

Erdbeben in Deutschland 1996

Berichte der deutschen seismologischen Observatorien
mit einem Katalog wichtiger Weltbeben
herausgegeben von der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Erdbeben in Deutschland 1996	49 S.	13 Abb.	4 Tab.	Hannover 2005
------------------------------------	-------	---------	--------	---------------

Hannover 2005

Redaktion: M. HENGER, G. HARTMANN, A. SCHICK

Für den sachlichen Teil sind die Autoren verantwortlich

ISBN 3 - 510 - 95944 – 2

Anschrift des Herausgebers: Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe
Alfred-Bentz-Haus, Postfach 510153
D-30631 Hannover

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	1
1 Erdbeben in Deutschland.....	9
2 Regionale Berichte 1996	25
2.1 SACHSEN-ANHALT.....	25
2.1.1 <i>Der Gebirgsschlag in der Grube Teutschenthal bei Halle/Saale am 11. September 1996</i>	25
2.1.1.1 <i>Makroseismische Auswertung</i>	25
2.1.1.2 <i>Seismogrammbeispiele</i>	27
2.1.2 <i>Der Gebirgsschlag im Grubenfeld Niederröblingen am 25. Februar 1996</i>	31
2.2 BAYERISCHE ALPEN	34
2.3 NORDRHEIN-WESTFALEN	34
2.4 BADEN-WÜRTTEMBERG	35
3 Weltweite Schaden- und Grossbeben des Jahres 1996.....	37
4 Begriffserläuterungen	45
5 Weiterführende Literatur (Auswahl)	49

VORWORT

Die seismologischen Observatorien an Universitäten und anderen deutschen Forschungseinrichtungen (**Tabelle 1** und **Abbildung 1**) haben vereinbart, dass die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) eine gemeinschaftliche Zusammenstellung der regionalen Erdbebenberichte der seismologischen Observatorien herausgibt. Die BGR hat die Zusammenstellung dieser regionalen Berichte übernommen und durch einen Überblick über die Seismizität in Deutschland und weltweit ergänzt. Das erste Heft dieser Reihe erschien 1979 und behandelte die Erdbeben des Jahres 1974. Nachfolgend wurden bis zum Jahr 2001 die Hefte 1975 bis 1995 veröffentlicht. Nach einer Unterbrechung bis 2004 wird die Reihe mit der Herausgabe dieses Heftes für das Jahr 1996 fortgesetzt. Es ist geplant, die Aktualität dieser Hefte zu erhöhen und nach Ablauf eines Jahres über die Erdbeben möglichst zeitnah zu berichten. So erscheinen in diesem Jahr „Erdbeben in Deutschland 1996 und 2002“.

In der Reihe "Data Catalogue of Earthquakes in Germany" werden von der BGR die für Seismologen interessanten Parameter der von den deutschen seismologischen Stationen registrierten Erdbeben des jeweiligen Jahres herausgegeben. Besondere Bedeutung kommt hier den von Landeserdbebendiensten, geologischen Landesämtern und geophysikalischen Hochschulinstituten betriebenen lokalen Seismometernetzen bei, die routinemäßig die Ergebnisse ihrer Datenauswertung der BGR übermitteln und so die Voraussetzungen zur Erstellung eines qualitativ hochwertigen seismologischen Datenkatalogs schaffen. Die Herddaten dieser Erdbeben (Herdzeit, Koordinaten, Herdtiefe, Stärke etc.) sind diesem Datenkatalog entnommen und in **Tabelle 2** zusammengestellt.

Wie die Ausgabe des Jahres 1995 erscheint auch dieses Heft zusätzlich in digitaler Form. Der Inhalt kann von der Internetseite der BGR (<http://www.seismologie.bgr.de>) abgerufen werden.

Mit den Jahresberichten "Erdbeben in Deutschland" soll die Öffentlichkeit sowie Behörden und Industrie über das aktuelle seismische Geschehen in Deutschland informiert werden. Für die einzelnen Beiträge zeichnen die jeweiligen Autoren verantwortlich.

In Deutschland haben Erdbeben mit katastrophalen Ausmaßen bisher nicht stattgefunden und sind auch nach Kenntnis der geologischen und tektonischen Verhältnisse in der Zukunft kaum zu erwarten. Dennoch ist bei der hohen Siedlungs- und Industriedichte unseres Landes eine kontinuierliche Überwachung der Erdbebentätigkeit unerlässlich. Nur so besteht die Möglichkeit, längerfristige Tendenzen zu erkennen und tektonisch begründete Modellvorstellungen der Wirklichkeit abzuleiten, um seismische Risiken abschätzen zu können. Die seismischen Messdaten dienen dabei nicht nur als Eingangsparameter für die bauliche Konstruktion sicherheitsempfindlicher großtechnischer Anlagen, sondern sind auch Grundgrößen der allgemeinen Bauvorschriften für Hochbauten (DIN 4149 Teil 1: Bauten in Deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten).

Zur besseren Übersicht ist das Datenmaterial in Karten dargestellt. Sie zeigen die geographische Lage der Erdbebenherde in Deutschland einschließlich der Randgebiete (**Abbildung 3**) und für Großbeben weltweit (**Abbildung 13**). Die Begriffserläuterungen am Schluss des Heftes sollen dem seismologischen Laien das Verständnis der Berichte erleichtern. Die Literaturhinweise sind dazu gedacht, Interessenten die Möglichkeit zu geben, das Fachgebiet Seismologie näher kennen zu lernen.

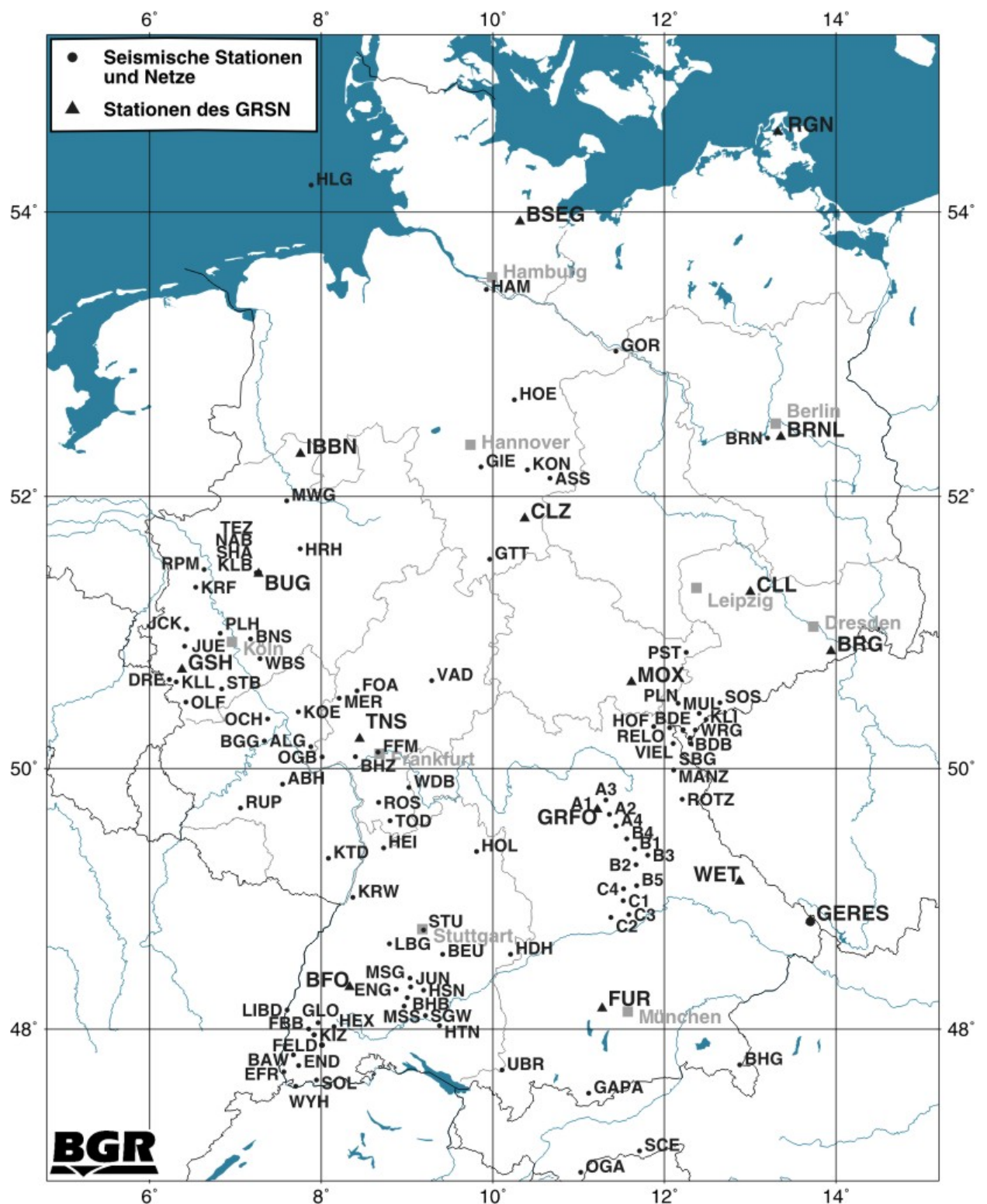


Abbildung 1: Die seismologischen Stationen in Deutschland im Jahre 1996

Tabelle 1: Verzeichnis der Erdbebenstationen in Deutschland (Stand Dezember 1996)

Stations- kennung	Stationsname	Breite Lat. (N)	Länge Long. (E)	Höhe über NN	Adresse
ASS* - Kon*	Asse II Konrad	52° 07' 54" 52° 11' 29.2"	10° 39' 56" 10° 24' 15.8"	-295 m ¹⁾ -1098 m ¹⁾⁵⁾	GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH Forschungsbergwerk ASSE PF 1461, 38284 Wolfenbüttel www.gsf.de
BFO	Schiltach	48° 19' 52.2"	8° 19' 49.2"	589 m ¹⁾	Geowissenschaftliches Gemeinschaftsob- servatorium Schiltach Heubach 206, 77709 Wolfach www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de/ pub/widmer/BFO www-gik.bau-verm.uni-karlsruhe.de/~bfo
BNS - BGG - DRE* - JUE* - KLL - KOE - OCH* - STB	Bensberg Burg Eltz Dreilägerbach Jülich Kalltalsperre Köppel Ochtendung Steinbach	50° 57' 50.0" 50° 12' 21.5" 50° 39' 45.7" 50° 54' 36.6" 50° 38' 49.6" 50° 25' 31.0" 50° 22' 14.9" 50° 57' 32.4"	7° 10' 32.0" 7° 20' 13.8" 6° 13' 48.0" 6° 24' 26.1" 6° 18' 42.8" 7° 43' 53.8" 7° 22' 31.8" 6° 39' 03.6"	200 m 140 m 395 m 91 m 440 m 540 m 120 m 270 m	Erdbebenstation Bensberg Geologisches Institut der Universität zu Köln Vinzenn-Pallotti-Str.26 51429 Bergisch Gladbach www.uni-koeln.de/ math-nat-fak/geologie/seismo
BRG - MUL* - SBG* - SOS*	Berggießhübel Muldenberg Schönberg Sosa	50° 52' 29.7" 50° 24' 44.6" 50° 11' 05.6" 50° 29' 30.1"	13° 56' 41.3" 12° 24' 17.3" 12° 18' 27.0" 12° 38' 46.0"	296 m 678 m 604 m 636 m	TU Bergakademie Freiberg Institut für Geophysik Seismologisches Observatorium Hauptstr.8, 01819 Berggießhübel www.geophysik.tu-freiberg.de
BRN - BRNL	Berlin Berlin-Lankwitz	52° 25' 07.5" 52° 25' 40.8"	13° 12' 11.2" 13° 21' 28.8"	45 m 42 m	Freie Universität Berlin Fachrichtung Geophysik im Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformatik Malteserstr. 74 – 100, 12249 Berlin www.fu-berlin.de/geophysik
BUG	Bochum Universität Netz (Referenz- station KLB)	51° 26' 30.5"	7° 16' 13.1"	135 m	Institut für Geophysik der Ruhr-Universität Universitätsstr. 150, 44801 Bochum www.geophysik.ruhr-uni-bochum.de
CLL	Collm	51° 18' 32.3"	13° 00' 15.7"	230 m	Geophysikalisches Observatorium Collm 04779 Wernsdorf hpkom21.geo.uni-leipzig.de/ ~geosh/seismologie.html
CLZ	Clausthal-Zellerfeld	51° 50' 34.3"	10° 22' 26.8"	680 m	Institut für Geophysik der Technischen Universität Clausthal Arnold Sommerfeldstr.1 38678 Clausthal-Zellerfeld www.ifg.tu-clausthal.de

* Stationskennung ist nicht in der Stationsbeschreibung des NEIS (National Earthquake Information Service) des U.S. Geological Survey enthalten

1) Station im Bergwerk

5) geschlossen am 26. Januar 1996

Stations- kennung	Stationsname	Breite Lat. (N)	Länge Long. (E)	Höhe über NN	Adresse
FEL	Feldberg	47° 52' 34.8"	8° 00' 14.4"	1465 m	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Erdbebendienst Albertstr. 5, 79104 Freiburg i. Br. www.gla.uni-freiburg.de
- ABH	Alteburg	49° 52' 54"	7° 32' 51"	620 m	
- BAS*	Basel	47° 32' 31.8"	7° 34' 59.2"	317 m ²⁾	
- BAW*	Badenweiler	47° 47' 57.8"	7° 40' 37.3"	500 m ¹⁾	
- BBS	Basel-Blauen	47° 27' 52.0"	7° 30' 33"	700 m ²⁾	
- BEU	Beuren	48° 35' 01.8"	9° 24' 55.2"	443 m	
- BHB*	Braunhartsberg	48° 14' 50.8"	9° 00' 15.3"	935 m	
- EFR*	Efringen-Kirchen	47° 39' 55.2"	7° 33' 49.2"	280 m ¹⁾	
- END*	Endenburg	47° 42' 54.0"	7° 44' 16.6"	635 m	
- ENG*	Engstlatt	48° 18' 45"	8° 52' 22.4"	538 m	
- FBB	Freiburg im Br.	48° 00' 05.8"	7° 51' 11.4"	258 m	
- GLO*	Glottertal	48° 03' 03.6"	7° 57' 53.3"	360 m ¹⁾	
- HDH	Heidenheim- Charlottenhöhle	48° 35' 03.6"	10° 12' 25.2"	501 m ⁶⁾	
- HEI	Heidelberg	49° 23' 56.8"	8° 43' 38.7"	560 m	
- HEX*	Hexenloch	48° 01' 15"	8° 08' 58.8"	770 m	
- HOL*	Hollenbach	49° 22' 15.6"	9° 48' 40.2"	421 m	
- HSN*	Hausen	48° 18' 15"	9° 11' 37.8"	710 m	
- HTN*	Hohentengen	48° 01' 45.6"	9° 22' 42.1"	573 m	
- JUN*	Jungingen	48° 19' 48.4"	9° 02' 27"	600 m	
- KIZ	Kirchzarten	47° 57' 22.2"	7° 55' 05.4"	444 m ^{1) 7)}	
- KTD	Kalmit	49° 19' 12.6"	8° 05' 01.2"	667 m	Geophysikalisches Observatorium Ludwigshöhe 8, 82256 Fürstenfeldbruck www.geophysik.uni-muenchen.de/ welcome.htm#groups
- LBG	Lerchenberg	48° 39' 50.0"	8° 47' 40.2"	585 m	
- LIBD	Limburg	48° 09' 01.8"	7° 36' 10.8"	210 m	
- MSG	Mössingen	48° 23' 57"	9° 02' 07.2"	475 m	
- MSS	Meßstetten	48° 10' 49.0"	8° 57' 59.0"	915 m	
- ROS*	Rossmann	49° 44' 43.2"	8° 40' 08.4"	290 m	
- RUP	Ruppelstein	49° 42' 06"	7° 03' 33.6"	750 m	
- SGW	Sigmaringen- Wittberg	48° 06' 24.3"	9° 12' 54.1"	700 m	
- SOL*	Solfelsen	47° 36' 05.4"	7° 56' 43.4"	770 m	
- TOD	Tromm	49° 36' 21.2"	8° 48' 13.8"	570 m	
- UBR	Ueberruh	47° 40' 50.4"	10° 06' 28.8"	890 m	
- WYH*	Wyhlen	47° 33' 02.9"	7° 42' 06.5"	310 m	
FUR	Fürstenfeldbruck	48° 09' 56"	11° 16' 35"	565 m	
- BHG	Bad Reichenhall	47° 43' 17"	12° 52' 44"	475 m	
- GAPA*	Garmisch- Partenkirchen	47° 29' 50"	11° 07' 01"	760 m	
- HOF	Hof	50° 18' 49"	11° 52' 39"	566 m	
- MANZ*	Manzenberg	49° 59' 14"	12° 06' 34"	635 m ⁸⁾	
- RELO*	Regnitzlosau	50° 18' 21.6"	12° 03' 39.6"	590 m	
- ROTZ	Rotzenmühle	49° 46' 04.1"	12° 12' 30.1"	430 m	
- VIEL*	Vielitz	50° 11' 12"	12° 06' 15"	670 m	
- WET	Wettzell	49° 08' 43"	12° 52' 48"	613 m	
- OGA	Obergurgl/A	46° 52' 04"	11° 01' 31"	1934 m ³⁾	
- SCE	Schlegeis/A	47° 02' 19"	11° 42' 37"	1737 m ³⁾	

* Stationskennung ist nicht in der Stationsbeschreibung des NEIS (National Earthquake Information Service) des U.S. Geological Survey enthalten

1) Station im Bergwerk

2) Betrieb in Zusammenarbeit mit dem Schweizer Erdbebendienst, SED, Zürich

3) Station in Österreich, durch FUR betrieben

6) in Betrieb seit 30. Oktober 1996

7) Umbenennung von KIR am 15. Juni 1996

8) in Betrieb seit 30. Juli 1996

Stations- kennung	Stationsname	Breite Lat. (N)	Länge Long. (E)	Höhe über NN	Adresse
GERES	Geress-Array (Referenzstation GEC2)	48° 50' 42.4"	13° 42' 05.6"	1132 m	Institut für Geophysik der Ruhr-Universität Universitätsstr.150, 44801 Bochum www.geophysik.ruhr-uni-bochum.de
GOR*	Gorleben Netz (Referenzstation GOR1)	52° 59' 25.1"	11° 18' 26.8"	-300 m ⁴⁾	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe - B2.12 Stilleweg 2, 30655 Hannover www.bgr.de
GRF	Gräfenberg-Array (Referenzstation A1)	49° 41' 31"	11° 13' 18"	500 m	Seismologisches Zentralobservatorium Gräfenberg Mozartstr.57, 91052 Erlangen www.szgrf.uni-erlangen.de
GRFO	SRO-Station	49° 41' 31"	11° 13' 18"	-110 m ⁴⁾	
GSH	Grosshau	50° 44' 14"	6° 22' 37"	370 m	Geologisches Landesamt
- JCK	Jackerath	51° 02' 11"	6° 25' 55"	-240 m ⁴⁾	Nordrhein-Westfalen
- KRF*	Krefeld	51° 20' 33"	6° 32' 15"	-270 m ⁴⁾	De-Greifffstr. 195, 47803 Krefeld
- OLF*	Olefallsperre	50° 29' 44"	6° 25' 16"	470 m	www.gla.nrw.de
- PLH	Pulheim	51° 00' 19"	6° 49' 14"	-300 m ⁴⁾	
- WBS*	Wahnachtalsperre	50° 49' 04"	7° 17' 05"	130 m	
GTT	Göttingen	51° 32' 47"	9° 57' 51"	272 m	Institut für Geophysik der Universität Göttingen Herzberger Landstr. 180, 37075 Göttingen www.geo.physik.uni-goettingen.de
HAM	Hamburg	53° 27' 54"	9° 55' 29"	30 m	Observatorium der Geophysikalischen
- BSEG	Bad Segeberg	53° 56' 07.08"	10° 19' 00.84"	40 m	Institute der Universität Hamburg, Kuhtrift 18, 21075 Hamburg www.uni-hamburg.de/ wiss/fb/15/index.html
HLG	Helgoland	54° 11' 05"	7° 53' 02"	41 m	Institut für Geophysik der Christian Albrecht Universität zu Kiel Olshausenstr. 40-60, 24098 Kiel www.geophysik.uni-kiel.de
HOE*	Höfer	52° 41' 27.2"	10° 15' 10.9"	-839 m ¹⁾	Niedersächsisches Landesamt für
- GIE*	Giesen	52° 12' 43.2"	12° 43' 55.2"	-792 m ¹⁾	Bodenforschung,
- IBBN*	Ibbenbüren	52° 18' 25.9"	7° 45' 23.8"	140 m	Stilleweg 2, 30655 Hannover www.nlf.de
KRW	Karlsruhe-West	49° 01' 16.8"	8° 22' 05.4"	110 m	Geophysikalisches Institut der Universität Karlsruhe Hertzstr. 16, 76187 Karlsruhe www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de

* Stationskennung ist nicht in der Stationsbeschreibung des NEIS (National Earthquake Information Service) des U.S. Geological Survey enthalten

1) Station im Bergwerk

4) Bohrlochstation: angegeben ist die Tiefe des Seismometers bezüglich der Erdoberfläche

Stations- kennung	Stationsname	Breite Lat. (N)	Länge Long. (E)	Höhe über NN	Adresse
MOX	Moxa	50° 38' 46"	11° 36' 58"	455 m	Institut für Geowissenschaften der
- BDB*	Bad Brambach	50° 13' 40.8"	12° 17' 52.8"	667 m	Friedrich-Schiller-Universität Jena
- BDE*	Bad Elster	50° 17' 31"	12° 13' 10"	420 m	Lehrstuhl für Angewandte Geophysik
- KLI*	Klingenthal	50° 22' 19"	12° 28' 16"	520 m	Burgweg 11, 07749 Jena
- PLN*	Plauen	50° 29' 03"	12° 09' 45"	414 m	oder
- PST*	Posterstein	50° 51' 53"	12° 15' 17"		Geodynamisches Observatorium
- WRG*	Wernitzgrün	50° 17' 17"	12° 21' 40"	620 m	07381 Moxa www.geo.uni-jena.de/moxa/home.html
MWG	Münster	51° 58' 10"	7° 35' 53"	62 m	Institut für Geophysik Corrensstr. 24, 48149 Münster www.uni-muenster.de/physik
RGN*	Rügen	54° 32' 51.7"	13° 19' 17"	15 m	GeoForschungsZentrum Potsdam Telegrafenberg A6, 14473 Potsdam www.gfz-potsdam.de
STU	Stuttgart	48° 46' 15"	9° 11' 36"	360 m	Institut für Geophysik der Universität Stuttgart Richard-Wagner-Str.44, 70184 Stuttgart www.geophys.uni-stuttgart.de
TNS	Kleiner Feldberg (Taunus)	50° 13' 25"	8° 26' 56"	815 m	Taunus Observatorium, Insti- tut für Meteorologie und Geophysik
- ALG*	Algenroth	50° 09' 48"	7° 52' 40"	419 m	Feldbergstr. 47, 60323 Frankfurt/Main
- BHZ*	Bahnholz	50° 05' 17"	8° 23' 52"	245 m	www.geophysik.uni-frankfurt.de
- FFM*	Frankfurt am Main	50° 07' 22"	8° 39' 38"	100 m ⁹⁾	
- FOA*	Grube Fortuna	50° 34' 48"	8° 25' 01"	65 m	
- MER*	Merenberg	50° 31' 30"	8° 12' 36"	215 m	
- OGB*	Obergladbach	50° 05' 08"	8° 00' 35"	430 m	
- VAD*	Vadenrod	50° 39' 21"	9° 17' 16"	447 m	
- WDB*	Waldamorbach	49° 51' 21"	9° 01' 21"	240 m	

* Stationskennung ist nicht in der Stationsbeschreibung des NEIS (National Earthquake Information Service) des U.S. Geological Survey enthalten

9) zeitweise betrieben

1 ERDBEBEN IN DEUTSCHLAND

von G. Hartmann und K. Klinge¹

Im Jahre 1996 wurden in der Bundesrepublik Deutschland und den angrenzenden Gebieten im geographischen Koordinatenbereich zwischen 47°N und 55°N sowie 5°E und 15°E insgesamt 195 seismische Ereignisse mit einer lokalen Richter-Magnitude von $ML \geq 2.0$ registriert. Das sind zwar mehr Ereignisse als im jährlichen Mittel seit dem Jahre 1974, aber die höhere Anzahl wird hauptsächlich bei kleinen Ereignissen zwischen $ML = 2.0$ und 2.4 erreicht (siehe **Abbildung 2**). Damit bestätigt sich ein Trend, der bereits 1995 deutlich wurde: Die zunehmende Datenverfügbarkeit der in Deutschland betriebenen Seismometerstationen und die Verbesserung der Auswertetechniken führen zu einer vollständigeren Erfassung der Erdbeben in Deutschland in diesem Magnitudenbereich. Oberhalb einer Magnitudenschwelle von $ML = 2.5$ zeigt die **Abbildung 2**, dass es nur eine geringe Abweichung der Anzahl der Ereignisse im Jahre 1996 vom Mittelwert der letzten 22 Jahre gab.

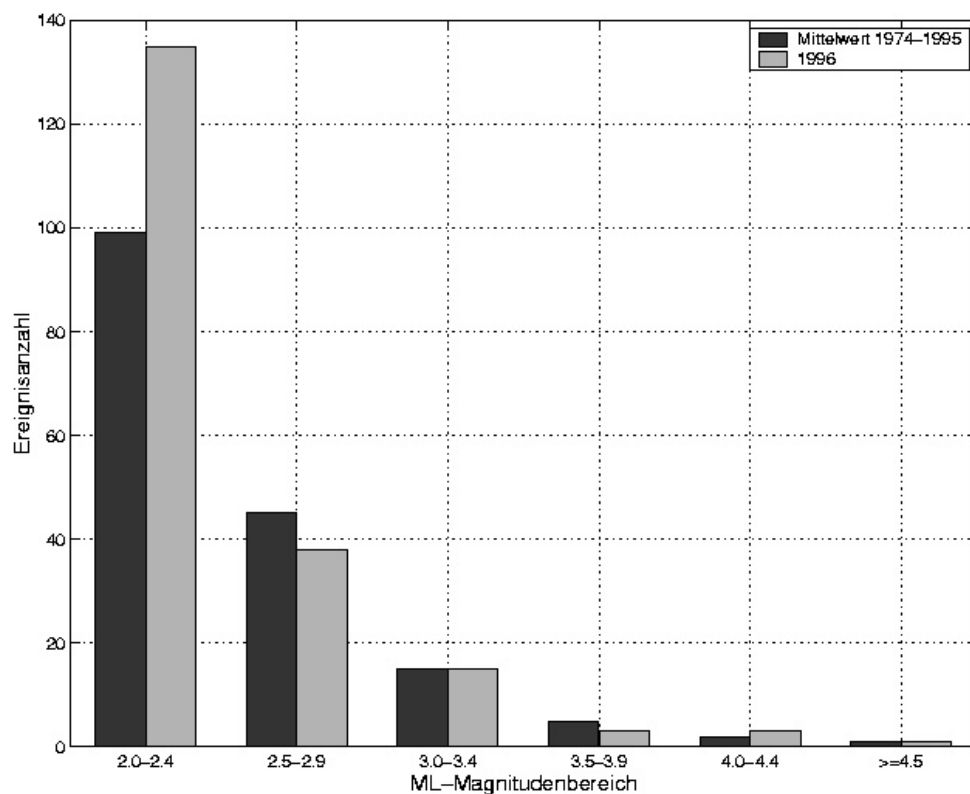


Abbildung 2: Vergleich der Anzahl seismischer Ereignisse in Deutschland im Jahr 1996 mit dem aus dem Zeitraum 1974 bis 1995 resultierenden Mittelwert für Magnitudenintervalle ab $ML=2.0$.

¹ Dr. Klaus Klinge, Seismologisches Zentralobservatorium Gräfenberg, Erlangen

Die geographische Verteilung der Ereignisse ist in **Abbildung 3** dargestellt. Die wichtigsten Herdparameter sind der **Tabelle 2** zu entnehmen. Die Liste mit sämtlichen Herd- und Phasenparametern ist in dem von Hartmann et al. (2000)² herausgegebenen Erdbebenkatalog für Deutschland enthalten.

Etwa 43% aller erfassten Ereignisse, nämlich 83 Ereignisse wurden in Bergbaugebieten lokalisiert. Diese induzierten Beben stehen mit dem fortschreitenden untertägigem Bergbaugeschehen und der damit verbundenen Entlastung des Grundgebirges in Verbindung. Sie fanden in den bekannten Ruhr-Kohlebergbaugebieten um Dortmund/Hamm (31) und Moers/Duisburg (24), im saarländischen Kohlebergbauggebiet Merlebach/Saarbrücken (23), bei Ibbenbüren (2) sowie jeweils einmal im Kalibergbauggebiet Werratal, im Sangerhäuser Kupferschieferbergbauggebiet und bei Halle/Saale statt.

Das zuletzt genannt Ereignis war mit einer Magnitude von $ML = 4.8$ zugleich auch das stärkste seismische Ereignis 1996 in Deutschland. Dieser Gebirgsschlag ereignete sich am 11.09.1996 um 03:36 Uhr in der stillgelegten Kaligrube Teutschenthal, etwa 8 km vom Stadtzentrum von Halle/Saale entfernt. Dadurch wurden in einigen Ortschaften im Epizentralgebiet Gebäudeschäden verursacht (siehe auch Abschnitt '*Regionale Berichte*'). In einem benachbarten Grubenfeld desselben Bergwerks ereignete sich bereits am 24.05.1940 ein Gebirgsschlag der Stärke $ML = 4.3$. Damals kamen 42 Bergleute ums Leben.

Von allen übrigen in Bergbaugebieten induzierten Ereignissen dieses Jahres wurde die Magnitudengrenze von $ML = 3.0$ nicht überschritten. Die dabei ausgelösten Erschütterungen wurden zwar teilweise verspürt, über Schäden liegen jedoch keine Meldungen vor.

Hervorzuheben ist noch das ebenfalls schadlose, aber von der Bevölkerung im Epizentralgebiet besonders heftig wahrgenommene induzierte seismische Ereignis vom 25.02.1996 im Sangerhäuser Revier des ehemaligen Mansfelder Kupferbergbaus. Die erhöhte seismische Aktivität in diesem Gebiet in den Jahren 1994 – 1996 steht in direktem Zusammenhang mit der Flutung des stillgelegten Grubenfeldes Niederröblingen. Insgesamt wurden in dieser Zeit 62 Ereignisse mit einer Magnitude über $ML = 1.0$ registriert, drei davon erreichten eine Magnitude $ML \geq 2.0$. Für das Ereignis am 25.02.1996 wurde eine Magnitude von $ML = 2.7$ bestimmt. Es ist das stärkste dieser Serie, die durch die Flutung ausgelöst wurde.

Die übrigen 112 seismischen Ereignisse im Jahre 1996 wurden als tektonische Erdbeben eingestuft. Sie ereigneten sich hauptsächlich in den bekannten seismisch aktiven Regionen Deutschlands: in den Alpen, im oberen Rheintalgraben, im mittelhheinischen Gebiet und in der Niederrheinischen Bucht. Auch die drei stärksten Erdbeben in diesem Jahr, für die eine Magnitude von mindestens $ML = 4.0$ berechnet wurde, fanden in diesen Gebieten statt. Die Epizentren liegen jedoch jeweils einige Kilometer außerhalb der deutschen Landesgrenze:

- am 28.06.1996 bei Arlberg in den österreichischen Alpen ($ML = 4.2$),
- am 23.07.1996 bei Verviers auf der belgischen Seite der Niederrheinischen Bucht ($ML = 4.1$),
- am 24.08.1996 bei Weinfelden, südlich des Bodensees in der Schweiz ($ML = 4.0$).

² G. Hartmann, M. Henger u. A. Schick (Eds), (2000): Data Catalogue of Earthquakes in Germany and Adjacent Areas 1996. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

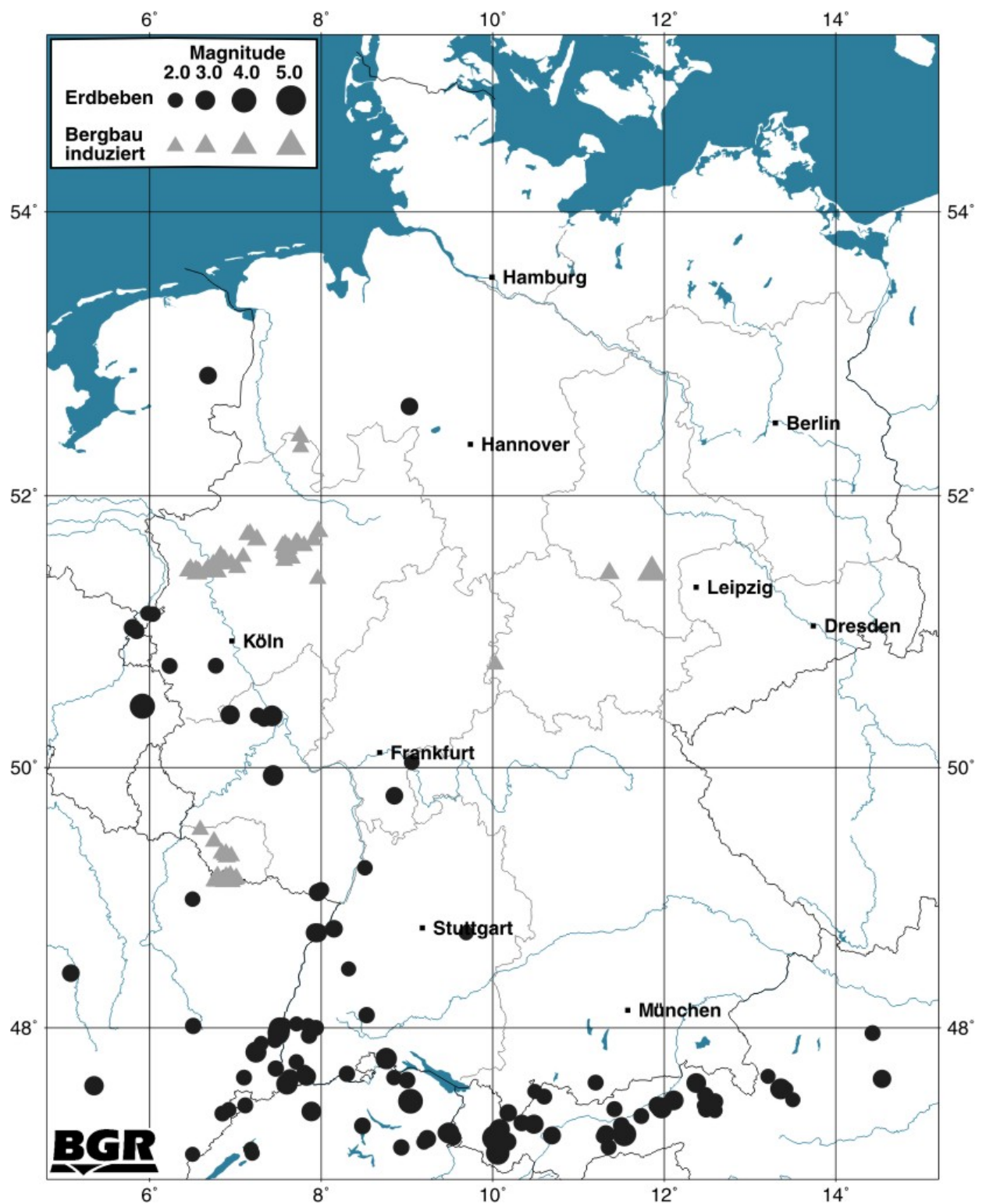


Abbildung 3: Geographische Verteilung der 1996 in Deutschland und angrenzenden Gebieten aufgetretenen seismischen Ereignisse. Die Größe der Symbole ist in Abhängigkeit von der lokalen Magnitude (ML) dargestellt.

Der bereits oben erwähnte Gebirgsschlag in Teutschenthal ist das einzige seismische Ereignis im Jahre 1996, bei dem es zu Gebäudeschäden gekommen ist. Die makroseismische Einstufung erfolgte mit einer Maximalintensität von VII – VIII auf der zwölfteiligen EMS (siehe **Tabelle 4**). Bei 27 weiteren Ereignissen wurden Wahrnehmungen von Erschütterungen durch Personen bekannt, die eine makroseismische Einordnung ermöglichten. Die Intensität VI wurde allerdings von keinem weiteren Ereignis erreicht oder überschritten. Die somit lediglich auf der subjektiven Empfindung von Erschütterungen basierende Bewertung spiegelt sich in der relativ großen Streuung der Intensitätswerte für Ereignisse mit Magnituden bis $ML = 3.5$ wieder (**Abbildung 4**). Während einige Ereignisse mit einer Magnitude von $ML = 2.2$ sogar gefühlt wurden, gibt es auch einige Erdbeben mit $ML = 3.2$, für die keine Wahrnehmung berichtet wurden. Alle seismischen Ereignisse mit $ML = 3.3$ und größer konnten allerdings makroseismisch dokumentiert werden.

Abbildung 5 zeigt die geographische Verteilung der insgesamt 28 verspürten Ereignisse. Während für 3 Ereignisse ein mittleres Schüttergebiet definiert werden konnte, sind die übrigen Erdbeben nur mit ihrer maximalen Intensität, die punktuell beobachtet wurde, dargestellt.

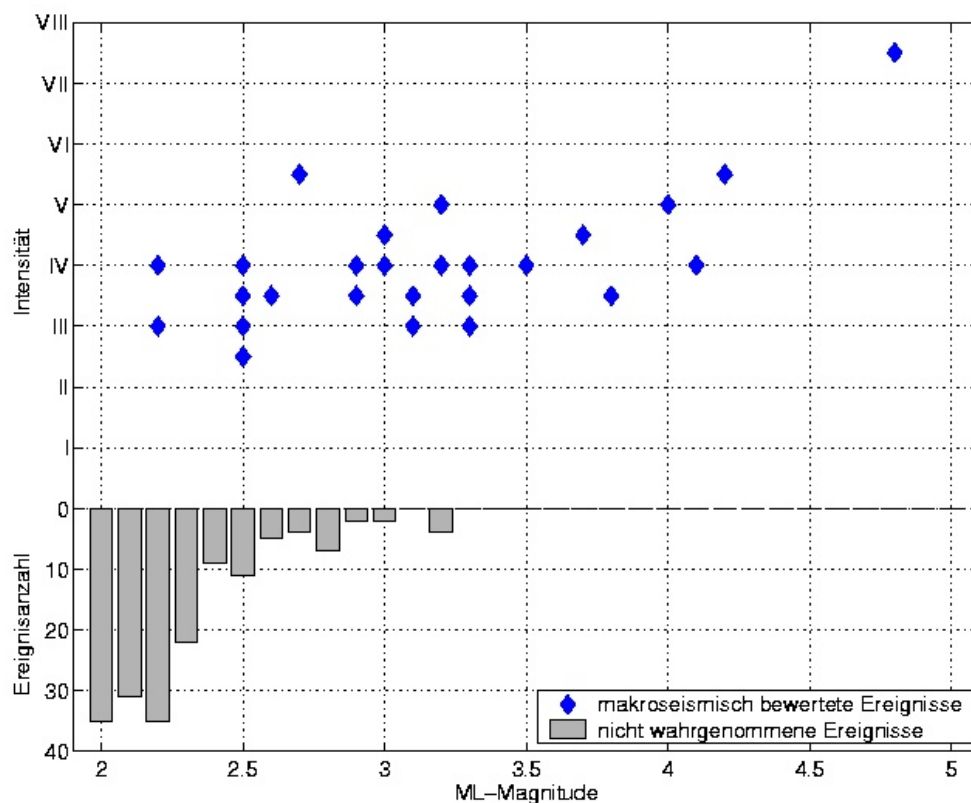


Abbildung 4: Verhältnis von Magnitude und Intensität für die seismischen Ereignisse in Deutschland im Jahr 1996. Im unteren Teil ist für jeden Magnitudenwert die Anzahl der seismischen Ereignisse dargestellt, für die keine Berichte über Wahrnehmungen bekannt wurden.

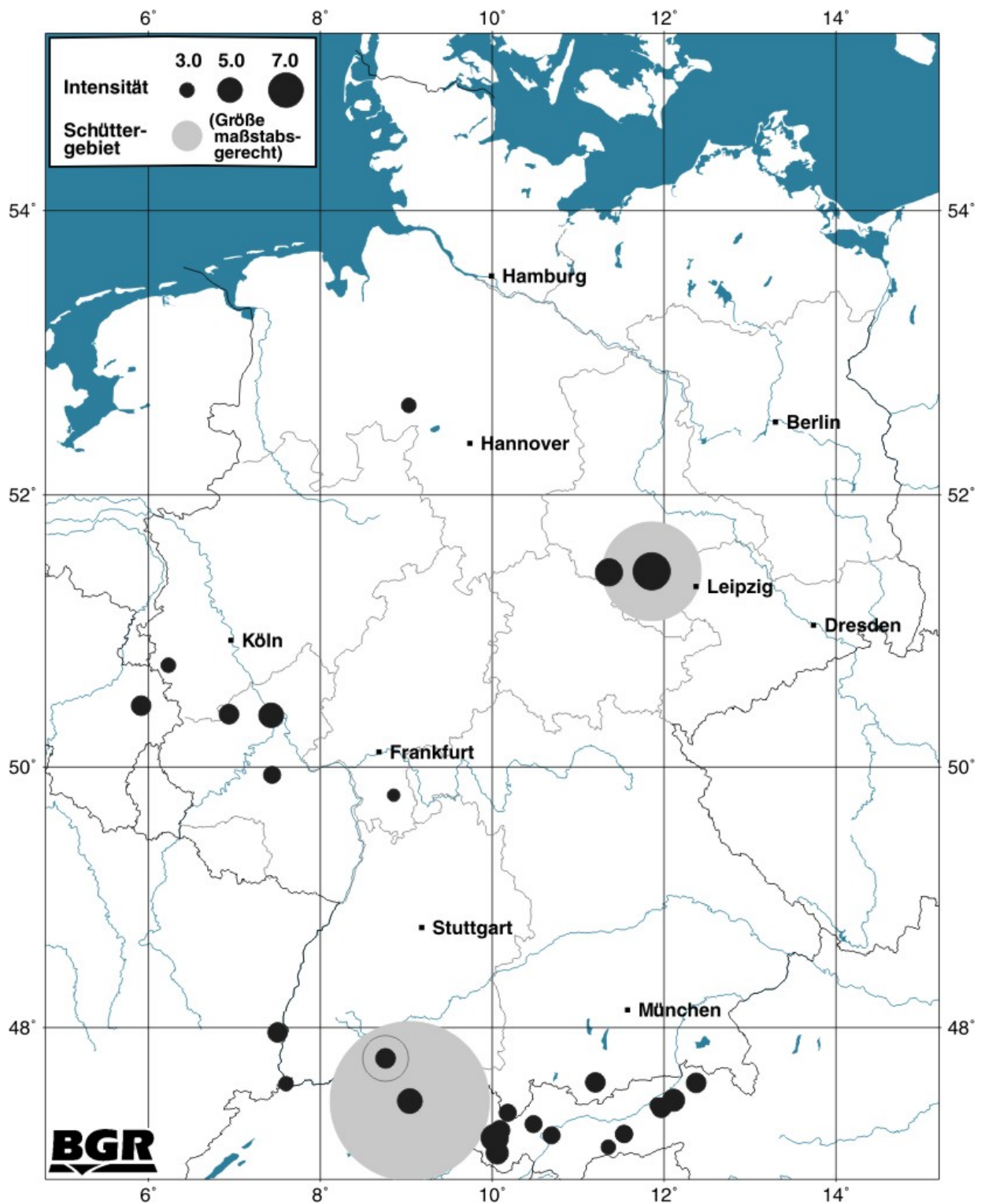


Abbildung 5: Geographische Verteilung der verspürten seismischen Ereignisse in Deutschland und angrenzenden Gebieten im Jahr 1996. Die Größe der Symbole ist in Abhängigkeit von der makroseismischen Maximalintensität (I_0) dargestellt. Zusätzlich wurde für einige Ereignisse die Reichweite der makroseismischen Wirkungen in Form eines kreisförmig idealisierten Schüttergebietes ermittelt, dessen Größe maßstabsgerecht zur verwendeten geographischen Karte gezeichnet wurde.

Tabelle 2: Liste der wichtigsten Erdbeben des Jahres 1996 in Deutschland mit Randgebieten einschließlich der grundlegenden Herdparameter (Erläuterung am Ende der Tabelle)

Datum	Herdzeit	Koordinaten		Tiefe	ML	Intensität	I	Ref	SR	Gebiet
04.01.1996	07:43:01	49.07	8.00	3	G	2.2		LED	OR	Wissembourg/F, SE of Pirmasens
04.01.1996	08:47:59	48.03	7.71	10		2.0		SED	OR	Emmendingen/Upper Rhine Graben, N of Freiburg
04.01.1996	17:50:39	51.72	7.14	1	G	2.2	I	BGR	RU	Recklinghausen, Ruhr Coal Mining District
09.01.1996	05:03:44	51.45	6.65	1	G	2.3	I	BUG	KR	Moers, Ruhr Coal Mining District
14.01.1996	04:06:56	48.02	7.56	5	G	2.1		LED	OR	Breisach/Upper Rhine Graben, W of Freiburg
15.01.1996	10:03:08	48.02	6.51	10	G	2.3		NEIC	VO	Epinal/F, Remiremont, Western Vosges Mountains
15.01.1996	13:48:01	51.74	7.97	1	G	2.5	I	BUG	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District
17.01.1996	00:27:00	49.05	7.97	10		2.0		LED	OR	Wissembourg/F, SE of Pirmasens
23.01.1996	09:55:57	47.14	9.54	1		2.3		SED	AL	Vaduz/Liechtenstein
23.01.1996	21:11:55	47.55	5.35	15		2.9		LDG		Gray/Haute-Saone/F
29.01.1996	08:14:32	51.68	7.92	1	G	2.3	I	BUG	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District
31.01.1996	22:01:03	51.74	7.97	1	G	2.1	I	BUG	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District
02.02.1996	23:01:22	49.05	7.96	7	G	2.5		LED	OR	Wissembourg/F, SE of Pirmasens
05.02.1996	23:05:45	47.16	11.32	5	G	2.6		LED	AL	Stubai Alps/A
08.02.1996	10:05:22	49.15	7.00	1	G	2.1	I	LED	PS	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
10.02.1996	06:47:41	49.17	6.94	1	G	2.8	I	LED	PS	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
15.02.1996	09:14:05	48.74	9.69	10	G	2.0		LED	EW	Eislingen, E of Goeppingen Swabian Jura
15.02.1996	20:06:02	47.43	12.11	15	G	3.0	IV-V	LED	AL	Kufstein, Woergl/A
19.02.1996	10:45:37	50.76	6.77	10	G	2.2		BGR	NB	Euskirchen, SW of Bonn
19.02.1996	18:47:49	51.66	7.73	1	G	2.0	I	BUG	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District
20.02.1996	20:36:39	51.59	7.58	1	G	2.1	I	BUG	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
23.02.1996	01:55:14	47.36	11.42	10	G	2.2		BGR	AL	Innsbruck, Hall/A
25.02.1996	14:23:26	51.44	11.36	1	G	2.7	V-VI	I BGR	HZ	Eisleben/Saxony-Anhalt

Datum	Herdzeit	Koordinaten		Tiefe		ML	Intensität	I	Ref	SR	Gebiet
26.02.1996	09:41:58	51.45	6.58	1	G	2.0		I	BUG	KR	Moers, Ruhr Coal Mining District
26.02.1996	12:39:49	49.15	6.90	1	G	2.8		I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
27.02.1996	03:53:51	49.15	6.94	1	G	2.2		I	LED	PS	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
28.02.1996	23:01:24	47.05	8.93	7		2.3			SED	SF	Einsiedeln/CH, S of Rapperswil
01.03.1996	04:18:18	47.64	8.30	8		2.3			ISC	SW	Waldshut
03.03.1996	14:17:41	51.69	7.25	1	G	2.6		I	BUG	RU	Recklinghausen, Ruhr Coal Mining District
04.03.1996	10:11:45	51.40	7.96	1	G	2.1		I	BGR	RU	Unna, Ruhr Coal Mining District
04.03.1996	10:43:41	48.02	7.85	10	G	2.0			SED	OR	Emmendingen/Upper Rhine Graben, N of Freiburg
05.03.1996	22:07:33	47.57	11.20			2.2	IV		FUR	AL	Garmisch-Partenkirchen
06.03.1996	20:03:14	50.76	6.23	12		2.2	III		GLA	VE	Aachen
06.03.1996	23:47:44	51.64	7.55	1	G	2.2		I	BGR	RU	Luenen, Ruhr Coal Mining District
08.03.1996	23:46:21	47.14	11.29	6		2.0			FUR	AL	Stubai Alps/A
10.03.1996	01:38:29	49.17	6.94	1	G	2.2		I	LED	PS	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
11.03.1996	14:46:44	51.45	6.80	1	G	2.1		I	BUG	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
12.03.1996	22:50:05	49.17	6.89	1	G	2.3		I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
13.03.1996	19:02:18	49.00	6.50	0		2.1			ISC		NE of Nancy/F
18.03.1996	12:37:58	47.15	10.69	10	G	2.6	III-IV		LED	AL	Pitztal/A, E of Landeck
21.03.1996	01:01:40	51.58	7.58	1	G	2.0		I	BGR	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
21.03.1996	18:06:52	51.51	6.81	1	G	2.1		I	BUG	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
21.03.1996	20:18:24	47.06	11.35			2.2	III		FUR	AL	Southern Tuxer Alps/A, S of Innsbruck
22.03.1996	14:28:42	49.15	6.90	1	G	3.0		I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
22.03.1996	20:13:31	51.53	7.57	1	G	2.1		I	BGR	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
23.03.1996	00:54:46	49.18	6.79	1	G	2.0		I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
23.03.1996	10:37:40	51.46	6.54	1	G	2.2		I	BUG	KR	Moers, Ruhr Coal Mining District
23.03.1996	10:40:09	51.46	6.57	1	G	2.0		I	BUG	KR	Moers, Ruhr Coal Mining District

Datum	Herdzeit	Koordinaten		Tiefe	ML	Intensität	I	Ref	SR	Gebiet
23.03.1996	23:33:36	51.47	6.68	1	G	2.5		I BGR	KR	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
24.03.1996	12:51:37	47.62	7.83	16		2.8		LED	SW	Schopfheim, NE of Basel/CH
24.03.1996	17:30:32	47.61	8.85	9		2.1		LED	SJ	Singen/Hohentwiel
27.03.1996	19:16:01	51.58	7.57	1	G	2.0		I BUG	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
27.03.1996	22:31:11	49.33	6.95	1	G	2.1		I LED	PS	Saarbruecken-West
28.03.1996	15:14:41	49.32	6.90	1	G	2.2		I LED	PS	Saarbruecken-West
30.03.1996	06:12:16	50.39	7.26	4		2.2		BNS	MR	Ahrweiler, S of Bonn
03.04.1996	00:00:48	51.56	7.61	1	G	2.0		I BGR	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
07.04.1996	14:29:48	47.39	7.12	0		2.2		SED	OR	St. Ursanne/CH, SW of Delemont
12.04.1996	02:16:29	51.48	7.02	1	G	2.2		I BGR	RU	Essen, Ruhr Coal Mining District
12.04.1996	08:11:43	49.13	6.96	1	G	2.0		I LED	PS	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
12.04.1996	17:38:53	51.62	7.58	1	G	2.3		I BGR	RU	Luenen, Ruhr Coal Mining District
17.04.1996	13:42:24	51.57	7.59	1	G	2.2		I BGR	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
18.04.1996	21:05:02	51.59	7.57	1	G	2.1		I BUG	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
20.04.1996	05:55:29	49.34	6.89	1	G	2.6		I LED	PS	Saarbruecken-West
20.04.1996	22:37:18	49.14	6.78	1	G	2.5		I LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
24.04.1996	09:36:57	47.56	7.60	11		3.3	III	LED	OR	Weil a. Rhein/Basel
25.04.1996	07:48:18	51.44	6.55	1	G	2.6		I BUG	KR	Moers, Ruhr Coal Mining District
25.04.1996	18:26:18	47.31	11.73	17		2.2		FUR	AL	Schwaz/A, Inn Valley, Northern Tuxer Alps
27.04.1996	07:00:00	47.20	10.08	12		3.1	III	BGR	AL	Arlberg/A
27.04.1996	08:15:21	47.12	10.09	10	G	2.2		BGR	AL	Arlberg/A
02.05.1996	09:21:47	48.10	8.53	1	G	2.3		LED	SW	Schwenningen/Black Forest
03.05.1996	15:27:05	47.18	10.07	10	G	2.6		BGR	AL	Arlberg/A
04.05.1996	18:23:50	51.59	7.58	1	G	2.0		I BUG	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
07.05.1996	22:17:41	51.44	6.55	1	G	2.8		I BUG	KR	Moers, Ruhr Coal Mining District

Datum	Herdzeit	Koordinaten		Tiefe	ML	Intensität	I	Ref	SR	Gebiet
09.05.1996	01:44:31	47.10	10.17	10	G	2.7		LED	AL	Arlberg/A
09.05.1996	13:29:05	47.44	13.50	10	G	2.0		NEIC	AL	Eastern Tennengau/A, Hoher Dachstein
09.05.1996	17:03:56	51.56	7.09	1	G	2.0	I	BGR	RU	Essen, Ruhr Coal Mining District
09.05.1996	20:50:44	47.60	14.54	10	G	2.7		BGR	AL	S of Admont/A, Trieben
11.05.1996	10:19:27	49.14	6.92	1	G	2.3	I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
15.05.1996	07:03:32	51.04	5.80	15	G	2.5		BGR	NB	Waldfeucht, S of Roermond/NL
17.05.1996	09:30:59	47.17	9.49	1		3.2		SED	AL	Vaduz/Liechtenstein
18.05.1996	02:37:48	51.14	6.04	10	G	2.1		BGR	NB	Erkelenz, SW of Moenchengladbach
19.05.1996	00:47:21	49.14	6.76	1	G	2.4	I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
20.05.1996	01:28:17	51.59	7.57	1	G	2.2	I	BUG	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
23.05.1996	17:39:21	47.10	9.20	11		2.0		SED	SF	Glarus, Walenstadt/CH, Walensee
24.05.1996	10:06:41	48.46	8.32	1		2.0		LED	NW	Oberkirch/Upper Rhine Graben, NE of Offenburg
24.05.1996	12:03:45	49.44	6.75	1	G	2.2	I	BGR	PS	Lebach, N of Saarbruecken
25.05.1996	08:43:33	52.64	9.03	5	G	2.5	III	BGR	SX	Nienburg, NW of Hannover
25.05.1996	17:45:38	47.00	6.50	10		2.0		ISC		St. Croix/Ch, Pontarlier/F
29.05.1996	16:54:05	49.94	7.44	10	G	3.1	III-IV	BGR	HU	Simmern/Hunsrueck
04.06.1996	05:05:23	47.81	7.24	1		3.2		LED	OR	NW of Mulhouse/F, Vosges Mountains
05.06.1996	14:38:28	51.59	7.60	1	G	2.1	I	BGR	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
07.06.1996	08:08:03	47.17	9.46	1		2.4		SED	AL	Vaduz/Liechtenstein
07.06.1996	21:46:18	49.14	6.84	1	G	2.0	I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
08.06.1996	22:11:40	48.74	7.93	5	G	2.8		LED	OR	N of Strasbourg/F, Upper Rhine Graben
08.06.1996	22:11:52	48.74	7.96	5	G	2.8		LED	OR	N of Strasbourg/F, Upper Rhine Graben
08.06.1996	23:08:59	48.74	7.94	5	G	2.5		LED	OR	N of Strasbourg/F, Upper Rhine Graben
10.06.1996	00:43:48	51.55	6.83	1	G	2.5	I	BGR	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
12.06.1996	19:19:11	49.14	6.78	1	G	2.0	I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken

Datum	Herdzeit	Koordinaten		Tiefe	ML	Intensität		I	Ref	SR	Gebiet
15.06.1996	01:05:54	47.60	7.64	20	2.7				LED	OR	Sierentz/F, NW of Loerrach Upper Rhine Graben
15.06.1996	16:09:36	47.68	7.47	8	2.3				LED	OR	Sierentz/F, NW of Loerrach Upper Rhine Graben
15.06.1996	21:40:07	47.01	10.06	10	G 3.7	IV-V			BGR	AL	Arlberg/A
22.06.1996	17:22:03	51.64	7.74	1	G 2.1			I	BGR	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District
23.06.1996	00:37:04	51.15	5.98	18	2.0				BNS	NB	Erkelenz, SW of Moenchengladbach
26.06.1996	16:35:18	49.14	6.91	1	G 2.1			I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
28.06.1996	03:43:10	47.76	8.76	4	3.3	IV	20		LED	SW	Singen/Hohentwiel
28.06.1996	09:57:48	47.13	10.03	5	G 4.2	V-VI			LED	AL	Arlberg/A
28.06.1996	18:05:34	51.60	7.58	1	G 2.3			I	BUG	RU	Luenen, Ruhr Coal Mining District
04.07.1996	14:05:23	51.53	6.83	1	G 2.2			I	BUG	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
09.07.1996	18:48:39	47.46	10.60	10	G 2.2				BGR	AL	Hindelang/Allgaeuer Alps
15.07.1996	17:55:11	51.51	6.95	1	G 2.3			I	BGR	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
15.07.1996	22:22:00	47.57	12.37		3.0	IV			FUR	AL	Kitzbuehler Alps/A
17.07.1996	00:50:06	47.16	11.53	14	3.3	III-IV			FUR	AL	Southern Tuxer Alps/A, S of Innsbruck
17.07.1996	00:54:12	47.16	11.53	14	3.8	III-IV			FUR	AL	Southern Tuxer Alps/A, S of Innsbruck
17.07.1996	01:27:54	47.13	11.53	10	G 2.0				BGR	AL	Southern Tuxer Alps/A, S of Innsbruck
17.07.1996	02:15:50	47.23	11.50	10	G 2.4				BGR	AL	Innsbruck, Hall/A
17.07.1996	13:44:36	47.35	12.59	10	G 2.1				BGR	AL	Mittersil/A, Eastern Kitzbuehler Alps
17.07.1996	13:52:40	47.36	12.49	23	2.3				FUR	AL	Mittersil/A, Eastern Kitzbuehler Alps
17.07.1996	14:22:12	47.39	12.47	10	G 2.0				BGR	AL	Mittersil/A, Eastern Kitzbuehler Alps
17.07.1996	18:01:47	47.38	12.49	24	2.3				FUR	AL	Mittersil/A, Eastern Kitzbuehler Alps
18.07.1996	00:32:55	47.42	12.59	10	G 2.4				BGR	AL	Kitzbuehler Alps/A
18.07.1996	08:17:13	47.47	12.48	10	G 2.3				BGR	AL	Kitzbuehler Alps/A
19.07.1996	03:20:59	51.51	6.84	1	G 2.1			I	BGR	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
19.07.1996	13:28:17	47.16	11.51	12	2.0				FUR	AL	Southern Tuxer Alps/A, S of Innsbruck

Datum	Herdzeit	Koordinaten		Tiefe	ML	Intensität	I	Ref	SR	Gebiet
23.07.1996	10:07:55	47.52	13.42	10	G	2.1		NEIC	AL	Eastern Tennengau/A, Hoher Dachstein
23.07.1996	22:30:21	50.46	5.92	11		4.1	IV	BNS	VE	S of Verviers/B, Spa
26.07.1996	04:20:46	51.54	6.87	1	G	2.2		I BGR	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
29.07.1996	07:01:02	48.43	5.08	2		2.5		LDG		Chevillon/Haute-Marne/F
31.07.1996	22:34:48	51.66	7.71	1	G	2.2		I BUG	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District
01.08.1996	19:53:33	49.24	8.51	13		2.1		LED	OR	Speyer/ Upper Rhine Graben
03.08.1996	05:44:22	47.62	13.21	10	G	2.0		BGR	AL	Hallein/A, S of Salzburg/A
10.08.1996	13:57:46	47.76	8.76	6		2.9		LED	SW	Singen/Hohentwiel
10.08.1996	21:58:05	49.16	7.01	1	G	2.3		I LED	PS	Reinheim, E of Saargemuend
12.08.1996	09:54:39	48.00	7.94	1		2.2		SED	SW	Freiburg i. Breisgau/ Upper Rhine Graben
12.08.1996	23:25:23	51.55	7.64	17		2.7		I BNS	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
15.08.1996	13:54:12	47.59	9.00	24		2.4		LED	SJ	Winterthur, Frauenfeld/CH
18.08.1996	14:21:06	47.61	7.10	3		2.2		ISC	OR	W of Mulhouse/F, Upper Rhine Graben
20.08.1996	04:59:59	47.19	10.09	10	G	2.5	IV	BGR	AL	Arlberg/A
23.08.1996	19:35:39	50.39	7.43	10		3.2	V	BNS	MR	Koblenz/ Middle Rhine Area
23.08.1996	19:38:36	50.37	7.34	4		2.2		BNS	MR	Koblenz/ Middle Rhine Area
24.08.1996	02:38:22	47.42	9.04	28		4.0	V	70 SED	SJ	Weinfelden, Kreuzlingen/CH (Thurgau)
24.08.1996	02:42:24	47.43	9.03	28		2.8		SED	SJ	Weinfelden, Kreuzlingen/CH (Thurgau)
24.08.1996	20:05:24	47.96	7.50	5	G	2.2		LED	OR	Muellheim/Upper Rhine Graben, NE of Mulhouse/F
24.08.1996	20:06:07	47.96	7.51	7		2.2		LED	OR	Muellheim/Upper Rhine Graben, NE of Mulhouse/F
24.08.1996	23:39:00	47.96	7.50	7		3.5	IV	LED	OR	Muellheim/Upper Rhine Graben, NE of Mulhouse/F
30.08.1996	07:52:09	47.90	7.46	10		2.1		LED	OR	Muellheim/Upper Rhine Graben, NE of Mulhouse/F
01.09.1996	02:41:46	51.62	7.62	1	G	2.2		I BUG	RU	Luenen, Ruhr Coal Mining District
01.09.1996	03:33:25	51.02	5.85	22		2.2		GLA	NB	Waldfeucht, S of Roermond/NL
04.09.1996	04:20:54	51.66	7.72	1	G	2.1		I BUG	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District

Datum	Herdzeit	Koordinaten		Tiefe	ML	Intensität		I	Ref	SR	Gebiet	
05.09.1996	09:20:43	51.59	7.57	1	G	2.2		I	BUG	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District	
08.09.1996	21:46:32	47.88	7.30	2		2.0			ISC	OR	NW of Mulhouse/F, Vosges Mountains	
11.09.1996	03:36:35	51.45	11.86	1		4.8	VII-VIII	40	I	K-UTEC	CS	Halle a. d. Saale
21.09.1996	04:07:05	51.59	7.58	1	G	2.0			I	BUG	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
24.09.1996	00:22:44	47.96	14.43	10	G	2.2				BGR	AL	Enns Valley/A, S of Steyr
24.09.1996	23:53:10	47.33	10.18	10	G	2.5	III-IV			BGR	AL	ENE of Feldkirch/A, Klein Walsertal, S Allgaeuer Alps
26.09.1996	04:31:27	47.01	7.20	13		2.0				SED	SJ	Biel/CH, Bieler See
27.09.1996	06:46:39	47.52	13.36	10	G	3.2				BGR	AL	Eastern Tennengau/A, Hoher Dachstein
03.10.1996	09:11:15	47.39	11.92	10	G	2.5	III			BGR	AL	Schwaz/A, Inn Valley, Northern Tuxer Alps
03.10.1996	09:29:27	47.37	11.97	10	G	3.2	IV			BGR	AL	Schwaz/A, Inn Valley, Northern Tuxer Alps
05.10.1996	12:39:01	47.04	7.18	10	G	2.0				LED	SJ	Biel/CH, Bieler See
11.10.1996	07:43:24	47.12	9.24	1		2.5				SED	SF	Glarus, Walenstadt/CH, Walensee
12.10.1996	12:53:26	49.35	6.84	1	G	2.2			I	LED	PS	Saarbruecken-West
13.10.1996	07:40:37	47.65	7.80	16		2.1				LED	SW	Schopfheim, NE of Basel/CH
14.10.1996	20:58:23	49.13	6.86	1	G	2.0			I	LED	SM	Merlebach/F, SW of Saarbruecken
18.10.1996	23:19:14	47.50	10.49	10	G	2.0				BGR	AL	Hindelang/Allgaeuer Alps
19.10.1996	11:46:45	51.59	7.58	1	G	2.0			I	BUG	RU	Dortmund, Ruhr Coal Mining District
19.10.1996	15:21:54	48.00	7.51	5		3.2				LED	OR	Breisach/Upper Rhine Graben, W of Freiburg
23.10.1996	10:19:56	51.47	6.47	1	G	2.3			I	BUG	KR	Moers, Ruhr Coal Mining District
29.10.1996	12:00:13	50.39	6.94	3		2.9	IV			BNS	EI	Muenstereifel, S of Euskirchen
31.10.1996	06:29:04	51.46	6.45	1	G	2.1			I	BUG	KR	Moers, Ruhr Coal Mining District
31.10.1996	18:33:45	47.33	6.85	10	G	2.2				NEIC		S of Montbeliard/F, Doubs Valley
08.11.1996	19:56:47	48.00	7.52	11		2.4				LED	OR	Breisach/Upper Rhine Graben, W of Freiburg
09.11.1996	17:44:57	52.35	7.76	1	G	2.0			I	BGR	TW	Tecklenburg/Ibbenbueren, W of Osnabrueck
12.11.1996	16:03:48	52.43	7.75	1	G	2.3			I	BGR	TW	Bersenbrueck, N of Osnabrueck

Datum	Herdzeit	Koordinaten		Tiefe	ML	Intensität	I	Ref	SR	Gebiet
14.11.1996	11:15:09	49.53	6.59	1	G	2.1		I BGR	HU	Merzig, NW of Saarbruecken
15.11.1996	07:45:42	47.25	10.34	10	G	2.4		BGR	AL	E of Oberstdorf, Lechtaler Alps/A
18.11.1996	17:47:17	51.57	6.83	1	G	2.2		I BUG	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
20.11.1996	15:14:46	51.65	7.58	1	G	2.3		I BGR	RU	Luenen, Ruhr Coal Mining District
21.11.1996	12:03:48	48.77	8.15	2		2.5		LED	OR	Baden-Baden/ Upper Rhine Graben
21.11.1996	23:08:12	47.24	10.48	10	G	2.9	III-IV	LED	AL	E of Oberstdorf, Lechtaler Alps/A
22.11.1996	12:19:35	47.23	8.48	29		2.4		SED	SJ	S of Zuerich/CH, Zuerichsee
23.11.1996	18:24:31	51.51	6.74	1	G	2.0		I BGR	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
25.11.1996	13:47:53	47.73	7.71	15		2.1		LED	OR	Schopfheim, NE of Basel/CH
25.11.1996	21:06:03	50.77	10.03	1	G	2.1		I BGR	WR	Tann, E of Fulda
28.11.1996	21:14:25	51.63	7.62	1	G	2.1		I BGR	RU	Luenen, Ruhr Coal Mining District
30.11.1996	06:14:42	51.64	7.80	1	G	2.2		I BGR	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District
07.12.1996	01:57:53	51.64	7.73	1	G	2.3		I BUG	RU	Hamm/Westfalen, Ruhr Coal Mining District
11.12.1996	01:55:02	47.36	6.92	13		2.1		SED		S of Montbeliard/F, Doubs Valley
11.12.1996	11:02:56	47.94	7.86	10	G	2.3		NEIC	SW	Freiburg i. Breisgau/ Upper Rhine Graben
14.12.1996	15:43:54	51.73	7.17	1	G	2.1		I BGR	RU	Recklinghausen, Ruhr Coal Mining District
15.12.1996	04:49:08	47.34	7.89	20		3.0		SED	SJ	Olten, Langenthal/CH
20.12.1996	20:12:45	51.52	6.86	1	G	2.4		I BGR	RU	Duisburg, Ruhr Coal Mining District
21.12.1996	09:15:37	51.61	7.58	1	G	2.2		I BGR	RU	Luenen, Ruhr Coal Mining District
23.12.1996	00:28:16	50.04	9.06	17		2.1		TNS	OR	Alzenau i. Unterfranken, E of Hanau
27.12.1996	14:57:42	49.79	8.86	12		2.5	II-III	TNS	OR	Erbach/Odenwald, NE of Mannheim
28.12.1996	18:16:51	52.86	6.68	10	G	2.5		BGR	NX	Schoonoord, Exloo/NL, SE of Assen

Erläuterung der Herdparameter

Datum	Tag.Monat.Jahr des seismischen Ereignisses
Herdzeit	Stunde:Minute:Sekunde in Universal Time (UT) = MEZ – 1 Stunde bzw. MESZ – 2 Stunden
Koordinaten	1. Spalte: Grad nördlicher geographischer Breite 2. Spalte: Grad östlicher geographischer Länge
Tiefe	1. Spalte: Herdtiefe in km 2. Spalte: leer oder 'G' = Herdtiefe unsicher, vom Bearbeiter festgesetzt
ML	lokale Magnitude nach Richter
Intensität	1. Spalte: maximale Intensität oder Epizentralintensität 2. Spalte: Schütterradius in km
I	leer: tektonisches Ereignis 'I': Ereignis im Bergbauggebiet
Ref	Abkürzung für das seismologische Institut oder Observatorium als Referenz für die angegebenen Herdparameter
	BGR: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, D-30655 Hannover in Zusammenarbeit mit Seismologisches Zentralobservatorium Gräfenberg, Mozartstraße 57, D-91052 Erlangen. BNS: Erdbebenstation Bensberg des Geologischen Instituts der Universität zu Köln, Vinzenz-Pallotti-Straße 26, D-51429 Bergisch-Gladbach. BUG: Institut für Geophysik der Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum. FUR: Geophysikalisches Observatorium der Universität München, Ludwigshöhe 8, D-82256 Fürstenfeldbruck. GLA: Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-47803 Krefeld. ISC: International Seismological Center, Pipers Lane, Thatcham, Berkshire RG19 4NS, UK. K-UTEC: Kali-Umwelttechnik GmbH, Am Petersenschacht 7, D-99706 Sondershausen. LDG: Laboratoire de Detection et de Geophysique, B.P.12, F-91680 Bruyeres-Le-Chatel. LED: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Erdbebendienst, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br. NEIC: National Earthquake Information Center des U.S. Geological Survey, 1711 Illinois St., Golden, Colorado, 80401, USA.

SED: Schweizerischer Erdbebendienst, Institut für Geophysik, Eidgenössische Technische Hochschule Hoenggerberg, CH-8093 Zürich.
TNS: Taunus Observatorium des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt, Feldbergstraße 47, D-60323 Frankfurt.

SR

Abkürzung für die Bezeichnung der seismo-geographischen Region

AL	Alpen, Bayerische Alpen	ALPS, BAVARIAN ALPS (offen)
CS	Zentral-Sachsen	CENTRAL SAXONY
EI	Eifel	EIFEL MOUNTAIN REGION
EW	Östliches Württemberg	EASTERN WUERTTEMBERG
HU	Hunsrück	HUNSRUECK
HZ	Harz	HARZ AREA
KR	Krefeld Block	KREFELD BLOCK
MR	Mittelrheingebiet	MIDDLE RHINE AREA
NB	Niederrheinische Bucht	LOWER RHINE AREA
NW	Nord-Schwarzwald	NORTHERN BLACK FOREST
NX	Nördliches Niedersachsen und Holstein	NORTHERN LOWER SAXONY AND HOLSTEIN
OR	Ober rheingraben	UPPER RHINE GRABEN
PS	Pfalz-Saar Gebiet	PFALZ-SAAR AREA
RU	Ruhrgebiet (Bergbau)	RUHR COAL MINING DISTRICT
SF	Östliches Schweizer Alpen-vorland/CH	EASTERN SWISS ALPINE FORELAND/CH
SJ	Schweizerische Jura	SWISS JURA
SM	Saar Bergbauggebiet	SAAR MINING DISTRICT
SW	Süd-Schwarzwald	SOUTHERN BLACK FOREST
SX	Südliches Niedersachsen	SOUTHERN LOWER SAXONY
TW	Teutoburger Wald	TEUTOBURGER WALD
VE	Hohes Venn	VENN AREA
VO	Vogesen/F	VOSGES MOUNTAIN REGION
WR	Kalibergbauggebiet Werratal	WERRA POTASH MINING DISTRICT

Gebiet

Ortsbeschreibung des Epizentrums
mit Abkürzung der Landesbezeichnung für Gebiete außerhalb Deutschlands

A	Österreich
B	Belgien
CH	Schweiz
F	Frankreich
NL	Niederlande

2 REGIONALE BERICHTE 1996

2.1 Sachsen-Anhalt

2.1.1 Der Gebirgsschlag in der Grube Teutschenthal bei Halle/Saale am 11. September 1996

2.1.1.1 Makroseismische Auswertung

von S. Wendt³

Im Ostfeld der aufgelassenen Kaligrube Teutschenthal bei Halle/S. ereignete sich am 11.09.1996 um 03:36:35.9 UT ohne erkennbares auslösendes Ereignis ein starker Gebirgsschlag. Dabei stürzte der Grubenbau in einer Tiefe von –570m NN (700m unter Gelände) auf einer Fläche von 2.5km² ein. Das Epizentrum lag bei 51°26'53"N; 11°50'42"E. Während der nächsten zwei Sekunden folgten mehrere ähnliche, an Stärke zunehmende Ereignisse, die dem nahezu horizontal von West nach Ost über 2km fortschreitenden Herdvorgang entsprechen. Aus instrumentellen Registrierungen wurden als Nahbebenmagnitude 4.9 und als Raum- und Oberflächenwellenmagnitude jeweils 5.0 bestimmt.

In Orten, die dem unbebauten Epizentralgebiet benachbart sind, wurden Gebäudeschäden verursacht. Die seismischen Erschütterungen waren in weiten Teilen von Sachsen-Anhalt, Sachsen und Ost-Thüringen fühlbar.

Aus 91 verwertbaren Fragebogen-Antworten und den Schadensmeldungen ergaben sich schließlich etwa 250 unabhängige Berichte aus über 40 Orten. Nur für die herdnächsten Orte Teutschenthal, Holleben, Angersdorf und Zscherben konnten relativ sichere Mittelwerte der lokalen Intensität bestimmt werden. In Zscherben erreichte ein einzelner Gebäudeschaden (herausgebrochene Giebelwand) die höchste Intensität VII – VIII. Da es sich aber um einen einzelnen Schaden dieser Stärke im Ort handelte, wurde als Mittelwert für Zscherben die Intensität VI festgelegt. Für das unbebaute Gebiet über dem Bruchfeld, aus dem keine Berichte vorliegen, konnte die Epizentralintensität nur mittels Iseisenradien abgeschätzt werden: VII, höchstens VII-VIII. Die Orte mit der Intensität VI lassen sich durch eine geschlossene Iseiste (Flächeninhalt etwa 25km², mittlerer Iseistenradius 2.8km) von den schwächer erschütterten abgrenzen. Das Gebiet mit Intensitäten V-VI und V umgibt diese Fläche im nördlichen Teil etwa konzentrisch. Der Radius der Iseiste vom Grad V beträgt etwa 7km, der Schütteradius für die Intensität II 40 (+/-10) km. Der Absorptionskoeffizient liegt zwischen 0.008 und 0.030.

Wahrnehmungen dieses Gebirgsschlags wurden vereinzelt auch aus größerer Entfernung gemeldet. Der entfernteste Ort war Sohland in der Lausitz in 185km Entfernung.

³ Dr. Siegfried Wendt, Geophysikalisches Observatorium Collm des Instituts für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig

Die geographische Verteilung der herdfernen Wahrnehmungsorte in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen ist in **Abbildung 6** dargestellt, das Schüttergebiet mit Wahrnehmungs- und Schadensorten einschließlich der makroseismischen Bewertung zeigt die **Abbildung 7**.

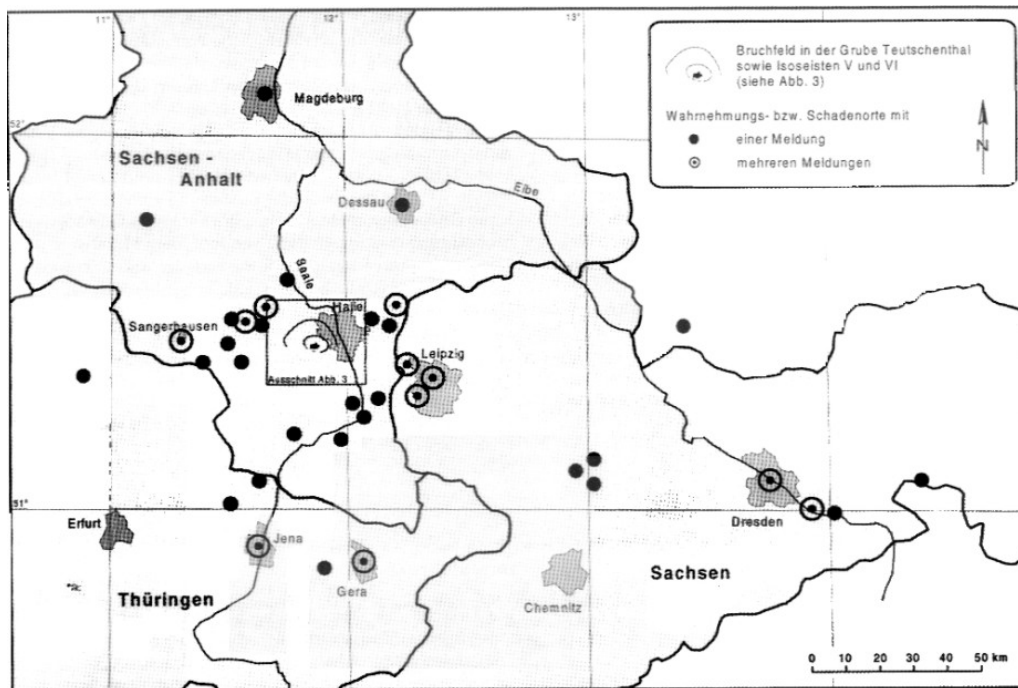


Abbildung 6: Geographische Verteilung der herdfernen Wahrnehmungsorte des Gebirgsschlags vom 11. September 1996.

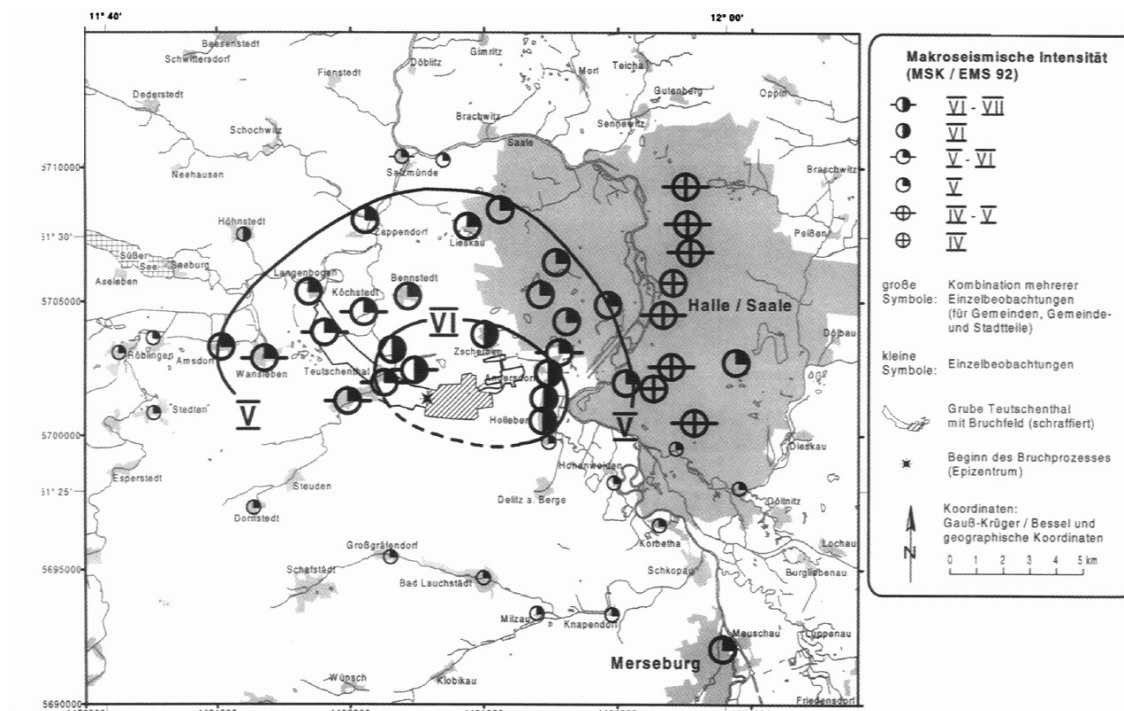


Abbildung 7: Makroseismische Karte des Gebirgsschlags vom 11. September 1996.

2.1.1.2 Seismogrammbeispiele

von K. Klinge⁴

Am 11. September um 03:36:35 UT ereignete sich in der stillgelegten Grube Teutschenthal bei Halle (51.44N, 11.84E) in 700 m Tiefe ein Gebirgsschlag mit der lokalen Magnitude $M_L=4.8$. Das Ereignis fand ohne äußere Einwirkung und ohne Vorläuferbeben statt (Seifert, Kali-Umwelt Technik GmbH, pers. Mitteilung). Die Grube selbst befindet sich in einem ca. 40 m mächtigen Carnallit Flöz. Der Abbau erfolgte im Kammerbau mit einer Abbauhöhe von ca. 5 m. Nach dem Einsturz wurde an der Oberfläche eine maximale Bodenabsenkung von 45 cm gemessen. Die Epizentralintensität betrug VI – VII (Leydecker, 1998). Personen kamen nicht zu Schaden. Bereits 1940 gab es in der gleichen Grube einen Gebirgsschlag mit $M_L=4.3$ und 42 Toten.

Der Gebirgsschlag wurde außer an lokalen Stationen an den Stationen des Deutschen Regionalnetzes (GRSN) und des GRF-Arrays registriert. **Abbildung 8** zeigt die Breitbandregistrierungen der Vertikalkomponenten auf einer Karte zusammen mit den Stationspunkten sowie die Lage der Grube Teutschenthal. In **Abbildung 9** sind die Seismogramme der vier herdnächsten Stationen CLL, MOX, CLZ und BRNL als Dreikomponenten-Aufzeichnungen wiedergegeben. Die Phasen Pg und Sg sind markiert. Bemerkenswert sind die durch unterschiedliche Abstrahlrichtung und unterschiedliche Krustenstruktur beeinflussten Aufzeichnungen der Oberflächenwellen, insbesondere an der Station BRNL. Ebenso gehen die größten Amplituden der Oberflächenwellen in Richtung CLL mit der größten makroseismisch beobachteten Bodenbewegung in dieser Richtung einher. Umgekehrt sind die kleinsten Amplituden der Oberflächenwellen mit den schwächsten makroseismisch beobachteten Bodenbewegungen in Richtung CLZ verbunden.

Aussagen zum Bruchgeschehen selbst lassen sich aus den Ersteinsätzen der P-Wellen gewinnen. In **Abbildung 10** sind die breitbandigen Pn-Einsätze von den GRF-Stationen dargestellt. Alle Einsätze sind zeitlich auf gleiche Einsatzzzeit verschoben und summiert worden (Spur 14: align). Die Aufzeichnung zeigt einen schwachen Pn-Dilatationseinsatz gefolgt von zwei stärkeren Einsätzen mit ebenfalls negativen Ausschlagsrichtungen, die den weiteren Verlauf des Bruches charakterisieren. Die negativen Erstausschlagsrichtungen sind typisch für den implotionsförmigen Charakter des Einsturzbebens. Die ersten Bewegungen des Bodens weisen zum Herd hin.

Weitergehende Informationen gewinnt man aus den Aufzeichnungen der herdnächsten GRSN-Stationen CLL, MOX, CLZ und BRNL. **Abbildung 11** zeigt wegproportionale Aufzeichnungen der Bodenbewegung von diesen Stationen. Deutlich sichtbar ist wieder der negative Ersteinsatz (Pg) mit der lokalen Magnitude $M_L<2$. Dem folgen in den nächsten 1.5s zwei starke Implosionsphasen (2 und 3 in Abb. 4) mit $M_L>4$. Die Aufzeichnungen sind zeitlich so verschoben, dass die Pg-Einsätze und die Bruchphasen 2 an allen vier Stationen zeitgleich sind. Als Besonderheit zeigt die Abbildung, dass die Bruchphase 3 an den Stationen CLL und BRNL zeitlich früher erscheint, als an den Stationen MOX und CLZ. Die Bruchphase 3 wird somit um 0.13s später an den südlich und westlich gelegenen Stationen registriert, als an den östlich bzw. nordöstlich gelegenen Stationen. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass der Bruch im westsüdwestlichen Teil des betroffenen Grubenfeldes begann, sich dominoartig durch Pfeilerbrüche in ost-nordöstliche Richtung fortsetzte und dort mit der letzten großen Bruchphase 3 endete. Danach setzte die Kompressionsphase mit dem Rückschwingen des Deckgebirges ein. Dieser Bruchverlauf wird durch die beobachtete Wellenabstrahlung belegt.

⁴ Dr. Klaus Klinge, Seismologisches Zentralobservatorium Gräfenberg, Erlangen

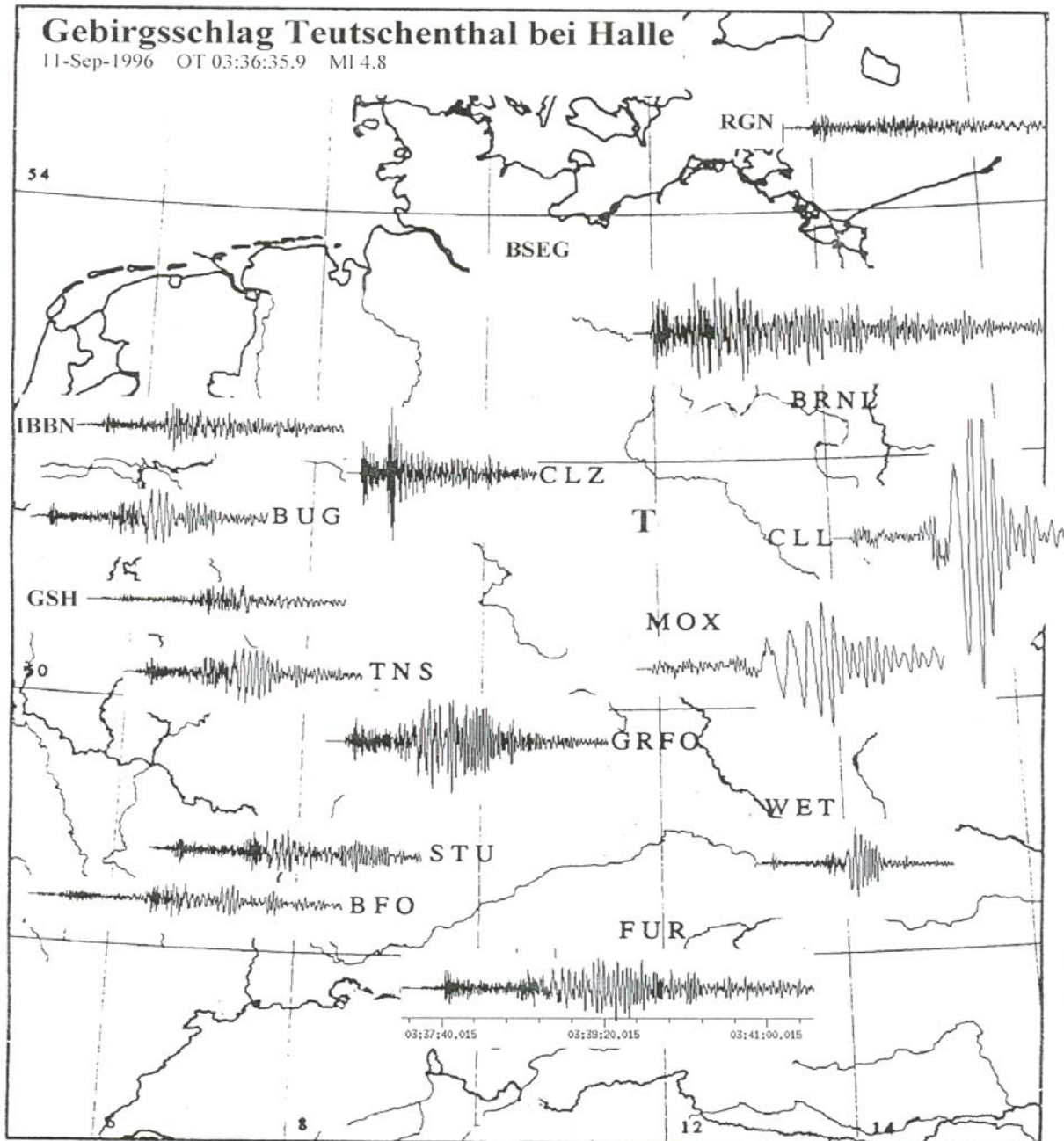


Abbildung 8: Breitbandregistrierungen von den Vertikalkomponenten der GRSN-Stationen. **T** bezeichnet die Lage der Grube Teutschenthal. Die Aufzeichnungen von CLL und MOX sind zeitlich zweifach gedehnt wiedergegeben.

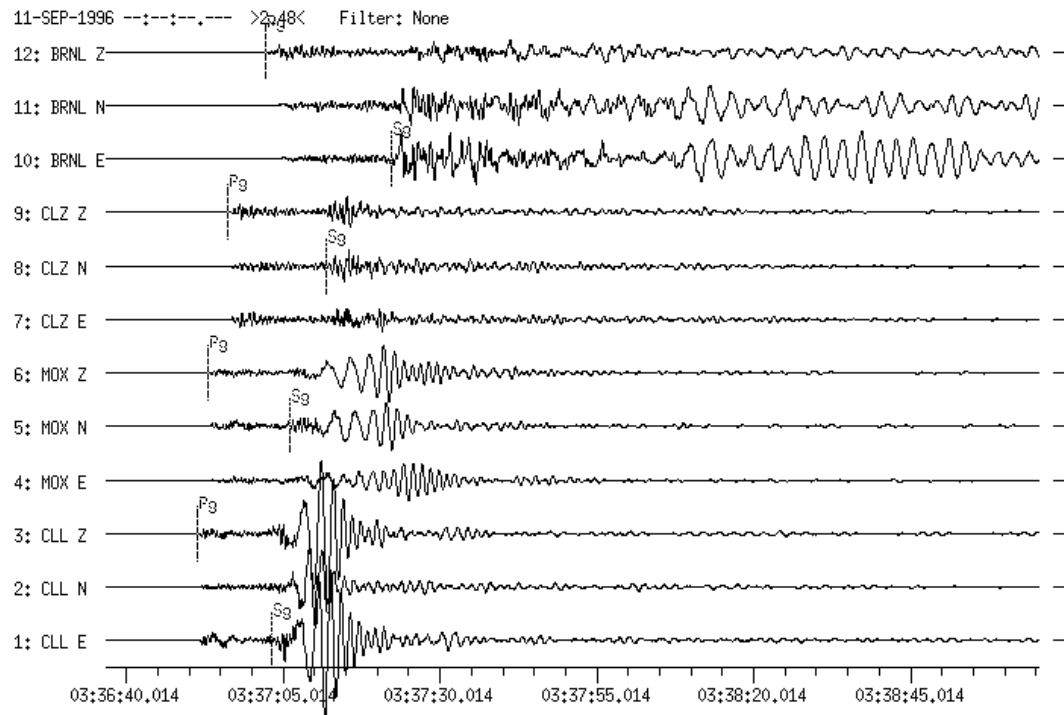


Abbildung 9: Dreikomponenten Breitbandregistrierungen von den vier herdnächsten GRSN-Stationen CLL, MOX, CLZ und BRNL.

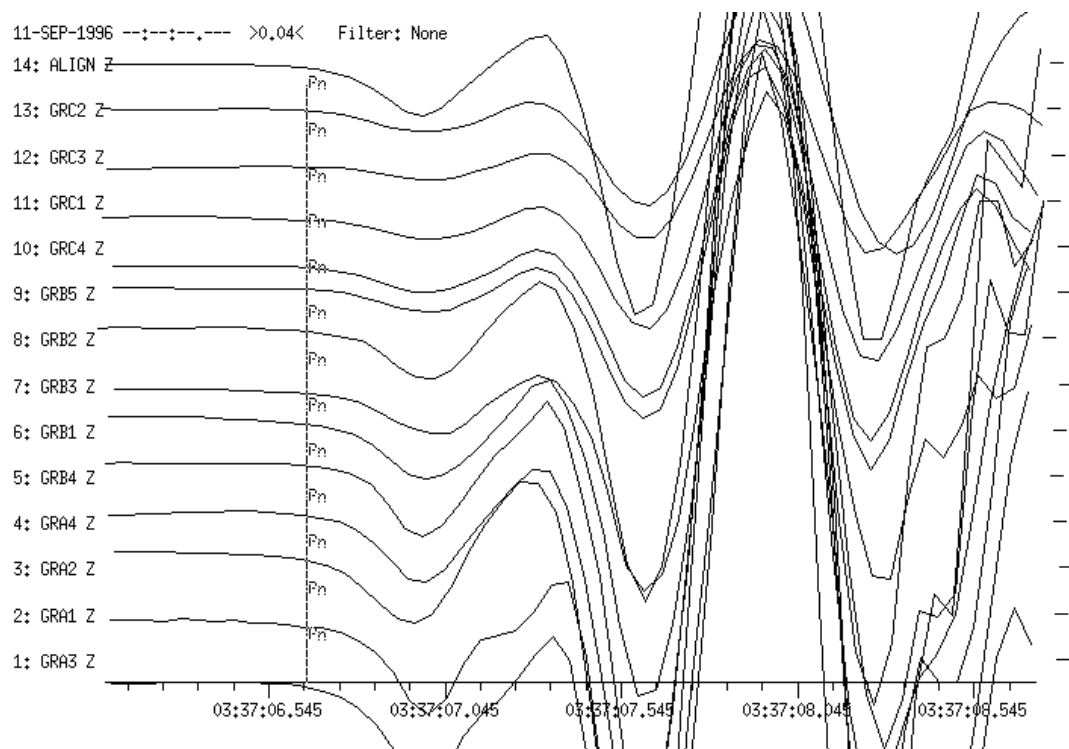


Abbildung 10: Ungefilterte Pn-Welleneinsätze von den Vertikalkomponenten der GRF-Array-Stationen.

Weitere Herdparameter gewinnt man aus den Amplitudenspektren der Pg-Wellen von den drei herdnächsten Stationen, CLL, MOX und CLZ. Die Abtastrate des Datenstromes betrug 80 Hz. Die mittlere Eckfrequenz der seismischen Signale beträgt $f_c = 1.2$ Hz und das seismische Moment $M_0 = 7 \cdot 10^{15}$ Nm. Als Mittelwert aus Modellen nach Madariaga (1976) folgen für den Herdradius der Wert $r = 920$ m und für die gesamte Bruchfläche $F = 2.7$ km². Letzterer Wert stimmt gut überein, mit einer Berechnung von Leydecker (1998), die auf einer empirischen Beziehung zwischen lokaler Magnitude und Bruchfeldgröße beruht und den Wert $F = 2.5$ km² liefert.

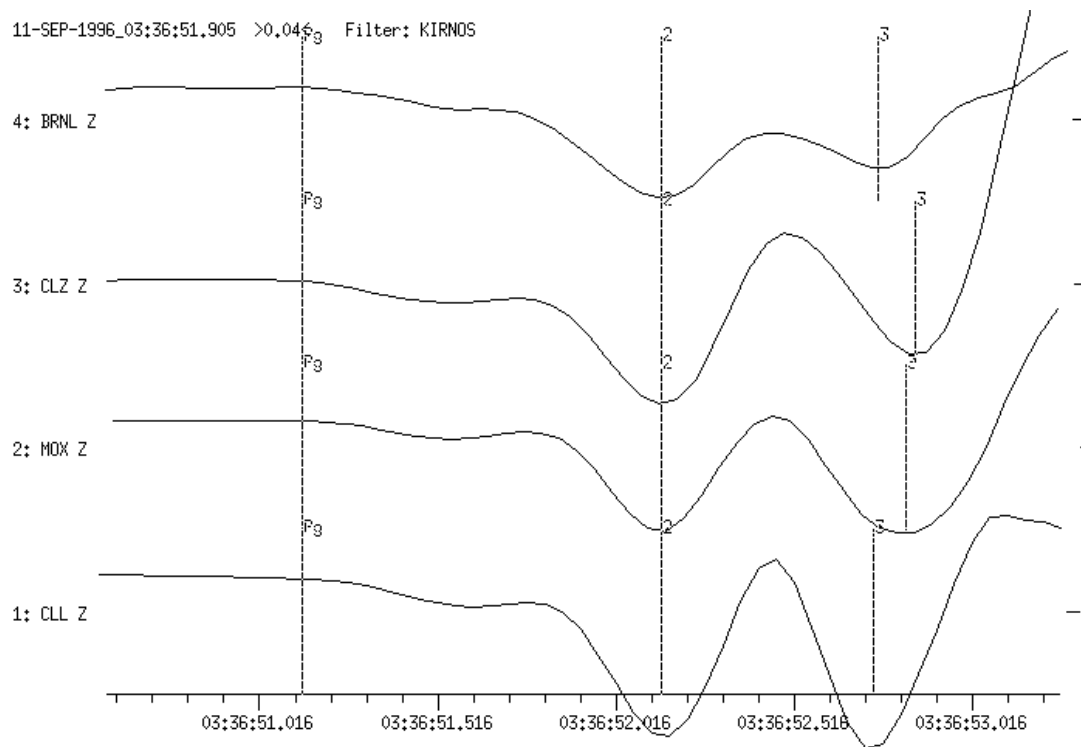


Abbildung 11: Wegproportional (KIRNOS)-gefilterte Pg-Welleneinsätze von den Vertikalkomponenten der GRSN-Stationen CLL, MOX, CLZ und BRNL.

An der Interpretation des Ereignisses waren mit hilfreichen Diskussionen zahlreiche Kollegen beteiligt. Besonders erwähnen möchte ich hier die Herren F. Krüger, G. Seifert, G. Leydecker und die Mitarbeiter des SZGRF.

Literatur

LEYDECKER, G. (1998), Beziehung zwischen Magnitude und Größe des Bruchfeldes bei starken Gebirgsschlägen im deutschen Kalibergbau – ein Beitrag zur Gefährdungsprognose, Z. angew. Geol., 44, 1, S. 22 - 25.

MADARIAGA, R., (1976), The dynamics of an expanding circular fault. Bull. Seism. Soc. Am. 66, 639-666.

2.1.2 Der Gebirgsschlag im Grubenfeld Niederröblingen am 25. Februar 1996

Epizentrum: 51.44°N, 11.36°E, Herdtiefe ca.1 km

Magnitude: ML = 2.7 (BGR)

(Auszug aus: „Geotechnische Untersuchung des seismischen Ereignisses vom 25.2.1996, 15:23:25.7 Uhr (MEZ) im Bereich ehemaliges Grubenfeld Niederröblingen/Raum Einzingen“ vom 18.03.1996 (Verfasser TERRA-DATA GmbH, Sangerhausen⁵) mit freundlicher Genehmigung der GVV mbH Sonderhausen⁶)

Am Sonntag, den 25.2.1996, wurde um 15:23 Uhr (MEZ) ein starkes seismisches Ereignis durch das seismische Überwachungssystem des Bergwerkes Niederröblingen aufgezeichnet.

Der seismische Vorgang war im unmittelbaren Epizentralbereich in der Ortschaft Einzingen mit starken Übertagewahrnehmungen verbunden und wurde von vielen seismologischen Stationen im gesamten Bundesgebiet registriert.

Das Epizentrum lag somit am nördlichen Rand der Ortschaft Einzingen, was sich auch sehr gut mit der Stärke der gemeldeten makroseismischen Wahrnehmungen deckt. Untertägig lässt sich der Herdort einem nicht abgebauten Restpfeiler im Bereich der Nienstedter Störungszone zuordnen.

Der Herdort lässt sich somit wahrscheinlich dem Bereich der Zechsteinbasis mit einer Tiefe in diesem Bereich von ca. 700 m unter EO, d.h. ca. -500 mNN zuordnen.

Für den Vorgang vom 25.2.1996, 15:23 MEZ errechnet sich demnach

ein Herdradius von	r = 150 m	und damit
eine Herdfläche von	A = 70700 m².	

Dies bedeutet, dass eine Fläche von mehr als 70.000 m² in den Bruchvorgang einbezogen gewesen ist.

Seismisches Moment	Mo	= 9.12 * 10¹² Nm
Dislokation	D	= 18 mm
Stress drop	D_s	= 1.18 * 10⁶ N/m²

Die Dislokation D gibt die Verrückung der Teilchen im Herdgebiet an. Der Stress drop D_s beschreibt den Spannungsabfall, d.h. die Differenz der Spannung vor und nach dem seismischen Ereignis.

Zur Bestimmung der makroseismischen Intensität des seismischen Ereignisses vom 25.2.1996 und zur Beweissicherung wurden Informationen zu makroseismischen Wahrnehmungen aus dem Epizentralraum in den Ortschaften Einzingen, Nienstedt, Allstedt, Niederröblingen, Oberörlingen, Sangerhausen, Othal und Sotterhausen gesammelt.

⁵ TERRA-DATA Gesellschaft für Markscheidewesen, Ingenieurvermessung, Geophysik, Hydrogeologie, Baugrunderkundung mbH, Am Brühl 8, 06526 Sangerhausen

⁶ Gesellschaft zur Verwahrung und Verwertung von stillgelegten Bergwerksbetrieben mbH Sondershausen, Am Petersenschacht 9, 99706 Sondershausen

In der Ortschaft Einzingen wurde das Ereignis sehr deutlich verspürt. Die Umschreibungen der Wahrnehmungen lassen sich als starke Vibrationen zusammenfassen.

Eine weitere, jedoch unsichere Aussage, liegt aus dem Stadtgebiet Sangerhausen vor.

Weitere Meldungen aus anderen Ortschaften gingen bis zum heutigen Tag nicht ein.

Aufgrund dieser Wahrnehmungen läßt sich die makroseismische Intensität entsprechend der 12-stufigen MSK-Skala (Medvedev-Sponheuer-Karnik-Skala) mit

$$I_0 \leq 5.5$$

abschätzen.

Das Ereignis vom 25.2.1996 stellt mit einer Lokalmagnitue von $M=2.7$ eines der stärksten bisher aus dem Sangerhäuser Revier bzw. der Mansfelder Mulde registrierten seismischen Ereignisse dar.

Ereignisse ähnlicher Stärke aus den Mansfelder-Kupferbergbaurevieren wurden am 11.10.1977 (Sangerhausen/Hohlstedt, $M = 2.6$), 13.3.1967 (Otto-Brosowski-Schacht/Mansf. Mulde, $M = 2.6$) und 17.2.1962 (Max-Lademann-Schacht/Mansf. Mulde, $M = 2.5$) registriert.

Seismische Ereignisse im Zusammenhang mit dem Kupferschieferbergbau in der Mansfelder Mulde und im Sangerhäuser Revier wurden instrumentell und makroseismisch schon seit Jahrzehnten beobachtet. Als Ursachen dieser in Bergbaugebieten normalen Seismizität sind hauptsächlich abbauinduzierte Ereignisse während der Abbauphasen bzw. seismische Energiefreisetzen infolge von Subrosionserscheinungen (Erdfälle, großflächige Oberflächensenkungen z. B. im Stadtgebiet Eisleben) zu nennen. Insbesondere der letztgenannte Typ führte aufgrund der Oberflächendeformationen zu bedeutenden Schäden an Gebäuden.

Während der Flutung des Grubenfeldes Sangerhausen in den Jahren 1991 und 1992 wurde nur ein minimaler Anstieg seismischer Energiefreisetzen beobachtet. Meldungen über makroseismische Wahrnehmungen wurden nicht bekannt. Die Magnituden dieser Ereignisse lagen deutlich unter $M = 1$.

Demgegenüber wurde mit Beginn der Flutung des Grubenfeldes Niederröblingen im April 1994 ein deutlicher Anstieg des seismischen Geschehens aus diesem Bereich beobachtet. Es zeigt sich aus der Betrachtung der bisherigen Aufzeichnungen seismischer Ereignisse eine deutliche Korrelation zwischen dem Flutungsregime und den seismischen Aktivitäten.

Bis zum heutigen Tag (18.03.1996 – Anm. d. Red.) wurden seit Beginn der Flutung insgesamt 59 Ereignisse mit Magnituden über 1, davon 3 Ereignisse über $ML = 2$ registriert.

Meldungen über makroseismische Wahrnehmungen gingen zu 10 Ereignissen ein. Schäden wurden nicht gemeldet.

Die Bewertung der o.g. Herdparameter unter Einbeziehung von Resultaten aus anderen internationalen Bergbaugebieten zeigt aber auch, dass der seismische Vorgang vom 25.2.1996 der Gruppe der bergbauinduzierten tektonischen Ereignisse zugerechnet werden kann.

Im Zuge der Flutung der Grube Niederröblingen taucht der gesamte tektonisch und durch die besonderen Abbauverhältnisse zusätzlich geomechanisch erheblich beanspruchte Bereich vom Tiefsten des Grubengebäudes her in das Flutungsmedium ein.

Für den Bereich des Ereignisherdes vom 25.2.1996 lassen sich somit folgende ereignisbegünstigenden Feststellungen treffen:

Der Herd liegt in einem Bereich

- mit größeren tektonischen Störungen (bis 200 m Sprunghöhe - Nienstedter Störung)
- mit einer Häufung von Kleintektonik im dm- bis m-Bereich
- in dem verschieden steil herzyn streichende tektonische Störungen liegen
- mit besonderen bergbaulichen Verhältnissen (unverritzte Restflächen)
- mit beginnender Vernässung durch das Flutungsmedium.

Diese besonderen tektonischen und daraus resultierenden Abbauverhältnisse sind als Ursache für Spannungsakkumulationen anzusehen. Als auslösendes Moment für die seismische Energiefreisetzung sind der Einfluß des Flutungsmediums und die damit verbundene Herabsetzung der Kohäsion auf den Kluftflächen anzunehmen.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der während der bisherigen Flutungsphase registrierten seismischen Ereignisse aus dem ehemaligen Grubenfeld Niederröblingen und der Interpretation der seismischen Aufzeichnungen und makroseismischen Beobachtungen zum seismischen Vorgang vom 25.2.1996 / 15:23:25 MEZ sind nachfolgende Schlußfolgerungen abzuleiten:

- Das seismische Ereignis vom 25.2.1996 ordnet sich in den im bisherigen Verlauf der Flutung des Grubenfeldes Niederröblingen festgestellten Zusammenhang zwischen Flutungsanstieg und seismischer Energiefreisetzung ein.
- Nach heutigem Kenntnisstand werden die Ursachen für den seismischen Vorgang einerseits in der tektonischen Vorprägung, und andererseits in dem bergbaulich geprägten Spannungsgeschehen gesehen. Die beobachtete Komplexität des Herdvorganges läßt die Interpretation zu, dass offenbar ein primäres Versagen der durch den Bergbau hergestellten und durch die Flutung beeinflussten Strukturen eine an die lokalen Strukturen gebundene seismische Reaktion des beschriebenen Ausmaßes initiiert hat.
- Nach Beendigung der Flutung war ein signifikanter Rückgang in der Seismizität zu verzeichnen.

2.2 Bayerische Alpen

von E. Schmedes⁷

05. März 1996, 22:07:33.4 UT (FUR)

Epizentrum 47°34'N, 11°12'E, Eschenlohe, Bayerische Alpen

Magnitude ML = 2.5 (FUR)

Maximalintensität IV. In Eschenlohe von vielen Personen gefühlt und akustisch wahrgenommen.

2.3 Nordrhein-Westfalen

von K.G. Hinzen⁸

6. März 1996, 20:03:15.3 UT (BNS)

Epizentrum 50°43.8'N, 6°23.1'E, Herdtiefe 7.5 km, bei Großhau (Hürtgenwald)

Magnitude ML = 2.7 (BNS)

Verspürt in Stollberg und Aachen mit Intensität III.

29. Mai 1996, 16:54:06.6 UT (BNS)

Epizentrum 49°58.1'N, 7°25.0'E, Herdtiefe 4.4 km, bei Kirchberg / Simmern (Hunsrück)

Magnitude ML = 2.8 (BNS)

Verspürt in Simmern mit Intensität III-IV.

23. August 1996, 19:35:39.4 UT (BNS)

Epizentrum 50°23.3'N, 7°24.6'E, Herdtiefe 10 km, bei Plaidt

Magnitude ML = 3.2 (4 Stationen)

Verspürt im Bereich Neuwieder Becken, Kruft Mendig und Koblenz mit Intensitäten von maximal III.

Dem Beben folgt vier Sekunden später ein weiterer Stoß (ML = 2.8) an gleicher Stelle und ein weiteres Beben um 19:38:36.4 (UT) mit ML = 2.5. Um 19:43:06, 20:15:40, 22:02:51 und am 24. August um 05:49:57 folgten weitere kleine Beben mit ML zwischen 0.7 und 0.9.

⁷ Dr. Eberhard. Schmedes, Geophysikalisches Observatorium der Ludwig-Maximilians-Universität München

⁸ Dr. Klaus-Günther Hinzen, Erdbebenstation Bensberg des Geologischen Instituts der Universität zu Köln

29. Oktober 1996, 12:00:13.5 UT (BNS)

Epizentrum 50°23.9'N, 6°56.2'E, Herdtiefe sehr flach (3.5 km), bei Adenau

Magnitude ML = 2.9 (BNS)

Verspürt in Adenau mit Intensität IV, bis Sinzig, Ahrweiler und Effelsberg mit Intensität II. Viele der ca. 60 vorliegenden Beobachtungen, insbesondere aus Adenau, berichten von einem scharfen Knall, der den Erschütterungen vorausging.

2.4 Baden-Württemberg

von W. Brüstle und S. Stange⁹

24. April 1996, 09:36:57.0 UT (LEDBW)

Epizentrum 47.56°N, 7.60°E, Herdtiefe 11 km, Basel (Oberrheingraben)

Magnitude ML = 3.3 (LEDBW)

Maximalintensität I_0 = III. Kurzer Schlag gespürt in Herten bei Rheinfelden/Baden.

04. Juni 1996, 05:05:23.1 UT (LEDBW)

Epizentrum 47.81°N, 7.24°E, Herdtiefe 1 km, Wittelsheim (Oberrheingraben)

Magnitude ML = 3.2 (LEDBW)

Sehr flaches Erdbeben.

28. Juni 1996, 03:43:10.8 UT (LEDBW)

Epizentrum 47.76°N, 8.76°E, Herdtiefe 4 km, Gottmadingen (Süd-Schwarzwald)

Magnitude ML = 3.3 (LEDBW)

Maximalintensität I_0 = IV. Schütterradius R_S = 20 km. Sehr deutlich gespürt im Raum Singen mit Intensität MSK IV, in Gottmadingen Wahrnehmung einer Druckwelle, starke Geräusche gehört (MSK IV)

24. August 1996, 02:38:22.7 UT (LEDBW)

Epizentrum 47.43°N, 9.04°E, Herdtiefe 28 km, Wil (Schweizerische Jura)

Magnitude ML = 4.0 (LEDBW)

Maximalintensität I_0 = V. Schütterradius R_S = 70 km. Nach SED Epizentrum bei Hoernli, Magnitude ML = 3.7, in der gesamten Nordostschweiz gespürt, Maximalintensität EMS V (SED) im Gebiet Wil-Gossau, Kanton St. Gallen, Schweiz. Auf deutscher Seite in weiten Teilen

⁹ Dr. Wolfgang Brüstle, Dr. Stefan Stange, Erdbebendienst des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg

der Landkreise Waldshut, Konstanz, Bodenseekreis, z. T. auch im Schwarzwald-Baar-Kreis und im Kreis Ravensburg mit Intensitäten bis III-IV gespürt, am Bodensee-Nordufer teilweise MSK IV, Einzelbeobachtungen bis Neu-Ulm.

24. August 1996, 23:39:00.7 UT (LEDBW)

Epizentrum 47.96°N, 7.50°E, Herdtiefe 7 km, Dessenheim (Oberrheingraben)

Magnitude ML = 3.5 (LEDBW)

Maximalintensität I_0 = IV. Gespürt mit Intensität MSK IV in Müllheim, Vorbeben (Doublette) ereignete(n) sich 3.5 Stunden vorher.

3 WELTWEITE SCHADEN- UND GROSSBEBEN DES JAHRES 1996

von M. Henger

In dem monatlich vom NEIC (National Earthquake Information Center) des USGS (United States Geological Survey, Washington) erscheinenden seismologischen Bulletin sind für das Jahr 1996 insgesamt 19 938 seismische Ereignisse enthalten. Diese Datensammlung wurde auf der Grundlage seismologischer Parameter erstellt, die Erdbebenstationen der ganzen Welt – darunter auch die in Deutschland betriebenen Stationen (s. **Abbildung 1**) – aus ihren seismischen Aufzeichnungen bestimmten und an das Weltdatenzentrum A in Boulder, Colorado, übermittelten. Anhand dieser Parameter werden für die gemeldeten Ereignisse, vorwiegend Erdbeben, aber auch nukleare Sprengungen und in Einzelfällen chemische Sprengungen, die Epizentrumskoordinaten, Herdzeit, Herdtiefe, Magnitude und weitere Kenngrößen berechnet und in das Bulletin aufgenommen. Auch die nachfolgende Liste (**Tabelle 3**) der Schaden- und Großbeben ist daraus entnommen, wobei jedoch nur solche Ereignisse aufgeführt sind, die Sachschaden verursachten und/oder Menschenleben forderten. Zudem wurden noch die stärksten Erdbeben dieses Jahres berücksichtigt, deren Magnituden einen Wert von 6.0 oder höher erreichten. Dabei wird nicht zwischen Raumwellen- (mb) Oberflächenwellenmagnitude (MS) oder Momentenmagnitude M_w unterschieden.

Insgesamt ereigneten sich in diesem Jahr 108 Schaden- und Großbeben, deren geographische Verteilung in **Abbildung 13** dargestellt ist. Das stärkste Ereignis fand am 17. Februar im Gebiet von Irian Jaya, Indonesien, 110 km östlich von Biak im Meer statt und wies eine Magnitude von $MS=8.1$ auf. Bei diesem Beben und der hierdurch erzeugten Woge (Tsunami) mit Wellenhöhen bis zu 7 m Höhe verloren insgesamt 108 Menschen ihr Leben, über 400 wurden verletzt. Die Zahl der beschädigten oder zerstörten Häuser wurde mit 5 043 angegeben. Noch schwerwiegendere Folgen hatte jedoch ein Beben das in China die Stadt Yunnan bereits am 3. Februar heimsuchte. Obwohl seine Stärke mit $MS=6.5$ etwa 40 mal schwächer war als die des Bebens bei Irian Jaya, forderte es nahezu doppelt so viele Menschenleben. Die Zahl der Toten wurde mit 322, die der Schwerverletzten mit nahezu 4 000 und die der Leichtverletzten mit 13 000 beziffert. In der gesamten Bilanz der Erdbebenopfer dieses Jahres, deren Zahl vom USGS auf 589 geschätzt wurde, gehen somit etwa 85% der zu Tode gekommenen Menschen auf das Konto dieser beiden Beben. Die Schadensbilanz aller übrigen Beben war dazu vergleichsweise moderat.

Für die Bewohner der Halbinsel Minahassa, Sulawesi, dürfte der 1. Januar wegen des Erdbebens der Stärke $MS=7.6$ ein Tag des Schreckens gewesen sein. Es grenzt an ein Wunder, dass dieses starke Beben nur 8 Menschen tötete, obwohl über 350 Häuser und Gebäude zerstört wurden. Ebenso glimpfliche Auswirkungen hatten zwei Beben der Stärke $MS=6.6$ am 18. und 21. Februar in Nordperu, bei denen jeweils vier Menschen zu Tode kamen. Der südamerikanische Kontinent blieb auch in den folgenden Monaten von schweren Erdbeben nicht verschont. Menschenleben forderte ein Ereignis der Stärke $mb=5.8$ am 28. März in Ecuador (27 Tote) und am 12. November mit $MS=7.3$ vor der Küste Perus (14 Tote, 560 Verletzte und 12 000 Obdachlose). Eine ähnliche Anzahl an Opfern forderten noch zwei Beben der Magnitude $MS=6.0$ in China am 19. März (24 Tote) und am 3. Mai (18 Tote). Bei allen weiteren Ereignissen in diesem Jahr blieben die Auswirkungen weniger folgenschwer, obwohl durch weitere Erdbeben (vgl. **Tabelle 3**) teilweise noch viele Personen verletzt und bis zu mehreren Tausend obdachlos wurden.

Ein prominentes Beispiel für ein derartiges Erdbeben mit Magnitude $MS=6.0$ ereignete sich am 5. September im Adriatischen Meer. In Kroatien wurden zwar mehrere Menschen verletzt, und etwa 2000 wurden wegen Beschädigung oder Zerstörung ihrer Häuser obdachlos, doch es gab keine Toten.

Im Vergleich zu früheren Jahren ist festzustellen, dass die Menschheit 1996 von Erdbeben mit katastrophalen Ausmaßen weitgehend verschont blieb. Verdeutlicht wird dieser Umstand durch **Abbildung 12**. In diesem Diagramm ist für den Zeitraum 1976 bis 1996 die Zahl der Erdbebenopfer dargestellt. Diese Werte sind Schätzwerte, da vor allem bei katastrophalen Erdbeben die Angaben über die Zahl der Todesopfer erheblich schwanken. Weiter ist in **Abbildung 12** für den gleichen Zeitraum als schwarze Linie die Zahl der jährlich stattgefundenen starken Erdbeben mit Magnituden ≥ 6.0 eingezeichnet. Eine Korrelation des Verlaufs dieser Linie mit dem Balkendiagramm ist nicht vorhanden, da sonst mit zunehmender Zahl an starken Erdbeben auch die Zahl der Todesopfer ansteigen müsste. Bekanntermaßen wird die Schadenwirkung eines Erdbebens jedoch von anderen Faktoren, wie z.B. der Nähe des Epizentrums zu bewohnten Gebieten sowie von der Bausubstanz und der Bevölkerungsdichte im Epizentralgebiet bestimmt.

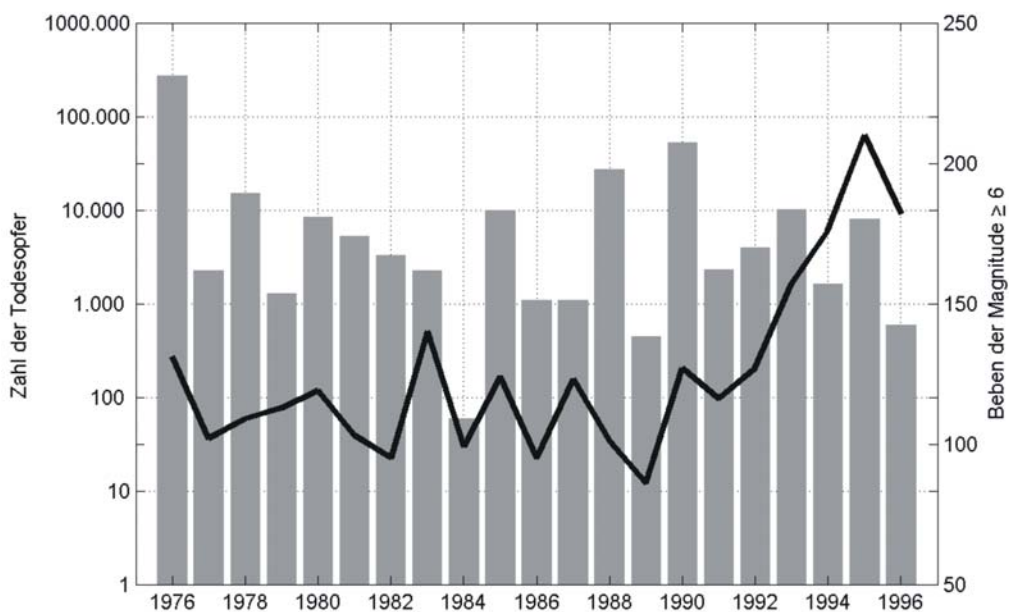
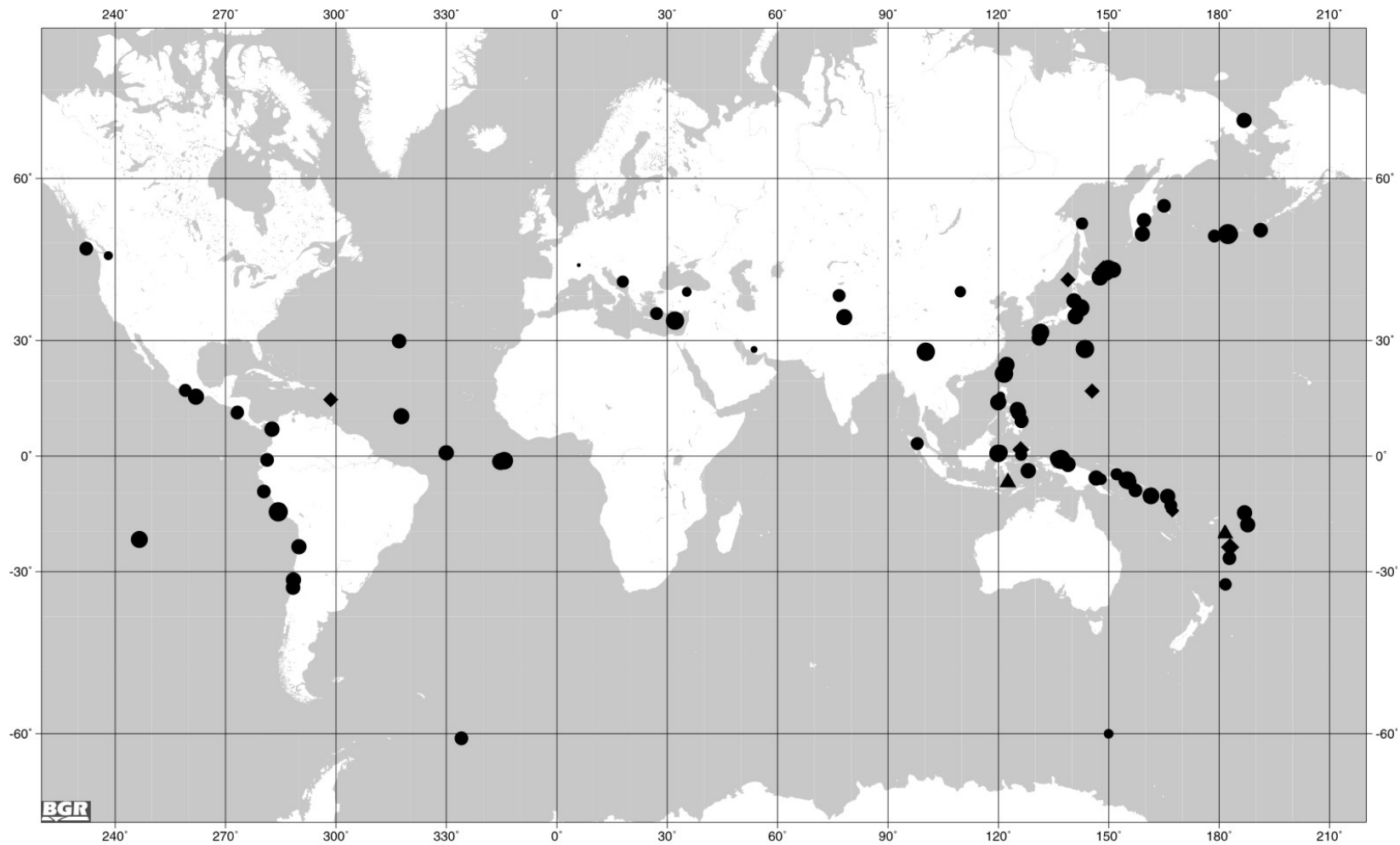


Abbildung 12: Vergleich zwischen den jährlich im Zeitraum 1976 – 1996 weltweit stattgefundenen starken Erdbeben der Magnitude ≥ 6.0 (schwarze Linie) und der geschätzten Zahl der Todesopfer (Säulendiagramm).



Die Symbolgrösse ist Magnitudenabhängig.
Tiefe: ● ≤ 75 km; ◆ $75 \text{ km} < \leq 300$ km; ▲ $300 \text{ km} <$

Abbildung 13: Groß- und Schadenbeben des Jahres 1996

Tabelle 3: Groß- und Schadenbeben des Jahres 1996

Datum	Herdzeit hh:mm:ss	Koordinaten		Tiefe (km)	Magnitu- den			Region
		Breite	Länge		mb	MS	ML	
01. Jan	08:05:11	0.73 N	119.93 E	24	6.3	7.6		Halbinsel Minahassa, Sulawesi; 8 Tote, ein Vermisster und über 350 Häuser und Gebäude im Gebiet von Tolitoli zerstört. Ein lokaler Tsunami trug zu den Schäden im Epizentralgebiet bei. Mit Int.=IV bei Palu und mit Int.=III bei Gorontalo verspürt
01. Jan	09:57:51	53.83 N	159.59 E	33	5.9	6.6		Nahe der Ostküste Kamtschatkas
08. Jan	10:04:47	53.30 N	142.74 E	8	5.6	5.3		Sachalin
22. Jan	23:19:57	60.61 S	25.90 W	10	5.8	6.0		Region südl. Sandwich Inseln
30. Jan	22:00:10	32.95 S	178.25 W	14	5.6	6.2		Südl. der Kermadec Inseln
30. Jan	22:29:57	32.92 S	178.30 W	33	5.6	6.7		Südlich der Kermadec-Inseln
31. Jan	20:30:42	44.47 N	149.37 E	21	5.9	6.0		Kurilen
03. Feb	11:14:20	27.29 N	100.28 E	11	6.4	6.5		Yunnan, China; mindestens 251 Tote, 4027 Verletzte, etwa 1 Mio. Obdachlose und mindestens 329 000 zerstörte Häuser im Nordwesten der Provinz Yunnan, insbesondere in Lijang-Zhongdian. Bei Lijang Maximalintensität $I_{\max}$ = IX; Erdrutsche im Epizentralgebiet.
07. Feb	21:36:46	45.32 N	149.89 E	43	6.3	7.0		Kurilen; geringe Schäden (Int.=V) auf Iturup. mit Int.=IV auf Kunashir verspürt.
07. Feb	22:53:40	44.12 N	149.48 E	33	5.4	6.0		Kurilen
16. Feb	09:44:58	1.50 S	15.28 W	11	6.2	6.4		Nördlich der Ascension-Insel
16. Feb	15:22:59	37.35 N	142.38 E	41	6.3	6.2		Vor der Küste von Honshu, Japan; mehrere Leichtverletzte im Epizentralgebiet. An mehreren Orten auf Honshu verspürt mit Int.=IV (JMA), ebenso auf der Halbinsel Izu und bei Tokyo.
17. Feb	05:59:31	0.89 S	136.95 E	33	6.5	8.1		Region Irian Jaya, Indonesien; in der Epizentralregion mindestens 108 Tote, 423 Verletzte, 58 Vermisste und 5043 zerstörte oder beschädigte Häuser. Schwere Schäden auf Biak und Supiori durch einen Tsunami, der in vielen Gebieten eine Höhe von 7 m erreichte. Schäden auch entlang der Nordküste von Irian Jaya von Manokwari bis Sarmi.
17. Feb	08:42:10	0.84 S	136.59 E	33	5.4	6.0		Region Irian Jaya, Indonesien
17. Feb	14:21:22	0.57 S	135.84 E	19	5.8	6.5		Region Irian Jaya, Indonesien
17. Feb	20:18:07	0.92 S	136.23 E	32	6.0	6.6		Region Irian Jaya, Indonesien
18. Feb	02:25:33	1.34 S	136.46 E	10	5.9	6.3		Region Irian Jaya, Indonesien
18. Feb	23:49:28	1.27 S	14.27 W	10	6.3	6.5		Nördlich der Ascension-Insel
21. Feb	12:51:01	9.59 S	79.59 W	10	5.8	6.6		Vor der Küste von Nord-Peru; 4 Tote, 3 Vermisste und zwei Verletzte durch Tsunami. Die seismische Woge zerstörte noch etwa 150 Hütten entlang der Küste nahe Chimbote. Verspürt mit Int.=IV bei Chimbote und Huarmey.

Datum	Herdzeit hh:mm:ss	Koordinaten		Tiefe (km)	Magnitu- den			Region
		Breite	Länge		mb	MS	ML	
22. Feb	13:40:54	33.67 S	71.67 W	43	5.9	5.5		Nahe der Küste von Zentral-Chile; bei Las Cabras, Melipilla, San Antonio und Santiago geringe Schäden (Int.=V), 1 Verletzter. An weiteren Orten verspürt.
22. Feb	14:59:08	45.26 N	148.54 E	124	6.3			Kurilen
25. Feb	03:08:16	15.98 N	98.07 W	21	6.1	6.9		Oaxaca, Mexiko; entlang der Küste von Guerrero und Oaxaca verspürt, ebenso bei Mexiko City.
28. Feb	09:44:11	1.76 N	126.05 E	116	6.2			Nördliche Molukken-See; verspürt bei Manado und Ternate, Indonesien
02. März	01:50:05	5.97 S	146.57 E	59	6.0	6.1		Östliches Neuguinea
03. März	14:55:12	11.66 N	86.86 W	33	5.7	6.5		Nahe der Küste von Nicaragua
03. März	16:37:32	11.91 N	86.77 W	33	5.7	6.7		Nahe der Küste von Nicaragua; einige Schäden bei Chinandega und Granada, bei Managua stark verspürt.
05. März	14:52:29	24.09 N	122.22 E	29	6.1	6.4		Region Taiwan; bei Taipei und in weiten Teilen von Taiwan verspürt.
17. März	14:48:57	14.71 S	167.30 E	164	5.8	6.0		Vanuatu-Inseln
17. März	17:58:20	6.27 S	147.90 E	33	5.5	6.0		Östliches Neuguinea
19. März	15:00:26	39.99 N	76.70 E	28	5.7	6.0		Südliches Xinjiang, China; mindestens 24 Tote, 128 Verletzte und mehr als 15.000 zerstörte Häuser im Gebiet von Artux-Jiashi. Auch verspürt bei Bachu, Kashi, Wuqia und Yecheng.
22. März	03:24:20	51.22 N	178.70 E	20	5.7	6.6		Rat Islands, Aleuten; Auf Adak verspürt.
28. März	23:03:50	1.04 S	78.74 W	33	5.8	5.2		Ecuador; mindestens 27 Tote, ca. 100 Verletzte, einige tausend Obdachlose und beträchtliche Schäden sowie Zerstörungen an Häusern, Brücken und Wasserleitungen in den Provinzen Cotopaxi, Pastaza und Tungurahua. Erdbeben blockierten mehrere Straßen im Epizentralgebiet. Geringere Schäden (Int.=VI) bei Ambato, Latacunga und San Miguel de Salcedo
30. März	13:05:17	52.21 N	168.73 W	33	5.9	6.2		Fox-Inseln, Aleuten
31. März	23:41:43	11.18 S	165.64 E	33	5.6	6.1		Santa-Cruz-Inseln
16. Apr	00:30:55	24.06 S	177.04 W	111	6.4	6.8		Südlich der Fidschi-Inseln
19. Apr	00:19:31	23.94 S	70.09 W	50	6.0	6.1		Nord-Chile; verspürt mit Int.=V-VI bei Calama, mit Int.=V bei Antofagasta, Maria Elena und Tocopilla und mit Int.=IV bei Taltal.
29. Apr	14:40:41	6.52 S	155.00 E	44	6.3	7.5		Solomon-Inseln; 1 Toter und mehrere Duzend zerstörte Häuser im Bougainville.
01. Mai	10:05:10	6.74 S	154.90 E	33	5.4	6.0		Solomon-Inseln
02. Mai	06:30:25	16.13 N	120.60 E	33	5.2	5.0		Luzon, Philippinen; bei Dagupan 3 Verletzte, an vielen Orten verspürt

Datum	Herdzeit hh:mm:ss	Koordinaten		Tiefe (km)	Magnituden			Region
		Breite	Länge		mb	MS	ML	
03. Mai	03:32:47	40.77 N	109.66 E	26	5.5	6.0		Westliche Mongolei, China; 18 Tote, 300 Verletzte und schwere Schäden im Gebiet von Baotou. In Peking, Hohhot, Xian und Yinchuan verspürt.
03. Mai	04:04:23	47.76 N	121.88 W	4	5.2	5.5		Washington, USA; 2 Verletzte und leichter Schaden im Epizentralgebiet; an vielen Orten In Washington sowie bis Portland verspürt.
07. Mai	23:20:01	43.71 N	147.61 E	54	6.2	5.6		Kurilen
11. Mai	13:43:45	6.61 S	155.04 E	33	5.7	6.3		Solomon-Inseln
24. Mai	06:35:58	27.85 N	53.59 E	10	4.9	4.7		Süd-Iran; 20 Verletzte und einige Schäden bei Khonj
02. Juni	02:52:10	10.80 N	42.25 W	10	6.1	6.9		Mittelatlantischer Rücken
03. Juni	08:15:40	9.31 S	157.17 E	33	5.6	6.0		Solomon-Inseln
03. Juni	10:50:11	9.32 S	157.24 E	10	5.8	6.2		Solomon-Inseln
08. Juni	23:19:15	51.49 N	178.13 W	33	5.9	6.3		Andreanof-Inseln, Aleuten
09. Juni	01:12:17	17.44 N	145.46 E	216	6.0	5.9		Marianen Inseln; stark verspürt auf Saipan.
10. Juni	04:03:36	51.56 N	177.63 W	33	6.6	7.6		Andreanof-Inseln, Aleuten; auf Adak und Atka mit Int. =VI verspürt Das Beben löste eine seismische Woge (Tsunami) aus, deren Wellenhöhen auf Adak 102 cm erreichten
10. Juni	15:24:56	51.48 N	176.85 W	26	5.9	7.1		Andreanof-Inseln, Aleuten; auf Adak stark verspürt.
11. Juni	18:22:56	12.61 N	125.15 E	33	6.0	7.0		Samar, Philippinen; an einigen Orten auf Luzon verspürt.
17. Juni	11:22:19	7.14 S	122.59 E	587	6.6			Flores-See; einige Schäden auf der Insel Flores.
21. Juni	13:57:10	51.57 N	159.12 E	20	6.0	6.6		Vor der Ostküste Kamtschatkas; im Gebiet Petropavlovsk-Kamchatsky mit Int.=IV verspürt.
22. Juni	14:50:08	51.40 N	159.24 E	33	5.6	6.0		Vor der Ostküste Kamtschatkas
23. Juni	12:45:06	51.59 N	159.51 E	33	5.3	6.1		Vor der Ostküste Kamtschatkas
15. Juli	00:13:29	46.02 N	5.98 E	5	4.5	4.5	4.3	Frankreich; bei Cruseilles 1 Leichtverletzter und geringe Schäden (Int.=VI). Bei Annecy stark verspürt, Weit verspürt bis Lyon, in den französischen Alpen und in der Nordwest-Schweiz
15. Juli	21:23:34	17.60 N	100.97 W	18	5.7	6.5		Guerrero, Mexiko; bei Acapulco, Ixtapa und Mexiko City stark verspürt.
16. Juli	03:48:29	56.08 N	165.00 E	33	5.8	6.4		Komandorsky-Inseln
16. Juli	10:07:40	1.02 N	120.25 E	33	6.0	6.4		Halbinsel Minahassa, Sulawesi; einige Schäden im Gebiet von Tolitoli, in weiten Teilen von Nordwest-Sulawesi verspürt.
20. Juli	00:00:42	36.15 N	27.10 E	33	5.7	6.2		Dodekanes-Inseln
22. Juli	14:19:36	1.00 N	120.45 E	33	6.0	6.9		Halbinsel Minahassa, Sulawesi
23. Juli	03:32:13	26.75 S	177.20 W	33	5.8	6.4		Südlich der Fidschi-Inseln
23. Juli	05:20:04	26.77 S	177.25 W	33	5.7	6.2		Südlich der Fidschi-Inseln

Datum	Herdzeit hh:mm:ss	Koordinaten		Tiefe (km)	Magnitu- den			Region
		Breite	Länge		mb	MS	ML	
30. Juli	17:38:31	14.51 N	119.95 E	33	6.1	5.7		Luzon, Philippinen; einige Schäden im Epizentralgebiet. Im Angeles, Baguio, Manila, Olongapo und Tagaytay verspürt.
02. Aug	12:55:29	10.77 S	161.45 E	33	6.2	7.1		Solomon-Inseln; bei Honiara mit Int.=V verspürt
05. Aug	02:08:58	15.27 S	173.13 W	41	6.0	6.7		Tonga-Inseln; mit Int.=III bei Apia, West Samoa, verspürt.
05. Aug	22:38:22	20.69 S	178.31 W	550	6.4			Region der Fidschi-Inseln; auf Raoul, Kermadec Inseln, verspürt mit Int.=II.
10. Aug	11:20:20	4.94 S	152.13 E	33	5.6	6.0		Region Neubritannien, Papua Neuguinea
10. Aug	18:12:17	38.91 N	140.53 E	10	6.0	5.7		Ost-Honshu, Japan; sechs Verletzte in der Präfektur Yamagata; vier Verletzte und 15 beschädigte Häuser in der Präfektur Miyagi. Mit Int.=V im Gebiet Kurikoma verspürt, sowie mit Int.=IV bei Shinjo und mit Int.=III bei Ichonseki und Oga.
14. Aug.	01:55:03	40.75 N	35.34 E	10	5.3	5.6		Türkei, 9 Verletzte durch Erdrutsch bei Oymaagac sowie einige Schäden in Amasya. An weiteren Orten stark verspürt.
15. Aug	07:33:51	13.30 S	166.84 E	33	5.7	6.0		Vanuatu-Inseln
25. Aug	14:09:03	1.08 S	78.67 W	51	5.1	4.2		Ecquador; im Gebiet von Ambato 2 Verletzte und mehrere zerstörte Häuser
28. Aug	16:53:12	59.99 S	149.94 E	10	5.3	6.1		Westlich der Macquarie-Inseln
05. Sep	08:14:15	22.12 S	113.44 W	10	6.2	7.0		Region Osterinsel; lokaler Tsunami mit Wellenhöhe von 18 cm auf den Osterinseln beobachtet.
05. Sep	20:44:09	42.80 N	17.94 E	10	5.6	6.0		Adriatisches Meer; im Ston-Slano Gebiet, Kroatien, einige Verletzte, 2 000 Obdachlose und beträchtliche Schäden (Int.=VIII). In weiten Teilen von Albanien, Mazedonien sowie von Bosnien und Herzegowina verspürt.
05. Sep	23:42:06	21.90 N	121.50 E	20	6.4	6.6		Region Taiwan; auf Taiwan und bei Luzon, Philippinen, verspürt.
06. Sep	17:03:47	7.31 S	155.89 E	33	5.6	6.1		Solomon-Inseln
09. Sep	00:20:39	31.90 S	71.56 W	39	6.0	5.5		Nahe der Küste von Zentral-Chile; einige Backsteinhäuser im Epizentralgebiet beschädigt. An vielen Orten Argentiniens verspürt.
11. Sep	02:37:15	35.54 N	140.94 E	55	6.1	5.7		Nahe der Ostküste von Honshu, Japan; verspürt bei Sawara in der nördl. Präfektur Chiba sowie bei Tokio, Teilen der Präfektur Kona-gawas und auf der Halbinsel Izu.
14. Sep	13:10:54	10.88 S	165.99 E	73	6.0	6.0		Santa-Cruz-Inseln
20. Sep	00:03:18	9.60N	126.29 E	33	5.8	6.2		Mindanao, Philippinen; verspürt bei Butuan und Surigao, ebenso auf Leyte.
20. Sep	04:10:28	9.46N	126.28 E	33	5.8	6.4		Mindanao, Philippinen; bei Butuan und Suri-gao verspürt, ebenso auf Leyte.

Datum	Herdzeit hh:mm:ss	Koordinaten		Tiefe (km)	Magnitu- den			Region
		Breite	Länge		mb	MS	ML	
20. Sep	12:24:42	9.45N	126.54 E	33	5.4	6.0		Mindanao, Philippinen
24. Sep	11:42:19	15.19 N	61.44 W	147	6.0			Leeward-Inseln
02. Okt	09:48:02	11.76 N	125.48 E	33	6.0	6.4		Samar, Philippinen
02. Okt	11:24:48	45.13 N	151.17 E	33	6.1	5.4		Kurilen
06. Okt	20:13:09	49.05 N	127.88 W	10	5.8	6.3		Region Vancouver Island
09. Okt	13:10:52	34.56 N	32.13 E	33	6.4	6.8		Zypern; auf Zypern ein Toter und 20 verletzte, ein Toter in Ägypten; verspürt in Jordanien, Israel, Libanon und Syrien.
10. Okt	15:21:05	3.45 N	97.94 E	33	5.7	6.1		Nord-Sumatera, Indonesien
14. Okt	23:26:20	7.13 S	155.57 E	24	5.9	6.9		Solomon-Inseln; stark verspürt auf den Inseln Treasury und Shortland.
18. Okt	10:50:21	30.57 N	131.09 E	10	6.0	6.6		Kyushu, Japan
18. Okt	11:19:19	0.39 N	126.22 E	44	5.6	6.3		Nördliche Molukken-See
19. Okt	14:44:41	31.89 N	131.47 E	22	6.3	6.6		Kyushu, Japan
19. Okt	14:53:49	20.41 S	178.51 W	591	6.1			Region der Fidschi-Inseln
24. Okt	19:31:54	66.99 N	173.23 W	20	6.0	5.9		Nahe der Nordküste Ost-Siberiens
04. Nov	17:24:57	7.31 N	77.39 W	14	6.0	6.0		Grenzgebiet Panama-Kolumbien
06. Nov	20:00:59	28.00 N	143.54 E	9	6.4	6.5		Bonin-Inseln
07. Nov	06:10:17	9.79 N	126.34 E	33	5.7	6.0		Mindanao, Philippinen
12. Nov	16:59:44	14.99 S	75.68 W	33	6.5	7.3		Nahe der Küste Perus; mindestens 14 Tote, 560 Verletzte und 12 000 Obdachlose in der Region von China Alta bis Acari. Bei Nazca (Int.=VIII) wurden über 4 000 Häuser zerstört. In hohen Gebäuden bis Guayaquil, Ecuador, und La Paz, Bolivien, verspürt. Das Beben steht im Zusammenhang mit der Subduktion des Nazca Rückens unter die südamerikanische Platte.
19. Nov	10:44:46	35.35 N	78.13 E	33	6.1	7.1		Östliches Kashmir; verspürt in einigen Orten Chinas.
02. Dez	22:17:59	31.79 N	131.31 E	49	6.0	6.6		Kyushu, Japan; verspürt im Süden der Präfektur Miyazaki und von Fukuoka bis Kagoshima. Kleiner Tsunami entlang der Küste Kyushus beobachtet.
03. Dez	12:56:57	18.35 S	172.28 W	33	6.0	6.0		Tonga-Inseln
09. Dez	11:28:49	29.85 N	42.86 W	10	5.9	6.1		Nord-Mittelatlantischer Rücken
10. Dez	08:36:19	0.87 N	30.04 W	10	6.0	6.2		Zentral-Mittelatlantischer Rücken
22. Dez	14:53:28	43.21 N	138.92 E	227	6.0			Östliche Japan-See
26. Dez	20:48:23	2.24 S	138.94 E	33	6.0	6.1		Region Irian Jaya, Indonesien
30. Dez	19:41:52	3.99 S	128.11 E	33	6.0	5.9		Seram, Indonesien

4 BEGRIFFSERLÄUTERUNGEN

Bodenverflüssigung: (engl.: liquefaction) Prozess, bei dem Sedimente unterhalb des Grundwasserspiegels ihre Festigkeit verlieren und sich wie eine viskose Flüssigkeit verhalten. Dieser Effekt kann durch seismische Wellen, vorzugsweise Scherwellen, beim Durchlaufen gesättigter granularer Sedimentschichten durch Erhöhung des Porenwasserdrucks hervorgerufen werden. Sobald der Porenwasserdruck derart zunimmt, dass er einen Wert erreicht der dem des durch das Gewicht der darüberliegenden Bodenschicht erzeugten Druck entspricht, verliert die granulare Sedimentschicht ihr Festigkeit und verhält sich wie eine Flüssigkeit. Dieser Fall wird als Bodenverflüssigung bezeichnet.

Epizentralintensität: Maximale → Intensität des Bebens im → Epizentrum.

Epizentrum: Projektion des → Hypozentrums auf die Erdoberfläche, charakterisiert durch die geographischen Koordinaten.

Gebirgsschlag: Begriff aus Bergbau bzw. Felsbau. Heftiger Bruch im Gebirge mit schädlichen Einwirkungen auf Grubenbaue bzw. Felsbauwerke. Andere, möglicherweise durch Bergbau oder Felsbau induzierte seismische Ereignisse, z.B. Scherbrüche im Deckgebirge über Abbaubereichen, die keine sichtbaren Auswirkungen auf untertägige Hohlräume haben, werden im deutschen Sprachgebrauch nicht als Gebirgsschlag bezeichnet.

GMT: Abkürzung für Greenwich Mean Time, veraltet für → UT (engl. Universal Time).

Herdflächenlösung: (engl. fault plane solution) Stereographische Projektion der Richtungen der ersten Bodenbewegung (abgelesen aus Seismogrammen) auf eine den Erdbebenherd umschließend gedachte Kugel. Daraus lassen sich die Orientierung der beiden möglichen Herdflächen, die Richtungen der Herddislokation auf diesen beiden Herdflächen und die Richtungen der Hauptspannungen ableiten.

Herdtiefe: Tiefe des Erdbebenherdes. Man unterscheidet zwischen Flachbeben (bis 65 km), mitteltiefen Beben (65 km - 300 km) und Tiefbeben (über 300 km). Die bisher größte beobachtete Herdtiefe eines Bebens lag bei 720 km.

Herdzeit: Beginn des Erdbebenprozesses. Die Herdzeit wird in → UT angegeben.

Hypozentrum: Ort des Erdbebenherdes, charakterisiert durch die geographischen Koordinaten und die → Herdtiefe.

Intensität: Beschreibt das Ausmaß der Einwirkung seismischer Wellen und Dislokationen an der Erdoberfläche auf Menschen, Bauwerke und Landschaft. Zur Klassifizierung wird die 12-gradigen Skalen MSK 1964 (MEDVEDEV, SPONHEUER, KARNIK) bzw. EMS 1998 (GRÜNTAL) verwendet. Eine Kurzcharakteristik der aktuellen EMS-98 Skala gibt die **Tabelle 4** wieder. Vergleicht man zwei Beben gleicher → Magnitude, d.h. gleicher Energie, aber unterschiedlicher → Herdtiefe, so wird das flache Beben eine große → Epizentralintensität erzeugen bei vom → Epizentrum nach außen rasch abnehmender Intensität; der tiefe Herd wird

Erschütterungen geringer Intensität über eine große Fläche erzeugen, wobei die Abnahme der Intensität vom → Epizentrum nach außen nur langsam erfolgt.

Isoseiste: Gebiete gleicher → Intensität werden durch Isoseisten umschlossen. Die kartenmäßige Darstellung aller Isoseisten eines Bebens wird als makroseismische Karte bezeichnet.

Isoseistenradius: Im Idealfall sind → Isoseisten konzentrische Kreise um das → Epizentrum, deren Radien mit geringer werdender → Intensität immer größer werden. Bei unregelmäßigem Isoseistenverlauf wird der Radius des dem Schütterbereich entsprechenden flächengleichen Kreises übernommen.

Kompressionswelle: Seismische Welle, deren Bewegung einer sich spannenden und sich wieder entspannenden Spiralfeder gleicht. Die Erschütterungen des Bodens erfolgen in Richtung und gegen die Richtung der sich ausbreitenden Welle.

Lokale Magnitude (ML): Auch Nahbebenmagnitude genannt, ist die älteste Form einer Magnitudenbestimmung (oft als Richter-Magnitude bezeichnet). Berechnet wird ML unter Verwendung der maximalen Amplitude kurzperiodischer Horizontalseismographen. Die Epizentralentfernung muß kleiner 1000 km, die → Herdtiefe darf nicht größer als etwa 20 km sein.

Magnitude: Seit Erdbeben mit Seismographen aufgezeichnet werden, können im Gegensatz zur → makroseismischen Beschreibung objektive Angaben über die Stärke eines Erdbebens gemacht werden. C.F. Richter führte 1935 den Begriff der Magnitude (Abk. M) als Maß der von einem Beben freigesetzten seismischen Wellenenergie ein. Wie alle später aufgestellten Magnitudenskalen (→ Raumwellenmagnitude, → Oberflächenwellenmagnitude, → Momentenmagnitude) handelt es sich um eine logarithmische Energieskala. Die Zunahme um eine Magnitudeneinheit bedeutet dabei eine Vergrößerung der Energie um das 30-fache. Für das bisher größte aufgezeichnete Beben, das 1964 in Alaska stattfand, wird eine Magnitude von $M = 8.8$ angegeben. Dies entspricht einer freigesetzten Wellenenergie von über 10^{24} erg. Die Energie der größten bislang gezündeten Wasserstoffbombe mit 3.2 Mt (entsprechend 10^{21} erg) war um mehr als das 1000-fache schwächer. Die von RICHTER aufgestellte Magnitudenbestimmung wird auch heute noch unter der Bezeichnung → lokale Magnitude (Abk. ML) verwendet.

Makroseismik: Nicht-instrumentelle Beschreibung der Auswirkungen eines seismischen Ereignisses.

Makroseismische Magnitude (MK): Empirisch gefundene Beziehung zwischen → Epizentralintensität I_0 und → Herdtiefe h zur Magnitude MK . Für Mitteleuropa gilt:

$$MK = 0.5 I_0 + \log h + 0.35$$

MK entspricht in etwa der instrumentell ermittelten → Oberflächenwellenmagnitude.

Momentenmagnitude (M_w): (engl. Moment Magnitude). Wird nach einer Definition von HANKS und KANAMORI (1979) aus dem skalaren → seismischen Moment nach der Formel:

$$M_w = (\log M_0)/1.5 - 10.7$$

berechnet, wobei M_0 in dyne-cm angegeben wird. Die vom USGS angegebenen Werte für M_w basieren auf dieser Relation.

Oberflächenwellenmagnitude (Ms): (engl. Surface Wave Magnitude). B. GUTENBERG und C.F. RICHTER führten 1936 diese Magnitudendefinition ein, deren Bestimmung über die maximalen Amplituden der von einem seismischen Ereignis ausgelösten Oberflächenwellen erfolgt.

P-Welle: (→Kompressionswelle). P-Welle steht für Primärwelle oder auch für die englische Bezeichnung „Pressure wave“ (Druckwelle).

Raumwellenmagnitude (mb): (engl. Body Wave Magnitude). Diese Magnitudendefinition ist 1945 von B. GUTENBERG eingeführt worden. Ihre Bestimmung erfolgt über die maximalen Amplituden der von einem seismischen Ereignis abgestrahlten Kompressionswellen.

Scherwelle: (engl. Shear Wave). Seismische Welle, die sich ähnlich wie eine Seilwelle ausbreitet und Bodenbewegung senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung hervorruft.

Schüttergebiet: Fläche des Gebietes, in dem das Beben überhaupt verspürt wurde.

Schütterradius: Mittlerer Radius der Fühlbarkeit des Erdbebens; oft als makroseismische Reichweite bezeichnet.

Seismisches Moment (Mo): Der Begriff „Seismisches Moment“ zur Charakterisierung der Stärke eines Erdbebens wurde gewählt, da dessen Dimension der des Drehmoments entspricht. Die Bestimmung von Mo basiert auf physikalischen Parametern, die den Bruchvorgang im Erdbebenherd charakterisieren und durch die Größe der Bruchfläche, den mittleren Betrag der Verschiebung und durch den zur Überwindung der Festigkeit des Gesteins benötigten Druck definiert ist.

S-Welle: (→Scherwelle). auch Sekundärwelle (engl. Secondary Wave).

Tsunami: Langperiodische Wasserwellen (Periode bis 60 min. und länger), die ausgelöst werden durch stärkere Erdbeben (→ $M_s \geq 6$) und vulkanische Explosionen im marinen Bereich. Auf offener See nicht erkennbar, steilen sich die Wellen des Tsunami im flachen Küstenbereich zu großen Höhen (bisher beobachtete max. Höhe 30 m) auf.

UT: Abkürzung für Universal Time, vormalig → GMT (engl. Greenwich Mean Time), auch als Weltzeit bezeichnet.

Tabelle 4: Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-98

Die Kurzform der Europäischen Makroseismischen Skala EMS - 1998 (GRÜNTHAL, 1998) stellt eine sehr starke Vereinfachung und Generalisierung der ausführlichen Fassung dar. Sie kann z.B. zu Ausbildungszwecken und zur Abschätzung von makroseismischen Intensitäten herangezogen werden.

EMS Inten- sität	Definition	Beschreibung der maximalen Wirkungen (stark verkürzt)
I	nicht fühlbar	Nicht fühlbar.
II	kaum bemerkbar	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
III	schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern.
IV	deutlich	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
V	stark	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.
VI	leichte Gebäude- schäden	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von z. B. kleinen Verputzteilen.
VII	Gebäude- schäden	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden.
VIII	Schwere Gebäude- schäden	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d.h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
IX	zerstörend	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
X	sehr zerstörend	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
XI	verwüstend	Die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und -ausführung, werden zerstört.
XII	vollständig verwüstend	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört.

5 WEITERFÜHRENDE LITERATUR (AUSWAHL)

- AHORNER, L., MURAWSKI, H. und G. SCHNEIDER, (1970): Die Verbreitung von schadenverursachenden Erdbeben auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. -- Zschr.f.Geophys., 36.,S.313-343; Würzburg.
- BERCKHEMER, H., (1990): Grundlagen der Geophysik. -- Wiss. Buchgesellschaft Darmstadt.
- BOLT, B. A., (1995)–Erdbeben. -- Spektrum Verlag
- GRÜNTAL, G., (1998): European Macroseismic Scale 1998. -- Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Vol. 15, Luxembourg.
- HECK, H.D. und R. SCHICK, (1980): Erdbebengebiet Deutschland. An der Rißnaht Europas: Bebenursachen und Abläufe. – Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart. W.H. Freeman & Co., San Francisco and London.
- HURTIG, E. und STILLER, H., (1984): Erdbeben und Erdbebengefährdung. – Akademie Verlag Berlin.
- LAY, T. und WALLACE, T. C., (1995): Modern Global Seismology. -- Academic Press.
- NEUMANN, W., JACOBS, F., TITTEL, B., (1986): Erdbeben. -- Teubner Verlagsgesellschaft.
- SCHNEIDER, G., (1975): Erdbeben. -- Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHNEIDER, G., (1980): Naturkatastrophen. -- Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHNEIDER, G. (1992): Erdbebengefährdung. -- Wiss. Buchgesellschaft Darmstadt.
- STROBACH, K., (1983): Vom Urknall zur Erde. Werden und Wandlung unseres Planeten im Kosmos. – Verlag J. Neumann-Neudamm, Melsungen.
- STROBACH, K., (1991): Unser Planet Erde - Ursprung und Dynamik. -- Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart.