AH	4.5	GRU	ALTMARK
1736	11	00				52 36.6	11 51.6	3			AM	AH	3.5	GRU	ALTMARK
1984	12	21	0:33:46			52 50.1	11 01.0		3 G		AM	ND	2.6	GOR	Salzwedel
* Ereignis in Bergbaugesbiet;															
1993	7	21	4:22:38			52 51.4	10 59.8		3 G		AM	AH	2.1	GOR	near Salzwedel
* Ereignis in Bergbaugesbiet;															

**Tabelle 3.3: Liste der Beben der Region Zentral-Sachsen ab Intensität V MSK**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region ZENTRAL-SACHSEN (CS) ab Intensität V MSK

DATUM		HERDZEIT		KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE		REF	LOKATION	
JAH	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	Q	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS
823						51 6.0	12 48.0	5			CS	SA	7.0		GRU N-SACHSEN
827						51 6.0	12 48.0	5			CS	SA	7.5		GRU N-SACHSEN
1032	08	13				51 6.0	12 48.0	4			CS	SA	5.0		GRU N-SACHSEN
1088	05	12				51 6.0	13 6.0	5			CS	SA	7.5		GRU N-SACHSEN
1323						51 10.8	12 33.6	4			CS	SA	6.5		GRU GRIMMA
1540	06	26	19			51 6.0	12 54.0	4			CS	SA	6.5		GRU N-SACHSEN
1552	03	06				50 34.8	13 4.8	4			CS	SA	6.0		GRU ANNABERG-BUCHHOLZ
1552	04	20	9			50 34.2	12 39.6	3			CS	SA	5.5		GRU SCHNEEBERG
1553	08	17	19:30			51 10.	13 30.	5			CS	SA	6.5		LEY MEISSEN
1568	07	26				51 7.2	13 3.0	4			CS	SA	5.5		GRU N-SACHSEN
1569	01	12				50 39.6	12 37.2	3			CS	SA	5.0		GRU SCHNEEBERG
1674	04	08	0:30			50 35.4	12 38.4	3			CS	SA	5.0		GRU SCHNEEBERG
1701	03	19	6:45			50 35.4	12 38.4	3			CS	SA	5.0		GRU SCHNEEBERG
1701	03	24	18			50 35.4	12 38.4	3			CS	SA	5.0		GRU SCHNEEBERG
1701	03	26	4:30			50 35.4	12 38.4	3			CS	SA	5.0		GRU SCHNEEBERG
1701	03	27	15			50 35.4	12 38.4	3			CS	SA	5.5		GRU SCHNEEBERG
1701	04	08	0:30			50 35.4	12 38.4	3			CS	SA	5.5		GRU SCHNEEBERG
1711	10	25	19:15			51 10.8	12 33.6	4			CS	SA	6.5	60	GRU LEIPZIG
1811	12	12	20			50 37.8	12 58.2	2	7	4	CS	SA	5.5		GRU ANNABERG-BUCHHOLZ
* R5= 7;															
1821	10	28	21:30			50 58.2	12 45.0	3	7	4	CS	SA	5.0	45	GRU ZENTRAL-SACHSEN
1869	06	06	6			50 56.4	12 57.0	3			CS	SA	5.0		GRU ZENTRAL-SACHSEN
1877	10	05	4:30			50 48.0	13 39.6	3	5	4	CS	SA	5.5		GRU ERZGEBIRGE
* R5= 3;															
1896	11	03	21:10			50 35.4	13 30.0	2	11	5	CS	SA	5.5	21	GRU ERZGEBIRGE
* R5=12; Azi=100; Axe=2:1;															
1900	07	26	2:30			50 25.8	12 44.4	2			CS	SA	5.0		GRU JOHANNGEORGENSTADT
1905	08	17	3:21			51 21.0	12 22.8	2	10	4	CS	SA	4.1	59	GRU LEIPZIG
* R5=10;															
1908	12	19	5:03:51			51 6.6	12 55.8	2	14	4	CS	SA	3.8	5.5	82 GRU ROCHLITZ; N-SACHSEN
* R5=17;															
1910	01	06	3:53			50 31.2	13 15.0	2			CS	SA	5.0		GRU ERZGEBIRGE
1914	06	27	1:44:50			51 21.6	12 25.8	2	8	5	CS	SA	6.0		GRU LEIPZIG
* R5=12;															
1940	05	24	19:08:58			51 28.8	11 47.5	1	1	4	CS	AH	4.3	7.5	25 SGM KRUEGERSHALL, TEUTSCHENITHAL
* Gebirgsschlag; R5= 7; R6= 4; R7= 2; Verletzte; Tote;															
1979	09	25	1:01:55			50 36.6	12 41.4	2	5	1	CS	SA	2.9	5.0	GRU Schneeberg
* R5= 2;															
1982	02	20	4:34:37			51 21.0	12 26.4	1	8	1	CS	SA	5.0		GRU Leipzig

**Tabelle 3.4: Liste der Beben der Region Zentral-Thüringen**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region ZENTRAL-THÜRINGEN (CT)

DATUM		HERDZEIT			KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE		REF	LOKATION
JAHR	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	QE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS
1751	10	02				50 37.2	10 45.0	3			CT	TH	4.0		GRU THUERINGER WALD
1785	10	15				50 57.6	11 25.2	3			CT	TH	5.0		GRU JENA, STADTRODA
1830	12	09				51 6.0	11 37.2	3			CT	TH	4.0		GRU JENA, STADTRODA
1831	11	29	21:30			50 31.2	10 57.0	3			CT	TH	4.5		GRU THUERINGER WALD
1847	04	07	19:30			50 27.6	11 8.4	3	17	5	CT	TH	6.0	95	NEG THUERINGER WALD
* R5=20;															
1904	12	11				50 33.0	11 6.0	2			CT	TH	2.5		GRU THUERINGER WALD
1905	01	31				50 40.8	11 13.2	3			CT	TH	3.0		GRU POESSNECK
1905	10	15	23:05			50 43.2	11 20.4	2			CT	TH	3.0		GRU POESSNECK
1908	11	05	5:30			50 58.8	10 19.2	2			CT	TH	3.0		GRU THUERINGER WALD
1908	11	05	13:10			50 55.8	11 35.4	2			CT	TH	4.5		GRU JENA, STADTRODA
1908	11	06	10:39			50 55.8	11 35.4	2			CT	TH	3.0		GRU JENA, STADTRODA
1913	04	18	11:20			50 54.0	10 52.2	2			CT	TH	3.0		GRU GOTHA
1913	09	05	8:58			50 54.0	10 52.2	2			CT	TH	3.0		GRU GOTHA
1913	09	27	6:34			50 52.8	10 48.0	2			CT	TH	4.0		GRU GOTHA
1919	11	30	2:30			50 51.6	10 34.8	2			CT	TH	4.0		GRU THUERINGER WALD
1920	06	30	0			50 57.0	10 51.0	3			CT	TH	3.5		GRU GOTHA
1924	10	04	2:30			50 53.4	11 17.4	2			CT	TH	3.0		GRU JENA, STADTRODA
1926	01	22	21			50 51.0	11 44.4	2			CT	TH	3.0		GRU JENA, STADTRODA
1926	01	28				50 51.6	11 43.8	2			CT	TH	3.0		GRU JENA, STADTRODA
1926	01	28	19:15			50 52.8	11 45.6	2			CT	TH	3.5		GRU JENA, STADTRODA
1926	01	29	16:30			50 51.6	11 43.8	2			CT	TH	3.0		GRU JENA, STADTRODA
1926	01	31	19:00			50 58.8	11 19.8	2			CT	TH	4.0		GRU JENA, STADTRODA
1926	02	06	17			50 55.8	11 35.4	2			CT	TH	3.5		GRU JENA, STADTRODA
1926	02	13	1:30			50 55.8	11 35.4	2			CT	TH	3.5		GRU JENA, STADTRODA
1926	02	13	17:03			50 55.8	11 35.4	2			CT	TH	3.5		GRU JENA, STADTRODA
1926	03	01	19:00			50 51.0	11 44.4	2			CT	TH	3.5		GRU JENA, STADTRODA
1926	10	25				50 57.0	10 42.6	3			CT	TH	3.0		GRU GOTHA
1926	10	25				50 57.6	10 41.4	3			CT	TH	3.0		GRU GOTHA
1943	04	21	9			51 6.6	10 42.0	2			CT	TH	3.5		GRU MUELHAUSEN
1943	05	04	6			50 52.2	10 31.8	2			CT	TH	3.5		GRU THUERINGER WALD
1950	07	03				50 58.8	10 19.2	2			CT	TH	3.0		GRU THUERINGER WALD
1951	03	14	3:45			51 12.6	10 27.0	2			CT	TH	3.0		GRU MUELHAUSEN
1952	04	13	2			50 49.8	10 56.4	2			CT	TH	2.5		GRU GOTHA
1952	04	13	6			50 49.8	10 56.4	2			CT	TH	2.5		GRU GOTHA
1952	04	14	1			50 49.8	10 56.4	2			CT	TH	2.5		GRU GOTHA
1977	10	11	19:08:56			51 11.	11 34.				CT	TH	3.0		ISC N WEIMAR
1981	07	22	11:31:13			51 18.	11 24.				CT	TH	2.7		GRF Kyffhaeuser
1982	05	05	08:55:33			51 12.	11 24.				CT	TH	2.7		GRF NE Weimar
1982	05	10	08:28:39			51 12.	11 18.				CT	TH	2.7		GRF Erfurt, Weimar
1987	1	6	9:49:43			51 18.0	11 24.0		10	G	CT	AH	2.6		BGR Rossleben
1987	12	15	12:51:42			51 16.8	10 9.6				CT	TH	2.2		MOX Muelhausen/Thueri

**Tabelle 3.5: Liste der Beben der Region Harz**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region HARZ (HZ)

DATUM	HERDZEIT	KOORDINATEN	TIEFE	REGION	STÄRKE	REF	LOKATION
JAHR MO TA ST M S	BREITE	LÄNGE QE	H Q	SR PR	ML INT RS		
1894 05 15		51 32. 11 33.		HZ AH	6.0	SP1	EISLEBEN
* Einsturzbeben;							
1908 11 06	0:26	51 47.4 11 8.4 2		HZ AH	3.0	GRU	QUEDLINBURG
1912 09 11	19:45	51 52.2 10 16.2 2	1 G	HZ ND	3.5	SP2	BAD GRUND/HARZ
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1943 03 05	23	51 45.0 11 31.2 1	1 4	HZ AH	4.0 6.5	GRU	SCHIERSTEDT, ASCHERSLEBEN
* Gebirgsschlag;							
1971 04 04	05:00:53	51 45. 11 31 2 1	1	HZ AH	4.6 6.5	G71	SCHIERSTEDT, ASCHERSLEBEN
* Gebirgsschlag;							
1981 04 08	17:52:34	51 30. 11 06.	1 G	HZ AH	2.6	BGR	Sangerhausen, SE Harz
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1981 07 05	13:29:44	51 26. 11 23.	1 G	HZ AH	2.5	EMS	Bleicherode
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1982 12 01	03:55:26	51 32. 10 43.	1 G	HZ TH	2 7	EMS	Nordhausen
* Ereignis in Bergbauggebiet;							

**Tabelle 3.6: Liste der Beben der Region Bergbauggebiet Süd-Harz**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region SÜD-HARZ BERGBAUGEBIET (HM)

DATUM	HERDZEIT	KOORDINATEN	TIEFE	REGION	STÄRKE	REF	LOKATION
JAHR MO TA ST M S	BREITE	LÄNGE QE	H Q	SR PR	ML INT RS		
1980 10 13	01:09:01	51 26. 10 30.	1 G	HM AH	3 2	BNS	Bleicherode
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1982 05 07	23:42:06	51 20. 10 41.	1 G	HM TH	2.6	EMS	Sondershausen
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1983 07 02	3:18:45	51 25.2 10 39.6 1	1 1	HM TH	3.3	GRU	Bleicherode
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1986 12 13	6:11:32	51 21.0 10 27.6	1 G	HM TH	2.6	BGR	Bleicherode
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1988 3 17	6:24:59	51 29.4 10 26.4 2	1	HM TH	2.1 4.5	POT	Bleicherode, S Harz
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1992 8 10	18:23: 9	51 20.4 10 42.0		HM TH	2 1	MOX	Gundersleben, S Nordhausen
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1993 8 2	4:51:31	51 20 6 10 44 5		HM TH	2.5	GRF	Gundersleben, Sondershausen
* Ereignis in Bergbauggebiet;							

**Tabelle 3.7: Liste der Beben der Region Hessische Senke**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region HESSISCHE SENKE (HS)

DATUM		HERDZEIT			KOORDINATEN			TIEFE REGION			STÄRKE		REF	LOKATION	
JAHR	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	QE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS
1079	07	17				50 36.0	9 42.0	4			HS	HS		5.0	GRU FULDA
1141	03	26				50 36.0	9 42.0	4			HS	HS		5.0	GRU FULDA
1767	04	13	00:30			51 00.	09 42.	3			HS	HS		6.5	70 S40 ROTENBURG/FULDA
1870	09	28				50 37.8	9 33 0	3			HS	HS		4.0	GRU FULDA
1890	08	15				50 49 2	10 19 8	3			HS	TH		4.5	GRU THUERINGER WALD
1903	12	15				50 20.	9 48.	2			HS	BY		3.5	7 SGM RHOEN
1933	01	15	22:30			50 30.	9 34.	3	1		HS	HS		4 5	17 LA1 SW FULDA
* Einsturzbeben;															
1975	11	04	08:30:13			50 24.6	8 52.4	2	11	2	HS	HS	3 6	4.5	36 NET ECHZELL/WETTERAU
1977	11	18	15:12:33			50 40.	9 25.				HS	HS	2 6		ISC E ALSFELD
1978	03	20	15:21:43			50 42.	9 54.	3			HS	HS	2 5		GRF FULDA
1978	05	26	14:23:24			50 50.	9 03.		10		HS	HS	2 7		USG W ZIEGENHAIN
1978	06	09	12:33:16			50 42.	9 54.				HS	HS	2 4		GRF HUENFELD
1978	07	19	16:45			51 06.	9 18	4			HS	HS	2 8		GRF KASSEL
1979	01	20	10:56:15			50 24.	8 57.				HS	HS	2 7		BNS Giessen
1982	01	29	23:03:51			50 48.	9 40.		8	1	HS	HS	3 4	5.5	22 TNS SE Bad Hersfeld
1982	03	16	09:46:06			50 44.	9 43.				HS	HS	2 6		BNS Huenfeld, N Fulda
1982	11	05	11:08:07			50 30.	9 36.				HS	HS	2 9		LDG Herbstein, SW Fulda
1983	04	28	11:54: 6			50 24.6	9 35.4		10	G	HS	HS	2 4		EMS Herbstein, SW Fulda
1983	09	20	13:55:40			50 42.0	9 37.2		6		HS	HS	2 7		ISC Vogelsberg
1984	07	09	12:43:09			50 36.0	9 54.0	3			HS	HS	2 2	3.5	GRU Fulda
1985	01	06	1:44:51			50 34.8	10 1.8	2	8		HS	HS	2 4		BNS Mellrichstadt/Rhoen
1988	2	25	14:50: 3			50 52.8	9 18.6				HS	HS	2 5		POT Ziegenhain, E Marburg
1988	5	11	14:11:45			50 51.6	9 16.2				HS	HS	2 2		POT Ziegenhain, E Marburg
* vermutlich Sprengung;															
1988	6	29	19:58:41			50 51 6	10 15 6				HS	TH	2 3		POT Werratal, Kalibergbau
* Ereignis in Bergbauggebiet;															
1988	7	13	11:30:34			51 4.2	10 0	10			HS	HS	2 0		BGR Eschwege, N Eisenach
1988	7	14	13:58:43			50 42.6	9 26.4				HS	HS	2 3		POT Lauterbach, NW Fulda
* vermutlich Sprengung;															
1988	8	1	14:31:40			50 52.8	9 3 6				HS	HS	2 0		POT Ziegenhain, E Marburg
* vermutlich Sprengung;															
1988	9	5	13:48:36			50 19.2	9 53.4				HS	BY	2 2		POT Brueckenau/Rhoen
* vermutlich Sprengung;															
1988	9	28	11:59:32			50 33.6	9 55 8				HS	HS	2 1		POT Fulda
* vermutlich Sprengung;															
1988	9	28	15: 7:10			50 51 6	9 18 6				HS	HS	2 3		POT Ziegenhain, E Marburg
* vermutlich Sprengung;															

DATUM		HERDZEIT		KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE			REF	LOKATION	
JAH	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	QE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS	
1988	10	28	10:46:58	50	54.0	9 37 2					HS	HS	2.1			POT Neukirchen, Bad Hersf.
* vermutlich Sprengung;																
1988	11	21	15: 4:44	50	46.8	9 13.8					HS	HS	2.1			POT Alsfeld
* vermutlich Sprengung;																
1989	5	31	10:59:13	51	15.6	9 16.8					HS	HS	2 3			POT W Kassel
* vermutlich Sprengung;																
1990	2	16	14: 5:47	50	33 1	9 58 0					HS	HS	2.0			POT Fulda
* vermutlich Sprengung;																
1991	2	6	20: 5:29	51	45 6	9 39.6					HS	ND	2.9			USG Hoexter/Weser
1991	4	26	15:24:59	51	37.7	9 10 4 3	10 G				HS	HS	2 7			ISC Warburg, NW of Kassel
1993	3	4	14:11:34	50	40 8	9 55.8		5			HS	HS	2.1			TNS Huenfeld
1993	6	16	11: 0:35	50	42 0	9 48.0		0 G			HS	HS	2.1			BGR Huenfeld, N Fulda
1993	10	29	11:27:17	50	54.0	9 18.0		0 G			HS	HS	2.0			BGR Ziegenhain, E Marburg
1993	11	9	11:30:24	50	36.0	9 58.8		0 G			HS	HS	2 2			BGR Mellrichstadt/Rhoen
* vermutlich Sprengung;																

ERA  
Morsleben

**Tabelle 3.8: Liste der Beben der Region Südliches Niedersachsen**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region SÜDLICHES NIEDERSACHSEN (SX)

DATUM		HERDZEIT		KOORDINATEN		TIEFE		REGION		STÄRKE		REF	LOKATION			
JAH	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	Q	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS	
1767	01	19				51 59.	9 16.		1		SX	ND		5.0		HER BAD PYRMONT
* Einsturzbeben;																
1964	06	04	22:28:22			51 59.	09 16.		1		SX	ND	3.2	4 5	15	AH4 BAD PYRMONT
* Einsturzbeben;																
1980	08	10	21:54:28			52 04.	10 02.		1	G	SX	ND	1.6	3 0		IET Bad Salzdetfurt
* Ereignis in Bergbauggebiet;																
1983	04	19	15:46:23			52 13.4	9 52.8		1	1	SX	ND	1.8	5 0	3	IET Ahrbergen, N Hildesheim
* Ereignis in Bergbauggebiet;																
1991	2	15	2:11:17			52 46.2	6 54.6		3	G	SX	NL	2.2	3.5		DBN Emmen/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;																
1992	6	11	17: 9:42			52 49.8	7 2.4		2	G	SX	ND	2.7	3.5		DBN Roswinkel/NL, N of Meppen
* Ereignis in Bergbauggebiet;																
1993	10	9	23:07:57			52 40 7	9 0.2 2		3	G	SX	ND	2.0	5.0	7	LY3 Pennigsehl, W of Nienburg
* Ereignis in Bergbauggebiet;																

**Tabelle 3.9: Liste der Beben der Region Nördliches Niedersachsen und Holstein**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region NÖRDLICHES NIEDERSACHSEN UND HOLSTEIN (NX)

DATUM	HERDZEIT	COORDINATEN	TIEFE	REGION	STÄRKE	REF	LOKATION
JAHR MO TA ST M S	BREITE	LÄNGE	QE H Q	SR PR	ML INT RS		
1323		53 15. 10 25.		NX ND	5.0	LYK	LUENEBURG
* zweifelhaftes Ereignis;							
1771 08 08		53 33. 10 00.	3 1 1	NX ND	5.0	S40	HAMBURG
* Einsturzbeben;							
1904 12 07		53 33.0 9 59.4 3		NX ND	2.5	GRU	HAMBURG
* Einsturzbeben;							
1907 01 16 23:15		53 34.2 9 48.0 2		NX ND	3.0	GRU	HAMBURG
* Einsturzbeben;							
1929 09 29		53 32.8 9 49 4 1	1 1	NX ND	4.0	HAM	HAMBURG-GR. FLOTTBECK
* Einsturzbeben;							
1977 06 02 13:32:23	52 56.9	9 56 7 2	8 5	NX ND	4 0 5.5	30 LSS	SOLTAU, MUNSTER
* R5= 7;							
1983 05 04 10:25:58	54 30.0	10 12.0	0	NX ND	2 2	ISC	Laboe, N Kiel
* vermutlich Sprengung;							
1986 12 26 07:47:51	52 59.4	6 33.	1	NX NL	2 8 4.5	CRO	S Assen/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1987 12 14 20:49:48	52 55.8	6 33.	2	NX NL	2 5 4.0	CRO	HOOGHALEN/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1989 12 1 20:09:18	52 31.8	4 58.2		NX NL	2 7 5.0	DBN	Pumerend/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1991 4 25 10:26:32	52 57.0	6 34 2	3	NX NL	2 6 3.5	DBN	Geelbroek/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1991 8 8 4: 1:15	52 57.6	6 34 2	3 G	NX NL	2 7 3 5	DBN	Eleveld/NL, S Assen/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1991 12 5 0:24:55	53 21.6	6 39.6	2 G	NX NL	2 4 3.0	DBN	Middelstum/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1992 5 23 15:29:11	52 57.0	6 34 2	3 G	NX NL	2 6 3.5	DBN	Geelbroek/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1992 7 22 23:23:13	52 57 6	6 34 8	3 G	NX NL	2 6 3.0	DBN	Eleveld/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1993 5 7 16:19:48	52 54.0	7 54 0		NX ND	2 9	BGR	Werlte, W Cloppenburg
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1993 9 22 17:37:04	53 21.0	6 38 4	3 G	NX NL	2 0 2.5	DBN	Middelstum/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							
1993 11 23 21:31:47	53 12.1	6 49 1	3 G	NX NL	2 2 2.5	DBN	Slochteren/NL
* Ereignis in Bergbauggebiet;							

**Tabelle 3.10: Liste der Beben der Region Vogtland ab Intensität V-VI MSK**

AUSZUG AUS DEM ERDBEENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Region VOGTLAND (VG) ab Intensität V-VI MSK

DATUM		HERDZEIT		KOORDINATEN		TIEFE		REGION		STÄRKE		REF	LOKATION		
JAHR	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	QE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS
868						51 0	12 12.0	4			VG	AH		5.5	GRU ZEITZ
1326						50 48.0	12 12.0	4			VG	TH		6.5	GRU GERA
1332	02	12				50 48.0	12 12.0	4			VG	TH		5.5	GRU GERA
1346						50 48.0	12 12.0	5			VG	TH		8.0	GRU GERA
* Erdspalten; Erdrutsch;															
1366	05	24				50 48.0	12 12.0	5			VG	TH		7.5	GRU GERA
1578	04	27	11			50 52.8	12 13.8	4			VG	TH		6.5	GRU GERA
1598	12	16	07			50 52.2	12 10.8	4			VG	TH		6.5	GRU GERA
1695	04	18				50 58.2	11 54.6	3			VG	TH		5.5	GRU JENA, STADTRODA
1720	07	01	17			50 33.6	12 24.0	4			VG	SA		6.0	GRU AUERBACH
1770	11	04	1			50 15.0	12 25.8	3			VG	CS		5.5	GRU KRASLICE/CS
1771	01	06	16			50 15.0	12 25.8	3			VG	CS		6.0	GRU KRASLICE/CS
1789	08	26	9:30			50 33.0	12 7.2	3			VG	SA		6.0	35 GRU PLAUEN
* R5=12;															
1824	01	13	13			50 19.8	12 30.6	3			VG	CS		5.5	GRU KRASLICE/CS
1824	01	19	16:30			50 13.2	12 34.2	3			VG	CS		5.5	GRU SOKOLOV/CS
1857	06	07	15:07			50 49.2	12 5.4	2	12	5	VG	TH		5.5	100 GRU GERA
* R5= 8;															
1872	03	06	15:55			50 51.6	12 16.8	2	9	4	VG	TH		7.5	290 GRU POSTERSTEIN
* R5=74; Verletzte; Tote; Veränd. an Quellen;															
1875	11	23	0:45			50 30.0	12 8.4	3	5	4	VG	SA		5.5	31 GRU PLAUEN
* R5= 3;															
1883	10	20	22:30			50 52.2	12 10.8	3	13	5	VG	TH		5.5	50 GRU GERA
* R5= 1;															
1888	12	26	0:12			50 30.6	12 24.0	3	9	4	VG	SA		5.5	38 GRU AUERBACH
* R5=12;															
1896	05	16	20:50			50 30.0	12 6.0	2			VG	SA		6.0	25 GRU PLAUEN
1897	10	25	21			50 21.0	12 24.0	3	9	4	VG	SA		5.5	GRU OBERES VOGTLAND
* R5=12;															
1897	10	29	19:45			50 21.0	12 28.8	3	8	4	VG	CS		6.0	GRU KRASLICE/CS
* R5=15;															
1897	11	07	4:45			50 18.0	12 30.0	5			VG	CS		6.0	GRU KRASLICE/CS
1897	11	07	4:58			50 21.0	12 28.8	3	8	4	VG	CS		6.5	GRU KRASLICE/CS
* R5=20;															
1897	11	17	6:30			50 13.2	12 19.2	3	9	4	VG	SA		6.0	GRU OBERES VOGTLAND
* R5=15;															

DATUM		HERDZEIT			KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE		REF	LOKATION
JAHR	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	QE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS
1897	11	17	7:43			50 13.2	12 19.2	3	9	4	VG	SA	5.5		GRU OBERES VOGTLAND
* R5= 9;															
1900	07	25	18:40			50 21.0	12 27.0	2	5	4	VG	CS	4 0	5.5	GRU KRASLICE/CS
* R5= 7;															
1903	02	21	21:09:06			50 20.4	12 28.2	2	5	4	VG	CS	3.8	6.0	38 GRU KRASLICE/CS
* R5=12;															
1903	02	23	5:31:47			50 18.0	12 25.2	2	7	4	VG	CS	3.7	5.5	GRU KRASLICE/CS
* R5=12;															
1903	02	25	23:11:58			50 16.2	12 19.8	2	7	4	VG	SA	3 0	6.0	GRU OBERES VOGTLAND
* R5=15;															
1903	03	05	0:50:18			50 18.6	12 19.8	2	12	5	VG	SA	3.9	5.5	56 GRU OBERES VOGTLAND
* R5=15;															
1903	03	05	20:37:06			50 22.2	12 25.2	2	10	4	VG	SA	4.2	6.5	135 GRU OBERES VOGTLAND
* R5=24; R6= 8;															
1903	03	05	20:55:32			50 22.2	12 25.2	2	10	4	VG	SA	4.2	6.5	135 GRU OBERES VOGTLAND
* R5=24;															
1903	03	06	1:13:10			50 15.6	12 16.8	2	9	4	VG	SA	3.1	5.5	51 GRU OBERES VOGTLAND
* R5=10;															
1903	03	06	4:57:29			50 20.4	12 28.2	2	14	4	VG	CS	4.2	6.0	130 GRU KRASLICE/CS
* R5=24;															
1903	03	06	12:59:45			50 16.2	12 19.8	2			VG	SA	3.6	5.5	GRU OBERES VOGTLAND
* R5=13;															
1903	03	06	19:11:14			50 15.6	12 16.8	2	16	4	VG	SA	4.0	5.5	68 GRU OBERES VOGTLAND
* R5= 6;															
1903	03	07	5:00:51			50 22.2	12 28.8	2	10	5	VG	CS	4.2	5.5	57 GRU KRASLICE/CS
* R5= 4;															
1903	03	08	6:22:32			50 21.0	12 30.0	2	8	4	VG	CS	4.0	5.5	50 GRU KRASLICE/CS
* R5= 5;															
1903	04	27	16:08:04			50 16.2	12 17.4	2	5	4	VG	SA	3.8	6.0	GRU OBERES VOGTLAND
1908	10	21	14:04:09			50 16.2	12 19.2	2	10	5	VG	SA	3.7	5.5	50 GRU OBERES VOGTLAND
* R5=12;															
1908	10	21	20:39:27			50 16.8	12 17.4	2	10	5	VG	SA	3.8	6.0	77 GRU OBERES VOGTLAND
* R5=20;															
1908	10	22	21:42:36			50 21.0	12 29.4	2	9	4	VG	CS	3.8	5.5	45 GRU KRASLICE/CS
* R5= 2;															
1908	11	03	12:01:48			50 13.8	12 16.2	2	8	4	VG	BY	3.4	5.5	47 GRU SELB
* R5= 8;															
1908	11	03	13:24:42			50 13.8	12 18.6	2	10	4	VG	SA	3.9	6.0	85 GRU OBERES VOGTLAND
* R5=20;															
1908	11	03	17:21:17			50 20.4	12 28.2	2	10	4	VG	CS	4.6	6.5	120 GRU KRASLICE/CS
* R5=30;															
1908	11	04	3:32:51			50 21.6	12 29.4	2	6	4	VG	CS	3.8	6.0	60 GRU KRASLICE/CS
* R5= 6;															
1908	11	04	10:55:57			50 20.4	12 28.2	2	9	4	VG	CS	4.3	6.5	GRU KRASLICE/CS
* R5=20;															
1908	11	04	13:10			50 20.4	12 28.2	3	9	4	VG	CS	4.5	6.5	85 GRU KRASLICE/CS
* R5=27;															
1908	11	04	20:41:38			50 16.8	12 22.2	2	14	4	VG	SA	4.0	6.0	GRU OBERES VOGTLAND
* R5=27;															

DATUM		HERDZEIT		KOORDINATEN				TIEFE		REGION		STÄRKE			REF	LOKATION				
JAH	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	Q	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS					
1908	11	06	4:35:53	50	20	4	12	28.2	2	14	4	VG	CS	4.6	6	5	160	GRU	KRASLICE/CS	
* R5=41;																				
1926	01	28	16:57:37	50	56.4	11	56.4	1	6	4	VG	TH	3.9	6.0	38			NEU	EISENBERG	
* R5=13;																				
1985	12	14	5:38:6	50	9.0	12	23.4		10		VG	CS	4.2	6.5	97			ISC	Hatzenreuth, Cheb/CS	
* R5=13; R6= 5;																				
1985	12	20	16:36:29	50	9.6	12	26.4		9		VG	CS	4.0	6.0	111			ISC	Hatzenreuth, Cheb/CS	
* R5=12;																				
1985	12	21	10: 4:10	50	10.2	12	25.2		10		VG	CS	4.0	6.0				ISC	Hatzenreuth, Cheb/CS	
1985	12	21	10:16:20	50	13.7	12	27.4		10		VG	CS	5.1	7.0	160			FUR	Klingenthal, Kraslice/CS	
* R5=47; R6=24;																				
1985	12	23	3:24:48	50	10.2	12	25.2		9		VG	CS	3.9	5.5				ISC	Hatzenreuth, Cheb/CS	
1985	12	23	4:27:9	50	14.1	12	28.0		9		VG	CS	4.1	6.5	143			FUR	Klingenthal, Kraslice/CS	
* R5=18;																				
1985	12	24	0: 4:18	50	14.0	12	28.1		8		VG	CS	4.2	5.5	89			FUR	Klingenthal, Kraslice/CS	
* R5= 9;																				
1986	01	20	23:38:30	50	14	7	12	26.8		9		VG	CS	4.8	6.5	170			FUR	Klingenthal, Kraslice/CS
* R5=32; R6=15;																				
1986	01	23	2:21:57	50	10.2	12	26.4		9		VG	CS	4.5	5.5	75			ISC	Hatzenreuth, Cheb/CS	
* R5=15;																				

**Tabelle 3.11: Liste der Beben im Umkreis von 100 km um Schacht Bartensleben/Morsleben**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
 MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993  
 im Umkreis von 100 km um  
 den Schacht Bartensleben (52° 13.48' N / 11° 6.13 E) des Endlagers Morsleben

DATUM		HERDZEIT		KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE			DIST		LOKATION		
JAH	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	OE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS	REF	DIST	LOKATION
997						52 6 0 11	36.0 5				AM	AH		6.0		GRU	37.	ALTMARK
1012						52 30	11 30.	4			AM	AH		5.5	100	S40	41.	ALTMARK
1202						52 36.0 11	54.0 4				AM	AH		3.5		GRU	68.	ALTMARK
1298						52 6 0 11	36.0 4				AM	AH		4.0		GRU	37.	MAGDEBURG
1409	08	23	22			52 06.	11 24.	4			AM	AH		6.0		GRM	25	MAGDEBURG
1562						52 24.0 11	31 8 4				AM	AH		4.5		GRU	35	ALTMARK
1576	04	27	10:30			52 7.8 11	38.4 3				AM	AH		4 0	30	GRU	38.	MAGDEBURG
1680						52 40.8 11	26.4 4				AM	AH		4 5		GRU	56.	ALTMARK
1736	11	00				52 36.6 11	51.6 3				AM	AH		3.5		GRU	67.	ALTMARK
1789	05	17				52 24 0 12	27.0 3				ND	BR		5.0		GRU	94.	PLAUE a d HAVEL
1894	05	15				51 32	11 33.				HZ	AH		6.0		SP1	83.	EISLEBEN
* Einsturzbeben;																		
1908	11	06	0:26			51 47.4 11	8.4 2				HZ	AH		3.0		GRU	48.	QUEDLINBURG
1912	09	11	19:45			51 52.2 10	16.2 2	1	G		HZ	ND		3.5		SP2	69	BAD GRUND/HARZ
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1940	05	24	19:08:58			51 28.8 11	47.5 1	1	4	CS	AH	4.3	7.5	25	SCM	95.		KRUEGERSHALL, TEUTSCHENTHAL
* Gebirgsschlag; R5= 7; R6= 4; R7= 2; Verletzte; Tote;																		
1943	03	05	23			51 45.0 11	31.2 1	1	4	HZ	AH	4.0	6 5		GRU	60.		SCHIERSTEDT, ASCHERSLEBEN
* Gebirgsschlag;																		
1971	04	04	05:00:53			51 45.	11 31.2 1	1		HZ	AH	4.6	6.5		G71	60.		SCHIERSTEDT, ASCHERSLEBEN
* Gebirgsschlag;																		
1980	08	10	21:54:28			52 04.	10 02.		1	G	SX	ND	1.6	3.0		IFT	75	Bad Salzdetfurt
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1980	10	13	01:09:01			51 26.	10 30		1	G	HM	AH	3.2			BNS	97.	Bleicherode
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1981	04	08	17:52:34			51 30.	11 06		1	G	HZ	AH	2.6			BGR	81.	Sangerhausen, SE Harz
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1981	07	05	13:29:44			51 26.	11 23.		1	G	HZ	AH	2.5			EMS	90.	Bleicherode
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1982	12	01	03:55:26			51 32.	10 43.		1	G	HZ	TH	2.7			EMS	81.	Nordhausen
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1983	04	19	15:46:23			52 13.4	9 52.8		1	1	SX	ND	1 8	5.0	3	IFT	84.	Ahrbergen, N Hildesheim
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1983	07	02	3:18:45			51 25.2 10	39 6 1	1	1	1	HM	TH	3 3			GRU	95.	Bleicherode
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1984	12	21	0:33:46			52 50.1 11	01.0		3	G	AM	AH	2.6			GOR	68.	Salzwedel
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1987	1	23	13:34:12			51 41.4 11	54.6		10	G	CS	AH	2.4			BGR	81.	Koethen
1988	3	17	6:24:59			51 29.4 10	26.4 2	1		FM	TH	2.1	4.5			POF	94.	Bleicherode, S Harz
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1992	8	1	6:20:12			51 33 0 11	48.0		0		CS	AH	2 5	2.0		CLL	89.	near Halle a. d. Saale
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1992	8	1	6:20:47			51 33.0 11	48.0		0		CS	AH	2.3	2 0		CLL	89.	near Halle a. d. Saale
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		
1993	7	21	4:22:38			52 51.4 10	59.8		3	G	AM	AH	2:1			GOR	71.	near Salzwedel
* Ereignis in Bergbauggebiet;																		

**Tabelle 3.12: Liste der Beben ab Intensität V MSK im Umkreis von 210 km um Schacht Bartsleben/Morsleben**

AUSZUG AUS DEM ERDBEBENKATALOG FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
MIT RANDGEBIETEN FÜR DIE JAHRE 800 - 1993

Beben mit Intensität ab V MSK im Umkreis von 210 km um den  
Schacht Bartsleben (52° 13.48' N / 11° 6.13 E) des Endlagers Morsleben

DATUM		HERDZEIT		KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE			DIST	LOKATION	
JAHR	MO	TA	ST	M	S	BREITTE	LÄNGE	QE	H	Q	SR	PR	ML			INT
823				51	6.0	12 48.0	5		CS	SA			7.0	GRU	172.	N-SACHSEN
827				51	6.0	12 48.0	5		CS	SA			7.5	GRU	172.	N-SACHSEN
868				51	.0	12 12.0	4		VG	AH			5.5	GRU	156.	ZEITZ
997				52	6.0	11 36.0	5		AM	AH			6.0	GRU	37	ALTMARK
1012				52	30.	11 30.	4		AM	AH			5.5	100 S40	41.	ALTMARK
1032	08	13		51	6.0	12 48.0	4		CS	SA			5.0	GRU	172.	N-SACHSEN
1079	07	17		50	36.0	9 42.0	4		HS	HS			5.0	GRU	205.	FULDA
1088	05	12		51	6.0	13 6.0	5		CS	SA			7.5	GRU	186.	N-SACHSEN
1094				51	.0	12 12.0	4		VG	AH			5.0	GRU	156.	ZEITZ
1141	03	26		50	36.0	9 42.0	4		HS	HS			5.0	GRU	205.	FULDA
1323				51	10.8	12 33.6	4		CS	SA			6.5	GRU	154.	GRIMMA
1323				53	15.	10 25.			NX	ND			5.0	LYK	123	LUENEBURG
* zweifelhaftes Ereignis;																
1326				50	48.0	12 12.0	4		VG	TH			6.5	GRU	176.	GERA
1332	02	12		50	48.0	12 12.0	4		VG	TH			5.5	GRU	176.	GERA
1346				50	48.0	12 12.0	5		VG	TH			8.0	GRU	176.	GERA
* Erdspalten; Erdrutsch;																
1366	05	24		50	48.0	12 12.0	5		VG	TH			7.5	GRU	176.	GERA
1409	08	23	22	52	06.	11 24.	4		AM	AH			6.0	GRM	25.	MAGDEBURG
1540	06	26	19	51	6.0	12 54.0	4		CS	SA			6.5	GRU	176.	N-SACHSEN
1553	08	17	19:30	51	10.	13 30.	5		CS	SA			6.5	LEY	203.	MELSSSEN
1558	05	17		50	52.8	12 13.8	5		VG	TH			5.0	GRU	169.	GERA
1568	07	26		51	7.2	13 3.0	4		CS	SA			5.5	GRU	182.	N-SACHSEN
1569	01	12		50	39.6	12 37.2	3		CS	SA			5.0	GRU	204.	SCHNEEBERG
1578	04	27	11	50	52.8	12 13.8	4		VG	TH			6.5	GRU	169.	GERA
1578	05	04		50	52.8	12 4.8	3		VG	TH			5.0	GRU	164.	GERA
1598	12	16	07	50	52.2	12 10.8	4		VG	TH			6.5	GRU	168	GERA
1612	10	01		52	04.	8 42.	3		TW	NW			5.5	20 S40	165.	BIELEFELD
1690	11	23	9	50	58.2	11 54.6	3		VG	TH			5.0	GRU	150.	JENA, STADTRODA
1695	04	18		50	58.2	11 54.6	3		VG	TH			5.5	GRU	150.	JENA, STADTRODA
1711	10	25	19:15	51	10.8	12 33.6	4		CS	SA			6.5	60 GRU	154	LEIPZIG
1720	07	01	17	50	33.6	12 24.0	4		VG	SA			6.0	GRU	206	AUERBACH
1767	01	19		51	59.	9 16	1		SX	ND			5.0	HER	129.	BAD PYRMONT
* Einsturzbeben;																
1767	01	20	09:30	51	41.	8 20			MJ	NW			5.0	35 S40	200	LIPPSTADT
1767	04	13	00:30	51	00.	09 42.	3		HS	HS			6.5	70 S40	167.	ROTENBURG/FULDA
1771	08	08		53	33.	10 00	3	1 1	NX	ND			5.0	S40	165.	HAMBURG
* Einsturzbeben;																
1785	10	15		50	57.6	11 25.2	3		CT	TH			5.0	GRU	142.	JENA, STADTRODA

DATUM		HERDZEIT		KOORDINATEN			TIEFE		REGION		STÄRKE			DIST	LOKATION			
JAH	MO	TA	ST	M	S	BREI	LÄN	Q	H	Q	SR	PR	ML			INT	RS	REF
1789	05	17				52 24.0	12 27.0	3			ND	BR		5.0		GRU	94	PLAUE a.d. HAVEL
1789	05	18				50 37.2	12 12.0	3			VG	SA		5.0		GRU	194	GREIZ
1789	07	27	12:40			50 30.0	12 8.4	3			VG	SA		5.0		GRU	205	PLAUEN
1789	08	26	9:30			50 33.0	12 7.2	3			VG	SA		6.0	35	GRU	199	PLAUEN
* R5=12;																		
1799	06	19		2		50 52.2	12 10.8	2			VG	TH		5.0		GRU	168	GERA
1821	10	28	21:30			50 58.2	12 45.0	3 7 4			CS	SA		5.0	45	GRU	180	ZENTRAL-SACHSEN
1847	04	07	19:30			50 27.6	11 8 4	3 17 5			CT	TH		6.0	95	NEG	196	THUERINGER WALD
* R5=20;																		
1857	06	07	15:07			50 49.2	12 5.4	2 12 5			VG	TH		5.5	100	GRU	171	GERA
* R5= 8;																		
1862	01	09	15:55			50 40.2	11 48.0	4			VG	TH		5.0		GRU	180	POESSNECK
1869	06	06		6		50 56.4	12 57.0	3			CS	SA		5.0		GRU	192	ZENTRAL-SACHSEN
1872	03	06	15:55			50 51.6	12 16.8	2 9 4			VG	TH		7.5	290	GRU	172	POSTERSTEIN
* R5=74; Verletzte; Tote; Veränd. an Quellen;																		
1875	11	23	0:45			50 30.0	12 8 4	3 5 4			VG	SA		5.5	31	GRU	205	PLAUEN
* R5= 3;																		
1883	10	20	22:30			50 52.2	12 10.8	3 13 5			VG	TH		5.5	50	GRU	168	GERA
* R5= 1;																		
1894	05	15				51 32.	11 33				HZ	AH		6.0		SP1	83	EISLEBEN
* Einsturzbeben;																		
1896	05	16	20:50			50 30.0	12 6.0	2			VG	SA		6.0	25	GRU	204	PLAUEN
1902	05	01	4:30			50 39.6	12 13.2	2 2			VG	SA	3 6	5.0		GRU	191	GREIZ
* R5= 2;																		
1905	08	17	3:21			51 21.0	12 22.8	2 10 4			CS	SA	4 1	5.5	59	GRU	131	LEIPZIG
* R5=10;																		
1908	11	03	15:30			50 28.2	11 32.4	2			VG	BY		5.0		GRU	198	FRANKENWALD
1908	11	04	1:55:15			50 32.4	12 22.8	2 11 5			VG	SA	3 2	5.0	39	GRU	207	AUERBACH
* R5= 4;																		
1908	11	12	3:55			50 39.6	12 13.2	2 2			VG	SA		5.0		GRU	191	GREIZ
1908	12	19	5:03:51			51 6.6	12 55.8	2 14 4			CS	SA	3 8	5.5	82	GRU	177	ROCHLITZ; N-SACHSEN
* R5=17;																		
1910	11	03	3:05			50 39.6	12 13.2	2 2			VG	SA		5.0		GRU	191	GREIZ
1911	10	13	4:10			50 39.6	12 13.2	2 2			VG	SA		5.0		GRU	191	GREIZ
1914	06	27	1:44:50			51 21.6	12 25.8	2 8 5			CS	SA		6.0		GRU	133	LEIPZIG
* R5=12;																		
1926	01	28	16:57:37			50 56.4	11 56.4	1 6 4			VG	TH	3 9	6.0	38	NEU	154	EISENBERG
* R5=13;																		
1940	05	24	19:08:58			51 28.8	11 47.5	1 1 4			CS	AH	4 3	7.5	25	SGM	95	KRUEGERSHALL, TEUSCHENIHAL
* Gebirgsschlag; R5= 7; R6= 4; R7= 2; Verletzte; Tote;																		
1943	03	05	23			51 45.0	11 31.2	1 1 4			HZ	AH	4 0	6.5		GRU	60	SCHTERSTEDT, ASCHERSLEBEN
* Gebirgsschlag;																		
1953	02	22	20:16:21			50 55.	10 00.	1 1 4			WR	HS	5 0	8.0	35	SGM	164	HERTINGEN
* Gebirgsschlag; MS=4.6; R5= 9; R6= 5; R7= 2; Verletzte; Erdspalten;																		
1958	07	08	05:02:24			50 50.	10 07.	1 1 4			WR	TH		7 5	19	SGM	169	MERKERS
* Gebirgsschlag; MS=4.4; R5= 7; R6= 4; R7= 2;																		
1961	06	29	11:52:49			50 49.2	10 6.6	1 1 4			WR	TH	3 7	6.0		GRU	171	MERKERS
* Gebirgsschlag; R5= 4;																		

DATUM		HERDZEIT			KOORDINATEN				TIEFE REGION				STÄRKE			DIST	LOKATION
JAH	MO	TA	ST	M	S	BREITE	LÄNGE	QE	H	Q	SR	PR	ML	INT	RS		
1971	04	04	05:00:53	51	45.	11	31.2	1	1		HZ	AH	4.6	6.5	G71	60.	SCHLIERSTEDT, ASCHERSLEBEN
* Gebirgsschlag;																	
1975	06	23	13:17:36	50	48.	10	00.	1	1	1	WR	TH	5.2	8.0	75 LY1	176.	SUENNA/WERRATAL
* Gebirgsschlag; MS=5.0; R5=10;																	
1977	06	02	13:32:23	52	56.9	9	56.7	2	8	5	NX	ND	4.0	5.5	30 LSS	112.	SOLTAU, MUNSTER
* R5= 7;																	
1982	01	29	23:03:51	50	48.	9	40.		8	1	HS	HS	3.4	5.5	22 TNS	187.	SE Bad Hersfeld
1982	02	20	4:34:37	51	21.0	12	26.4	1	8	1	CS	SA		5.0	GRU	134	Leipzig
1983	04	19	15:46:23	52	13.4	9	52.8		1	1	SX	ND	1.8	5.0	3 IFT	84.	Ahrbergen, N Hildesheim
* Ereignis in Bergbaugebiet;																	
1989	3	13	13:02:17	50	48.	10	03.		1		WR	TH	5.6	8.5	140 LGA	174.	Voelkershausen/Kalibergbau
* Gebirgsschlag; R5=15; R6= 8; R7= 4; R8= 1;																	
1993	10	9	23:07:57	52	40.7	9	0.2	2	3	G	SX	ND	2.0	5.0	7 LY3	151.	Pennigsehl, W of Nienburg
* Ereignis in Bergbaugebiet;																	
1996	09	11	03:36:36	51	26.9	11	50.7	1	1	1	CS	AH	4.9	6.5	TKL	100	Teutschenthal
* Gebirgsschlag; MS=5.0; R5= 7; R6= 3;																	

ERA  
Morsleben

**Tabelle: 5.1 Parameter der seismischen Quellregionen und der seismischen Hintergrundaktivität**

Seismische Quellregionen	Beginn des Beob. Intervalls		Herd-tiefe km	Kumul. Beben-zahl Nc ( $I_k \geq 4$ )	$I_{\max}$ beob.	Lineare Regression (Wertebereich) <sup>1</sup>		Aktivitätsrate <sup>2</sup>	
	Jahr	mit $I_0$				a	b	$N_y$	für $I_0$
südl. Altmark (sAM)	997	6.0	6 / 8	9	6.0	1.903 (4 - 6)	0.239	0.0089	4
Zentral-Sachsen <sup>3</sup> (CS)	823	7.0	8	69	7.5	3.20 (5 - 8)	0.354	0.0519	4
Vogtland <sup>4</sup> (VG)	868	5.5	10	174 ( $I_0 \geq 5$ )	8.0	5.233 (5 - 8)	0.585	0.1807	5
Background BG <sub>1</sub>	997	6.5	8	19 ( $I_0 \geq 5$ )	6.5	4.564 (5 - 7)	0.639	0.00212	5
Background BG <sub>2</sub>	1079	5.0	8	14 ( $I_0 \geq 5$ )	6.5	4.053 (5 - 7)	0.573	0.00175	5

BG<sub>1</sub> = Hintergrundaktivität ohne die Quellregionen: CS und VG.

BG<sub>2</sub> = Hintergrundaktivität ohne die Quellregionen: sAM, CS und VG.

Der Absorptionskoeffizient wurde einheitlich mit  $\alpha = 0.001 \text{ [km}^{-1}\text{]}$  angenommen.

Die Intensitätsklasse  $I_k$  ist hier so definiert, daß sie alle Beben mit  $I_0 = I_k - 0.5$  und  $I_0 = I_k$  beinhaltet.

<sup>1</sup> Der Wertebereich (Intensitäten) der Regressionsanalyse ( $\lg N_c = a - b \cdot I_0$ ) wurde in Abhängigkeit von der jeweiligen Datenliste festgelegt und ist in Klammern angegeben.

<sup>2</sup> Die seismische Hintergrundaktivität wurde für ein Gebiet von 200 km um den Standort berechnet. Die Flächen der innerhalb des Backgroundgebietes (BG) liegenden seismischen Quellen sind in der Aktivitätsrate des BG berücksichtigt. Die Wirkung der Gebiete der seismischen Quellen wurde aus den Erwartungswerten des BG herausgerechnet.

<sup>3</sup> Die seismotektonische Region Zentral Sachsen (CS) wurde abweichend von der seismogeographischen Region Zentral Sachsen definiert. Die südliche Grenze wurde nach Norden verschoben und wird nunmehr durch die Nordgrenze des Erzgebirges gebildet. Damit liegt die gesamte seismotektonische Region CS im 200 km Bereich um Morsleben.

<sup>4</sup> Durch die Festlegung der unteren Intensitätsschwelle mit  $I_0 = 5$  wurde die überwiegende Zahl von Vor- und Nachbeben nicht aufgenommen. Trotzdem bleiben noch abhängige Beben im Datensensemble, was die Konservativität der Abschätzung erhöht.

**Tabelle 5.2: Anteil der Quellregionen und der seismischen Hintergrundaktivität am Gesamtrisiko für die Standortintensitäten  $I_s \geq 5.5$  und  $I_s \geq 6.5$**

**Modell 1** (Kurven A1 & A2 in Abb. 5.1): 2 Quellen + BG<sub>1</sub> mit ( $I_{\max} = I_{0\max \text{ beob.}} + 1.0$ )

Seismische Quellregion	P ( $I_s \geq 5.5$ ) pro Jahr	Beitrag zum Gesamtrisiko	P ( $I_s \geq 6.5$ ) pro Jahr	Beitrag zum Gesamtrisiko
Zentral-Sachsen <sup>1</sup> (CS)	$2.23 \cdot 10^{-5}$	15.8 %	$1.76 \cdot 10^{-7}$	2.1 %
Vogtland (VG)	$4.44 \cdot 10^{-5}$	31.5 %	$2.09 \cdot 10^{-7}$	2.5 %
Hintergrundseismizität BG <sub>1</sub>	$7.39 \cdot 10^{-5}$	52.4 %	$7.94 \cdot 10^{-6}$	95.4 %
Gesamtrisiko <sup>2</sup>	$1.41 \cdot 10^{-4}$	ca. 100 %	$8.32 \cdot 10^{-6}$	100 %

P = Überschreitenswahrscheinlichkeit

BG<sub>1</sub> = Hintergrundaktivität ohne die Quellregionen: CS und VG.

<sup>1</sup> CS besteht hier nur aus dem Bereich, der in CS innerhalb eines Radius von R = 200 km (Background) um Morsleben liegt, also ohne das Erzgebirge.

<sup>2</sup> Aufgrund von numerischen Rundungsfehlern ergeben sich nicht exakt 100 %.

**Tabelle 5.3: Anteil der Quellregionen und der seismischen Hintergrundaktivität am Gesamtrisiko für die Standortintensitäten  $I_s \geq 5.5$  und  $I_s \geq 6.5$**

**Modell 2** (Kurven 1 bis 4 in Abb. 5.1) : 3 Quellen + BG<sub>2</sub> mit ( $I_{\max} = I_{0\max \text{ beob.}} + 1.0$ )

Seismische Quellregion	P ( $I_s \geq 5.5$ ) pro Jahr	Beitrag zum Gesamtrisiko	P ( $I_s \geq 6.5$ ) pro Jahr	Beitrag zum Gesamtrisiko
südl. Altmark (sAM)	$1.09 \cdot 10^{-4}$	59.2 %	$1.15 \cdot 10^{-5}$	95.8 %
Zentral-Sachsen <sup>1</sup> (CS)	$2.23 \cdot 10^{-5}$	12.1 %	$1.76 \cdot 10^{-7}$	1.5 %
Vogtland (VG)	$4.44 \cdot 10^{-5}$	24.1 %	$2.09 \cdot 10^{-7}$	1.7 %
Hintergrundseismizität BG <sub>2</sub>	$7.79 \cdot 10^{-6}$	4.2 %	$5.00 \cdot 10^{-8}$	0.4 %
<b>Gesamtrisiko<sup>2</sup></b>	$1.84 \cdot 10^{-4}$	ca. 100 %	$1.20 \cdot 10^{-5}$	ca. 100 %

P = Überschreitenswahrscheinlichkeit

BG<sub>2</sub> = Hintergrundaktivität ohne die Quellregionen: sAM, CS und VG.

<sup>1</sup> CS besteht hier nur aus dem Bereich, der in CS innerhalb eines Radius von R = 200 km (Background) um Morsleben liegt, also ohne das Erzgebirge.

<sup>2</sup> Aufgrund von numerischen Rundungsfehlern ergeben sich nicht exakt 100 %.

**Tabelle 6.1: Klassifizierung des Untergrundes nach physikalischen Materialparametern (aus: IfBt-Abschlußbericht 1983; HOSSER 1987, Tab. 2).**

<b>Untergrund- klasse</b>	$v_p$ [m/s]	$v_s$ [m/s]	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Poisson- zahl
<b>A</b> Holozän, Lockersedimente und Böden niedriger Impedanz, mindestens 5 m mächtig	< 1000	< 400	1.8	0.4 - 0.5
<b>M</b> mittelsteife halbverfestigte Se- dimente, weder (A) noch (R)	1000 - 3000	400 - 1100	2.1	0.3 - 0.4
<b>R</b> Fels, gut verfestigtes, wenig poröses Gestein	3000 - 4500	1100 - 2800	2.4	0.2 - 0.3

$v_p$  = Geschwindigkeit der Kompressionswelle

$v_s$  = Geschwindigkeit der Scherwelle

**Tabelle 6.2 a: Stratigraphie und Geschwindigkeiten  $v_p$  der Kompressionswellen über der Salzstruktur nahe Schacht Bartensleben (ZIRNGAST 1997).**

Zur Lage der Bohrungen siehe Abb. 6.1.

Bohrung: **DpMors40** ca. 400 m nordwestlich vom Schacht  
Gauß-Krüger-Koordinaten R: 4 438420,94; H: 5 788474,19

Stratigraphische Einordnung	Schichten		$v_p$ [m/s]
	Teufe [m]	Mächtigkeit [m]	
Quartär (q)	6	6	416
Oberer Keuper (ko)	66	60	2073
Jura (ju)	99	33	2463
Oberer Keuper (ko)	110	11	2319
Unterer Jura, Lias (ju)	160	50	2231
Unterer Jura, der Hettang oder Angulaten Schichten (juhe)	163	3	3300
Unterer Jura, Lias (ju)	257	94	2458
Hutgestein (zcr)	291	?	3500

Bohrung: **DpMors51** ca. 125 m südwestlich vom Schacht  
Gauß-Krüger-Koordinaten R: 4 438572,09; H: 5 788105,85

Stratigraphische Einordnung	Schichten		$v_p$ [m/s]
	Teufe [m]	Mächtigkeit [m]	
Quartär (q)	2	2	696
Oberer Keuper (ko)	19	17	842
Steinmergelkeuper (kmSM)	133	114	2678
Oberer Gipskeuper (kmGO)	222	89	2889
Oberer Keuper (ko)	264	42	2500

Bohrung: **DpMors69** ca. 330 m nordöstlich vom Schacht  
Gauß-Krüger-Koordinaten R: 4 438790,07; H: 5 788534,03

Stratigraphische Einordnung	Schichten		$v_p$ [m/s]
	Teufe [m]	Mächtigkeit [m]	
Quartär (q)	81	81	1364
Obere Kreidesande der Oberen Alleringerslebener Schicht (kroALO)	148	67	1882
Obere Kreidesande der Unteren Alleringerslebener Schicht (kroALU)	194	46	2788
Hutgestein (zcr)	245	51	4900

**Tabelle 6.2 b: Stratigraphie und Geschwindigkeiten  $v_p$  der Kompressionswellen am Rand der Salzstruktur Morsleben (ZIRNGAST 1997).**

Bohrung: **DpMors52** ca. 900 m westlich vom Schacht  
Gauß-Krüger-Koordinaten R: 4 437897,25; H: 5 788453,82

Stratigraphische Einordnung	Schichten		
	Teufe [m]	Mächtigkeit [m]	$v_p$ [m/s]
Quartär (q)	2	2	667
Oberer Keuper (ko)	120	118	1843
Steinmergelkeuper (kmSM)	283	163	3058
Oberer Gipskeuper (kmGO)	365	82	3526
Schilfsandstein (kmS)	409	44	3083
Unterer Gipskeuper (kmGU)	534	125	3563
Unterer Keuper (ku)	590	56	3643
Oberer Muschelkalk (mo)	658	68	4697
Mittlerer Muschelkalk (mm)	723	65	4466
Unterer Muschelkalk (mu)	736	13	?

**Tabelle 6.3: Dauer der Starkbewegungsphase in der Intensitätsklasse 1 (6 -7 MSK) für die drei Untergrundklassen nach HOSSER (1987)**

Untergrund- klasse	Dauer [sec]
<b>A</b>	$4.5 \pm 3.7$
<b>M</b>	$2.6 \pm 1.0$
<b>R</b>	$1.1 \pm 0.8$

**Tabelle 7.1: Eckwerte der Antwortspektren der Horizontalbeschleunigung für 5% Dämpfung für die Untergrundklassen A, M und R (vgl. Tab. 6.1) und der Intensitätsklasse 1 (Intensität 6-7) (HOSSER 1987), jeweils Einzelkomponente und Resultierende.**

1. Untergrundklasse (Ukl.) A: Lockersedimente niedriger Impedanz
2. Untergrundklasse (Ukl.) M: mittelsteife halbverfestigte Sedimente.
3. Untergrundklasse (Ukl.) R: Fels, gut verfestigtes Gestein

Frequenz [Hz]		0.5	2.5	3.5	6.0	6.5	7.5	15	20	25
		Horizontalbeschleunigung cm/s <sup>2</sup>								
1.	Komp. Ukl. A	10	110			110			60	
	Result. Ukl. A	14	156			156			85	
2.	Komp. Ukl. M	7		160			160			80
	Result. Ukl. M	10		226			226			113
3.	Komp. Ukl. R	8			130			130		70
	Result. Ukl. R	11			184			184		99

**Tabelle 7.2: Eckwerte der Bemessungs-Antwortspektren für 5% Dämpfung für den Standort Morsleben:**

- Standortintensität 6 ½ MSK.
- resultierende Horizontalbeschleunigung  $a_{Hres}$  in [cm/s<sup>2</sup>]

über Tage:

Einhüllende der Untergrundklassen A und M (Lockersedimente niedriger Impedanz und mittelsteife, halbverfestigte Sedimente)

unter Tage:

Untergrundklasse R (Fels)

Frequenz [Hz]		0.5	2.5	3.5	6	7.5	15	25
über Tage	$a_{Hres}$ in [cm/s <sup>2</sup> ]	14	156	226		226		113
unter Tage	$a_{Hres}$ in [cm/s <sup>2</sup> ]	11			184		184	99