



**Bauhaus-Universität
Weimar**



**Magnitudenorientierter Erdbebenkatalog für deutsche und
angrenzende Gebiete
EKDAG – erweiterter Ahorner-Katalog**

Version 1.0 (März 2010)

J. Schwarz, S. Beinersdorf, H. Meidow und L. Ahorner[†]

A. ERLÄUTERUNG

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
1 Einleitung	4
2 Datenbasis	7
2.1 Arbeiten von Prof. Ahorner-Katalog 1996	7
2.1.1 Frühe Manuskripte	8
2.1.2 Datenfile mit Bearbeitungsstand 1996	10
2.1.3 Datenfile mit Bearbeitungsstand 1998 – 2003	11
2.2 Fortführung der Arbeiten	11
2.2.1 Einarbeitung weiterer Erdbebenkataloge	11
2.2.2 Reinterpretation und Neubewertungen von historischen Erdbeben	15
3 Datenaufbereitung	16
3.1 Katalogzusammenführung	16
3.1.1 Konfliktfälle	18
3.1.2 Datenbereinigung	19
3.2 Ergänzungen und Korrekturen	19
3.3 Vervollständigung der Magnituden	20
3.3.1 Basisdaten	20
3.3.2 $M_L - M_w$	24
3.3.3 $M_k - M_w$	26
3.3.4 $M_{L,i} - R_m$	27
3.3.5 $M_{L,i} - I_0$	28
3.3.6 $M_{w,i} - I_0$	29
3.3.7 $M_{L,i} - I_0, h_0$	30
3.3.8 $M_{w,i} - I_0, h_0$	31
3.4 Abgleich instrumenteller und makroseismischer Magnituden	32
3.5 Abgleich der Regressionen mit dem Ausgabekatalog	36
4 Aufbereitung makroseismischer Schütterkarten	42
5 Diskussion und Ausblick	43
Danksagung	45
Literaturverzeichnis	46
Abbildungsverzeichnis	49
Tabellenverzeichnis	52
Anhang 1 Einige Veröffentlichungen von Prof. Dr. Ludwig Ahorner	53

Vorwort

Der Geologe und Seismologe Prof. Dr. Ludwig Ahorner leitete insgesamt 35 Jahre lang, bis zu seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst 1995 die Erdbebenstation Bensberg und die spätere Abteilung für Erdbebengeologie am Geologischen Institut der Universität zu Köln.

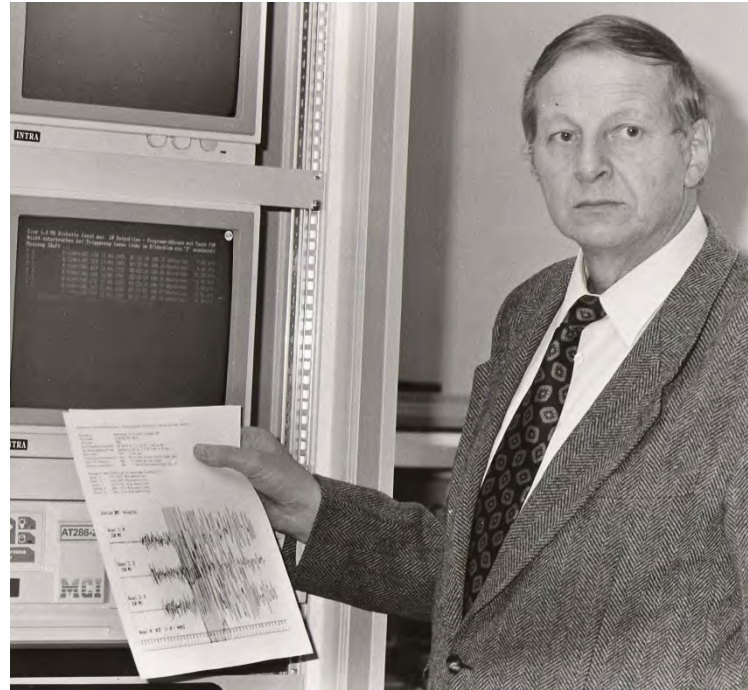
Zu den Randgebieten der Tätigkeit von Ahorner gehört die systematische Aufbereitung und kontinuierliche Pflege eines Katalogs, der als „Ahorner-Katalog“ bekannt geworden ist und in dem vorliegenden Dokument in einer aktualisierten Version herausgegeben wird, s.a. (Ahorner *et al.*, 2006). Nachdem vorangegangene Erdbebenkataloge für Deutschland sich vornehmlich auf die Auswertung und Wiedergabe markanter Schütterwirkungen beschränkten, erkannte Ahorner bereits Anfang der 50-er Jahre, dass die Intensität für die ingenieurrelevanten Fragestellungen allein nicht ausreichend sein kann, sondern dass über die Lokalmagnitude M_L der Beben wesentliche Informationen instrumentell abgesichert werden können. Woraus sich konsequent auch die Notwendigkeit ergab, historische (instrumentell nicht aufgezeichnete) Beben hinsichtlich ihrer Magnitude zu bewerten. In seinem Erdbebenkatalog wird die lokale Magnitude entsprechenden Ereignissen zugeordnet und auf der Grundlage einer statistisch repräsentativen Datenbasis aus anderen Katalogdaten ergänzt

Die makroseismische Reinterpretation historischer Ereignisse ist nicht nur ein spannendes Arbeitsgebiet, sondern war auch notwendig, um über den Erdbebenkatalog eine belastbare Auslegungsgrundlage für kerntechnische und andere sicherheitsrelevante Anlagen zur Verfügung zu stellen.

Auch nach seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst hat Ludwig Ahorner sich weiter intensiv der Pflege und Aktualisierung seines Kataloges gewidmet. Von einigen historischen Erdbeben ist aufgrund der von ihm noch durchgeführten Arbeiten bekannt, dass die damaligen Katalogeinträge einer kritischen Überprüfung bedürfen.

Um hier eine Klärung und Abschluss zu erzielen, konnte als Ideen- und Ratgeber gewonnen werden. In verschiedenen Beratungen wurde die konzeptionellen Grundlagen des Kataloges abgestimmt und der Basis-Datensatz festgelegt. Anhand des als belastbar eingeschätzten Datensatzes von Erdbeben mit instrumentell ermittelten Magnitudenangaben erfolgte ausgehend von den durch (Ahorner, 2003) eingebrachten Beziehungen die Entwicklung der zur Vervollständigung des Kataloges hinsichtlich der Magnituden M_L und M_W erforderlichen Regressionen. Noch unpublizierte Ausarbeitungen wurden zur Verfügung gestellt.

Am 14. Mai 2007 ist Prof. Dr. Ludwig Ahorner verstorben. Die Herausgabe und Weiterentwicklung „seines“ Erdbebenkataloges mögen in großer Wertschätzung und Dankbarkeit vermitteln, dass er Herausragendes und Bleibendes für das Erdbebeningenieurwesen geleistet hat.



Ludwig Ahorner im Jahre 1992 vor dem digitalen Datenerfassungssystem der Erdbebenstation Bensberg mit einer Registrierung des Erdbebens von Roermond 1992; Foto: E. Ahorner

Seine Verdienste für das Erdbebeningenieurwesen sind von Schwarz und Meidow (2008) im Mitteilungsblatt der Erdbebengesellschaften Deutschland, Österreichs und der Schweiz (D-A-CH) gewürdigt worden (siehe Anhang 2).

1 Einleitung

Für deutsche Erdbebengebiete gibt es im Gegensatz zu anderen Ländern, bei denen historische Erdbebendaten durch einen nationalen Erdbebendienst hoheitlich gepflegt, aktualisiert und somit auf dem aktuellen Stand gehalten werden, keine vergleichbare Institution, die für eine solche Aufgabe autorisiert und längerfristig mit den erforderlichen Kapazitäten ausgestattet wäre. Neben dem hier vorgestellten Erdbebenkatalog kommt der Katalog von Leydecker (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, 2006)) diesen Merkmalen gegenwärtig noch am nächsten, da sie regelmäßig aktualisiert werden, und aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse (u.a. zu Neuinterpretationen historischer Ereignisse) aufgreifen. Der Erdbebenkatalog von Leydecker ist in seiner Zusammensetzung auf diverse Vorgängerkataloge zurückzuführen, wobei als wesentliche Quellen (Ahorner *et al.*, 1970; Grünthal, 1988; Leydecker, 1986; Sieberg, 1940a, 1940b; Sponheuer, 1952) zu nennen sind. Zu einem Datenfile zusammengefasst bildet der Katalog von Ereignissen die Grundlage für ingenieurpraktische Anwendungen.

Den Erdbebenkatalogen für deutsche und angrenzende Erdbebengebiete ist gemein, dass sie auf die beobachteten Schütterwirkungen und somit auf die makroseismische Intensität als belastbarer Basisgröße konzentrieren müssen.

Hier kommt dem in mehr als 40 Jahren und im Ergebnis der durchgeführten seismologischen Überwachung und instrumentellen Auswertung als Arbeitsversion erarbeiteten Erdbebenkatalog von Prof. Dr. Ludwig Ahorner (Ahorner, 1996) eine Ausnahmestellung zu. Der Vorzug des von Prof. Ahorner in langjähriger Tätigkeit permanent aktualisierten und am Maßstab geologisch-tektonischer Bedingungen verifizierten Erdbebenkataloges ist, dass die Beben in einer einheitlichen Form durch Magnituden beschrieben werden. Diese Magnitudeneinträge (Nahbebenmagnitude M_L) sind Voraussetzung, um in probabilistischen Gefährdungsberechnungen aktuelle Modelle zur Beschreibung der seismischen Bodenbewegung (in Form so genannter spektraler Abnahmebeziehungen oder auch „attenuation functions“) Abnahmebeziehungen zur Anwendung bringen zu können.

Der Katalog von Ahorner unterscheidet sich von anderen magnitudenorientierten und publizierten Katalog dadurch, dass mit der Nahbebenmagnitude ein direkter Bezug zu den seismischen Registrierungen gegeben ist, während dessen die Momentenmagnitude M_W Herdlösungen voraussetzt, die nur in Ausnahmefällen bestimmt bzw. angegeben werden können. Er bietet zudem den Vorteil, dass mit ihm neuartige Konzepte der probabilistischen Gefährdungsanalyse umgesetzt werden können, die einen homogenen Daten-File auf Magnitudenbasis voraussetzen.

Um diese, insbesondere für das praktische Ingenieurwesen wertvollen Grundlagenarbeiten zu bewahren, war es erforderlich, die Arbeitsversion zu überarbeiten, zu vervollständigen und durch aktuelle Ereignisse zu ergänzen. Mit der Zielstellung, den Katalog in einer breiteren Form und Öffentlichkeit wirksam zu machen bzw. zur Verfügung zu stellen, konnte Prof. Ahorner gewonnen werden, an der Herausgabe seines Kataloges unter Einbeziehung und Spiegelung anderer fortgeschrittener Katalogarbeiten

mitzuwirken, wobei hier auch der magnituden-orientierter Katalog von (Grünthal & Wahlström, 2003) hervorzuheben ist.

Der vorliegende Erdbebenkatalog gliedert sich in folgende 3 Teilbereiche:

- **Teil A – Erläuterung**, welche Hinweise zu Überarbeitung des Ahorner-Kataloges (Ahorner, 1996), dessen Ergänzung enthält sowie die verwendeten Regressionen zur Auffüllung der Magnituden,
- **Teil B – Erdbebenkatalog**, mit den Daten der Erdbeben selbst (s.a. Abb. 1.1 i, \ddot{Y}) und
- **Teil C – Makroseismische** Schütterkarten, mit ausgewählten makroseismischen Schütterkarten (s.a. Abb. 1.1 i) und zugehörigen Informationen, wie makroseismischen Beobachtungspunkten, Quelleninformationen und Schadensfotos sofern vorhanden.

In Teil A des Erdbebenkataloges wird auf die Entwicklung des Ahorner-Kataloges (Ahorner, 1996), die Vorgehensweise zu seiner Ergänzung und Kontrolle der Datensätze eingegangen (Abs. 2 und 3) sowie die verwendeten Regressionen werden vorgestellt (Abs. 3.3 ff.).

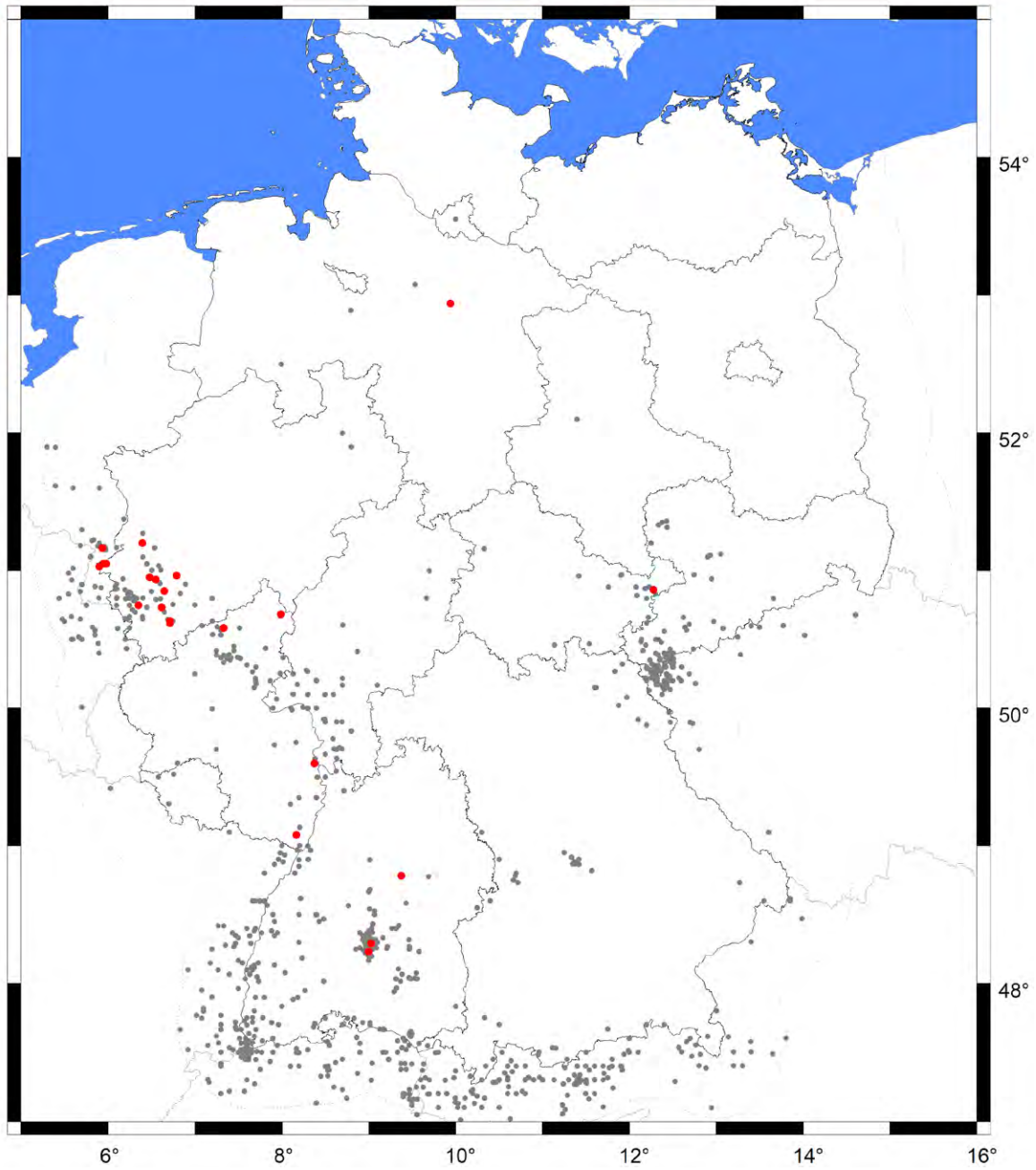


Abb. 1.1 Übersicht des vom Erdbebenkatalog EKDAG (Y) abgedeckten Gebietes mit einem Puffer von 50 km mit Kennzeichnung der Teil C näher behandelten Erdbeben (I)

2 Datenbasis

Die im Katalog aufgeführten Erdbebenparameter orientieren sich an den grundlegenden Anforderungen hinsichtlich probabilistischer und deterministischer seismischer Gefährdungsanalysen sowie darauf aufbauender Forschungsvorhaben. Alle Erdbeben sollen bezüglich Zeitpunkt, Ort und Stärke eindeutig definiert werden. Damit ergeben sich die folgenden Parameter (s.a. Teil B – Erdbebenkatalog).

ID	ID	Nummer des Datensatzes
Datum	y	Jahr
	m	Monat
	d	Tag
Herdzeit	h	Stunde
	min	Minute
Koordinaten	Lon.	Longitude (geogr. Länge in Dezimalgrad)
	Lat.	Latitude (geogr. Breite in Dezimalgrad)
Herdtiefe	h_0	in km
Magnituden	M_L	Lokalbeben-Magnitude Typ (i – instrumentell / m – makroseismisch / r – regressiv / – <i>unbekannt</i>)
	Quelle M_L	Quelle der Magnitude
	M_W	Moment-Magnitude Typ (i - instrumentell / m - makroseismisch/ r – regressiv / – <i>unbekannt</i>)
	Quelle M_W	Quelle der Magnitude
Intensität	I_0	Epizentralintensität (unsichere Epizentralintensität)
Schütterradius	R_f	Fühlbarkeitsradius des Erdbebens in km
Ortsangabe	Ort	allgemeine Ortsbeschreibung zur Lage des Epizentrums
Datenquelle	Quelle	aktuelle Datenquellen zum entsprechenden Erdbeben [Erdbebenkatalog]
Anmerkungen	Anm.	K...makroseismische Schütterkarten im Teil C des Kataloges

2.1 Arbeiten von Prof. Ahorner-Katalog 1996

Bereits kurz nachdem Ludwig Ahorner 1960 seine langjährige Tätigkeit zunächst als Assistent später als Hauptobservator und schließlich als Leiter der Erdbebenstation der Universität zu Köln in Bensberg aufnahm, begannen auch seine ersten Arbeiten an einem Erdbebenkatalog. Naheliegendermaßen konzentrierten sich die Arbeiten stets insbesondere auf die Rheinlande gewissermaßen dem Kerngebiet seiner wissenschaftlichen Arbeit. Darüber hinaus wurde aber seine Katalogarbeit im Zuge der Forschungen zur Erdbebengefährdung auf ganz Deutschland und das benachbarte Ausland ausgedehnt.

2.1.1 Frühe Manuskripte

Zunächst konzentrierte sich seine Tätigkeit in Bezug auf die noch nicht instrumentell registrierten historischen Erdbeben auf das Sammeln und Zusammentragen der erdbebenrelevanten Informationen aus den allgemein bekannten klassischen Erdbebenkatalogen von (Sieberg, 1940a) und (Sponheuer, 1952). Daneben erstreckte sich die Recherche aber auch auf Erdbebenkataloge aus dem benachbarten Ausland wie beispielsweise diejenigen von (Perrey, 1847) oder (van Rummelen, 1945) sowie auf Publikationen zu einzelnen historischen Erdbeben wie beispielsweise eine über das Erdbeben von St.Goar 1846 von (Nöggerath, 1847).

Erst später wurden von Ahorner aufgrund der erkannten Notwendigkeit insbesondere bei wichtigen historischen Erdbeben auch die noch recherchierbaren zeitgenössischen Quellen zu untersuchen eigenständige Forschungsarbeiten zu historischen Erdbeben angeregt und wissenschaftlich begleitet (u.a. (Meidow, 1995)).

Als erste Datenbasis für die jüngeren instrumentell registrierten Erdbeben dienten die von den europäischen Erdbebenstationen meist jährlich herausgegebenen Stationsbulletins in denen die Einsatzzeiten und Auswertungen der Registrierungen dokumentiert wurden. Über mehrere Jahre hinweg besuchte Ahorner selbst die besonders relevanten Stationen zum Beispiel in Straßburg, Göttingen oder Uccle um persönlich die archivierten Registrierungen einer aktualisierten Auswertung zu unterziehen.

Besonderes Augenmerk lag bei allen Auswertungen auf einer sorgfältigen Bestimmung oder Abschätzung der Magnitude der untersuchten Erdbeben. Die Magnitude wurde von Ahorner stets als wesentlicher Parameter zur Beschreibung der Erdbebenstärke betrachtet. Gegenüber der Epizentralintensität beschreibt sie die tatsächliche Erdbebenstärke im unterirdischen Herd und nicht die Auswirkungen des Erdbebens im Epizentralgebiet an der Erdoberfläche. Die Auswirkungen an der Erdoberfläche zeigen abhängig von der Herdtiefe bei ansonsten gleicher Erdbebenstärke in der Regel sehr deutliche Unterschiede. Insofern ist die Erdbebenmagnitude der deutlich besser geeignete Stärkeparameter, wenn es beispielsweise um die Untersuchung der Seismizitätsverteilung oder der Erdbebengefährdung an Standorten oder in Regionen geht.

Die Arbeiten an dem Erdbebenkatalog mündeten schließlich 1977 in ein teilweise handschriftliches und teilweise maschinengeschriebenes Manuskript „Erdbebenkatalog der Rheinlande und angrenzenden Gebiete von 1300 bis 1970“ (Ahorner, 1977). Das Manuskript war ursprünglich zum Druck in den Sonderveröffentlichungen des Geologischen Instituts Köln vorgesehen.

In der Abb. 2.1 ist eine Seite dieses Manuskripts über den Zeitraum Februar 1756 bis August 1759 wiedergegeben. Bei den handschriftlichen Eintragungen handelt es sich um später eingefügte Korrekturen und Ergänzungen.

Es finden sich Angaben zu Datum und Herdzeit und zum Epizentrum neben einer allgemeinen Ortsbeschreibung die geographischen Koordinaten in Dezimalgrad. Als Herdparameter werden die Herdtiefe (h), die Magnitude (M), die Epizentralintensität (I_0) und die Distanz zum Ort der am weitesten entfernten makroseismischen Beobachtung (R_{max}) aufgeführt. Die makroseismische Magnitude wurde in der Regel wahrscheinlich unter Heranziehung von (Sponheuer, 1962) bestimmt oder auf der Basis der angegebenen Epizentralintensitäten abgeschätzt. In der letzten Spalte befinden sich allgemeine Bemerkungen und die Quellenangaben zu dem entsprechenden Erdbeben.

Die handschriftlichen Änderungen dokumentieren, dass Ahorner auch nach Fertigstellung des Manuskriptes an dem Erdbebenkatalog weitergearbeitet hat. Die Angaben zum Epizentrum wurden durch UTM-Koordinaten (Universal Transverse Mercator, Rechtswert (Longitude) und Hochwert (Latitude) in m) ergänzt. Bei stärkeren Erdbeben wurden die Schüttergebietsfläche (F) der Schütterradius (R) und die Iseisenradien (r_x) ermittelt und ergänzt. Im vorliegenden Beispiel des Erdbebens von Düren 1756 mit $F = 320\,000\text{ km}^2$, $R = 320\text{ km}$, $r_6 = 68\text{ km}$ und $r_{7-8} = 15.5\text{ km}$. Darüber hinaus wurden die Magnitudenangaben auf Grundlage der von (Ahorner, 1983) selbst hergeleiteten Bestimmungsformel präzisiert.

Die kontinuierliche Weiterentwicklung des Erdbebenkataloges zeigt sich insbesondere auch darin, dass selbst die handschriftlichen Ergänzungen noch weitergehenden Korrekturen unterzogen wurden.

Datum und Herdzeit	Epizentrum Lat. Long.	h (km)	M (M_L (max))	I_0	R_{max} (km)	Bemerkungen und Quellenangaben
13/14. Febr. 1756 B 3 16 ^h , 3 ^h 30 ^m	Nordabfall der Eifel, bei Düren 5631.0 340.0 50.8°N 6.3°E	-	$M_L = 4.5 ?$ 4	[IV]	100	verspürt bis Lüttich, Köln, Düsseldorf und Dortmund (100km) (Sie)
18. Februar 1756 B 3 8 ^h	Nordabfall der Eifel, bei Düren (2. Hauptbeben) 50°48'N 6°28'E 5631.0 321.0	21-25 $h = 16\text{ km}$ Ahorner (16)	6 X 8 $M_L = 6.2 \pm 0.2$ $M_L = 6.2 \pm 0.2$ ($\alpha = 0.002$) $M_L = 6.04 \pm 0.01$ ($\alpha = 0.001, h = 16\text{ km}$) Sponheuer 1959	8	460 $R_{max} = 460\text{ km}$	2 Tote in Aachen; Bildung von Bodenspalten bei Hürtgen; leichte Gebäudezerstörungen im Gebiet zwischen Aachen, Jülich, Düren und Züllich; Haupt Haupt-Schadengebiet reicht bis Namur, Wesel und Koblenz (100-120km); verspürt bis Magdeburg (390km), Halle (390km), Heilbronn (270km), Strasbourg (270km), Paris (370km), Rouen (420km) und London (460km). Karten bei Sieberg (1940, Abb. 18 u. 19), Herdtiefe nach Sponheuer (1958): $h = 21-25\text{ km}$ 320 $F = 275\,000\text{ km}^2$, $R = 300\text{ km}$, $r_{7-8} =$ (Per, Nög, Lanc, Sie, Rum, Vis)
11. August 1758 B 3 10 ^h 45 ^m	Nordabfall des Hohen Venn, bei Aachen (50.8°N 6.1°E) 5632.0 296.0	-	$M_L = 4.2 ?$ 4	[IV]	90	Hauptstoß eines vom 17. Juni bis 15. September dauernden Erdbebenschwarmes; verspürt bis Duisburg (90km) (Sie)
23. August 1759 B 3 4 ^h 45 ^m	Nordabfall des Hohen Venn, bei Aachen (4) 50.8°N 6.1°E 5632.0 296.0	-	$M_L = 4.5 \pm 0.1$ (4 1/2) 7	[IV]	120	Hauptstoß eines vom Juni bis Dezember 1759 dauernden Erdbebenschwarmes; Schäden in Aachen; verspürt bis Jülich, Spa, Maas-tricht und Mecheln (120km) (Lanc, Sie, Rum, Vis)

Abb. 2.1 Handschriftliche Arbeiten zum Erdbebenkatalog Ahorner (1977)

2.1.2 Datenfile mit Bearbeitungsstand 1996

Mit zunehmender Verbreitung der ersten Einzelplatz-Rechner Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre bot sich die Möglichkeit, einen EDV-gestützten Erdbebenkatalog zu erarbeiten. Aus diesen ersten textbasierten „Datenbanken“ konnten mit Hilfe von teilweise von Ahorner selbst oder den Mitarbeitern an der Erdbebenstation Bensberg geschriebenen einfachen Programmen Katalogauszüge nach verschiedensten Auswahlkriterien generiert werden. Die wissenschaftliche Arbeit mit den Erdbebenkatalogen wurde wesentlich vereinfacht. Insbesondere wegen der zunehmenden Bedeutung der Katalogdaten für die an der Erdbebenstation Bensberg betriebenen Erdbebenrisikoforschung wurde neben einem Datensatz für das Rheinland „ER“ ein weiterer Datensatz für Deutschland und seine Randgebiete „ED“ angelegt.

Aufgrund des nur eingeschränkt vorhandenen Speicherplatzes und des auf 80 Zeichen pro Textzeile begrenzten Formates war mit dem Umstieg auf ein EDV-Format aber auch eine nicht zu vernachlässigende Reduktion der Informationsdichte verbunden. Zusätzliche Bemerkungen und Kommentare sowie ausführliche Quellenangaben konnten beispielsweise nicht übernommen werden.

In der Abb. 2.2 ist als Beispiel ein Ausdruck aus dem EDV Erdbebenkatalog für das Rheinland „ER“ über die Jahre 1223 bis 1756 abgebildet. Gespeichert wurden die Daten in dem in der zweiten Zeile wiedergegebenen Format. Angegeben sind das Datum (JJJJ MM DD) und die Herdzeit (HH MM SS.S) bis zur zehntel Sekunde, die UTM-Koordinaten (RRR.R HHHH.H) des Epizentrums mit einer Qualitätsangabe (Q) für die Genauigkeit, die Herdtiefe (TT.T) in km ebenfalls mit einer Qualitätsangabe (Q) für die Genauigkeit, die Lokalbeben-Magnitude (M.M) mit vorangestelltem Stern sofern diese

Datum	Herdzeit	Epizentrum	Tiefe	Mag	Int	Gebiet	Code
JJJJ MM DD	HH MM SS.S	RRR.R HHHH.H	Q TT.T	Q M.M	I.I R6 R2R AA	EEEEEEEEEEEEEE	CCT
1223 01 11	06 00 00.0	347.4 5633.7	0 00.0	0*4.5	7.0 00 070 00	KOELN	24T
1349 00 00	00 00 00.0	312.1 5634.7	0 00.0	0*5.0	7.0 00 000 00	JUELICH	22T
1395 06 11	03 00 00.0	325.0 5653.0	9 00.0	0*5.0	5.0 00 200 00	NIEDERRHEIN ?	21T
1456 08 26	02 00 00.0	271.0 5627.0	9 00.0	0*5.5	7.5 00 300 00	MAASTRICHT ?	23T
1531 07 12	00 00 00.0	304.0 5695.0	9 00.0	0*4.8	7.0 00 000 00	VENLO ?	21T
1563 03 22	00 00 00.0	270.0 5688.0	9 00.0	0*4.5	6.5 00 000 00	WEERT	21T
1640 04 04	03 15 00.0	331.0 5630.0	9 00.0	0*5.4	7.5 00 210 00	DUEREN	22T
1673 02 19	00 00 00.0	373.0 5611.0	9 00.0	0*4.5	7.0 00 075 00	ROLANDSWERTH	42T
1690 12 18	17 30 00.0	303.0 5631.0	9 00.0	0*5.1	7.0 00 200 00	AACHEN	23T
1699 04 22	00 00 00.0	276.0 5666.0	9 00.0	0*4.0	6.5 00 030 00	MAASEYCK	23T
1714 01 13	22 00 00.0	268.0 5639.0	9 00.0	0*4.3	7.0 00 090 00	MAASTRICHT	23T
1755 12 26	16 00 00.0	310.0 5631.0	9 13.0	0*5.1	6.5 00 120 00	GRESSENICH	22T
1755 12 27	00 00 00.0	306.1 5631.2	9 18.0	5*5.8	7.0 24 226 01	ESCHWEILER	22T
1755 12 27	03 00 00.0	306.1 5631.2	9 14.0	9*5.0	5.5 00 110 00	ESCHWEILER	22T
1755 12 27	09 00 00.0	308.1 5621.9	9 14.0	0*3.0	5.0 00 018 00	VICHT	23T
1756 01 26	04 00 00.0	313.0 5625.5	9 14.0	9*4.8	5.0 00 070 00	GRESSENICH	22T
1756 02 13	16 30 00.0	313.0 5625.5	9 14.0	9*4.5	4.0 00 060 00	GRESSENICH	22T
1756 02 14	03 30 00.0	313.0 5625.5	9 14.0	9*4.4	4.0 00 050 00	GRESSENICH	22T
1756 02 18	08 00 00.0	313.0 5625.5	9 14.0	5*6.1	8.0 56 324 02	GRESSENICH	22T
1756 02 18	09 20 00.0	313.0 5625.5	9 14.0	9*4.1	0.0 00 067 00	GRESSENICH	22T
1756 02 19	06 00 00.0	313.0 5625.5	9 14.0	9*4.9	4.5 00 092 00	GRESSENICH	22T

Abb. 2.2 Auszug aus dem Datenfile des Erdbebenkatalogs Ahorner (1996)

makroseismisch bestimmt wurde, die Epizentralintensität (I.I), der Radius für die Isoleiste VI (R6), der Schüttergebietsradius (R2R). In den letzten Spalten befanden sich Angaben zur Anzahl der Einzel-bzw. Hauptstöße (AA), zum Herdgebiet (EE...EE) zum seismologischen Gebiet entsprechend einer Entwurfseinteilung von Ahorner aus dem Jahre 1980 (CC) und zum Erdbebentyp (T).

2.1.3 Datenfile mit Bearbeitungsstand 1998 – 2003

Unsichere Daten wurden in späteren Versionen dieser Datei durch ein Fragezeichen in den noch vorhandenen freien Spalten gekennzeichnet. Die Dateien wurden bis 1997 von Ahorner kontinuierlich ergänzt und weitergeführt. Neue Erkenntnisse zu historischen Erdbeben wurden eingearbeitet. Etwa ab 1997 wurde die Aktualisierung des Erdbebenkataloges auf Ereignisse von regionaler Bedeutung beschränkt.

2.2 Fortführung der Arbeiten

Mit Start der umfangreichen Arbeiten an dem hier vorliegenden ingenieurseismologischen Erdbebenkataloges begann Ludwig Ahorner sich erneut intensiv mit seinem Katalog und den zugrundeliegenden Basisdaten zu beschäftigen. Zahlreiche von Ihm ausgehende Hinweise und Anregungen zum Datenformat, zum Inhalt und zu notwendigen Neubearbeitungen und Neubewertungen einzelner Erdbeben führten zu einer nicht unerheblichen Verbesserung der Datenqualität. Zum Bedauern aller Projektbeteiligten wurde er mit seinem Tod 2007 viel zu früh aus dieser Arbeit herausgerissen.

Den Ausgangspunkt für den hier vorliegenden Katalog EKDAG (Version 1.0) für Deutschland und angrenzende Gebiete bildet der in einer unveröffentlichten Rohfassung zur Verfügung gestellte Erdbebenkatalog von Prof. Ahorner (**Ah96**) (s.a. Abb. 2.3). Dieser sog. „Ahorner-Katalog“ wurde in der Vergangenheit zahlreichen seismologischen Standortuntersuchungen in Deutschland zugrunde gelegt. Die Daten des Ahorner-Katalogs decken schwerpunktmäßig den westlichen Bereich Deutschlands ab.

2.2.1 Einarbeitung weiterer Erdbebenkataloge

Die Bearbeitung einer für die Veröffentlichung ausgereiften Fassung des Kataloges war von Anfang in zwei Phasen vorgesehen. In der ersten Phase wurde der Ahorner-Katalog überarbeitet und durch aktuelle Ereignisse ergänzt. Im Einzelnen wurden folgenden Bearbeitungsschritte durchgeführt:

- Vergleichende Prüfung des Ahorner-Katalogs (**Ah96**) anhand der publizierten Kataloge von Grünthal & Wahlström (**GW03**) sowie Leydecker (**Ley04**, **Ley05** und **Ley06**). Fehlende Erdbeben wurden ergänzt durch Einträge aus den genannten Katalogen (s.a. Tabelle 2.1, Abb. 2.4, Abb. 2.5).

- Inhaltliche Überarbeitung, Ergänzung und Prüfung des Erdbebenkatalogs. Primär wurden die Daten aus dem Ahorner-Katalog übernommen und sekundär durch die Angaben aus anderen Quellen ergänzt oder korrigiert.
- Korrekturen wurden nur dann vorgenommen, wenn eindeutige Hinweise vorliegen, dass die Daten im ursprünglichen Ahorner-Katalog nicht mehr dem aktuellen Stand entsprechen. Die inhaltliche Überarbeitung konzentriert sich auf die folgenden Punkte:
 1. Überprüfung der Magnituden- und Intensitätsangaben.
 2. Einarbeitung von veröffentlichten und unveröffentlichten Neuinterpretationen zu historischen Erdbeben (u.a. (Alexandre, 1994)).
 3. Einarbeitung von veröffentlichtem und unveröffentlichtem Material zu jüngeren Beben (u.a. (Schwarz *et al.*, 2005), s.a. Tabelle 2.2).
 4. Ergänzung um Ereignisse nach 1996 (bis 2005).
 5. Ergänzung um Ereignisse außerhalb des ursprünglichen Bearbeitungsgebietes.

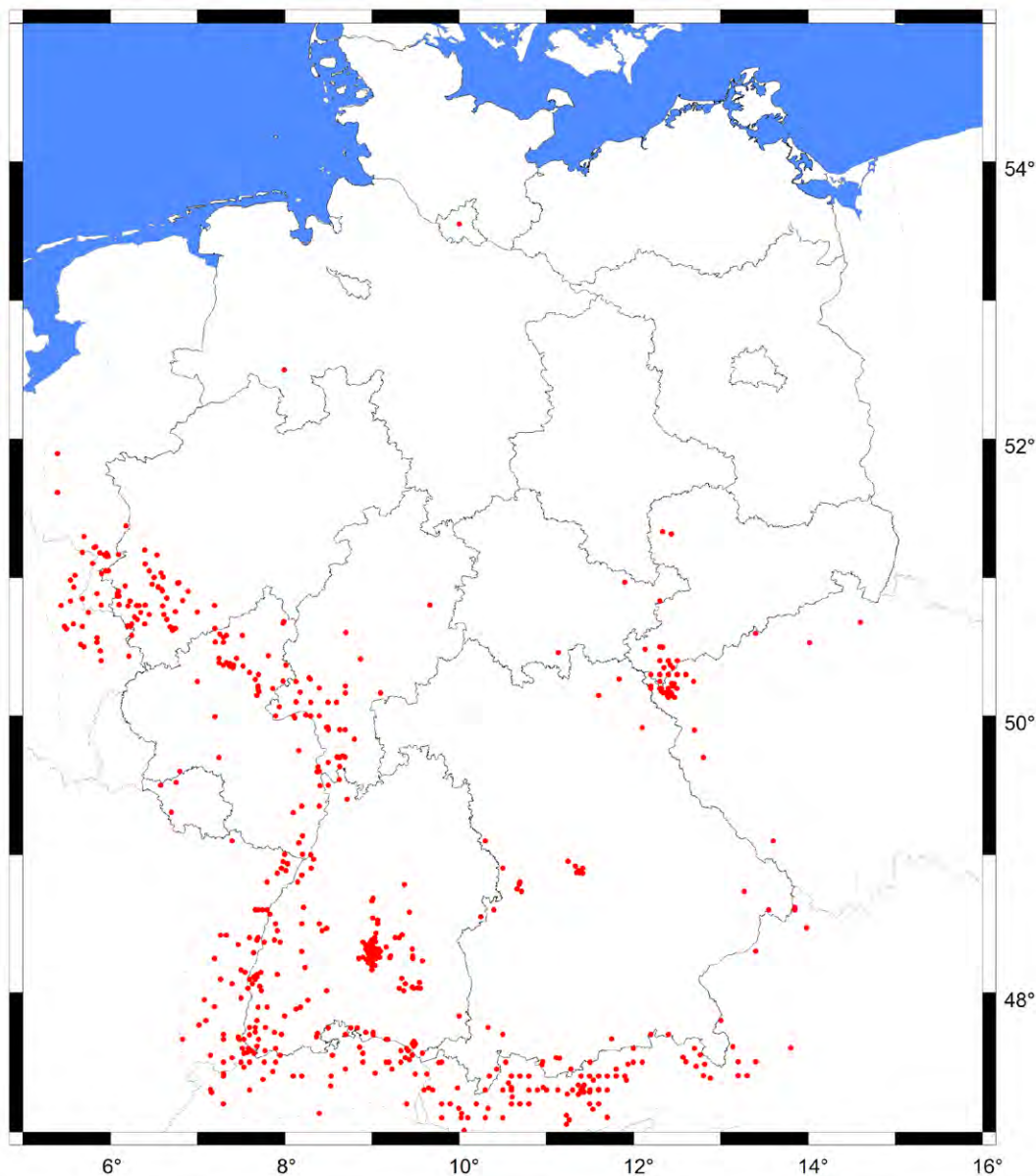


Abb. 2.3 Daten im Erdbebenkatalog EKDAG (Version 1.0) mit Quelle Erdbebenkatalog *Ah96* (Ahorner, 1996)

Tabelle 2.1 Ergänzungen der Daten anhand weiterer Erdbebenkataloge

Katalog	Erdbebendaten (in EKDAG (Version 1.0))			Quelle	Abbildung
	Zeit	M	$I_{0,max}$		
Ausgangskatalog					
Ah96	1092 – 1999	0 – 6.1	VIII (8.0)	(Ahorner, 1996)	Abb. 2.3
Ergänzung / Austausch der Datensätze durch					
GW03	1301 – 1993	3.5 – 6.6	IX (9.0)	(Grünthal & Wahlström, 2003)	Abb. 2.5
Ley04	1080 – 2003	0 – 5.4	VII-VIII (7.5)	(Leydecker, 2004, 2005, 2006)	Abb. 2.5
Ley05	1908; 1937; 2004	2.6 – 5.4	VI (6.0)		
Ley06	1394; 2005	3.5 – 6.1	VIII (8.0)		
Ale94	801 – 1249	–	VII-VIII (7.5)	(Alexandre, 1994)	Abb. 2.5
Vergleich mit					
ECOS02				(Swiss Seismological Service, 2002)	

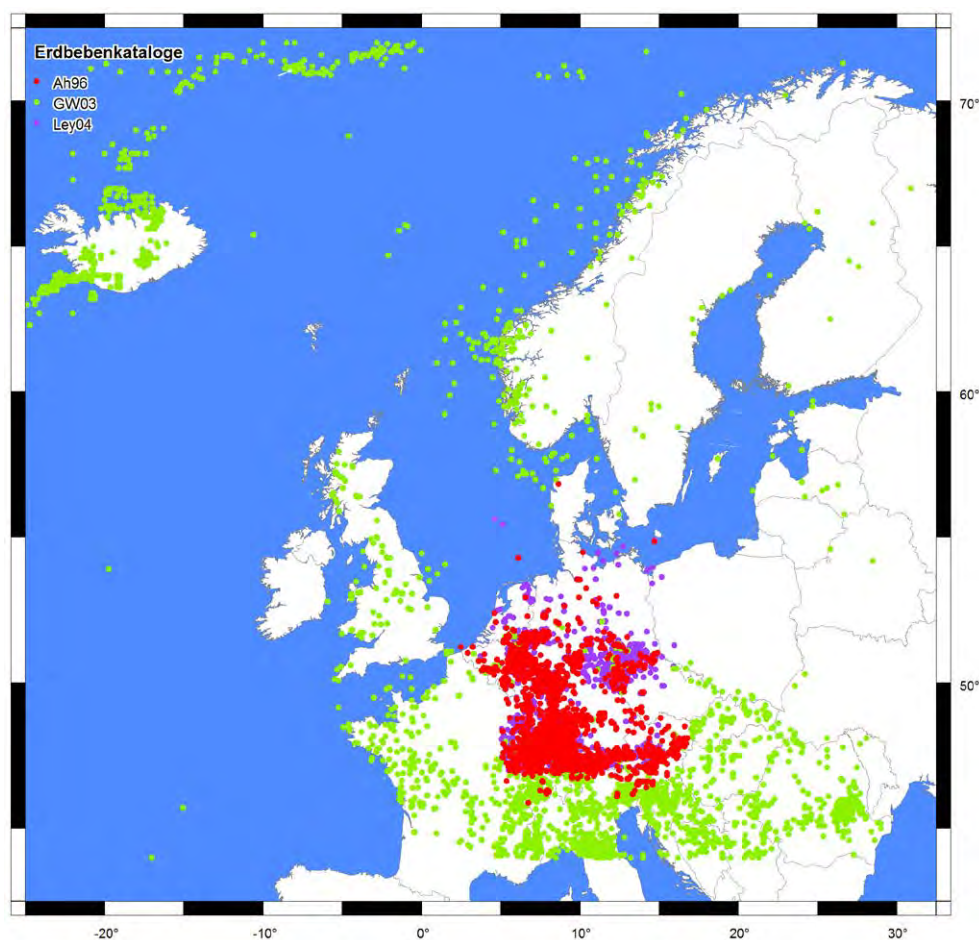


Abb. 2.4 Abgedecktes Gebiet der Ausgangskataloge Ah96 (Ahorner, 1996), GW03 (Grünthal & Wahlström, 2003) und Ley04 (Leydecker, 2004)

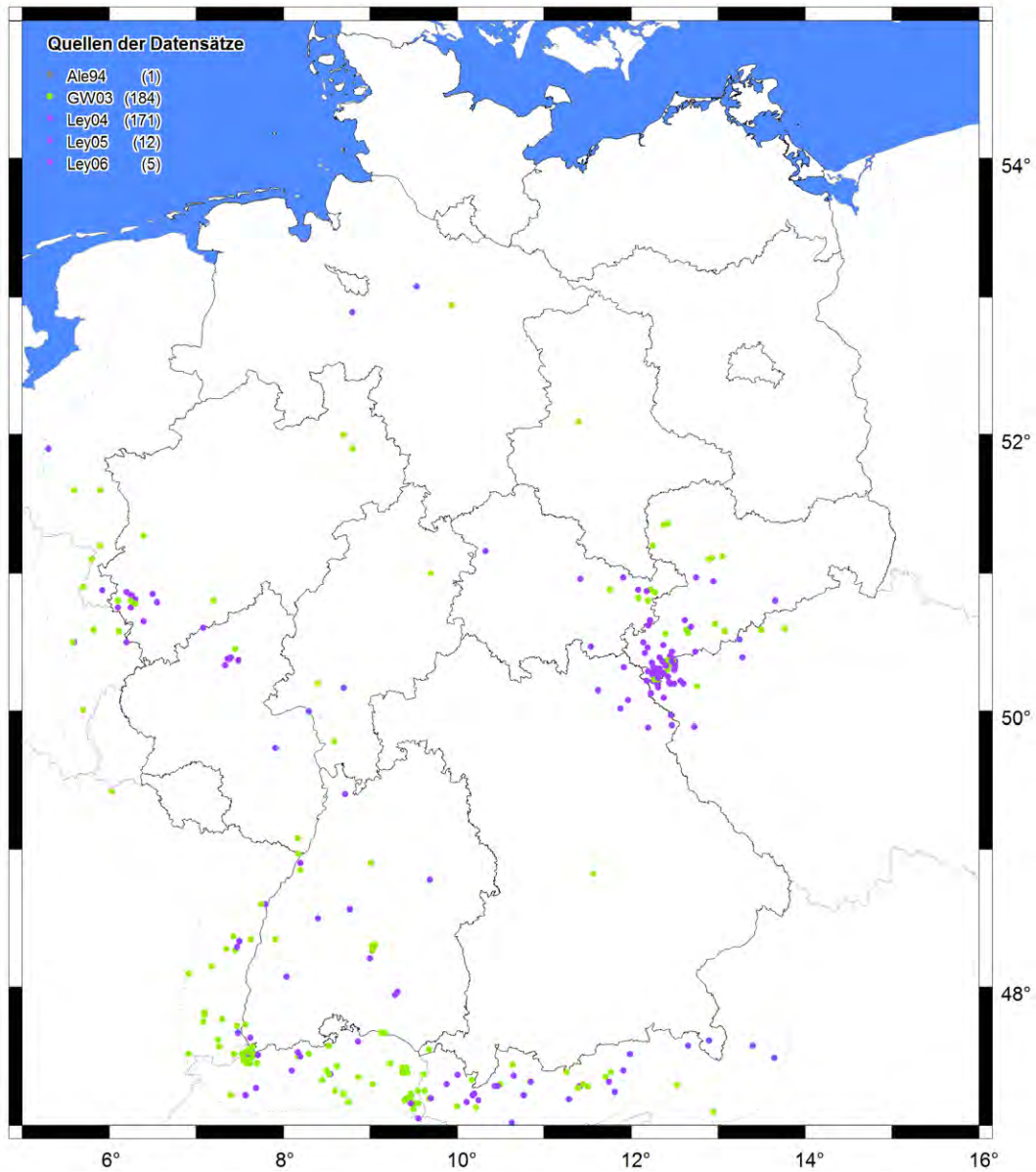


Abb. 2.5 Daten enthalten im Erdbebenkatalog EK DAG mit Quelle
GW03 (Grünthal & Wahlström, 2003);
Ley04 bis Ley06 (Leydecker, 2004, 2005, 2006);
Ale94 (Alexandre, 1994)

2.2.2 Reinterpretation und Neubewertungen von historischen Erdbeben

Die folgende Tabelle 2.2 fasst die wichtigsten Autoren zusammen die zur Ergänzung, Neubewertung und Überprüfung der Kenngrößen des Erdbebenkataloges (s. Teil B) herangezogen wurden.

Tabelle 2.2 Autoren und Kürzel der verwendeten Publikationen zur Neubewertung und Überprüfung der Datensätze*

Ahorner, L. (2006)	Ah	Hinzen, K.; Oemisch, M. (2001)	HOe01
Ahorner, L.; Henger, M.; Leydecker, G. (Ed.) (1987)	Ah87	Kunze, T. (1986)	Kun86
Ahorner, L. (1994)	Ah94	Meidow, H. (1995)	Mei95
Ahorner, L. (1998)	Ah98	Meidow, H. (1998a)	Mei98a
Ahorner, L. (2003)	Ah03	Meidow, H. (1998b)	Mei98b
Alexandre, P. (1990)	Ale90	Meidow, H. (2001)	Mei01
Alexandre, P. (1994)	Ale94	Meidow, H. (2003)	Mei03
Ahorner, L.; Pelzig, R. (1983)	AP83	Meidow, H. (2006)	Mei06
Ahorner, L.; Pelzig, R.; Melchior, P. (Ed.) (1985)	AP85	Meier, R.; Grünthal, G. (1992)	MG92
Amstein, S.; Schwarz, J. (2004)	AS04	Neunhöfer, H.; Grünthal, G. (1995)	NG95
Fischer, J.; Grünthal, G. (1996)	FG96	Rothé, J. P.; Schneider, G. (1968)	RS68
Fischer, J.; Grünthal, G.; Schwarz, J. (2001)	FGS01	Schwarz, J.; Amstein, S.; Golbs, C.; Grünthal, G. (2005)	SAG+05
Grünthal, G.; Fischer, J. (1998)	GF98	Schneider, G. (1977)	Schn77
Grünthal, G.; Fischer, J. (1999)	GF99	Schwarzbach, M. (1951)	Schw51
Grünthal, G.; Fischer, J. (2002)	GF02	Sieberg, A. (1937)	Sie37
Gisler, M.; Fäh, D.; Schibler, R. (2004)	GFS04	Sieberg, A. (1940)	Sie40a
Grünthal, G. (2005)	Gru05	Sponheuer, W. (1952)	Spo52
Grünthal, G.; Schwarz, J. (2001)	GS01	Sponheuer, W. (1958)	Spo58
Haessler, H.; Hoang-Trong, P.; Schick, R.; Schneider, G.; Strohbach, K. (1980)	Hae80	Turnovsky, J.; Schneider, G. (1981)	TS81
Hiller, W. (1936)	Hil36a		

* Verwendung in Teil B und Teil C

3 Datenaufbereitung

Im Zuge der Aufbereitung des Ahorner-Kataloges Ah96 (Ahorner, 1996) bestand die Notwendigkeit diesen auf einen aktuellen Stand zu bringen sowie Erdbeben aus entsprechenden Katalogen nach 1999 zu ergänzen bzw. abzugleichen (s.a. (Ahorner *et al.*, 2006). Es wurde folgende Hierarchie bzw. Abfolge zur Ergänzung des Ahorner-Kataloges gewählt (s. Abb. 3.1).



Abb. 3.1 Hierarchie der Erdbebenkataloge in der Bearbeitung (Reihenfolge für die Vervollständigung)

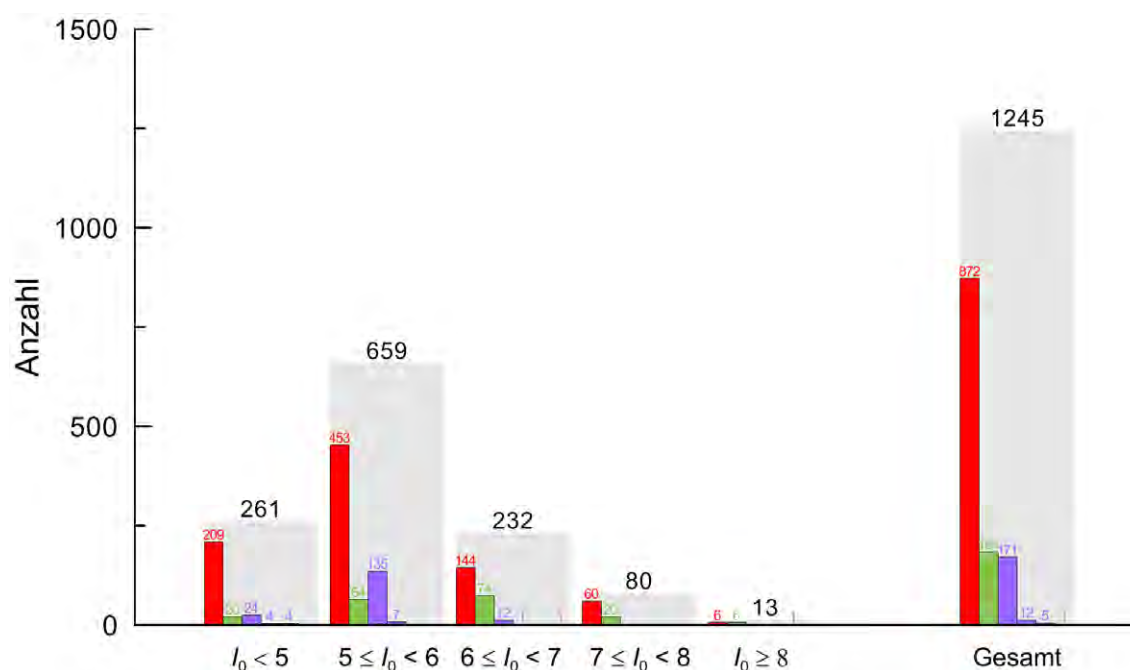


Abb. 3.2 Enthaltene Datensätze im Erdbebenkatalog EK DAG (Version 1.0) mit Unterscheidung der Ausgangskataloge Ah96, GW03, Ley04, Ley05, Ley06 und Ale94

3.1 Katalogzusammenführung

Zielstellung ist der Vergleich und das Einfügen der Datensätze der einzelnen verwendeten Kataloge. Als Ausgangspunkt dienen die Datensätze der Erdbebenkataloge von (Ahorner, 1996), (Grünthal & Wahlström, 2003) und (Leydecker, 2004). Im Zuge einer weiteren Ergänzung wurde der Katalog ECOS02 (Swiss Seismological Service, 2002) und CENEC (Grünthal *et al.*, 2009) zum Ermitteln von vorhandenen „fake events“ vor allem im Deutsch-Schweizerischen Grenzgebiet herangezogen. Des Weiteren dienen die Kataloge (Leydecker, 2005), (Leydecker, 2006) und (Alexandre, 1994) zum Vervollständigen des Kataloges.

Tabelle 3.1 Vorgehensweise der Datenergänzung (Kürzel s. Tabelle 2.1)

Hierarchie	Ah96	GW03	Ley04	ECOS02	EKDAG 2006	Ley05 Ley06 Weitere Quellen	EKDAG 2009
Ah96	Org. Datensatz	=					
GW03		+/o	=				
Ley04			+/o	= keine Daten- ergänzung			
EKDAG 2006	Phase 1				o (pdf - Internet)	=	
Ley05 Ley06 Weitere Quellen						+	=/o
EKDAG 2009	Phase 2						o (txt + Druck)

- + Ergänzung fehlender Datensätze (Kennzeichnung durch Herkunft aus Ausgangskatalog in Literaturquelle mit [Katalog-Kürzel])
 = Vergleich der Datensätze
 o Änderung und Ergänzung nicht vorhandener Werte (Kennzeichnung durch Angabe der Quelle; bei Magnitude einzeln, ansonsten in Literaturquelle)

Die Erdbebenkataloge sind in eine MySQL-Datenbank importiert worden um einen besseren Datenaustausch und Datenzugriff durchführen zu können. Ein Vergleich zwischen den Datensätzen und dadurch eine Verknüpfung zum originalen Datensatz sind somit auf einfache Weise herzustellen.

Nach Zusammenführung der genannten Kataloge wurden folgende Filter für die endgültige Katalogversion für das Gebiet für Deutschland und angrenzende Gebiete festgelegt:

- Lage innerhalb Deutschlands + 50 km Puffer,
- Tektonisches Ereignis,
- M_L bzw. $M_W \geq 3.5$,
- $I_0 \geq V(5.0)$,
- Datensätze, für die von Ahorner und Koautoren erstellten makroseismischen Schütterkarten (s.a. Teil C bzw. Anhang 1),
- Datensätze, die zur Bestimmung der Regression herangezogen worden sind (Ahorner, 2003) sowie
- Ereignisse, die auf Basis von Publikationen neu hinzugefügt wurden.

Diese Erdbeben wurden hinsichtlich der Magnituden M_L und M_W vervollständigt (s. a. Abs. 3.3).

3.1.1 Konfliktfälle

Beim Abgleich der Datensätze der jeweiligen Kataloge traten folgende Problemstellungen auf:

- Unterschiede in Datum, Uhrzeit und Koordinate des Epizentrums;
- Differenzen der Stärkeparameter Intensität und/oder Magnitude;
- Prüfung und Kennzeichnung des Erdbebentyps (tektonisch, bergbaubedingt/induziert);
- Unterscheidung zwischen Hauptbeben und Nachbeben (im Ausgabekatalog EKDAG (Version 1.0) nicht gekennzeichnet) sowie
- Umgang mit Bebenschwärmen.

Nach dem Einfügen der fehlenden Datensätze aus den Katalogen zeigt sich, dass viele Einträge doppelt und mehrfach nur mit verschiedenen Variationen der Daten (Datum und Uhrzeit) vorhanden sind. Dies ist auf die Spezifik eines jeden Katalogs zurückzuführen, da immer bestimmte Festlegungen getroffen wurden.

Im Katalog (Grünthal & Wahlström, 2003) werden folgende Problemstellungen ebenfalls behandelt:

- 29. Februar: falls kein Schaltjahr → 28. Februar,
- 31. April → 30. April,
- 24 h → 00 h nächster Tag,
- 60 m, s → 00 m, s nächste Stunde, Minute.

Diese Festlegungen wurden im Katalog EKDAG (Version 1.0) ebenfalls übernommen. Die Uhrzeit angegeben mit 24 h, 60 min oder 60 s wird entsprechend der einheitlichen Definition überführt. Bei der Uhrzeit 24 h wurde das Datum des darauffolgenden Tages gewählt bzw. bei 60 min entsprechend die folgende Stunde und bei 60 s die folgende Minute. Des Weiteren ist beim Vergleich der Datensätze ist die Angabe von Mitteleuropäischer Sommerzeit (MESZ), Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) oder der Koordinierter Weltzeit (UTC) zu berücksichtigen, was eine Differenz von einer oder zwei Stunden zur Folge haben kann.

Doppelte Einträge aufgrund unterschiedlicher Koordinaten sind durch unterschiedliche Quellenlage (Neubetrachtungen etc.) ebenfalls möglich.

Mit Hilfe einer Abfrage zur Eingrenzung der Daten zur einfacheren Bearbeitung (Schwankung von Tag und Stunde um nicht mehr als den Wert 1 bis 2) wurde die Datenmenge eingegrenzt. Durch das Löschen der doppelten Datensätze und Verknüpfung der Daten mit den entsprechenden Datensätzen in den verwendeten Erdbebenkatalogen konnte die Anzahl der Konfliktfälle reduziert werden. In der zugrunde liegenden Datenbank wurden im Katalog EKDAG (Version 1.0) die Beben mit Differenzen in der Intensität zur weiteren Untersuchung gekennzeichnet.

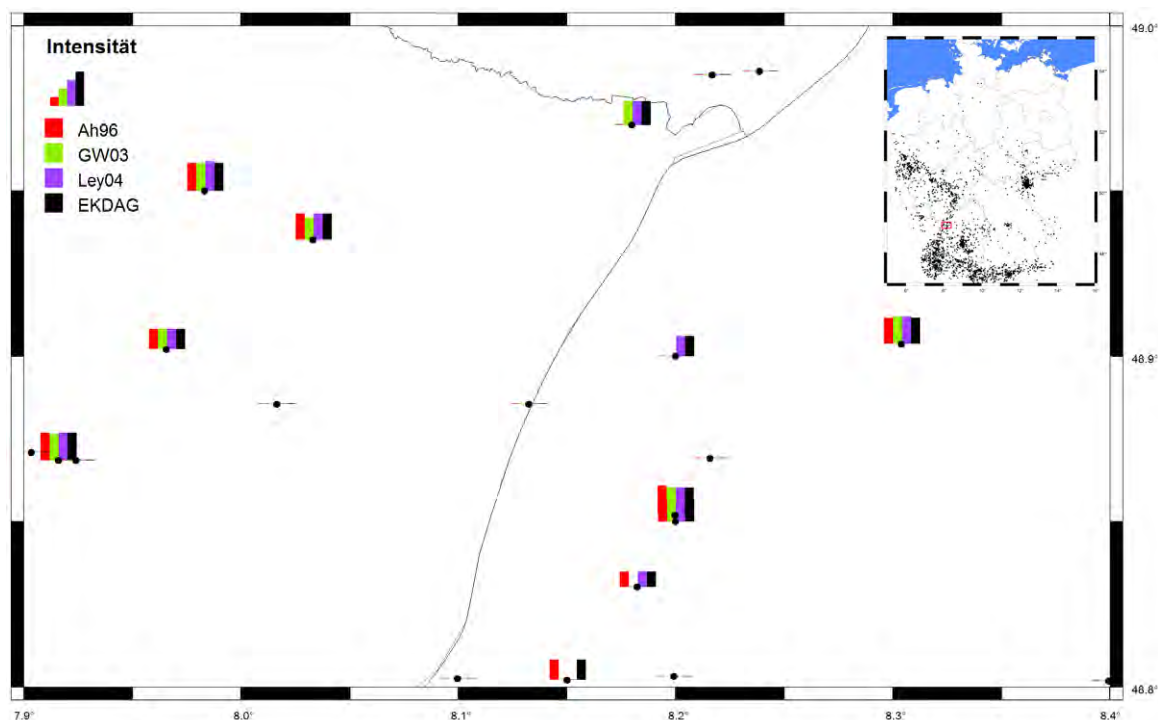


Abb. 3.3 Beispielhafte Darstellung der Unterschiede in der Epizentralintensität für Ah96, GW03, Ley04 und EK DAG

3.1.2 Datenbereinigung

Aufgrund der Überarbeitung der Kataloge und Neubetrachtung historischer Erdbeben werden immer wieder Einträge in den bestehenden Katalogen als Scheinerdbeben (*fake event*) identifiziert, die durch Dopplungen aufgrund von Unterschieden in Koordinaten bzw. makroseismischen Epizentrum, Uhrzeit, Verwechslungen mit anderen Naturereignissen und auf Basis von Einzelbeobachtungen in den Datensammlungen Eingang gefunden haben. Oft werden sie immer wieder in neue Kataloge übernommen und erst durch detaillierte und aufwendige Recherchen als „*fake event*“ erkannt.

Die in den Katalogen GW03 (Grünthal & Wahlström, 2003), ECOS02 (Swiss Seismological Service, 2002) und CENEC09 (Grünthal *et al.*, 2009) enthaltenen Informationen bzw. Listen mit Scheinerdbeben und weitere Änderungen in Datum und Uhrzeit werden in den aktuellen Katalog übernommen. Sie sind in den entsprechenden Literaturquellen verfügbar.

3.2 Ergänzungen und Korrekturen

Ausgehend von den Einzelpublikationen und eigenen Untersuchungen wurden die entsprechenden Werte im Katalog angepasst. Die herangezogene Literatur ist für das betreffende Beben als Quelle genannt. Für ausgewählte Erdbeben können die Änderungen im Teil C eingesehen werden (s.a. Tabelle 2.2).

3.3 Vervollständigung der Magnituden

Zur Vervollständigung der Magnitudenangaben für M_L und M_W konnte auf einen Datensatz von Prof. Dr. L. Ahorner (Stand 6. Jun. 2004), „**Ah03**“ (Ahorner, 2003) (s. Abs. 3.3.1), zurückgegriffen werden. Zusätzlich erfolgte der Abgleich mit den Daten des Erdbebenkataloges. Unterschieden wird nach Daten mit instrumenteller, makroseismischer und regressiver Herkunft.

Die für den Erdbebenkatalog verwendeten Regressionen fußen auf dem Datensatz von Ahorner. Sie sind als *regressive Magnituden* (s. Teil B) gekennzeichnet, als Quelle wird die angewendete Gleichung angegeben.

Das Auffüllen der Magnituden erfolgte soweit möglich mit der Beziehung vom Typ $M_L - M_W$ (s. Abs. 3.3.2). Falls diese Möglichkeit nicht besteht, wurde die Bestimmung anhand der makroseismischen Kenngrößen I_0 und h_0 (falls vorhanden) mit den entsprechenden Beziehungen M_L , $M_W - I_0$ (bei $h_0 = 0 \text{ km}$) (s. Abs. 3.3.5, 3.3.6) bzw. M_L , $M_W - I_0$, h_0 herangezogen (s. Abs. 3.3.7, 3.3.8).

Kennzeichnung der verwendeten Regressionsgleichung
zum Auffüllen des Erdbebenkataloges

3.3.1 Basisdaten

Der Basisdatensatz **Ah03** (Ahorner, 2003) (s.a. Abb. 3.4) besteht aus 58 Erdbeben mit instrumentell bestimmten Lokal- M_L und Momentenmagnituden M_W . Des Weiteren sind - sofern vorhanden - die Herdtiefe h_0 , die Epizentralintensität I_0 , die makroseismische Magnitude M_k und der Schüttergebietsradius R_m angegeben (s. Tabelle 3.2).

*Tabelle 3.2 Herdparameter im Zeitraum 1911-2003 von mitteleuropäischen Erdbeben
Zusammengestellt von L. Ahorner (Stand 6. Jun. 2004) (Ahorner, 2003)*

Datum	Uhrzeit	Koordinaten		h_0	I_0	M_L	M_W	M_K	R_m	Gebiet	Referenz
YYYYMMDD	HHMMSS	LAT (N)	LON (E)								
19111116	212548	48.233	9.000	10	8.0	6.10	5.68	5.35	500	Ebingen	Kun86
19130720	120622	48.233	9.008	11	7.0	5.60	5.04	4.89	250	Albstadt	Kun86
19350627	171930	48.042	9.467	9	7.5	5.80	5.40	5.05	500	Saulgau	Kun86
19430502	010802	48.267	8.983	9	7.0	5.50	4.86	4.80	375	Albstadt	Kun86
19430528	012408	48.267	8.983	9	8.0	5.60	5.34	5.30	485	Tailfingen	Kun86
19510314	094659	50.633	6.717	9	7.5	5.70	5.10	5.03	260	Euskirchen	Kun86
19690226	012800	48.283	9.008	8	7.0	5.10	4.66	4.75	175	Onstmettingen	Kun86
19700122	152600	48.300	9.033	8	7.0	5.20	4.60	4.75	250	Onstmettingen	Kun86
19770307	081817	50.252	8.135	13	5.0	3.80	3.43	3.96	80	Huenstaetten	Aho83
19770508	230920	50.067	7.943	11	3.5	3.10	3.42	3.14	28	Geroldstein	Aho83
makroseismische Schütterkarte vorhanden											

Tabelle 3.2 (Fortsetzung)

Datum	Uhrzeit	Koordinaten		h_0	I_0	M_L	M_W	M_K	R_m	Gebiet	Referenz
YYYYMMDD	HHMMSS	LAT (N)	LON (E)								
19771102	144239	50.962	6.775	13	4.0	3.00	3.25	3.46		32 Brauweiler	Aho83
19771106	012252	50.963	6.793	14	4.5	3.60	3.71	3.75		75 Brauweiler	Aho83
19771106	012357	50.960	6.775	13	4.0	2.90	3.08	3.46		10 Brauweiler	Aho83
19780329	215159	50.645	6.688	9	3.5	2.50	2.66	3.05		10 Obergartzem	Aho83
19780430	052327	50.533	7.208	6	4.0	2.60	3.00	3.13		20 Sinzig	Aho83
19780822	073332	50.170	8.178	15		3.00	2.90			Neuhof	Aho83
19780903	050832	48.293	9.033	7	7.5	5.70	5.12	4.95		330 Albstadt	Hae80
19800605	121139	51.223	5.838	14	5.0	3.80	3.50	4.00		55 Roermond	Aho83
19800715	121721	47.673	7.475	12	6.5	4.70	4.14	4.69		150 Sierentz	Bon83
19800728	025816	49.970	8.107			2.30	2.57			Ingelheim	Aho83
19800730	103633	49.980	8.127			2.60	2.71			Ingelheim	Aho83
19801231	000159	50.180	7.702	6	4.0	2.80	2.98	3.13		20 St.Goar	Aho83
19810101	101651	50.183	7.701	6	2.5	2.00	2.27	2.40		St. Goar	Aho83
19811220	103852	50.893	5.852	20		2.73	3.00			Heerlen(NL)	A&P83
19820302	012727	51.030	5.903	6	4.0	3.47	3.35	3.13		30 Selfkant	A&P83
19820522	060004	51.052	5.978	14	4.0	3.73	3.76	3.50		55 Waldfeucht	A&P83
19820626	135724	50.672	7.985	13	4.0	3.10	3.30	3.46		30 Bad Marienberg	Aho83
19820628	095734	50.678	7.995	13	5.5	4.70	4.30	4.21		160 Bad Marienberg	Aho83
19830322	072432	50.360	7.362	11	4.0	3.24	3.29	3.39		25 Ochtendung	Aho88
19830322	073434	50.362	7.367	11	3.5	2.70	2.92	3.14		Ochtendung	Aho88
19830507	120837	50.351	7.410	13		2.17	2.60			Ochtendung	Aho88
19831108	004934	50.632	5.513	6	7.0	5.09	4.77	4.63		250 Liege(B)	A&P85
19831108	021323	50.618	5.515	6		3.00	3.14			Liege(B)	A&P85
19831118	221826	50.587	7.265	13	4.0	2.70	2.96	3.46		40 Remagen	Aho88
19841104	145857	50.373	7.398	14		1.63	2.11			Plaidt	Aho
19850115	042059	50.380	7.366	11		1.93	2.35			Ochtendung	Aho
19920413	012003	51.168	5.927	15	7.0	5.90	5.30	5.03		440 Roermond(NL)	Aho94
19920413	034943	51.154	5.963	13	4.0	3.40	3.21	3.46		Roermond(NL)	Aho94
19920413	060212	51.153	5.980	12	4.0	3.10	2.95	3.43		Roermond(NL)	Aho94
19920413	215002	51.176	5.957	14		2.00	2.34			Roermond(NL)	Aho94
19920414	010646	50.941	6.175	14	4.5	3.80	3.55	3.75		180 Immendorf	Aho94
19920414	013623	50.830	6.231	16	3.5	2.80	2.95	3.30		40 Eschweiler	Aho94
19920414	023107	51.164	5.974	12		2.30	2.44			Roermond(NL)	Aho94
19920414	124140	51.181	5.884	16		2.70	2.83			Roermond(NL)	Aho94
19920414	125632	51.166	5.948	13		2.90	2.87			Roermond(NL)	Aho94

makroseismische Schütterkarte vorhanden

Tabelle 3.2 (Fortsetzung)

19951112	084629	50.378	7.377	10	2.33	2.38			Ochtendung	Aho
19960723	223022	50.470	5.890	15	3.97	3.59			Spa(B)	Aho
19960823	193539	50.378	7.370	10	2.93	2.97			Plaidt	Aho
20000120	030317	50.613	7.075	12	4.0	3.73	3.46	3.43	Meckenheim	Aho
20020107	200152	50.851	6.256	11	2.71	3.07			Duerwiss	Aho
20020317	144630	50.807	6.306	12	3.53	3.38			Nothberg	Aho
20020414	122008	50.791	6.549	11	2.46	2.71			Dueren	Aho
20020422	211701	50.854	6.255	13	3.26	3.13			Duerwiss	Aho
20020722	054505	50.881	6.201	14	6.0	4.96	4.64	4.50	Alsdorf	BGR02
20030209	152600	50.358	7.493	10	3.13	3.13			Bassenheim	Aho
20030703	020412	50.383	7.362	11	2.62	2.71			Plaidt	Aho
20040315	075505	50.392	7.400	15	2.25	2.46			Plaidt	Aho
20040522	051904	50.383	7.398	15	4.5	3.88	3.71		120 Plaidt	Aho

makroseismische Schütterkarte vorhanden

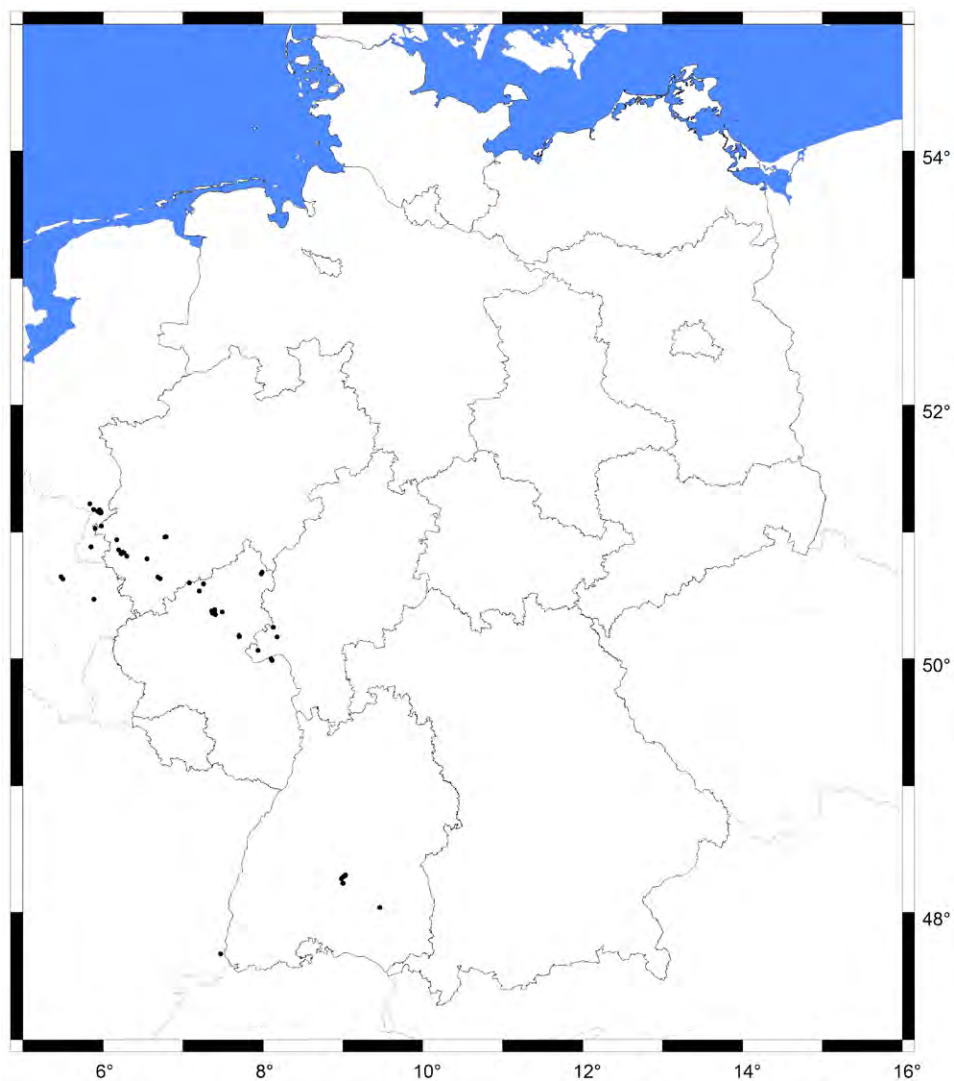


Abb. 3.4 Übersicht der im Datensatz Ah03 (Ahorner, 2003) enthaltenen Erdbeben

Die folgende Abb. 3.5 zeigt die Verteilung der Datensätze des Datensatzes Ah03 (Ahorner, 2003) mit Hilfe der Häufigkeit der Magnituden M_W , M_L , M_k und der Epizentralintensität I_0 . Der Gültigkeitsbereich der Regressionen in den folgenden Abschnitten lässt sich entsprechend ableiten.

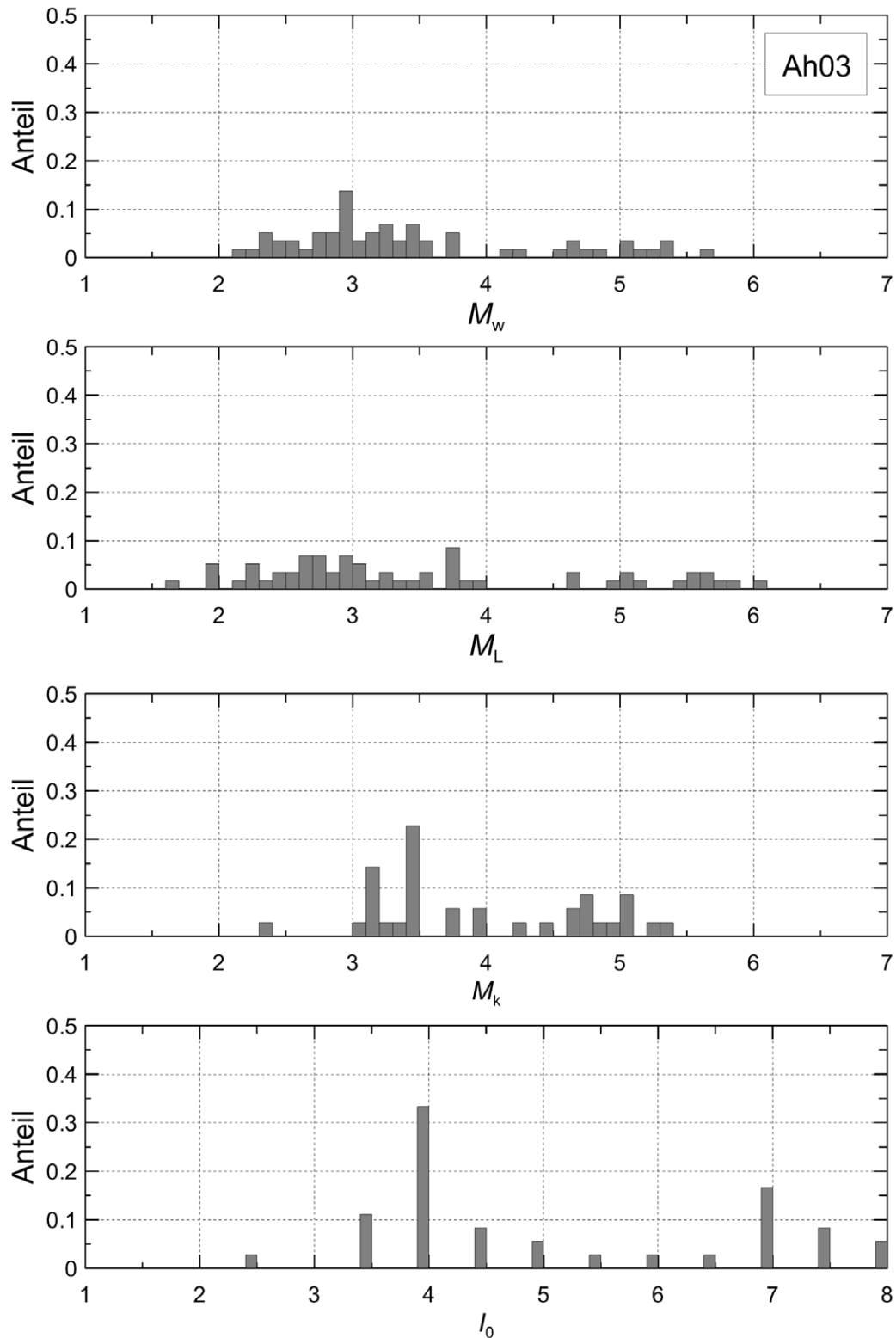


Abb. 3.5 Häufigkeit der Magnituden M_W , M_L , M_k und der Epizentralintensität I_0 für den Datensatz Ah03 (Ahorner, 2003)

3.3.2 M_L - M_w

Für die vorliegenden Regressionen werden alle 58 Erdbeben des Datensatzes Ah03 herangezogen. (Gl. 3.1) wurde von Ahorner selbst erstellt (Ahorner, 2003). Anhand der Daten konnte diese Gleichung mit einem Statistikprogramm annähernd nachvollzogen werden, s. (Gl. 3.2). Für Daten mit vorhandener Momentenmagnitude M_w wurde die Regression für M_L ebenfalls ermittelt, s. (Gl. 3.3).

$$\text{(Ahorner, 2003)} \quad M_w = 0.77 + 0.77 \times M_L \quad (\text{Gl. 3.1})$$

EDAC (Nachrechnung)

$$M_w = 0.762(\pm 0.122) \times M_L + 0.789(\pm 0.237) \quad (\text{Gl. 3.2})$$

$$M_L = 1.284(\pm 0.026) \times M_w - 0.937(\pm 0.092) \quad (\text{Gl. 3.3})$$

Parameterbereich: $1.6 \leq M_L \leq 6.1$
 $2.1 \leq M_w \leq 5.7$

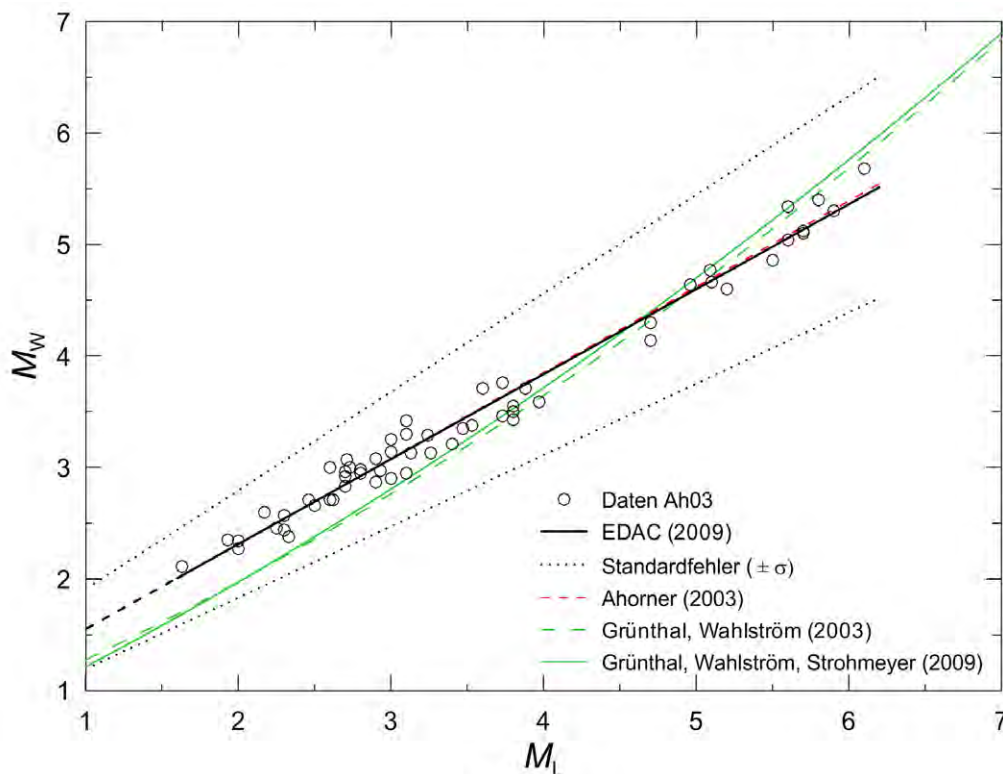


Abb. 3.6 Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression M_L - M_w im Vergleich zu Regressionen nach (Ahorner, 2003; Grünthal & Wahlström, 2003; Grünthal et al., 2009)

Erläuterung zu Abb. 3.6 (weitere dargestellte Beziehungen):

Nach (Grünthal & Wahlström, 2003)

$$M_w = 0.67(\pm 0.11) + 0.56(\pm 0.08) \times M_L + 0.046(\pm 0.013) \times M_L^2$$

Nach (Grünthal et al., 2009)

$$M_w = 0.53 + 0.646 \times M_L + 0.0376 \times M_L^2 \quad s = 0.29 \dots 0.34$$

Abb. 3.7 zeigt die Entwicklung der Regressionen von Ahorner bis zum heutigen Katalog. Dabei wurde immer wieder auf eine lineare Beziehung in Form von $M_w = a \times M_L + b$ zurückgegriffen, für die Anzahl der Datensätze eine quadratische Beziehung wie bei (Grünthal & Wahlström, 2003) bzw. (Grünthal *et al.*, 2009) nicht zweckmäßig ist. Der Vertrauensbereich wird aufgrund der geringen Anzahl an Datensätzen zu sehr vergrößert.

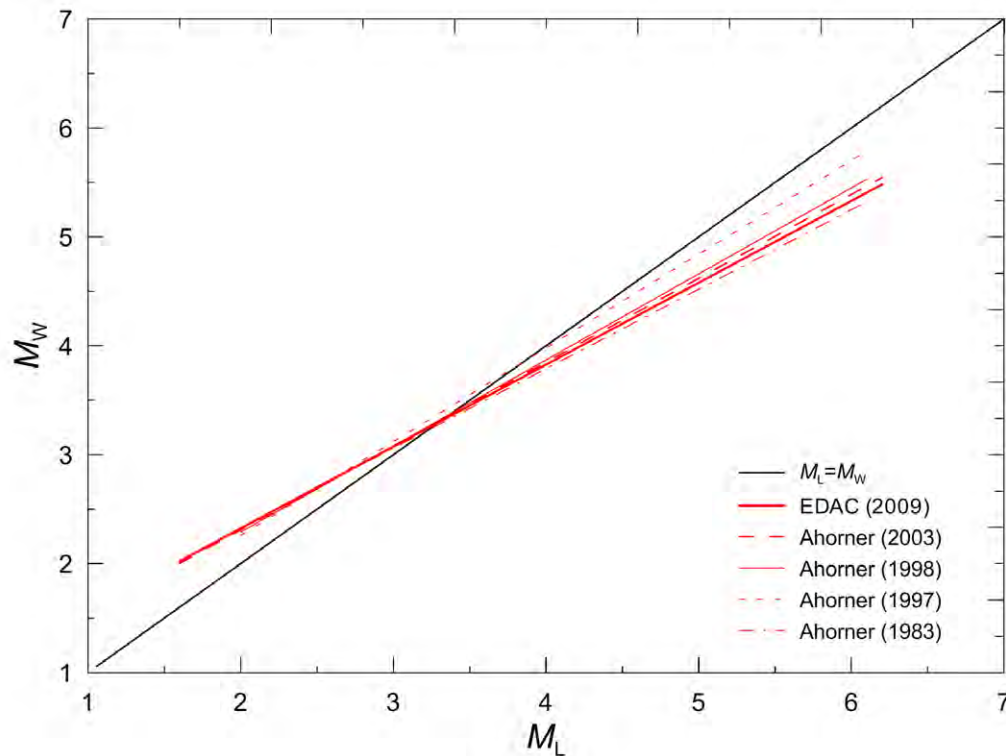


Abb. 3.7 Entwicklung der Regression M_L - M_w nach (Ahorner, 1983, 1998, 2003)

Erläuterung zu Abb. 3.7 (weitere dargestellte Beziehungen):
nach (Ahorner, 1998)

$$M_w = 0.79 \times M_L + 0.71$$

nach Ahorner (1997) in (Ahorner & Meidow, 1998)

$$M_w = 0.86 \times M_L + 0.54$$

nach (Ahorner, 1983)

$$M_w = 0.73 \times M_L + 0.87$$

3.3.3 $M_k - M_w$

Für die Ermittlung der Regression (Gl. 3.5) werden 35 Datensätze des Datensatzes Ah03 verwendet. Die Werte der Magnitude M_w sind instrumentellen Ursprungs, die Magnitude M_k ist makroseismisch bestimmt. Die (Gl. 3.4) ist ebenfalls auf Basis dieser Datensätze von Ahorner ermittelt worden (Ahorner, 2003).

$$\text{(Ahorner, 2003)} \quad M_w = 1.06 \times M_k - 0.38 \quad (\text{Gl. 3.4})$$

EDAC (Nachrechnung)

$$M_w = 1.107(\pm 0.056) \times M_k - 0.508(\pm 0.227) \quad (\text{Gl. 3.5})$$

Parameterbereich: $2.3 \leq M_L \leq 5.7$
 $2.4 \leq M_k \leq 5.4$

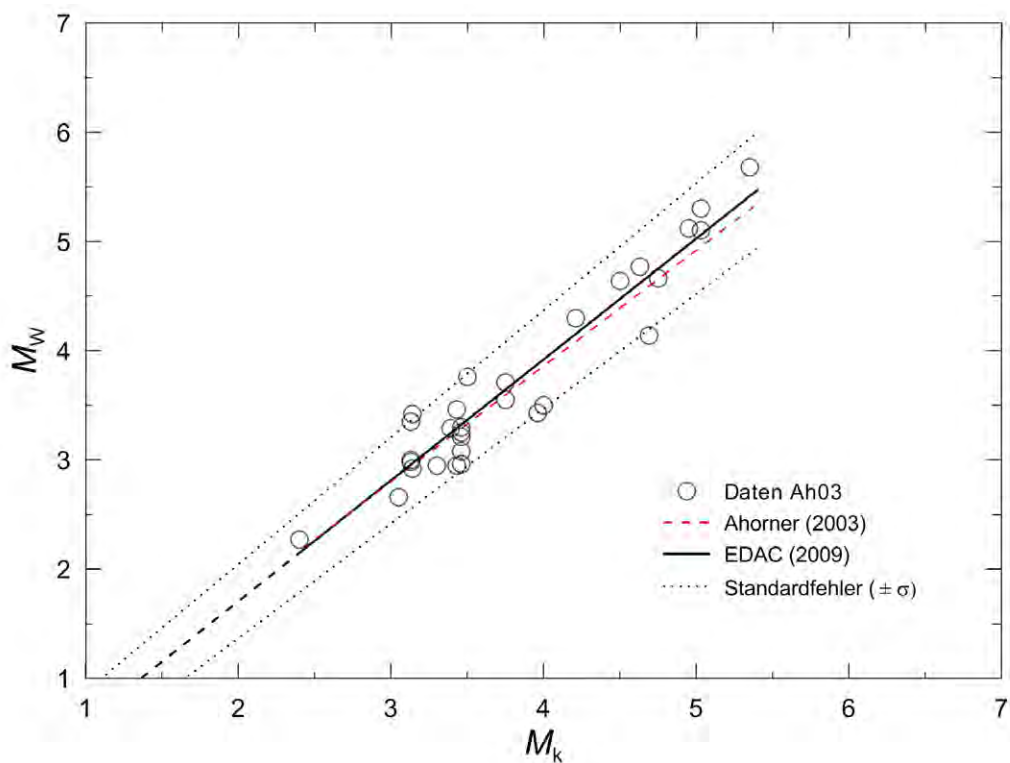


Abb. 3.8 Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression M_k - M_w im Vergleich zu Regression nach (Ahorner, 2003)

3.3.4 $M_{L,i} - R_m$

Für die Ermittlung der Regression (Gl. 3.7) werden 30 Datensätze des Datensatzes Ah03 verwendet. Die (Gl. 3.6) ist ebenfalls auf Basis dieser Datensätze von Ahorner ermittelt worden (Ahorner, 2003).

$$\text{(Ahorner, 2003)} \quad M_L = 1.19 \times \ln R_m - 1.31 \quad \text{(Gl. 3.6)}$$

EDAC (Nachrechnung)

$$M_L = 0.934(\pm 0.061) \times \ln R_m - 0.041(\pm 0.284) \quad \text{(Gl. 3.7)}$$

$$M_L = 2.152(\pm 0.140) \times \log R_m - 0.041(\pm 0.284) \quad \text{(Gl. 3.8)}$$

Parameterbereich: $10 \leq R_m \leq 505$

$$2.5 \leq M_L \leq 6.1$$

Ergebnisse (Regression) nicht verwendet, da vor allem der maximal beobachtete Schütterradius nicht immer eine belastbare Größe darstellt.

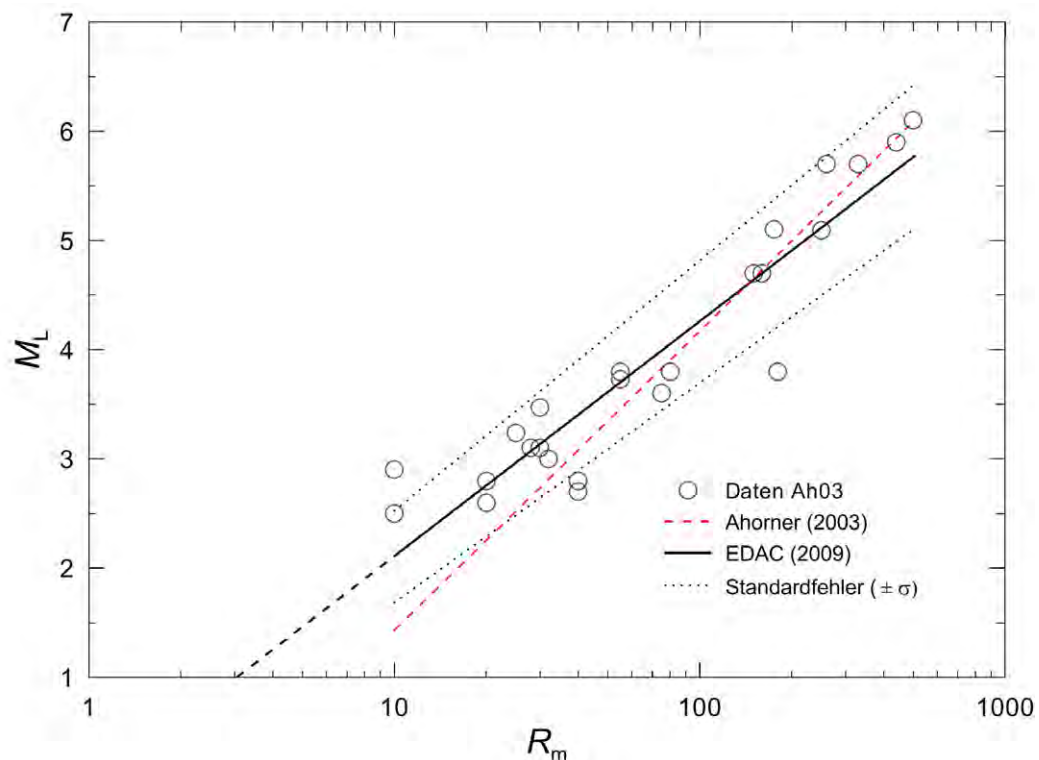


Abb. 3.9 Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression $M_L - \ln(R_m)$ im Vergleich zu Regression nach (Ahorner, 2003)

3.3.5 $M_{L,i} - I_0$

Für die Ermittlung der Regression (Gl. 3.9) werden 42 Datensätze des Datensatzes Ah03 verwendet. Die Datensätze mit einer Epizentralintensität von II (2.0) werden dabei nicht berücksichtigt.

EDAC (Nachrechnung) für $I_0 > \text{II (2.0)}$

$$M_{L,i} = 0.726(\pm 0.035) \times I_0 + 0.259(\pm 0.183) \quad (\text{Gl. 3.9})$$

Parameterbereich: $\text{III (3.0)} \leq I_0 \leq \text{VIII (8.0)}$

$$2.0 \leq M_L \leq 6.1$$

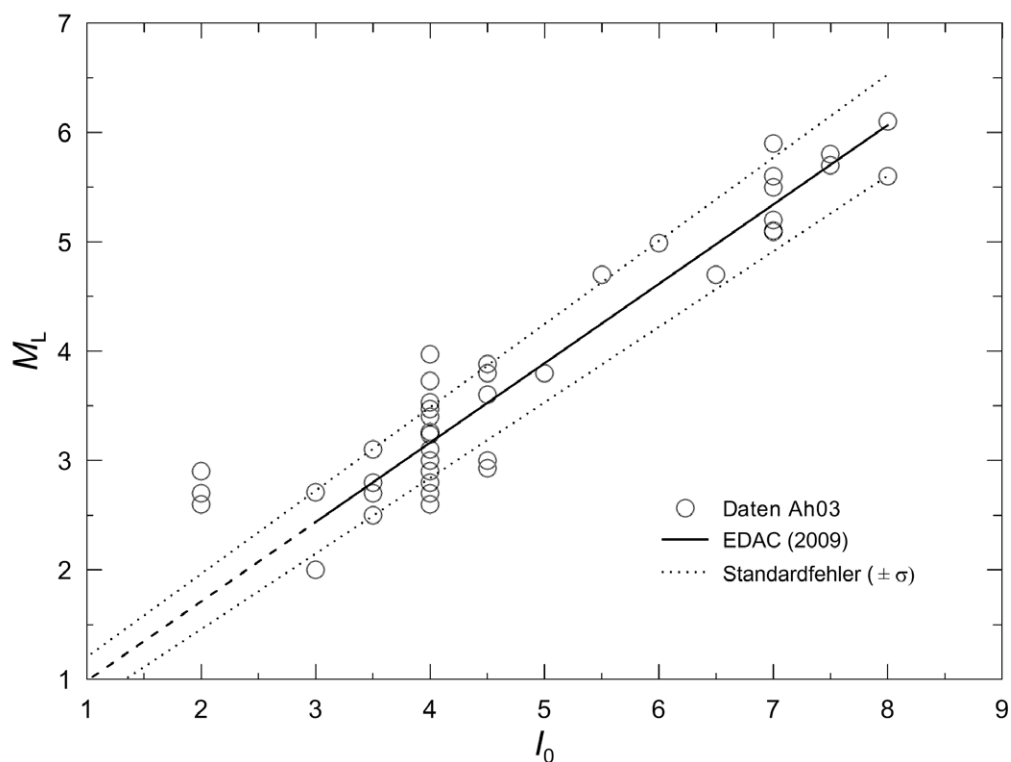


Abb. 3.10 Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression M_L - I_0

3.3.6 $M_{w,i} - I_0$

Für die Ermittlung der Regression (Gl. 3.10) werden 42 Datensätze des Datensatzes Ah03 verwendet. Die Datensätze mit einer Epizentralintensität von II (2.0) werden dabei nicht berücksichtigt.

EDAC (Nachrechnung) für $I_0 > \text{II (2.0)}$

$$M_{w,i} = 0.550(\pm 0.028) \times I_0 + 1.014(\pm 0.147) \quad (\text{Gl. 3.10})$$

Parameterbereich: $\text{III (3.0)} \leq I_0 \leq \text{VIII (8.0)}$

$$2.3 \leq M_W \leq 5.7$$

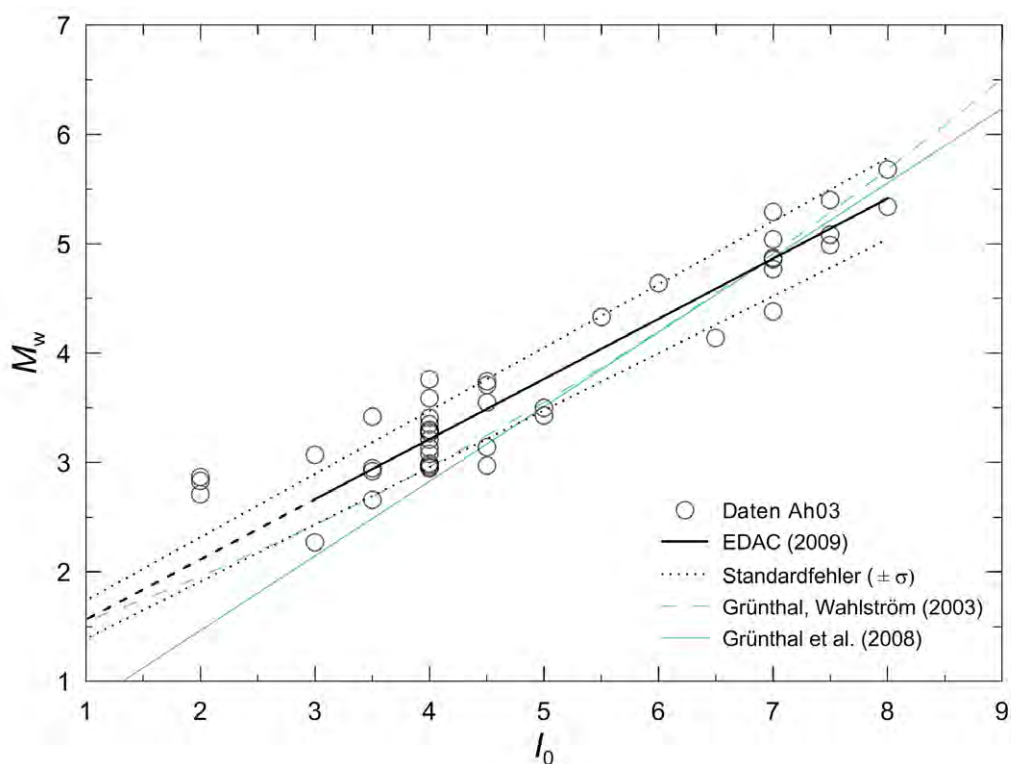


Abb. 3.11 Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression $M_w - I_0$ im Vergleich zu Regressionen nach (Grünthal et al., 2008; Grünthal & Wahlström, 2003)

Erläuterung zu Abb. 3.11 (weitere dargestellte Beziehungen):
nach (Grünthal & Wahlström, 2003)

$$M_w = 1.2(\pm 1.6) + 0.32(\pm 0.52) \times I_0 + 0.03(\pm 0.04) \times I_0^2$$

nach (Grünthal et al., 2008)

$$M_w = 0.682 \times I_0 + 0.16 \quad s = 0.32 \dots 0.36$$

3.3.7 $M_{L,i} - I_0, h_0$

Für die Ermittlung der Regression (Gl. 3.11) werden 42 Datensätze des Datensatzes Ah03 verwendet. Die Datensätze mit einer Epizentralintensität von II (2.0) werden dabei nicht berücksichtigt.

EDAC (Nachrechnung) für $I_0 > \text{II (2.0)}$

$$M_L = 0.749 (\pm 0.030) \times I_0 + 1.381 (\pm 0.357) \log h_0 - 1.273 (\pm 0.426) \quad (\text{Gl. 3.11})$$

Parameterbereich: III (3.0) $\leq I_0 \leq$ VIII (8.0)

$$6 \leq h_0 \leq 16 \text{ km}$$

$$2.0 \leq M_L \leq 6.1$$

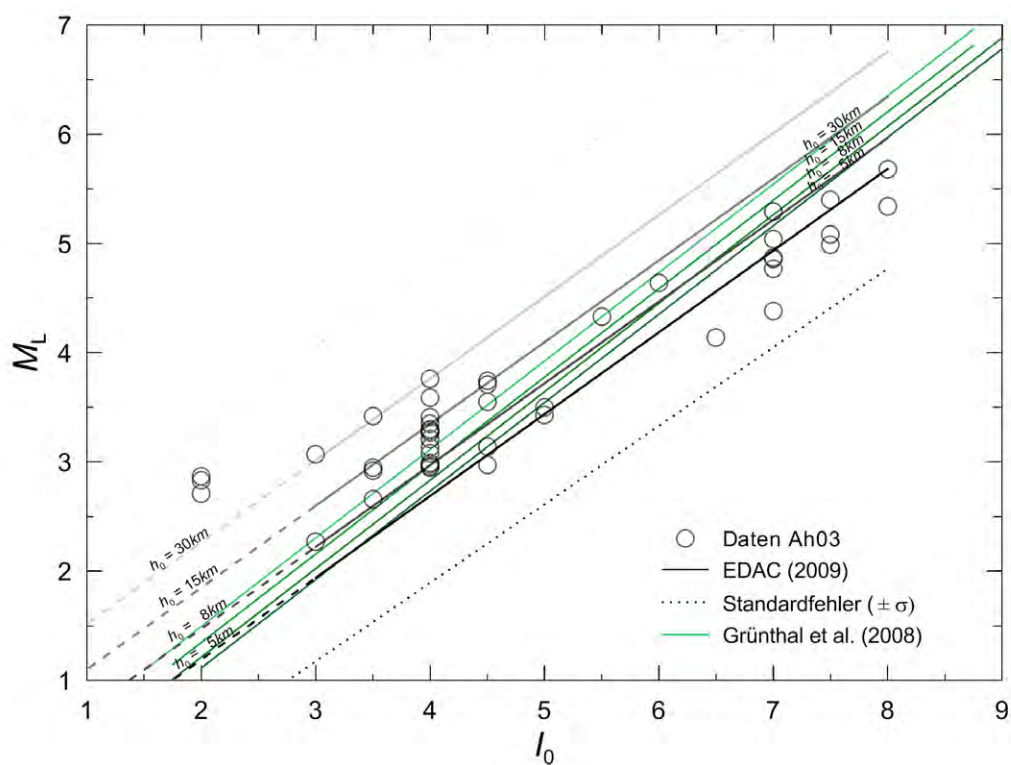


Abb. 3.12 Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression $M_L - I_0, \log(h_0)$ im Vergleich zu Regression nach (Grünthal et al., 2008)

Erläuterung zu Abb. 3.12 (weitere dargestellte Beziehung):
nach (Grünthal et al., 2008)

$$M_L = 0.810 \times I_0 + 0.49 \log h_0 - 0.85 \quad s = 0.39 \dots 0.44$$

3.3.8 $M_{w,i} - I_0, h_0$

Für die Ermittlung der Regression (Gl. 3.12) werden 42 Datensätze des Datensatzes Ah03 verwendet. Die Datensätze mit einer Epizentralintensität von II (2.0) werden dabei nicht berücksichtigt.

EDAC (Nachrechnung) für $I_0 > \text{II (2.0)}$

$$M_w = 0.564 (\pm 0.027) \times I_0 + 0.819 (\pm 0.312) \log h_0 + 0.107 (\pm 0.372) \quad (\text{Gl. 3.12})$$

Parameterbereich: $\text{III (3.0)} \leq I_0 \leq \text{VIII (8.0)}$

$$6 \leq h_0 \leq 16 \text{ km}$$

$$2.3 \leq M_w \leq 5.7$$

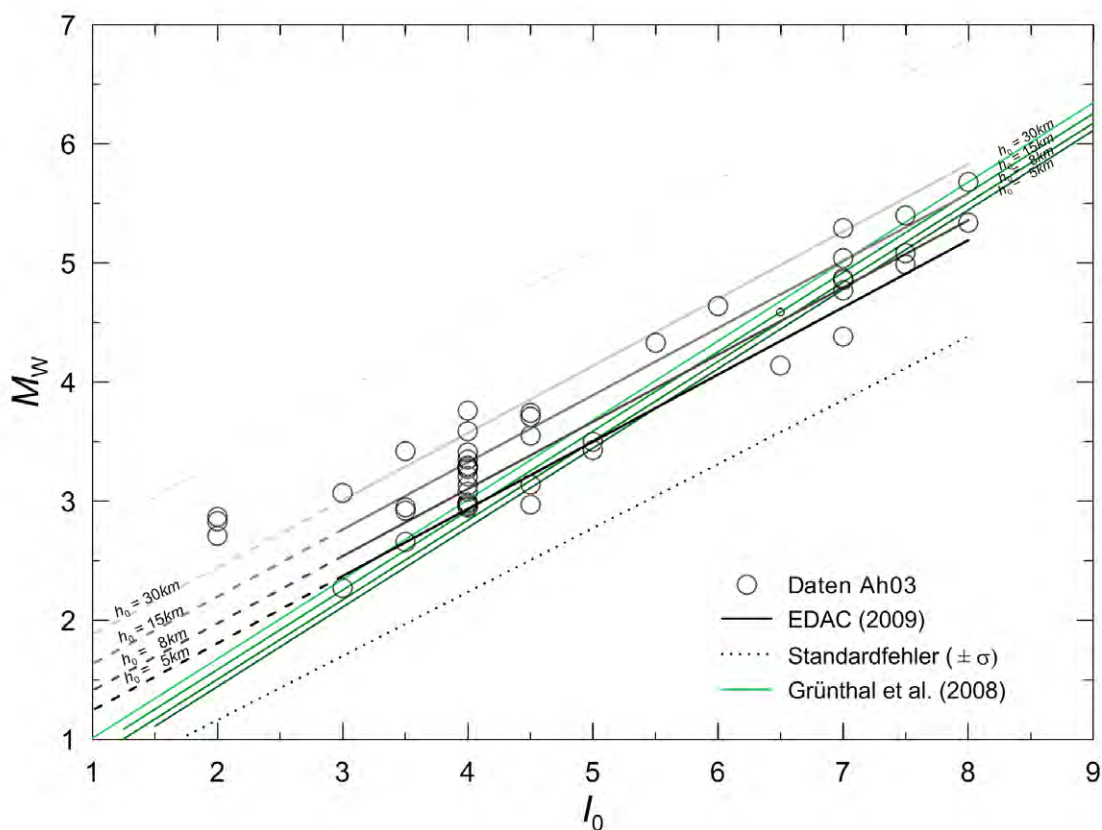


Abb. 3.13 Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression $M_w - I_0, \log(h_0)$ im Vergleich zu Regression nach (Grünthal et al., 2008)

Erläuterung zu Abb. 3.13 (weitere dargestellte Beziehung):
(Grünthal et al., 2008)

$$M_w = 0.667 \times I_0 + 0.30 \log h_0 - 0.10 \quad s = 0.31 \dots 0.37$$

3.4 Abgleich instrumenteller und makroseismischer Magnituden

Für die **grau markierten** Datensätze in Tabelle 3.2 ist eine makroseismische Schüttergebietskarte mit Iseistenlinien und gegebenenfalls Einzelbefunden vorhanden. Im Folgenden werden diese Karten hinsichtlich ihrer makroseismischen Magnituden ausgewertet. Es werden die folgenden Methoden hierzu verwendet.

$M_{L,m}$ nach (Ahorner *et al.*, 1986):

$$M_{L,m} = 2/3 \times I_n + 2 \log(\sqrt{h_0^2 + r_n^2}) + 13/15 \times a (\sqrt{h_0^2 + r_n^2} - 10) - 4/3 \quad (\text{Gl. 3.13})$$

Mit den Größen:

$M_{L,m}$... makroseismische Lokalbebenmagnitude

I_n ... Intensität der Iseiste n

h_0 ... Herdtiefe in km

r_n ... Epizentralentfernung in km

a ... Absorptionskoeffizient in km^{-1}

Die Abnahmebeziehung geht von der vereinfachten Wellenausbreitung im isotropen Halbraum aus und berücksichtigt nicht die geologischen Gegebenheiten, wie die Schichtung des Untergrundes.

Die makroseismische Momentenmagnitude $M_{W,m}$ wird ermittelt nach (Johnston, 1996):

$$\begin{aligned} \log(M_0) &= 17.31 + 0.959 \log(A_f) + 0.00126 \sqrt{A_f} \\ \log(M_0) &= 17.59 + 1.020 \log(A_3) + 0.00139 \sqrt{A_3} \\ \log(M_0) &= 18.10 + 0.971 \log(A_4) + 0.00194 \sqrt{A_4} \\ \log(M_0) &= 19.83 + 0.788 \log(A_5) + 0.00260 \sqrt{A_5} \\ \log(M_0) &= 20.23 + 1.032 \log(A_6) + 0.00176 \sqrt{A_6} \\ \log(M_0) &= 23.22 + 0.559 \log(A_7) + 0.00328 \sqrt{A_7} \\ \log(M_0) &= 24.05 + 0.440 \log(A_8) + 0.00586 \sqrt{A_8} \\ \log(M_0) &= 19.36 + 0.481 \times I_{\max} + 0.0244 \times I_{\max}^2 \end{aligned} \quad (\text{Gl. 3.14})$$

Mit den Größen:

M_0 ... Herdmoment in $dyn\ cm$

A_f ... Fläche des gesamten makroseismischen Schüttergebietes in km^2

A_3 ... Fläche der Iseiste III in km^2

A_4 ... Fläche der Iseiste IV in km^2

A_5 ... Fläche der Iseiste V in km^2

A_6 ... Fläche der Iseiste VI in km^2

A_7 ... Fläche der Iseiste VII in km^2

A_8 ... Fläche der Iseiste VIII in km^2

I_{\max} ... maximale Intensität, im Allgemeinen die Epizentralintensität

und (Hanks & Kanamori, 1979):

$$M_{W,m} = 2/3 \times \log(M_0) - 10.7 \quad (\text{Gl. 3.15}).$$

Aus dem gemittelten Herdmoment M_0 wird die makroseismische Momentenmagnitude $M_{W,m}$ bestimmt. Der Mittelwert von M_0 wurde zum einen (wenn vorhanden) mit dem M_0 der gesamten makroseismischen Schütterfläche ($M_{W,m}$ mit A_f) und ohne diese bestimmt ($M_{W,m}$ ohne A_f). Oft ist bei makroseismischen Schütterkarten die Gesamtfläche des makroseismischen Schüttergebietes A_f nicht gekennzeichnet bzw. es differieren die zugehörigen Intensitäten (II (2.0), II-III (2.5), III(3.0)).

Der Unterschied zwischen der auf diese Weise bestimmten makroseismischen Momentenmagnitude $M_{W,m}$ ist in Abb. 3.14 und Abb. 3.17 deutlich zu erkennen. Wenn keine Gesamtfläche des makroseismischen Schüttergebietes A_f vorhanden ist, wird das entsprechende Herdmoment und die entsprechende Magnitude ($M_{W,m}$ mit A_f) nicht angegeben.

Die im Erdbebenkatalog enthaltenen und auf diese Weise bestimmten makroseismischen Momentenmagnituden M_W mit Quelle [EDAC] sind auf diese Weise bestimmt worden. Bei verfügbarer Schüttergebietes A_f wurde für den Katalogeintrag der Mittelwert aus ($M_{W,m}$ mit A_f) und ($M_{W,m}$ ohne A_f) gebildet.

Die so bestimmten makroseismischen Kenngrößen für die gekennzeichneten Erdbeben werden mit den zugehörigen instrumentell bestimmten Kenngrößen verglichen. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass anhand der verwendeten Beziehungen eine gute Übereinstimmung feststellbar ist (s. Abb. 3.16 und Abb. 3.17).

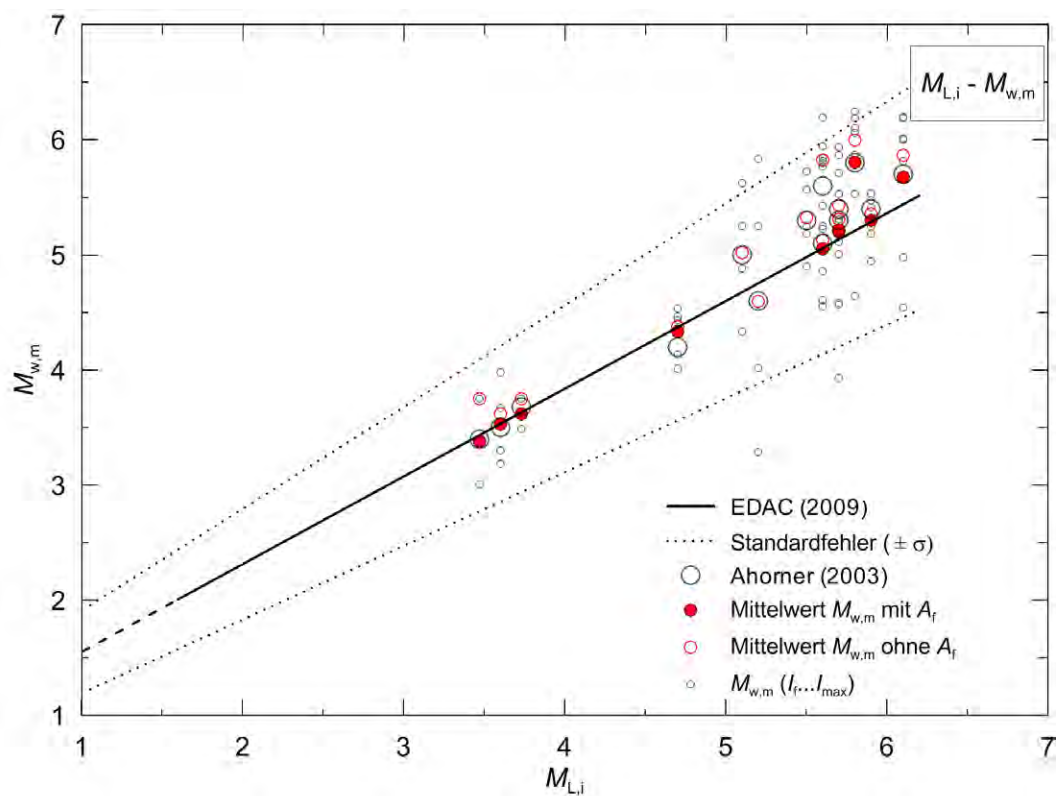


Abb. 3.14 Vergleich instrumenteller und makroseismischer Magnituden und der für den Datensatz Ah03 (Ahorner, 2003) bestimmten Regression für $M_{L,i} - M_{w,m}$ (s. (Gl. 3.2))

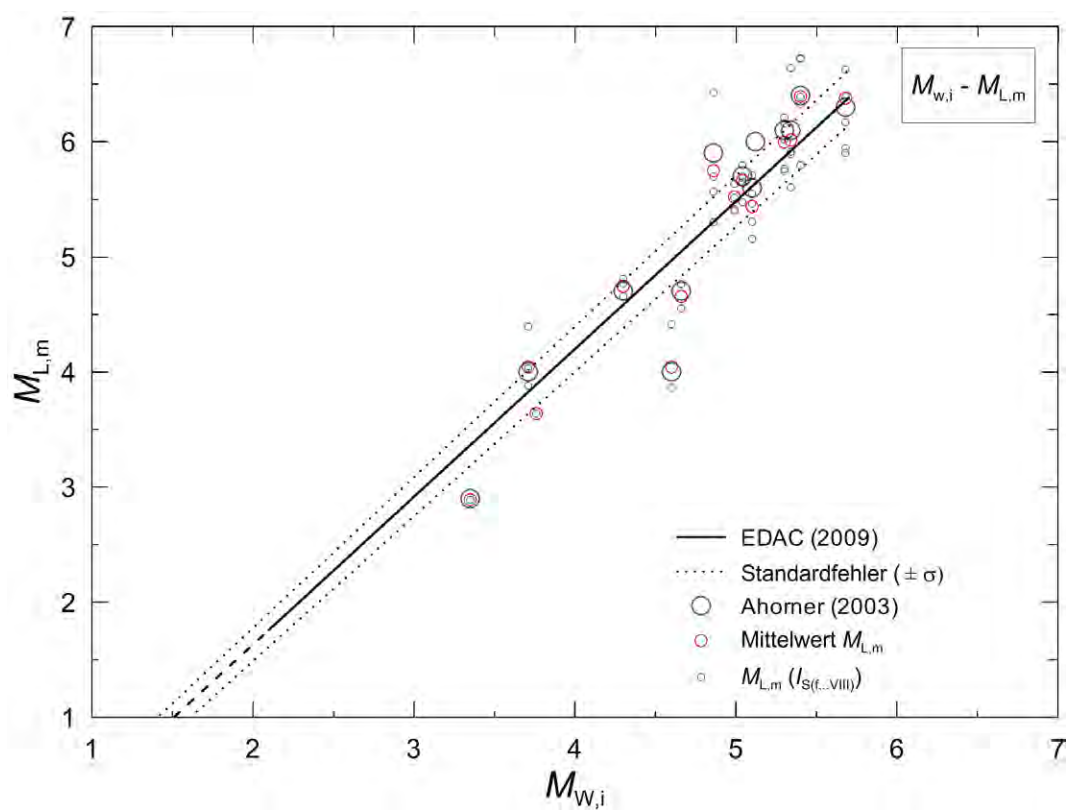


Abb. 3.15 Vergleich instrumenteller und makroseismischer Magnituden und der für den Datensatz Ah03 (Ahorner, 2003) bestimmten Regression für $M_{w,i} - M_{L,m}$ (s. (Gl. 3.3))

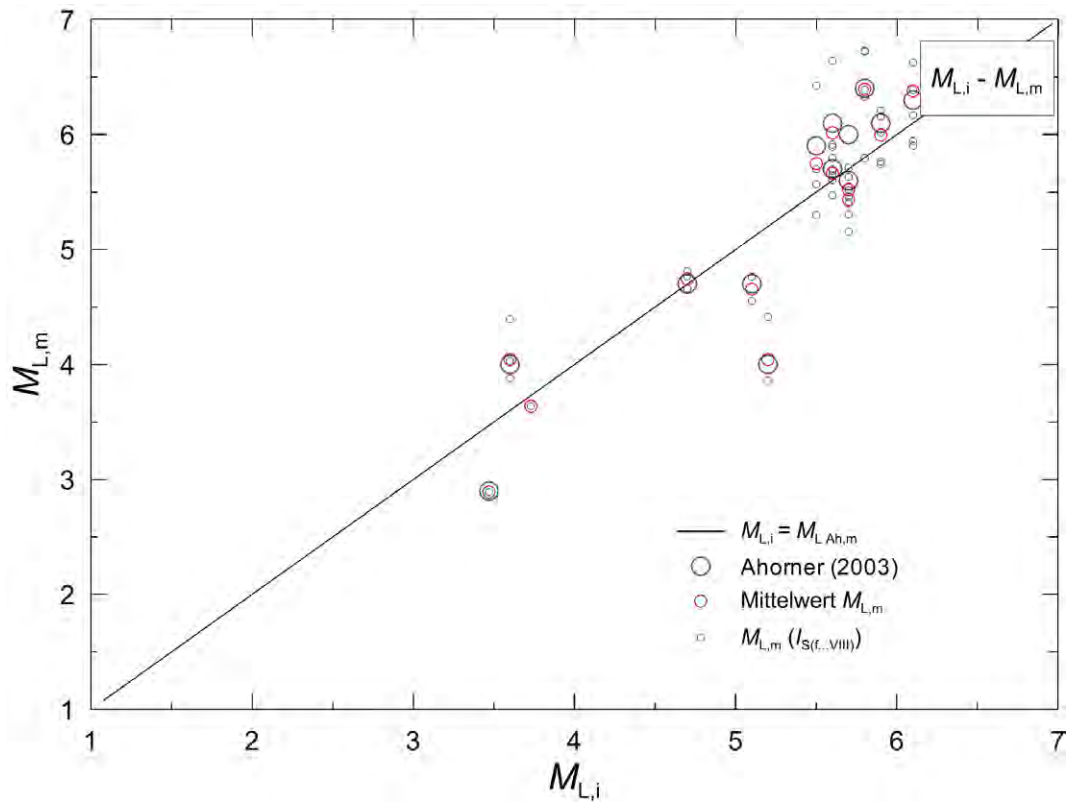


Abb. 3.16 Vergleich instrumenteller (Ahorer, 2003) und makroseismischer Magnituden für $M_{L,i} - M_{L,m}$

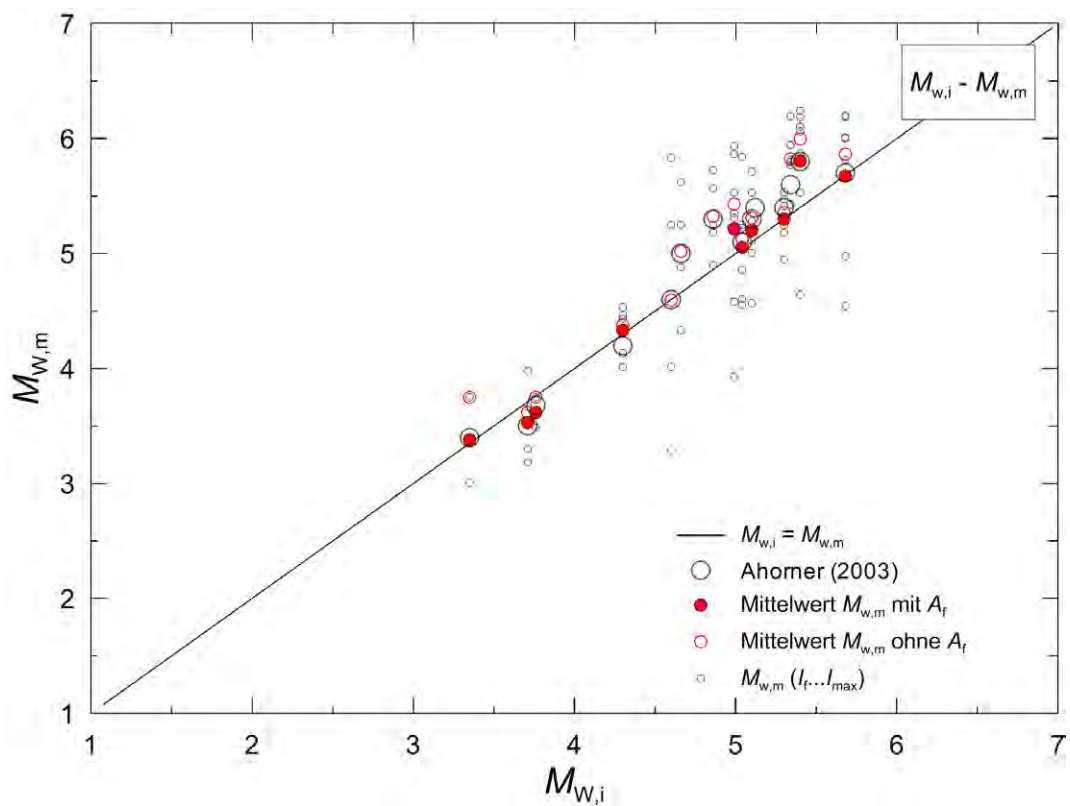


Abb. 3.17 Vergleich instrumenteller (Ahorer, 2003) und makroseismischer Magnituden für $M_{w,i} - M_{w,m}$

3.5 Abgleich der Regressionen mit dem Ausgabekatalog

Die folgenden Abbildungen zeigen die jeweils für den Erdbebenkatalog EKDAG (Version 1.0) zum Auffüllen der Magnitudeneinträge verwendeten Regressionsbeziehungen im Vergleich zum den im Katalog enthaltenen Datensätzen:

- Abb. 3.18: Beziehung $M_L - M_W$ (Gl. 3.2) mit Kennzeichnung des Magnitudentyps der Magnitude M_L ,
- Abb. 3.19: Beziehung $M_{L,i} - I_0$ (Gl. 3.9) mit Kennzeichnung des Magnitudentyps der Magnitude M_L ,
- Abb. 3.20: Beziehung $M_{L,i} - I_0, h_0$ (Gl. 3.11) mit Kennzeichnung des Herdtiefenbereichs der Herdtiefe h_0 ,
- Abb. 3.21: Beziehung $M_{W,i} - I_0$ (Gl. 3.10) mit Kennzeichnung des Magnitudentyps der Magnitude M_W und
- Abb. 3.22: Beziehung $M_{W,i} - I_0, h_0$ (Gl. 3.12) mit Kennzeichnung des Herdtiefenbereichs der Herdtiefe h_0 .

Wie zu erwarten zeigen die Datensätze im Vergleich mit der Beziehung $M_L - M_W$ (s. Abb. 3.18) eine gute Übereinstimmung mit dem tendenziellen Verlauf der Beziehung. Dabei ist der Unterschied zwischen instrumentellen und makroseismischen Magnituden nicht gravierend und bewegt sich innerhalb des Vertrauensbereichs der Regression ($\pm s$).

Die Abbildungen für die entsprechenden Regressionen $M_L - I_0$ (s. Abb. 3.19), $M_W - I_0$ (s. Abb. 3.21), $M_L - I_0, h_0$ (s. Abb. 3.20) und $M_W - I_0, h_0$ (s. Abb. 3.22) zeigen eine deutlich größere Schwankungsbreite, was auf die deutlich unsichere Bestimmung der makroseismischen Größe der Epizentralintensität I_0 zurückzuführen ist. Diese hängt von deutlich unsichereren Faktoren ab und kann sogar regional sehr differieren aufgrund Herdmechanismen, geologischen und topographischen Gegebenheiten, der Bebauungsstruktur sowie der Bevölkerungsdichte, s.a (Amstein *et al.*, 2005). Selbst im Ausgangsdatsatz Ah03 (Ahorner, 2003) ist eine größere Schwankungsbreite zu verzeichnen.

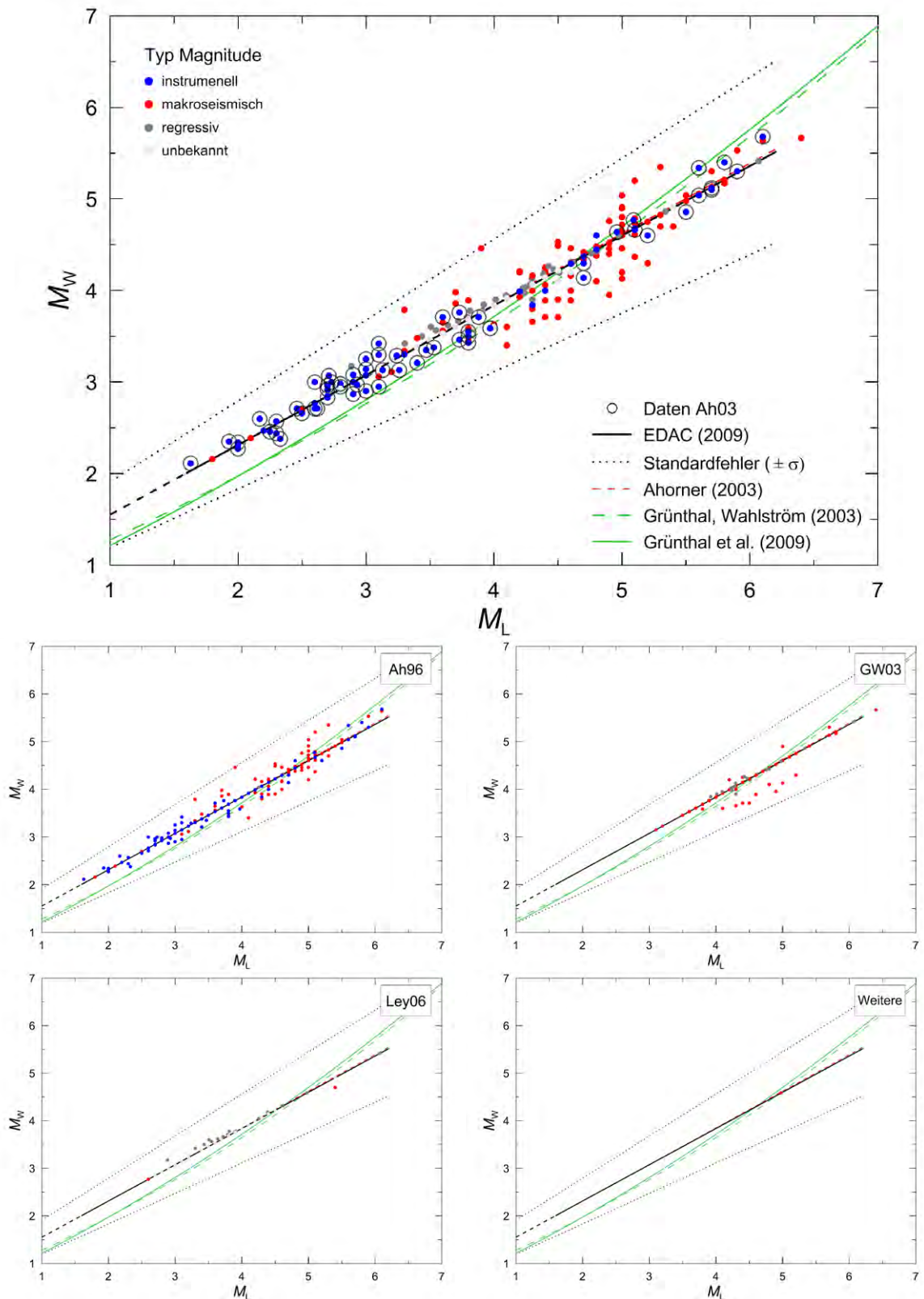


Abb. 3.18 Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression M_L - M_W , Vergleich zu Regressionen nach (Ahorner, 2003; Grünthal & Wahlström, 2003; Grünthal et al., 2009) (Farbig nach Typ der Magnitude M_L); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere

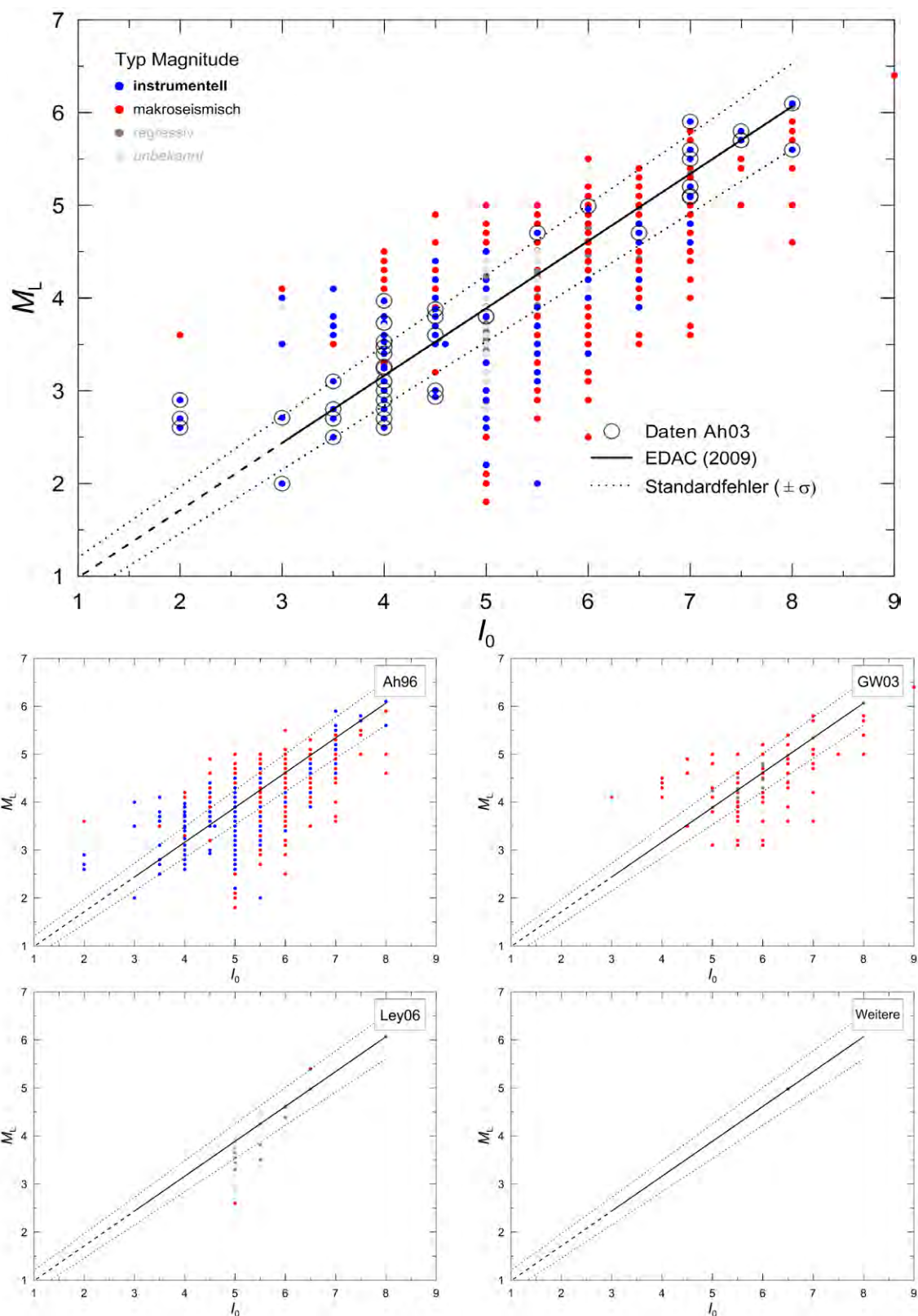


Abb. 3.19 Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression M_L - I_0 , (Farbig nach Typ der Magnitude M_L); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere

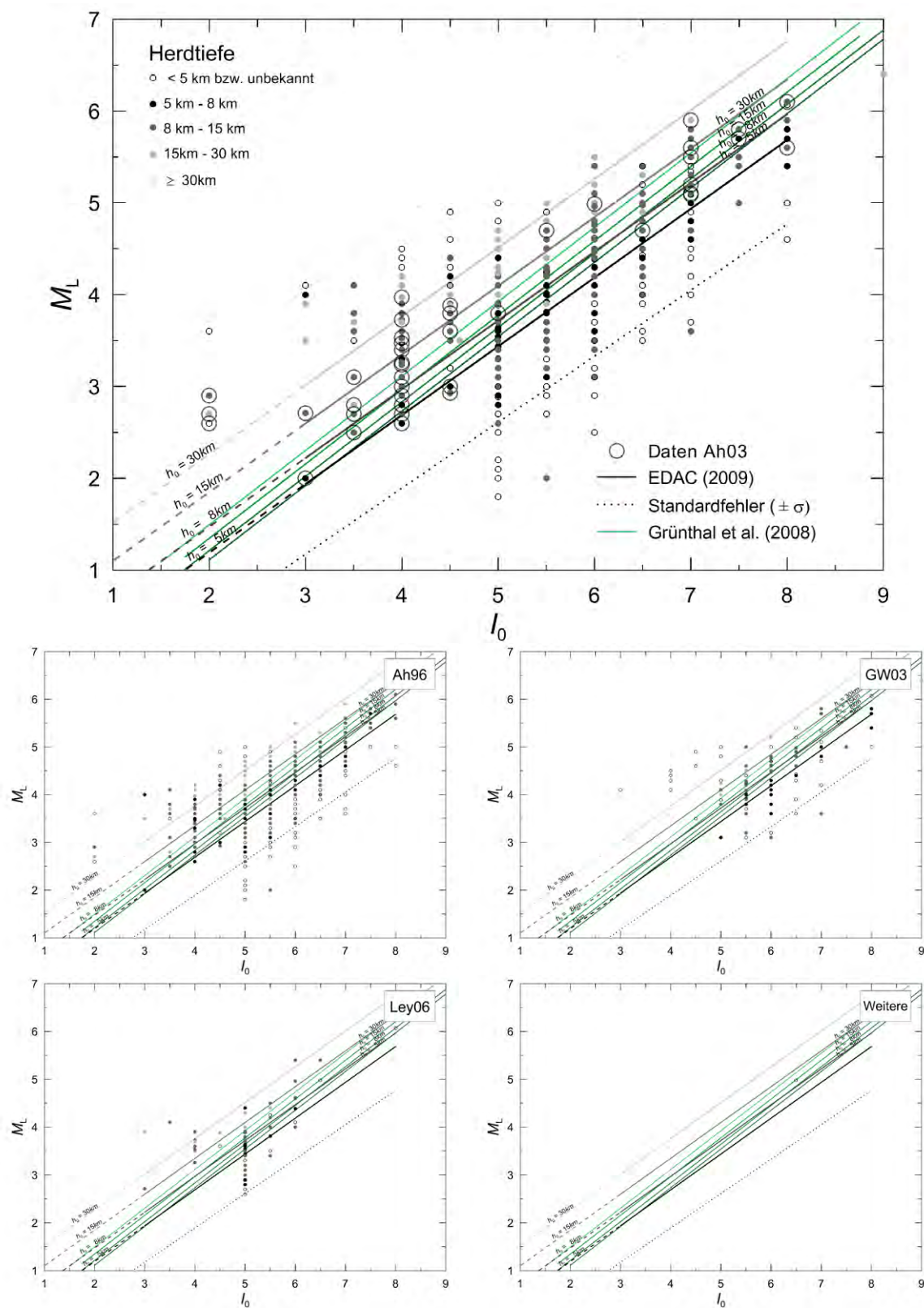


Abb. 3.20 Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah3 (Ahorner, 2003) zur Regression M_L - I_0 , $\log(h_0)$ im Vergleich zu Regression nach (Grünthal et al., 2008) (Graustufen nach Herdtiefe h_0); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere

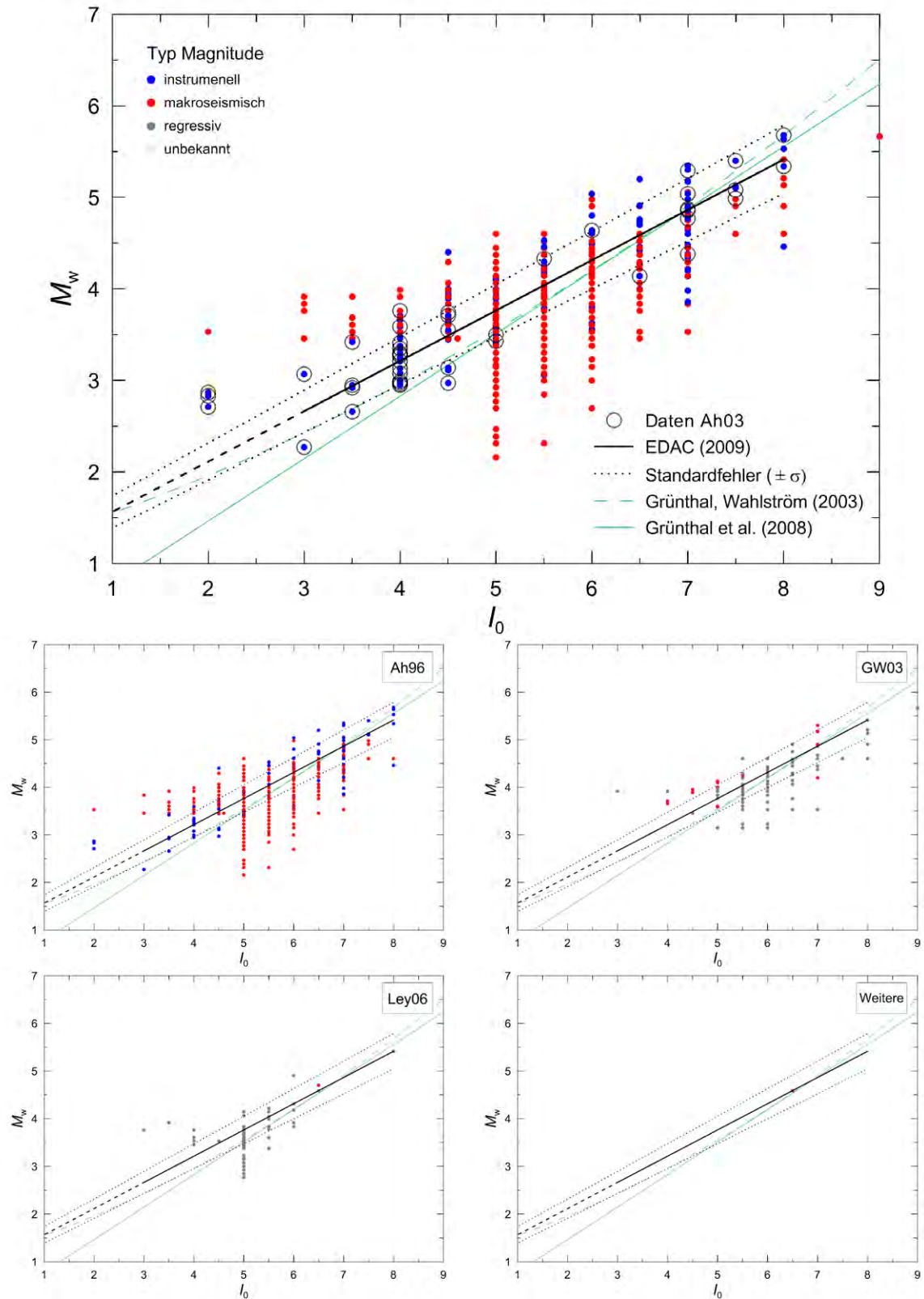


Abb. 3.21 Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression M_w - I_0 im Vergleich zu Regressionen nach (Grünthal et al., 2008; Grünthal & Wahlström, 2003), (Farbig nach Typ der Magnitude M_w); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere

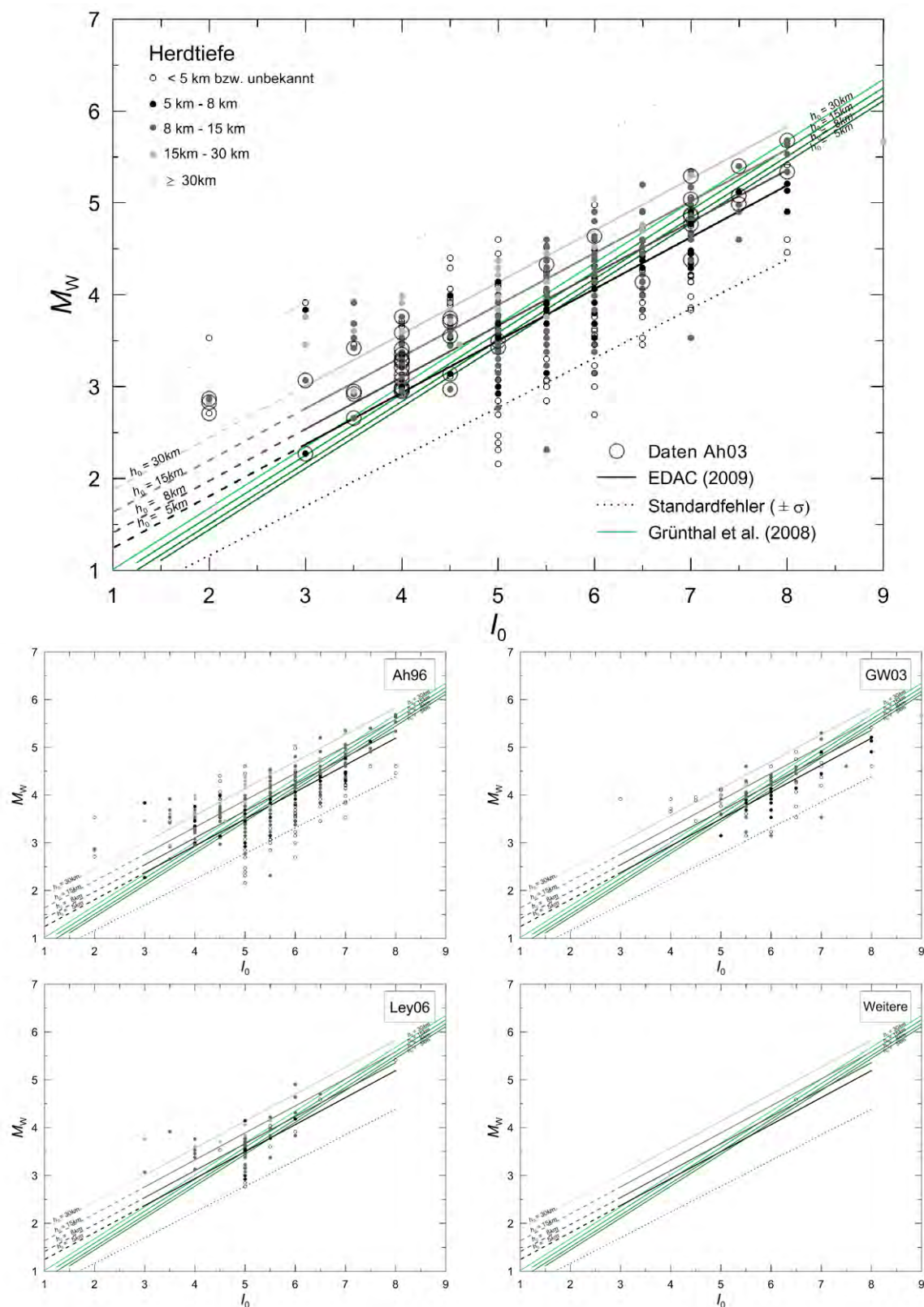


Abb. 3.22 Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression M_W - I_0 , $\log(h_0)$ im Vergleich zu Regression nach (Grünthal et al., 2008) (Graustufen nach Herdtiefe h_0); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere

4 Aufbereitung makroseismischer Schütterkarten

Wie Tabelle 4.1 zeigt, existieren für Mitteleuropa bereits Erdbebenkataloge mit darin enthaltenen Schütterkarten. Allerdings decken diese nur bestimmte Zeiträume (Sieberg, 1940a, 1940b; Sponheuer, 1952) ab bzw. enthalten Beben für eine bestimmte Region (Fiedler, 1954).

Ziel des Erdbebenkataloges EKDAG (Version 1.0) ist die Zusammenführung und Neubearbeitung dieser Quellen sowie die Ergänzung mit weiteren Literaturen.

Im Teil C des Erdbebenkataloges wird eine Auswahl von Schütterkarten aufbereitet. Diese Karten umfassen alle von Ahorner und Koautoren erstellten makroseismischen Karten (s.a. Anhang 1), des Weiteren Erdbeben die von Autoren des Kataloges EKDAG (Version 1.0) neu bearbeitet wurden.

Teil C stellt im Augenblick nur eine kleine Anzahl von möglichen Erdbeben dar, die in vergleichbarer Weise aufbereitet werden können (s. Tabelle 4.2). Durch die zur Bereitstellung des Kataloges über das Internet bzw. die für die Zukunft geplante Verfügbarkeit eines Datenbankzugriffs und der Möglichkeit von Abfragen kann die Bereitstellung neuer Bearbeitungen und Ausweitung von Teil C erfolgen.

Tabelle 4.1 Kataloge mit makroseismischen Schütterkarten

Katalog	Daten		M_L (makroseismische Karten)	I_0	Quelle
	von	bis			
Sie40a	58	– 1799	4.7 – 6.5	V (5) – IX (9)	(Sieberg, 1940a)
Sie40b	1935	– 1939	2.7 – 6.1	IV (4) – IX (9)	(Sieberg, 1940b)
Spo52	1800	– 1899	3.1 – 6.2	IV (4) – IX (9)	(Sponheuer, 1952)
Fie54	1800	– 1950	2.9 – 6.1	IV-V (4.5) – VIII (8)	(Fiedler, 1954)

Tabelle 4.2 Übersicht (Anzahl) möglicher makroseismischen Schütterkarten und der im Teil C dargestellten

Makroseismische Schütterkarten	(Sieberg, 1940a)	(Sieberg, 1940b)	(Fiedler, 1954)	(Sponheuer, 1952)	Weitere [Ahxx], [(Meidow, 1995)]	Neu
EKDAG Ausgabe (Gesamt)	8 (10)	16 (18)	48 (48)	25 (29)	277 (324) [17], [14]	8
EKDAG Ausgabe $I \geq V-VI$ (5.5)	8	12	26	19	145 [7], [6]	8
EKDAG Teil C ($I < V-VI$ (5.5))					22 (10) [17], [2]	2

5 Diskussion und Ausblick

Abb. 5.1 gibt die Lage der Erdbeben im Katalog und ihre regionale Einordnung in das Seismizitätszonenmodell von (Ahorner & Rosenhauer, 1986 (Stand 2004)); die Abgrenzung der Teilgebiete erfolgte nach seismologischen und geologisch-tektonischen Kriterien.

Der Katalog EKDAG beinhaltet tektonische Erdbeben aus Deutschland und angrenzenden Gebieten. Unter angrenzenden Gebieten ist ein 50 km breiter Gebietsstreifen jenseits der Landesgrenze zu verstehen. Bergbauliche Ereignisse, Sprengungen o.ä. sind nicht erfasst. Der Katalog deckt einen Zeitraum vom Jahr 880 bis zum Jahr 2005 ab.

Es ist u.a. vorgesehen, in der weiteren Bearbeitung, die Erdbebendaten in einer im Internet abrufbaren Datenbank zur Verfügung zu stellen.

In diesem Kontext sollen auch Karten zur Interpretation der makroseismischen Schütterwirkungen im GIS-Format (GIS-Geographische Informationssysteme) als Datenblätter bereitgestellt werden. Dabei wird auf methodische Grundlagenarbeiten des Erdbebenzentrums im mikro- und makroskaligen Bereich zurückgegriffen (vgl. (Amstein *et al.*, 2005)). Die Erweiterung der Datenebenen schließt Hintergrundinformation zu den historischen Schadensbeben und verursachten Schäden, Angaben zur Bebauung, zu den vorherrschenden bzw. betroffenen Bauweisen, zur Besiedlungsdichte, aber auch Ergebnisse qualifizierter (instrumenteller) Standortuntersuchungen und Erdbebenzeitverläufen ein.

Der Schwerpunkt liegt somit in der Aufbereitung von Bebeninformationen, die für die Ingenieurpraktische Anwendung von Bedeutung sind, und in der Einarbeitung der aktuellen Erdbebentätigkeit. Der konzeptionelle Ansatz, den Katalog vornehmlich auf ingenieurrelevante Fragestellungen auszurichten und damit neben Schäden, Schadensverteilungen auch der registrierten Bodenbewegungen und Besonderheiten bzw. „Anomalien“ infolge standortbedingter Ursachen nachzugehen, bedeutet eine wesentliche Erweiterung des Kataloginhaltes. Der Katalog ist als Datenbank angelegt, die zudem Nachvollziehbarkeit der Katalogentwicklung in einer bis dato nicht bekannten Form ermöglichen soll.

Der Erdbebenkatalog bietet in der vorliegenden Form die Grundlage für weiterführende Forschungsarbeiten insbesondere auf dem Gebiet der probabilistischen Gefährdungsanalyse. Dies betrifft „Entwicklung einer neuartigen Methode der probabilistischen Gefährdungsberechnung auf der Grundlage von Epizentrendichte-Verteilungen“ ebenso wie die Klärung der Zusammenhänge zwischen den Bemessungsbeben und zugehörigen ingenieurseismologischen Kenngrößen, die sich nach probabilistischer und deterministischer Vorgehensweise ermitteln lassen; insbesondere aber auch darum, hier für das Regelwerk fundierte Festlegungen unter Berücksichtigung der Besonderheiten deutscher Erdbebengebiete begründen zu können.

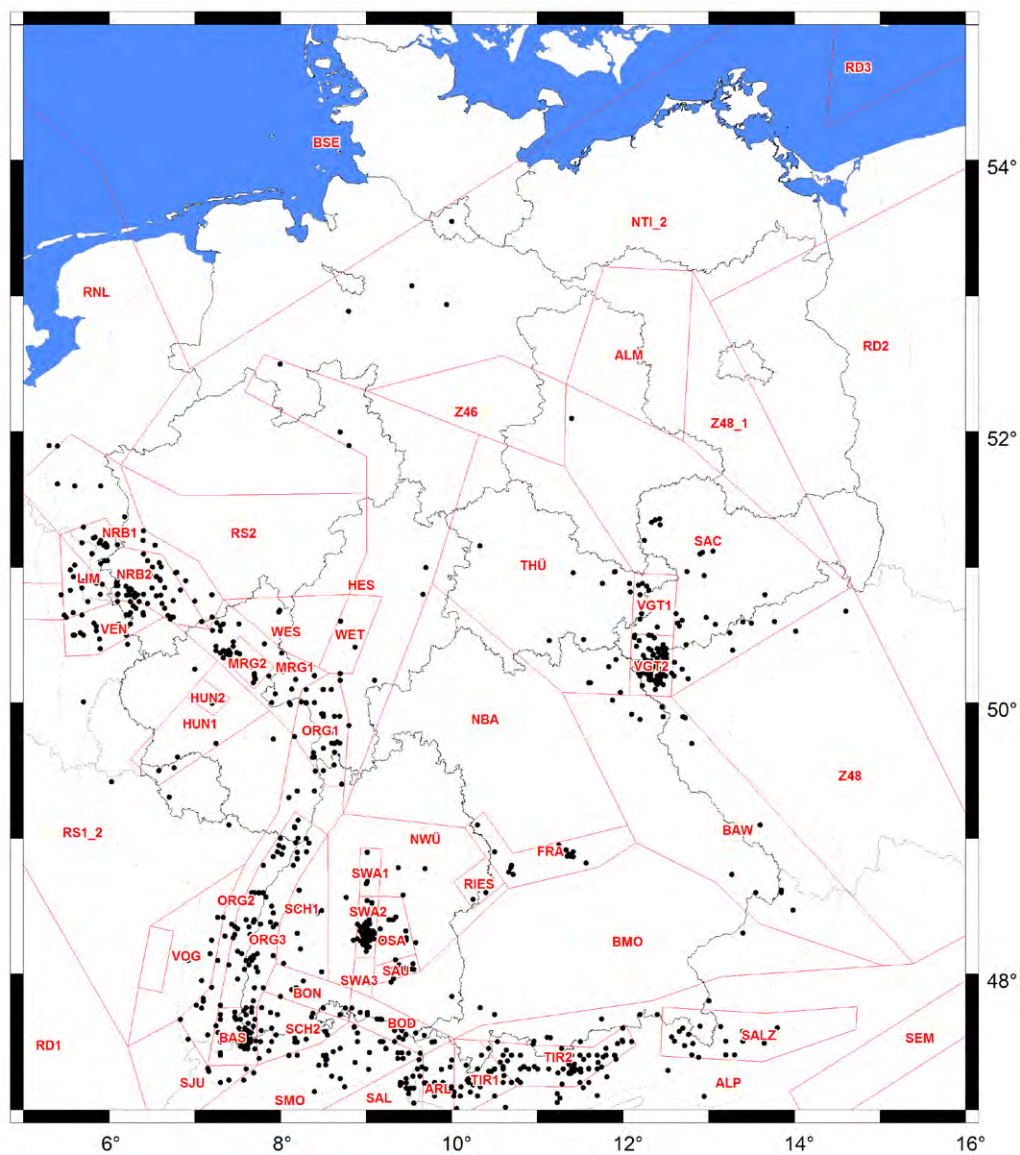


Abb. 5.1 Erdbebenkatalog EKDAG mit Modell AR04
(Ahorner & Rosenhauer, 1986 (Stand 2004))

Danksagung

Die Arbeiten an dem vorliegenden Erdbebenkatalog wurden durchgeführt vom Earthquake Damage Analysis Center (EDAC) an der Bauhaus-Universität Weimar in Zusammenarbeit mit dem SeismoGeologischen Büro Dr. Meidow, Köln, und unter Unterstützung von Prof. Ahorner, Beratender Seismologe, Bergisch-Gladbach. Die Koordination der ersten Projektphase lag in den Händen von Herrn Dr. Meidow. Die zweite Projektphase wurde durch das Earthquake Damage Analysis Center (EDAC) konzipiert und unter Leitung von Herrn Dr. Schwarz realisiert.

Das Projekt wurde als Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durch die VGB PowerTech Service GmbH, Essen, unter dem Aktenzeichen SA „AT“ 28/07 gefördert. Dank an die VGB für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens.

Literaturverzeichnis

Ahorner, L. (1977): Erdbebenkatalog der Rheinlande und angrenzenden Gebiete von 1300 bis 1970. *Manuskript (unveröffentlicht)*.

Ahorner, L. (1983): Seismicity and neotectonic structural activity of the Rhine Graben system in Central Europe. In proceedings: *NATO Advanced Research Workshop on the Seismicity and Seismic Risk in the Offshore North Sea Area, The Netherlands, June 1 - 4, 1982*, Bd. Seismicity and seismic risk in the offshore North Sea area, hrsg. v. Ritsema, Gürpinar (Ed.), S. 101-111, Dordrecht/Holland.

Ahorner, L. (1996): Erdbebenkatalog. *Data File (unveröffentlicht)*.

Ahorner, L. (1998): Deterministische Ermittlung des Bemessungserdbebens am Standort Mülheim-Kärlich nach der Magnituden-Methode - Gutachten im Auftrag der RWE Energie AG. Beratender Seismologe, D-51429 Bergisch Gladbach, 126 S. (1998).

Ahorner, L. (2003): Herdparameter von mitteleuropäischen Erdbeben im Zeitraum 1911-2003. *pers. Mitteilung*.

Ahorner, L.; Amstein, S.; Golbs, C.; Meidow, H.; Schwarz, J. (2006): An earthquake catalogue for Germany and adjacent areas considering engineering demands. In proceedings: *1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Bd. ID 1956, Geneva 3 September (*Data File*). [online] <http://www.edac.biz/index.php?id=265>

Ahorner, L.; Meidow, H. (1998): Seismologisches Gutachten für den Standort des Kernkraftwerkes Grohnde in Niedersachsen - Teil I. Prof. Dr. L. Ahorner Beratender Seismologe, Bergisch-Gladbach: SeismoGeologisches Büro Dr. Meidow, Köln, 114 S. (1998) (*Teil I (Text)*).

Ahorner, L.; Murawski, H.; Schneider, G. (1970): Die Verbreitung von schadensverursachenden Erdbeben auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland - Versuch einer seismologischen Regionalisierung. In: *Zeitschrift für Geophysik*, Bd. 36 (1970), S. 313-343.

Ahorner, L.; Rosenhauer, W. (1986): Realistische Lastannahmen für Bauwerke - Kap. 9: Regionale Erdbebengefährdung. *II. Abschlußbericht im Auftrag des Instituts für Bautechnik, Berlin*, Frankfurt/Main.

Ahorner, L.; Rosenhauer, W.; Budny, M. (1986): Methoden zur Erdbebengefährdungsanalyse - Regionale Erdbebengefährdung. In: *Realistische seismische Lastannahmen für Bauwerke*, hrsg. v. Institut für Bautechnik (Ed.), S. V/1-V/45, Stuttgart. *Abschlussbericht im Auftrag des Instituts für Bautechnik, Berlin*.

Alexandre, P. (1994): Historical seismicity of the lower Rhine and Meuse Valleys from 600 to 1525 a new critical review. In: *Geologie en Mijnbouw*, Bd. 73 (1994), S. 431-438.

Amstein, S.; Lang, D. H.; Schwarz, J. (2005): Schütterwirkungen historischer Erdbeben und aktuelle Anwendungsgebiete für das Erdbebeningenieurwesen. In: *Bautechnik*, Bd. **82** (2005) Nr. 9, S. 641-656.

BGR (2006): Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. [online] http://www.bgr.bund.de/cln_029/DE/Home/homepage__node.html__nnn=true

Fiedler, G. (1954): Die Erdbebenätigkeit in Südwestdeutschland in den Jahren 1800 - 1950. Technische Hochschule Stuttgart. *Dissertation*.

Grünthal, G. (Ed.) (1988): Erdbebenkatalog des Territoriums der Deutschen Demokratischen Republik und angrenzender Gebiete von 823 bis 1984. *Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde*, 99, Bd. **99**, Potsdam.

Grünthal, G.; Wahlström, R. (2003): An Mw based earthquake Catalogue for central, northern and northwestern Europe using a hierarchy of magnitude conversions. In: *Journal of Seismology*, Bd. **7** (2003) Nr. 4, S. 507-532.

Grünthal, G.; Wahlström, R.; Stromeyer, D. (2008): Empirische Zusammenhänge zwischen Stärkeparametern von Erdbeben: Intensitäten und Magnituden. *Entwurf*.

Grünthal, G.; Wahlström, R.; Stromeyer, D. (2009): The unified catalogue of earthquakes in central, northern, and northwestern Europe (CENEC)—updated and expanded to the last millennium. In: *Journal of Seismology*, Bd. **13** (2009) Nr. 4, S. 517-541, doi:10.1007/s10950-008-9144-9.

Hanks, T. C.; Kanamori, H. (1979): A moment magnitude scale. In: , Bd. **84** (1979), S. 2348–2350.

Johnston, A. C. (1996): Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions - I. Instrumental seismicity. In: *Geophysical Journal International*, Bd. **124** (1996) Nr. 2, S. 381-414, doi:10.1111/j.1365-246X.1996.tb07028.x.

Leydecker, G. (1986): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000 - 1981 - mit 2 Tabellen. *Reihe E, Geophysik*, 36, Stuttgart.

Leydecker, G. (2004): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 - 2003. Hannover. *Data File*. [online] <http://www.bgr.de/quakecat/ger/catalogs.htm#ger>

Leydecker, G. (2005): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 - 2004. Hannover. *Data File*. [online] http://www.bgr.bund.de/cln_029/nn_457146/DE/Themen/Seismologie/Erdbeben/historisch/germany.html

Leydecker, G. (2006): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 - 2005. Hannover. *Data File*. [online] http://www.bgr.bund.de/cln_029/nn_457146/DE/Themen/Seismologie/Erdbeben/historisch/germany.html

Meidow, H. (1995): Rekonstruktion und Reinterpretation von historischen Erdbeben in den nördlichen Rheinlanden unter Berücksichtigung der Erfahrungen bei dem Erdbeben von Roermond am 13. April 1992. Universität Köln. *Dissertation*.

Nöggerath, J. (1847): Das Erdbeben vom 29. Juli 1846 im Rheingebiet und den benachbarten Ländern.

Perrey, A. (1847): Mémoire sur les tremblements de terre dans le bassin du Rhin. Mémoires couronnés et mémoires des savant étrangers. l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique.

van Rummelen, F. H. (1945): Overzicht van de tusschen 600 en 1940 in Zuid-Limburg en omgeving waargenomen aardbevingen. In: *Mededeelingen Jaarverslag Geologisch Stichting*, (1945) Nr. 15, S. 130.

Schwarz, J.; Amstein, S.; Golbs, C.; Grünthal, G. (2005): Neuinterpretationen historischer Schlüsselbeben - in Vorbereitung und als Zuarbeit eines 'Erdbebenkataloges für deutsche und angrenzende Erdbebengebiete' SA-AT 44/00 Projekt-Nr. 246 114 75. Bauhaus-Universität Weimar: Weimar, 171 S. (2005) (*Bericht*).

Sieberg, A. (1940a): Beiträge zum Erdbebenkatalog Deutschlands und angrenzender Gebiete für die Jahre 58 bis 1799. *Mitteilungen des Deutschen Reichs-Erdbebendienstes*, Heft 2, Bd. 2, Berlin.

Sieberg, A. (1940b): Erdbebenkatalog Deutschlands für die Jahre 1935 bis 1939. In: *Mitteilungen des Deutschen Reichs-Erdbebendienstes*, Bd. 1 (1940b), S. 1-28.

Sponheuer, W. (1952): Erdbebenkatalog Deutschlands und der angrenzenden Gebiete für die Jahre 1800 bis 1899. *Mitteilungen des Deutschen Erdbebendienstes*, H. 3, Berlin.

Sponheuer, W. (1962): Untersuchung zur Seismizität von Deutschland. In: *Zum Gedenken Emil Wiecherts anlässlich der 100. Wiederkehr seines Geburtstages*, Bd. 72, hrsg. v. Sponheuer (Ed.), S. 23-52, Veröffentlichungen des Institutes für Bodendynamik und Erdbebenforschung in Jena: Berlin.

Swiss Seismological Service (2002): ECOS - Erdbebenkatalog der Schweiz. [online] http://histserver.ethz.ch/ECOS_summary_d.html

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1.1	Übersicht des vom Erdbebenkatalog EKDAG (Y) abgedeckten Gebietes mit einem Puffer von 50 km mit Kennzeichnung der Teil C näher behandelten Erdbeben (I)..... 6
Abb. 2.1	Handschriftliche Arbeiten zum Erdbebenkatalog Ahorner (1977)..... 9
Abb. 2.2	Auszug aus dem Datenfile des Erdbebenkatalogs Ahorner (1996)..... 10
Abb. 2.3	Daten enthalten im Erdbebenkatalog EKDAG (Version 1.0) mit Quelle Erdbebenkatalog Ah96 (Ahorner, 1996)..... 12
Abb. 2.4	Abgedecktes Gebiet der Ausgangskataloge Ah96 (Ahorner, 1996), GW03 (Grünthal & Wahlström, 2003) und Ley04 (Leydecker, 2004)..... 13
Abb. 2.5	Daten enthalten im Erdbebenkatalog EKDAG mit Quelle GW03 (Grünthal & Wahlström, 2003); Ley04 bis Ley06 (Leydecker, 2004, 2005, 2006); Ale94 (Alexandre, 1994)..... 14
Abb. 3.1	Hierarchie der Erdbebenkataloge in der Bearbeitung (Reihenfolge für die Vervollständigung)..... 16
Abb. 3.2	Enthaltene Datensätze im Erdbebenkatalog EKDAG (Version 1.0) mit Unterscheidung der Ausgangskataloge Ah96, GW03, Ley04, Ley05, Ley06 und Ale94..... 16
Abb. 3.3	Beispielhafte Darstellung der Unterschiede in der Epizentralintensität für Ah96, GW03, Ley04 und EKDAG..... 19
Abb. 3.4	Übersicht der im Datensatz Ah03 (Ahorner, 2003) enthaltenen Erdbeben..... 22
Abb. 3.5	Häufigkeit der Magnituden M_W , M_L , M_k und der Epizentralintensität I_0 für den Datensatz Ah03 (Ahorner, 2003) 23
Abb. 3.6	Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression M_L - M_W im Vergleich zu Regressionen nach (Ahorner, 2003; Grünthal & Wahlström, 2003; Grünthal et al., 2009)..... 24
Abb. 3.7	Entwicklung der Regression M_L - M_W nach (Ahorner, 1983, 1998, 2003)..... 25
Abb. 3.8	Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression M_k - M_W im Vergleich zu Regression nach (Ahorner, 2003)..... 26
Abb. 3.9	Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression M_L - $\ln(R_m)$ im Vergleich zu Regression nach (Ahorner, 2003) 27
Abb. 3.10	Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression M_L - I_0 28

	Seite
Abb. 3.11	Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression M_W-I_0 im Vergleich zu Regressionen nach (Grünthal et al., 2008; Grünthal & Wahlström, 2003)..... 29
Abb. 3.12	Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression $M_L-I_0, \log(h_0)$ im Vergleich zu Regression nach (Grünthal et al., 2008)..... 30
Abb. 3.13	Datensätze nach Ah03 (Ahorner, 2003) und zugehörige Regression $M_W-I_0, \log(h_0)$ im Vergleich zu Regression nach (Grünthal et al., 2008)..... 31
Abb. 3.14	Vergleich instrumenteller und makroseismischer Magnituden und der für den Datensatz Ah03 (Ahorner, 2003) bestimmten Regression für $M_{L,i} - M_{W,m}$ (s. (Gl. 3.2)) 34
Abb. 3.15	Vergleich instrumenteller und makroseismischer Magnituden und der für den Datensatz Ah03 (Ahorner, 2003) bestimmten Regression für $M_{W,i} - M_{L,m}$ (s. (Gl. 3.3))..... 34
Abb. 3.16	Vergleich instrumenteller (Ahorner, 2003) und makroseismischer Magnituden für $M_{L,i} - M_{L,m}$ 35
Abb. 3.17	Vergleich instrumenteller (Ahorner, 2003) und makroseismischer Magnituden für $M_{W,i} - M_{W,m}$ 35
Abb. 3.18	Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression M_L-M_W , Vergleich zu Regressionen nach (Ahorner, 2003; Grünthal & Wahlström, 2003; Grünthal et al., 2009) (Farbig nach Typ der Magnitude M_L); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere 37
Abb. 3.19	Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression M_L-I_0 , (Farbig nach Typ der Magnitude M_L); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere..... 38
Abb. 3.20	Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression $M_L-I_0, \log(h_0)$ im Vergleich zu Regression nach (Grünthal et al., 2008) (Graustufen nach Herdtiefe h_0); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere..... 39
Abb. 3.21	Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression M_W-I_0 im Vergleich zu Regressionen nach (Grünthal et al., 2008; Grünthal & Wahlström, 2003), (Farbig nach Typ der Magnitude M_L); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere..... 40

	Seite
Abb. 3.22	Vergleich der Datensätze des Ausgabekataloges und nach Ah03 (Ahorner, 2003) zur Regression $M_W-I_0, \log(h_0)$ im Vergleich zu Regression nach (Grünthal et al., 2008) (Graustufen nach Herdtiefe h_0); Unterscheidung nach Datensatzherkunft Ah96, GW03, Ley, Weitere..... 41
Abb. 5.1	Erdbebenkatalog EKDAG mit Modell AR04 (Ahorner & Rosenhauer, 1986 (Stand 2004)) 44

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 2.1	Eingefügte Daten aus anderen Erdbebenkatalogen 13
Tabelle 2.2	Autoren und Kürzel (Verwendung in Teil B und Teil C) der verwendeten Publikationen zur Neubewertung und Überprüfung der Datensätze..... 15
Tabelle 3.1	Vorgehensweise der Datenergänzung (Kürzel s. Tabelle 2.1) 17
Tabelle 3.2	Herdparameter von mitteleuropäischen Erdbeben im Zeitraum 1911-2003 Zusammengestellt von L. Ahorner (Stand 6. Jun. 2004) (Ahorner, 2003)..... 20
Tabelle 4.1	Kataloge mit makroseismischen Schütterkarten..... 42
Tabelle 4.2	Übersicht (Anzahl) möglicher makroseismischen Schütterkarten und der im Teil C dargestellten 42
Tabelle A 1.1	(Quellen) der Arbeiten von Prof. Dr. Ludwig Ahorner mit Hinweis auf Verwendung der makroseismischen Schütterkarten im Anhang 53

Anhang 1 Einige Veröffentlichungen von Prof. Dr. Ludwig Ahorner

Tabelle A 1.1 (Quellen) der Arbeiten von Prof. Dr. Ludwig Ahorner mit Hinweis auf Verwendung der makroseismischen Schütterkarten im Anhang

Quelle (Literatur)	Karte repro. (Teil C)
Ahorner, L. (1963): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 09.08.1963 mit Epizentrum bei Mönchengladbach.	K
Ahorner, L. (1964a): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 13.12.1928 mit Epizentrum bei Röding.	K
Ahorner, L. (1964b): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 11.07.1949 mit Epizentrum bei Kerpen.	K
Ahorner, L. (1964c): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 08.03.1950 mit Epizentrum bei Euskirchen.	K
Ahorner, L. (1965a): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 05.01.1926 mit Epizentrum bei Zülpich.	K
Ahorner, L. (1965b): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 14.03.1951 mit Epizentrum bei Euskirchen.	K
Ahorner, L. (1965c): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 24.02.1952 mit Epizentrum bei Worms.	K
Ahorner, L. (1965d): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 05.08.1957 mit Epizentrum bei Euskirchen.	K
Ahorner, L. (1965e): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 25.06.1963 17h42m mit Epizentrum bei Linz.	K
Ahorner, L. (1965f): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 25.06.1963 22h16m mit Epizentrum bei Linz.	K
Ahorner, L. (1967): Herdmechanismen rheinischer Erdbeben und der seismotektonische Beanspruchungsplan im nordwestlichen Mittel-Europa. Bd. 13, Köln, S. 109-130. <i>Sonderveröffentlichung</i> .	
Ahorner, L. (1971): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 18.02.1971 mit Epizentrum bei Heinsberg.	K
Ahorner, L. (1975): Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault zones in Central Europe. In: <i>Tectonophysics</i> , Bd. 29 (1975) Nr. 1-4, S. 233-249, doi:10.1016/0040-1951(75)90148-1.	
Ahorner, L. (1977): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 06.11.1977 mit Epizentrum bei Brauweiler.	K
Ahorner, L. (1983a): Seismicity and neotectonic structural activity of the Rhine Graben system in Central Europe. In proceedings: <i>NATO Advanced Research Workshop on the Seismicity and Seismic Risk in the Offshore North Sea Area, The Netherlands, June 1 - 4, 1982</i> , Bd. Seismicity and seismic risk in the offshore North Sea area, hrsg. v. Ritsema, Anne Reinier, Gürpınar (Ed.), S. 101-111, Dordrecht/Holland.	
Ahorner, L. (1983b): Historical Seismicity and Present-Day Microearthquake Activity of the Rhenish Massif, Central Europe. In: <i>Plateau Uplift</i> , hrsg. v. K. Fuchs <i>et al.</i> (Ed.), S. 198-221.	
Ahorner, L. (1987): Kap. 2.1 Niederrheinische Bucht - Rheinisches Schiefergebirge - Münsterland. In: <i>Erdbeben in der Bundesrepublik Deutschland 1982. Berichte der seismologischen Observatorien in der Bundesrepublik Deutschland mit einem Katalog wichtiger Weltbeben</i> , hrsg. v. Henger, M., Leydecker (Ed.), S. 22-36, Hannover.	K
Ahorner, L. (1994): Fault-plane solutions and source parameters of the 1992 Roermond, the Netherlands, mainshock and its stronger aftershocks from regional seismic data. In: <i>Geologie en Mijnbouw</i> , Bd. 73 (1994) Nr. 2-4, S. 199-214.	
Ahorner, L. (1996): Erdbebenkatalog. <i>Data File (unveröffentlicht)</i> .	

Tabelle A 1.1 (Fortführung)

Quelle (Literatur)	Karte repro. (Teil C)
Ahorner, L. (1998): Deterministische Ermittlung des Bemessungserdbebens am Standort Mülheim-Kärlich nach der Magnituden-Methode - Gutachten im Auftrag der RWE Energie AG. Beratender Seismologe, D-51429 Bergisch Gladbach, 126 S. (1998).	
Ahorner, L. (2001): Abschätzung der statistischen Wiederkehrperiode von starken Erdbeben im Gebiet von Köln auf Grund von geologisch-tektonischen Beobachtungen an aktiven Störungen. In: , Bd. 2001 (2001) Nr. 2, S. 2-10, . – <i>Sonderdruck</i> .	
Ahorner, L. (2003): Herdparameter von mitteleuropäischen Erdbeben im Zeitraum 1911-2003. <i>pers. Mitteilung</i> .	
Ahorner, L. (2006): mündliche Mitteilung.	
Ahorner, L.; Amstein, S.; Golbs, C.; Meidow, H.; Schwarz, J. (2006): An earthquake catalogue for Germany and adjacent areas considering engineering demands. In proceedings: <i>1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology</i> , Bd. ID 1956 , Geneva 3 September (<i>Data File</i>). [online] http://www.edac.biz/index.php?id=265	
Ahorner, L.; Baier, B.; Bonjer, K. P. (1983): General pattern of seismotectonic dislocation and the earthquake generating stress field in Central Europe between the Alps and the North sea. In: <i>Plateau Uplift</i> , S. 187-197, Berlin, Heidelberg.	
Ahorner, L.; Meidow, H. (1998a): Seismologisches Gutachten für den Standort des Kernkraftwerkes Grohnde in Niedersachsen - Teil I. Prof. Dr. L. Ahorner Beratender Seismologe, Bergisch-Gladbach: SeismoGeologisches Büro Dr. Meidow, Köln, 114 S. (1998a) (<i>Teil I (Text)</i>).	
Ahorner, L.; Meidow, H. (1998b): Seismologisches Gutachten für den Standort des Kernkraftwerkes Grohnde in Niedersachsen - Teil II. Prof. Dr. L. Ahorner Beratender Seismologe, Bergisch-Gladbach: SeismoGeologisches Büro Dr. Meidow, Köln, 71 S. (1998b) (<i>Teil II (Abbildungen)</i>).	
Ahorner, L.; Meidow, H. (1998c): Seismologisches Gutachten für den Standort des Kernkraftwerkes Grohnde in Niedersachsen - Teil III. Prof. Dr. L. Ahorner Beratender Seismologe, Bergisch-Gladbach: SeismoGeologisches Büro Dr. Meidow, Köln, 34 S. (1998c) (<i>Teil III (Datenanhang)</i>).	
Ahorner, L.; Murawski, H.; Schneider, G. (1970): Die Verbreitung von schadensverursachenden Erdbeben auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland - Versuch einer seismologischen Regionalisierung. In: <i>Zeitschrift für Geophysik</i> , Bd. 36 (1970), S. 313-343.	
Ahorner, L.; Pelzig, R. (1982): Schüttergebietskarte des Erdbebens vom 28.06.1982 mit Epizentrum bei Bad Marienberg.	K
Ahorner, L.; Pelzig, R. (1983): Seismotektonische Herdparameter von digital registrierten Erdbeben der Jahre 1981 und 1982 in der westlichen Niederrheinischen Bucht. In: <i>Geologisches Jahrbuch</i> , Bd. 26 (1983), S. 35-63.	K
Ahorner, L.; Pelzig, R. (1985): The source characteristics of the Liege earthquake on November 8, 1983, from digital recordings in West Germany. In: <i>Seismic Activity in Western Europe</i> , hrsg. v. Melchior, P. (Ed.), S. 263-289.	
Ahorner, L.; Rosenhauer, W. (1986): Realistische Lastannahmen für Bauwerke - Kap. 9: Regionale Erdbebengefährdung. <i>II. Abschlußbericht im Auftrag des Instituts für Bautechnik, Berlin</i> , Frankfurt/Main.	
Ahorner, L.; Rosenhauer, W.; Budny, M. (1986): Methoden zur Erdbebengefährdungsanalyse - Regionale Erdbebengefährdung. In: <i>Realistische seismische Lastannahmen für Bauwerke</i> , hrsg. v. Institut für Bautechnik (Ed.), S. V/1-V/45, Stuttgart. <i>Abschlussbericht im Auftrag des Instituts für Bautechnik, Berlin</i> .	

Tabelle A 1.1 (Fortführung)

Quelle (Literatur)	Karte repro. (Teil C)
Ahorner, L.; Schneider, G. (1974): Herdmechanismen von Erdbeben im Oberrhein-Graben und in seinen Randgebieten. In: <i>Approaches to Taphrogenesis</i> , hrsg. v. Illies, J. H, Fuchs, K. (Ed.), S. 104-117, Stuttgart.	
Haak, H. W.; van Bodegraven, J. A.; Sleeman, R.; Verbeiren, R.; Ahorner, L.; Meidow, H.; Grünthal, G.; Hoang-Trong, P.; Musson, R. M. W.; Henni, P.; Schenková, Z.; Zimová, R. (1994): The macroseismic map of the 1992 Roermond earthquake, the Netherlands. In: <i>Geologie en Mijnbouw</i> , Bd. 73 (1994), S. 265-270.	K
Meidow, H.; Ahorner, L. (1994): Macro seismic effects in Germany of the 1992 Roermond earthquake and their interpretation. In: <i>Geologie en Mijnbouw</i> , Bd. 73 (1994), S. 271-279.	
Rosenhauer, W.; Ahorner, L. (1994): Seismic hazard assessment for the Lower Rhine Embayment before and after the 1992 Roermond earthquake. In: <i>Geologie en Mijnbouw</i> , Bd. 73 (1994), S. 415-424.	
Schwarz, J.; Beinersdorf, S.; Meidow, H.; Ahorner, L. (2009): Magnitudenorientierter Erdbebenkatalog für deutsche und angrenzende Gebiete EK DAG – erweiterter Ahorner-Katalog. [online] http://www.edac.biz/index.php?id=265	

Anhang 2 Beiträge für das Erdbebeningenieurwesen *

Jochen Schwarz und Hein Meidow

Am 14. Mai 2007 ist der bekannte Geologe und Seismologe Prof. Dr. Ludwig Ahorner im Alter von 77 Jahren verstorben. Insgesamt 35 Jahre lang, bis zu seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst 1995, leitete er die Erdbebenstation Bensberg und die spätere Abteilung für Erdbebengeologie am Geologischen Institut der Universität zu Köln. - Stationen und Spuren des beruflichen Wirkens von Ludwig Ahorner werden im Nachruf von Klaus-G. Hinzen (Band 82 des D-A-CH-Mitteilungsblattes) nachvollzogen.

Im Folgenden wird an einige seiner ingenieurseismologischen Arbeiten und Beiträge für das Erdbebeningenieurwesen erinnert. Sie waren über den jeweiligen Zeithorizont hinaus richtungsweisend und bieten in ihrer Aktualität Anknüpfungspunkte für darauf aufbauende bzw. weiterführende Forschungsarbeiten. Bei der Auswahl wird auch Bezug genommen auf Grundlagenuntersuchungen zur Qualifizierung von Risikoaussagen für die deutschen Erdbebengebiete, die Prof. Ahorner in den letzten Jahren beratend und durch eigene Auswertungen in der Zusammenarbeit mit dem Erdbebenzentrum der Bauhaus-Universität Weimar aktiv beförderte. Dies mag auch erklären, dass einige der von Prof. Ahorner eigenhändig gefertigten Grafiken im GIS-Format reproduziert bzw. noch unveröffentlichte Entwürfe nachfolgend vorgestellt werden können.

1 Makroseismische Auswertungen und deterministische Gefährdungskarten

Neben seinen zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten und Publikationen u.a. zur regionalen Seismizität und Tektonik in den nördlichen Rheinlanden [1] hat sich Ludwig Ahorner bereits früh mit Fragestellungen aus der angewandten Ingenieurseismologie beschäftigt. Sein Augenmerk lag hierbei nicht nur auf der praktischen Anwendbarkeit sondern insbesondere auch auf einer sorgfältigen und akribischen Sammlung und Aufarbeitung der notwendigen Datengrundlage.

Die beiden Erdbeben 1951 bzw. 1952 in Euskirchen [2] und weitere Ereignisse (beispielsweise 1952 im Oberrheingraben) konfrontierten den jungen Ahorner bereits in seiner Studienzeit mit der Notwendigkeit, die Meldungen zu den Erdbebenschäden in einer systematischen Form aufzunehmen, die beobachteten Wirkungen abzufragen bzw. aufzubereiten und somit diesen Teilaspekt der Makroseismik neu zu beleben (vgl. Bild 1).

<p>* Der Beitrag erschien in gleichem Wortlaut im D-A-CH-Mitteilungsblatt (Band 83, März, 2008, S. 2 bis 8) unter dem Titel „Bemerkungen zu ausgewählten Arbeiten von Ludwig Ahorner“.</p>
--

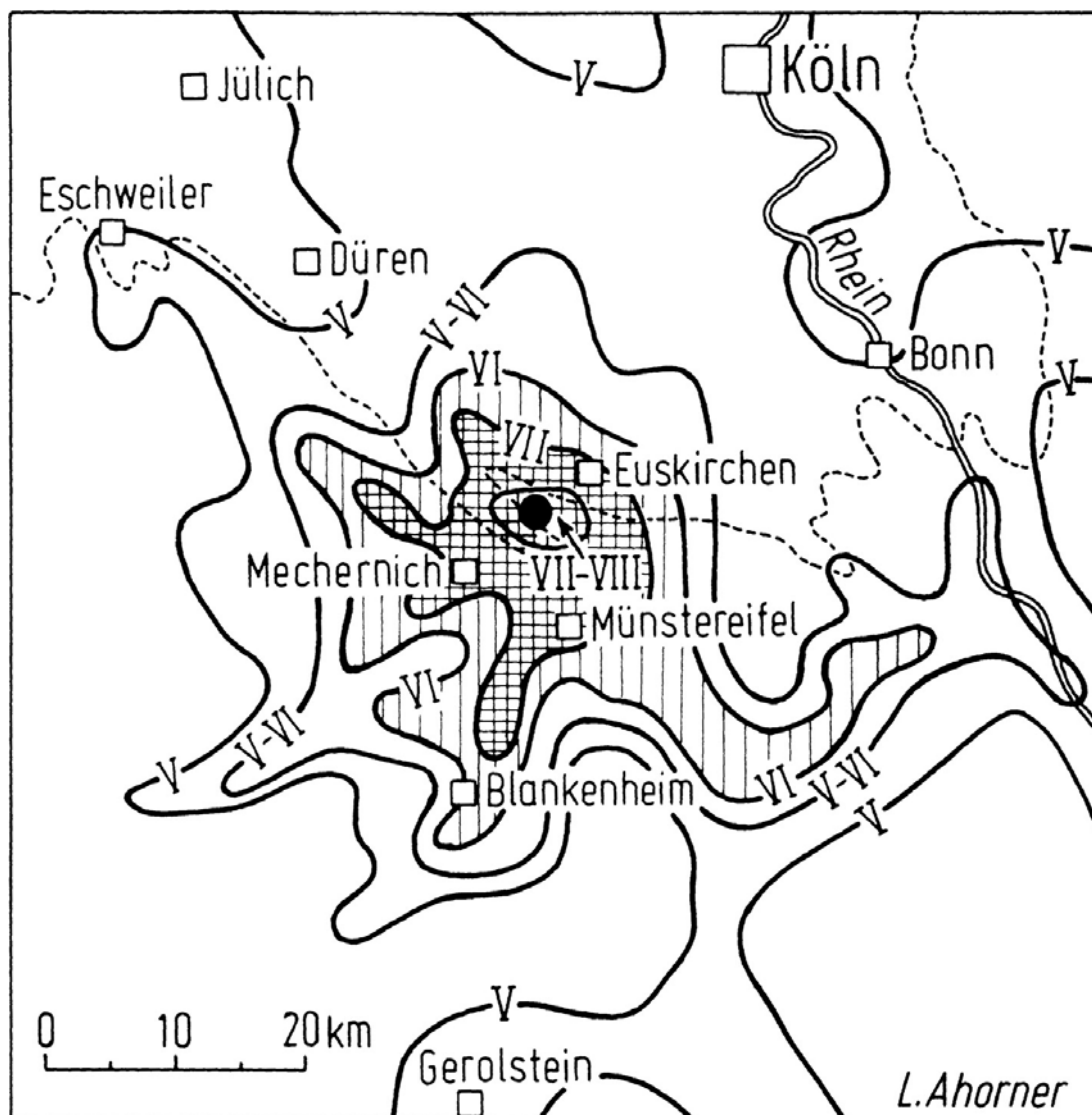


Bild 1 Makroseismische Karten des Euskirchen-Bebens vom 14.03.1951 mit der Epizentralintensität von $I_0 = \text{VII-VIII}$ (7.5) in der grafischen Aufbereitung von Ahorner [2]

Es ist das Verdienst von Ludwig Ahorner, gemeinsam mit Götz Schneider und Hans Murawski, die historische Erdbeben­tätigkeit in Deutschland (zumindest für die alten Bundesländer) soweit makroseismisch erneut ausgewertet zu haben, dass in [3] eine Karte beobachteter Maximalintensitäten vorgelegt werden konnte, die bereits präzise Zonenkonturen abzeichnete und direkt für die 10 Jahre später eingeführte DIN 4149 [4] übernommen werden konnte (Bild 2).

Ihre Erstellung war veranlasst durch europäische Bemühungen um eine vereinheitlichte Darstellung der Erdbebengefährdung. (Diese ist trotz der Harmonisierung Europäischer Baunormen bis heute nicht erreicht.) Die Darstellung deckt sich im Wesentlichen mit der „Karte der deutschen Erdbebengebiete“, die von W. Hiller, M. Schwarzbach und W. Sponheuer 1955 erstellt und der DIN 4149:1957 beigelegt wurde [5].

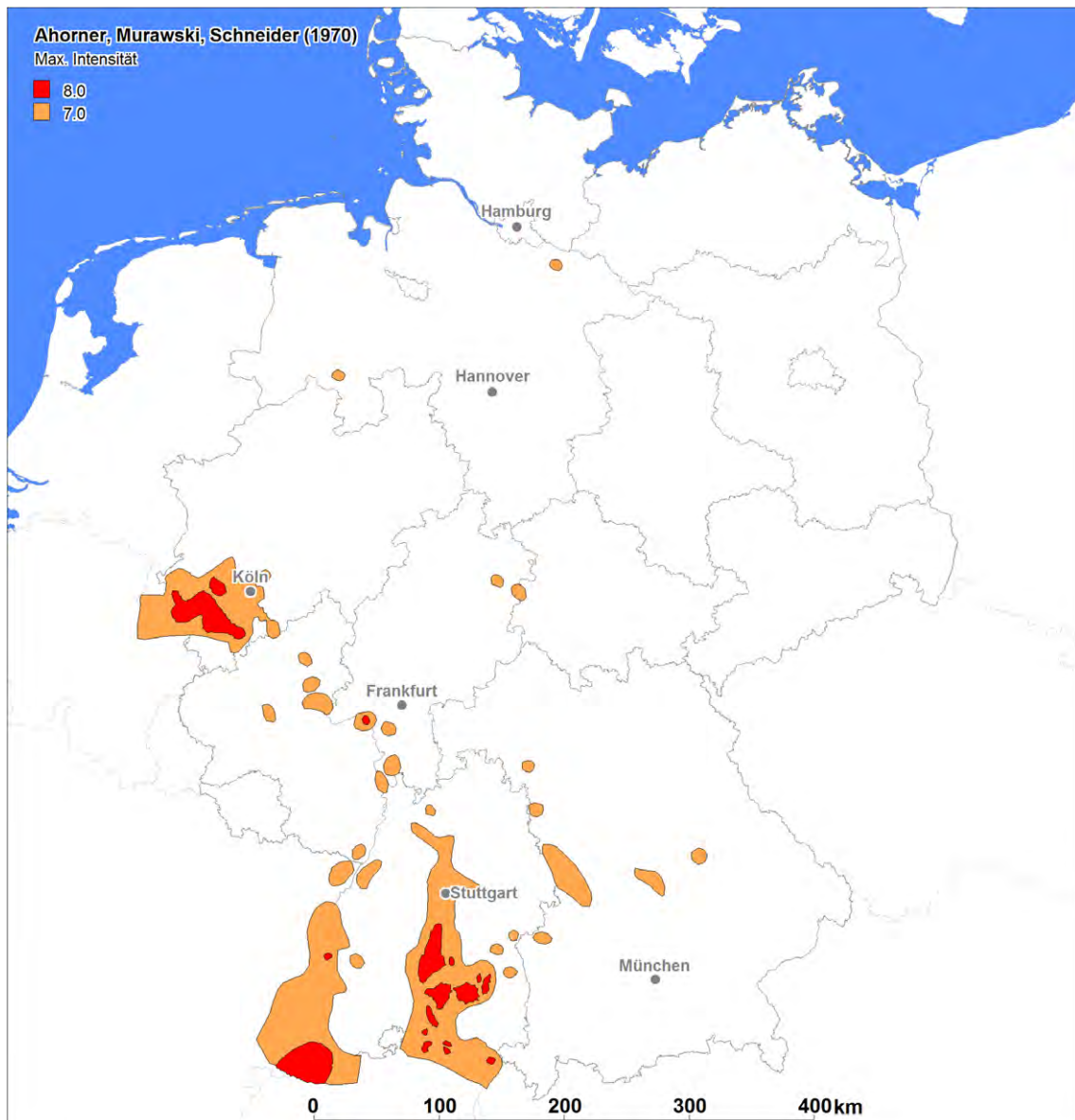


Bild 2 Karte beobachteter Maximalintensitäten (Karte E in Ahorner *et al.*, 1970); reproduziert durch EDAC (s. auch [7])

Die in dieser Grundlagenarbeit [3] bereits enthaltenen Vorschläge für eine Karte mit wahrscheinlichen historischen Maximalintensitäten wurde in das Regelwerk des Kerntechnischen Ausschusses KTA 2201.1 in der Fassung von 1975 [6] übernommen. Die Karte weist mehrere Zonen aus, die großflächig eine Einordnung der Standorte in folgender Zuordnung * ermöglichte (Bild 3):

- Gebiete geringer Seismizität, in den nach gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnissen kein Erdbeben der Intensität größer 5 aufgetreten ist: Zone 0.
- Gebiete, in denen Erdbeben (Schütterwirkungen) der Intensitäten 6, 7 oder 8 aufgetreten oder nach gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnissen erwartet werden können: Zonen 1, 2 und 3

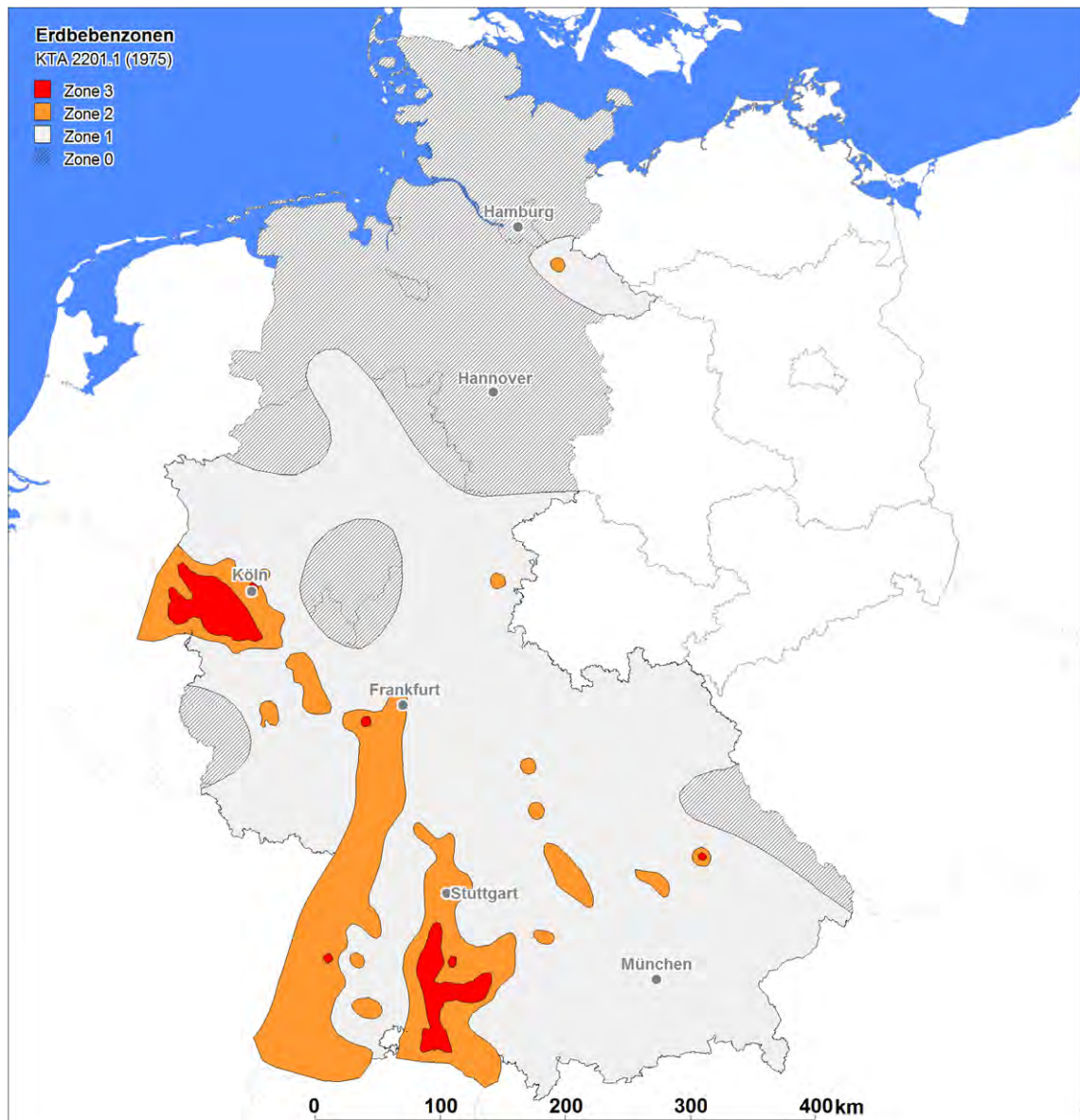


Bild 3 Karte der wahrscheinlichen Maximalintensitäten $I^3 7$; erweitert um Gebiete mit Intensitäten $I^3 5$; Fassung KTA (1975) auf der Grundlage von Karte F in Ahorner *et al.* (1970); reproduziert durch EDAC (s. auch [7])

Diese Arbeiten auf dem Gebiet der deterministischen Gefährdungsanalyse wurden unlängst in einem Beitrag zur Bedeutung der Schütterwirkungen historischer Erdbeben und zu den aktuellen Anwendungsgebieten im Erdbebeningenieurwesen umfänglich gewürdigt [7].

2 Regionalisierungsmodelle

Ahorner *et al.* [3] geben in ihrer grundlegenden Arbeit eine erdbebengeographische Einteilung des Gebietes der Bundesrepublik (in den damaligen Grenzen). Insgesamt wurden nur zwölf Zonen unterschieden, wobei die großen geotektonischen Einheiten im Vordergrund standen. Teilzonen wurden verbal angegeben, kartenmäßig jedoch nicht abgegrenzt. Erste regionale probabilistische Untersuchungen wurden dann gemeinsam mit Werner Rosenhauer in [8] durchgeführt. In diesen (ursprünglichen) probabilistischen Zonen wird als entscheidende Modellannahme unterstellt, dass die zukünftigen Epizentren gleichverteilt auftreten, mit in der Zone gleichen Eigenschaften (Herdtiefe, Wahrscheinlichkeiten). Bei der überarbeiteten späteren Zonierung (Ahorner, 1983 [9]) wurden als neue Zonierungskriterien die Magnitude und die Epizentrendichte maßgeblich. Dadurch wurden die verfügbaren seismotektonischen Informationen genauer berücksichtigt. Dieses Qualitätsmerkmal unterscheidet diese Zoneneinteilung auch von erdbebengeographischen Einteilungen bzw. der geotektonischen Einteilung in [3].

Ein Zonierungsmodell, das die Teilgebiete nach seismologischen und geologisch-tektonischen Kriterien abgrenzt, wurde durch Ahorner und Rosenhauer (1986) im Rahmen der damals im Auftrage des Instituts für Bautechnik Berlin durch König und Heunisch (IfBt, 1986) koordinierten Grundlagenarbeiten [10] vorgelegt (vgl. Bild 4). An diesem Vorhaben waren alle seismologischen Einrichtungen und die namhaften Experten der Bundesrepublik Deutschland beteiligt.

Wie die Autoren, in der Bildunterschrift hervorheben, erfolgt die Abgrenzung der Teilgebiete erfolgt nach seismologischen und geologisch-tektonischen Kriterien [11]. Das Zonierungsmodell wurde in den Folgejahren aktualisiert und weiterentwickelt. Veränderungen wurden insbesondere durch die Neubewertung historischer Beben, die sich z.T. als irrtümliche Ereignisse (keine Beben) darstellten und somit eine veränderte Bewertung regionaler Gegebenheiten erforderten, veranlasst.

3 Probabilistische Gefährdungskarten

Mit den erkennbaren Überlegungen einer Harmonisierung des Europäischen Normenwerkes in Form des Eurocode 8 sind auch Arbeiten einzuordnen, die unter der Überschrift „Realistische, seismische Lastannahmen für Bauwerke mit erhöhtem Sekundärrisiko“ [10] sich der vordringlichen Fragestellung widmeten, auf Grundlage welcher konkreten Einwirkungen kerntechnische Anlagen in Deutschland auszulegen seien. Nachdem die meisten Kernkraftwerke in Deutschland in Mitte der 70-er Jahre auf Grundlage kalifornischen Starkbebenregistrierungen und daraus abgeleiteter Bemessungsspektren ausgelegt wurden, war es neben Ludwig Ahorner den damals eingeschalteten Geophysikern und Seismologen Götz Schneider, Stuttgart, und Hans Berckhemer, Frankfurt/M., zu verdanken, hier eine realistische Anpassung an die Gegebenheiten deutscher Erdbebengebiete vorgenommen zu haben.

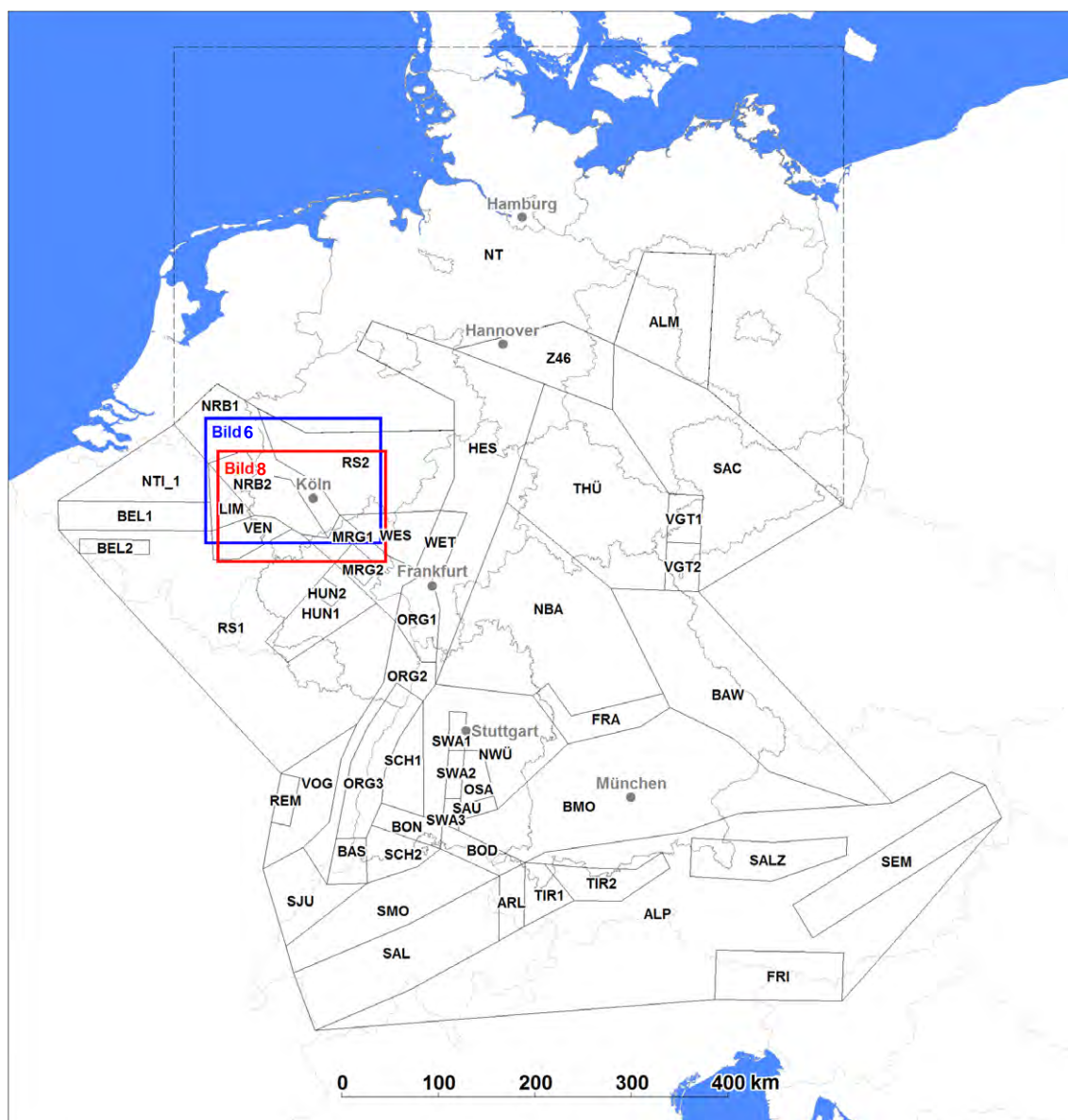


Bild 4 Seismizitätsmodell für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland und angrenzender Gebiete nach Ahorner und Rosenhauer (1986; Abb. 9.2); reproduziert EDAC (2007).

Im Nachgang einer Erdbebenserie im Friaul (Norditalien, 1976) standen europäische Registrierungen für unterschiedliche Untergrundbedingungen und bemessungsrelevante Intensitäten von Bodenbewegungen zur Verfügung. In dem oben genannten Forschungsvorhaben wurde in systematischer Form eine magnitudenbasierte Datenbank geschaffen, die es ermöglichte, intensitäts- und untergrundbezogene Bemessungsspektren zu erstellen, die auch heute noch, zumindest was das Konzept betrifft, Gültigkeit besitzen und auf die Besonderheiten deutscher Erdbebengebiete zugeschnitten sind.

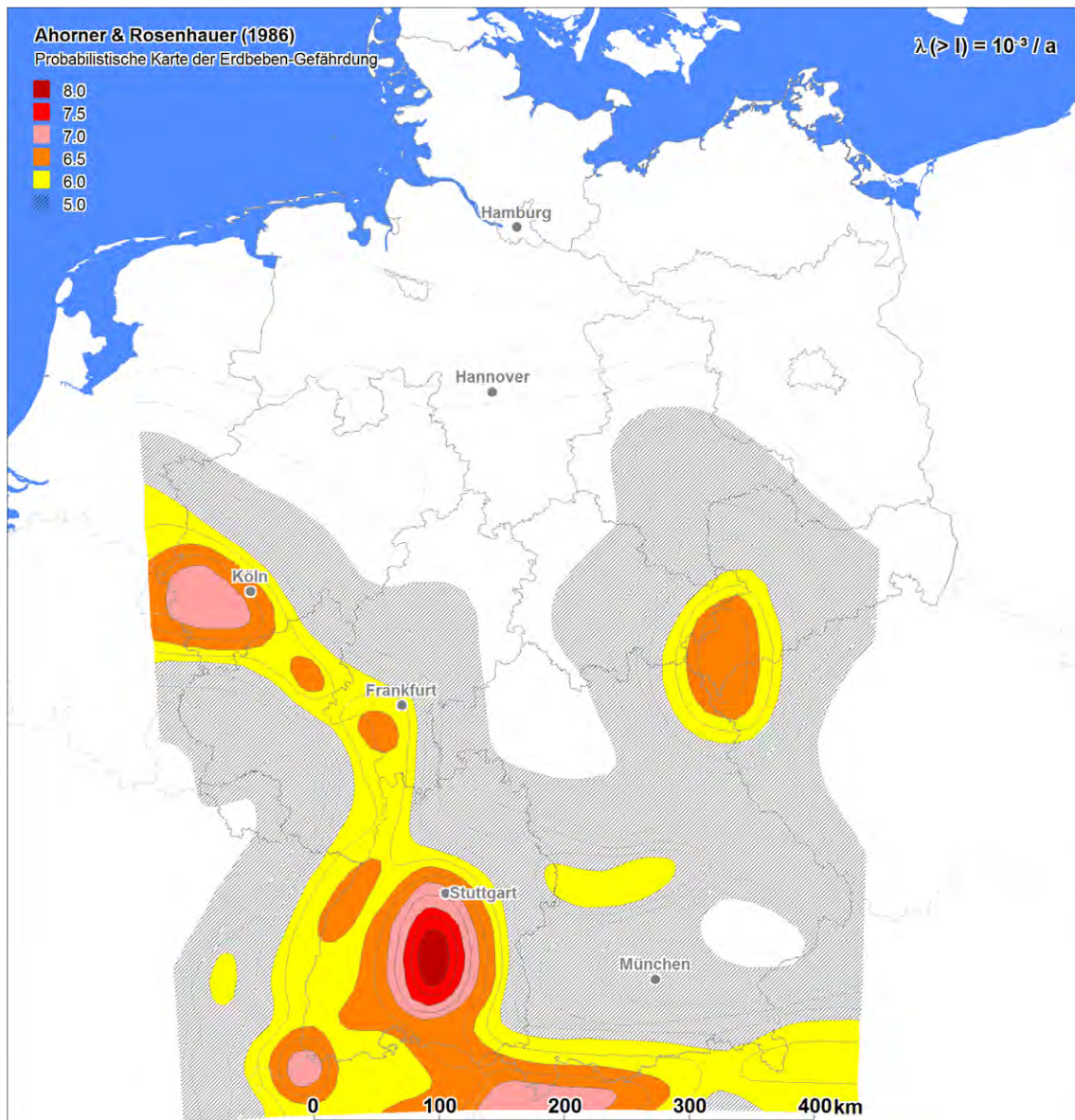


Bild 5 Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland und ihrer Nachbargebiete; Analyse BRD - Intensitäten zur Eintretensrate $10^{-3}/a$ nach [11]

Wortlaut der Überschrift: *Dargestellt ist die regionale Erdbebenintensität (nach der MSK-Skala), welche im Zeitraum von 100 Jahren mit 90 % Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird. – Lokale geologische Einflüsse auf die Intensität sind durch einen Zusatzwert zu berücksichtigen*

Hinweis: reproduziert; in der Fassung von 1986 werden nur die in 0.25 Intensitätsgraden abgestuften Isolinien (hier weiterhin unterlegt) angegeben.

Der Beitrag von Ludwig Ahorner konzentrierte sich auf die probabilistische seismische Gefährdungsanalyse, die gemeinsam mit Werner Rosenhauer realisiert wurde [11] und die Berücksichtigung lokaler Besonderheiten [12]. Probabilistische Erdbebengefährdungskarten wurden für Eintretensraten von 10^{-3} /Jahr (vgl. Bild 5) und 10^{-4} /Jahr vorgelegt. Sie bildeten später die Grundlage, um ein Konzept zur Anpassung des Eurocodes 8 auf deutsche Erdbebengebiete zu diskutieren [13]. (Hinweis: In den Karten werden Intensitäten in den um 0.25 Intensitätsgrade abgestuften Isolinien angegeben.

Die Reproduktion in Bild 5 fasst zur Veranschaulichung der Ergebnisse und mit Bezug auf die normenübliche Zoneneinteilung einzelne Intensitätsbereiche zusammen.)

4 Standortbezogene Einwirkungen und Baunormung

Anfang der 50-er Jahre war nach dem Krieg erneut die Zeit gekommen, sich geophysikalischen und seismologischen Fachdisziplinen zu widmen. Ob und in welcher Dringlichkeit der Frage nachgegangen wurde bzw. welche Konsequenzen aus den in dieser Zeit aufgetretenen Erdbeben für die Erdbebennormung und die erdbebensichere Auslegung von Bauwerken gezogen wurden, muss offen bleiben. Die DIN 4149 aus dem Jahr 1957 für Gesamtdeutschland ist zwar bekannt, hat aber als Richtlinie für die Bemessung und Ausführung in den folgenden Jahrzehnten (aufgrund ihres empfehlenden und für die Bauaufsicht nicht bindenden Charakters) vermutlich nur eine begrenzte praktische Anwendung erfahren. Erst nach dem schweren Erdbeben in der Schwäbischen Alb 1978 wurde die Frage nach einer Erdbebennormung neu gestellt und letztlich in der DIN 4149: 1981 verwaltungstechnisch realisiert. Bis zu einer allgemeinen bauaufsichtlichen Einführung mussten noch weitere Jahre (bis zum schadenverursachenden Erdbeben von Roermond 1992) vergehen.

Ludwig Ahorner hat frühzeitig erkannt, dass die Schütterwirkungen regionale Besonderheiten aufweisen (vgl. Bild 1), die in vielen Fällen auf die untergrundbezogene Gegebenheiten zurückgeführt werden konnten. Er wertete die Beobachtungen empirisch-statistisch aus, um sie in Form eines *relativen Intensitätszuwachses*, den man auch als *Delta- oder Korrekturintensität* bezeichnen kann, baupraktisch einzuführen [12].

Ausgewertet wurden 26 Erdbeben, von denen für die Festlegung der *relativen Intensitätszuwächse* ΔI sich auf eine Epizentralentfernung von 30 km beschränkt wurde. Es handelte sich hauptsächlich um Ereignisse, die in Westdeutschland (Mittelrheingebiet, Niederrheinische Bucht) sowie im an grenzenden belgischen und holländischen Gebiet ausgelöst wurden. Die gesammelten makroseismischen Daten wurden für jedes der bearbeiteten Erdbeben über Flächenelemente von $20 \times 20 \text{ km}^2$ die gemittelte Intensität geplottet. In der Auswertung gelang es, solche Korrekturfaktoren auf felsige

Untergrundbedingungen zu kalibrieren und über diese Korrekturfaktoren auch die Möglichkeit der Differenzierung der Untergrundbedingungen abzuleiten.

Für jedes Erdbeben wurde die Abnahme der makroseismischen Intensität untersucht, wobei nicht von den Isoleistenradien, sondern von den Einzelbeobachtungen der Intensität und den zugehörigen Herdentfernungen ausgegangen wurde. In [14] werden die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zusammengestellt. Insgesamt wurden 7 Untergrundklassen eingeteilt, die nach dem Zuwachs erkennbarer Verstärkung gestaffelt wurden. Ausgehend von kristallinen Festgestein (Typ 1) über sedimentär hartes Festgestein (Typ 2) bis hin zu extrem weiches Lockergestein (Typ 7) wurden Intensitätsbeobachtungen den hypothetischen Intensitäts-Abnahmebeziehungen gegenübergestellt. Aus diesen Intensitätsdifferenzen werden zunächst Mittelwerte gebildet und dann auf die Untergrundklasse 2 (herkömmlicher Fels) skaliert.

Die statistisch gefundenen, lokalen Intensitätszusatzwerte bestätigten die in DIN 4149:1981[4] festgelegten Bodenfaktoren, verdeutlichten aber auch die Probleme bei der Untergrundklasse Lockergestein. Sehr mächtige Lockersedimente führen wegen der erhöhten Absorption im allgemeinen zu keinen nennenswerten Intensitätsüberhöhungen während geringmächtige Lockersedimente, bei denen die Absorption zu vernachlässigen ist, sehr bedeutsame Intensitätsüberhöhungen zeigen.

Auf Grund der vorliegenden Untersuchungen vertrat L. Ahorner die Auffassung, dass hier eine Unterteilung in Unterklassen unter Berücksichtigung der Mächtigkeit der Lockersedimentschichten vorgenommen werden sollte. Dieser Ansatz wurde durch Vorarbeiten von Hosser, Keintzel und Schneider [13] mit konkreten Empfehlungen für die Einführung in das Europäische Normenwerk wieder aufgegriffen, letztlich aber erst mit der Übernahme des Konzeptes geologie- und untergrundabhängiger Spektren in die Neufassung DIN 4149: 2005 [15], [16] praxiswirksam umgesetzt.

In einer weiteren, in dieser Form noch nicht veröffentlichten Auswertung für die Niederrheinische Bucht beschränkt sich Ahorner auf 12 Erdbeben des näheren Umfeldes und ermittelt auf *empirisch-statistischer Grundlage* die Intensitätsabweichungen in einem 10 x 10 km² Raster (s.a. [14]). Für jedes Rasterelement werden die Anzahl der Daten, die Mittelwerte und Standardabweichung angegeben.

Die Auswertung der gemittelten Werte ermöglicht die Identifikation regionaler Intensitätsfelder, die von Ahorner 1986 für das Gebiet der Niederrheinischen Bucht in einer Konturenkarte differenziert werden (Bild 6). In grenzüberschreitenden Gebieten und in Bereichen mit geringer oder fehlender Datenbasis wird auf eine solche Linienziehung (Abgrenzung der Intensitätsabweichungen) verzichtet; in Bild 6 sind diese Bereiche „ohne Angaben“. Die geographische Einordnung der untersuchten Region ist Bild 4 zu entnehmen.

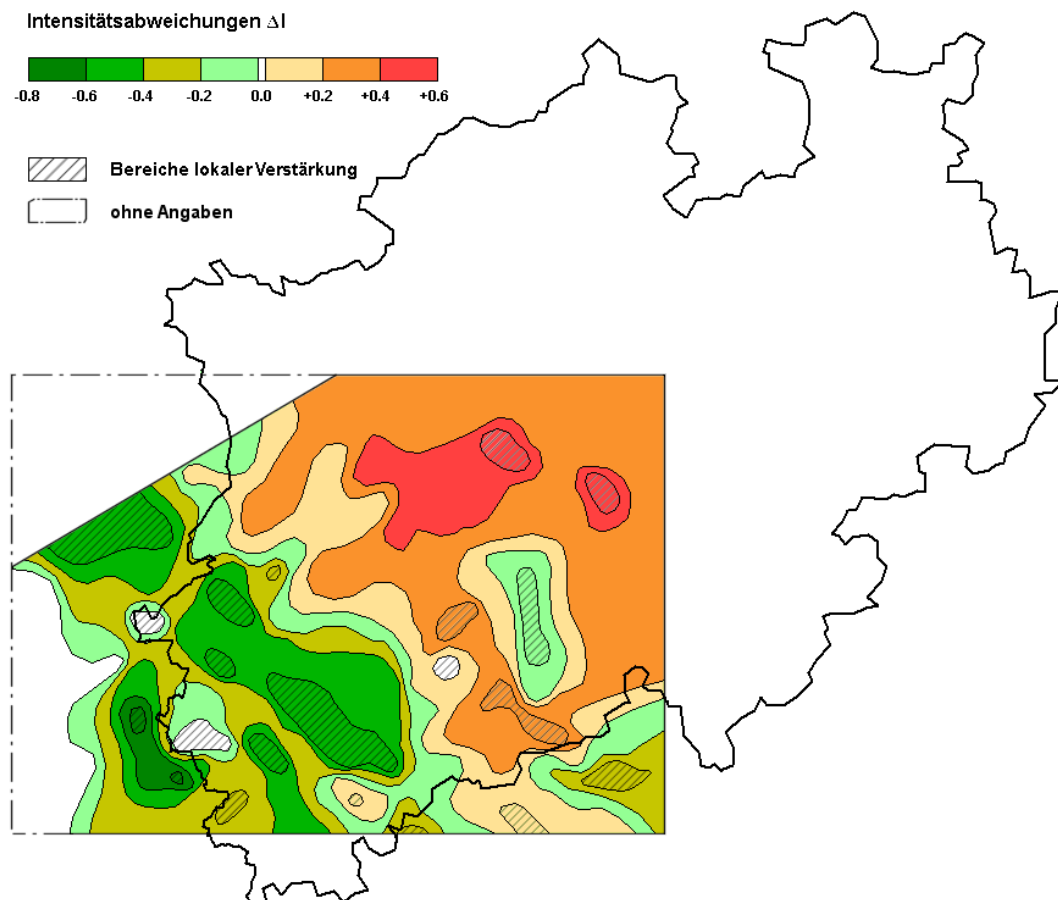


Bild 6. Auswertung der Schüttergebietsangaben und daraus resultierende Intensitätsabweichungen (ΔI) vom regionalen Intensitätsfeld (reproduziert nach einer Grafik von L. Ahorner, 1986; dargestellt für das Gebiet der Niederrheinischen Bucht [14]; siehe auch Einordnung des Kartenausschnittes in Bild 4)

Von grundsätzlich anderer Qualität sind *analytische Standortuntersuchungen*, die nicht die beobachteten Effekte berücksichtigen, sondern die konkreten Untergrundbedingungen zum Ausgangspunkt für die Festlegung von Verstärkungseffekten bzw. Überhöhung der Schütterwirkung nehmen.

Eine solche Vorgehensweise ist nur dann Erfolg versprechend, wenn das Tiefenprofil und die zugehörigen Erwartungswerte bodendynamischer Kenngrößen bereitgestellt werden können. Um die beobachteten Standorteffekte auf eine wissenschaftlich transparente Grundlage zu stellen, wurden in den Arbeiten von Budny [17] charakteristische Kenngrößen der Sedimente und des Felsgesteins zusammengestellt, um darauf abhebend charakteristische Tiefenprofile für Standortanalysen bereitstellen zu können.

Auf den im Jahre 1984 abgeschlossenen Erhebungen wird auch heute noch aufgebaut, da sie die Bedingungen in deutschen Erdbebengebieten auch bezüglich ihrer Tiefenveränderlichkeit von Scherwellengeschwindigkeiten in anderen Parametern zutreffend beschreiben.

Die Offenheit gegenüber empirisch-statistischen und analytischen Standortuntersuchungen kennzeichnet die breite und visionäre Sicht von L. Ahorner, der insbesondere in der Verbindung beider Aussagen die Grundlage für eine baupraktische Verallgemeinerung sah. Das große Interesse an den ingenieurrelevanten Fragestellungen ließ sich auch an der Weiterverfolgung der DIN 4149 nachvollziehen.

Obwohl zum Zeitpunkt der Neufassung der DIN 4149 bereits nicht mehr im aktiven Dienst, hat sich Prof. Ahorner über die Arbeiten des DIN-NABau „Erdbeben; Sonderfragen“ nicht nur informiert, sondern diese durchaus kritisch begleitet. In einem Kommentar wurde angefragt, inwieweit die angestrebte Klassifikation der geologischen und Untergrundbedingungen ausreichend sei, um die Bedingungen in deutschen Erdbebengebieten umfassend widerzuspiegeln. Die in seinen Diskussionsbeitrag angedeutete Notwendigkeit, sich mit einer Klasse C2 (neu: B-S) auseinanderzusetzen, ist zumindest für die im Ingenieurbereich Tätigen in Erinnerung geblieben und wird auch in den Grundlagenarbeiten [16] untersucht.

5 Seismische Registrierungen

In Zusammenhang mit der Etablierung, der Leitung und dem Ausbau der Erdbebenstation Bensberg stellte sich L. Ahorner der Herausforderung, ein regionales und dennoch umfängliches Stationsnetz aufzustellen. Neben der Überwachung und wissenschaftlichen Erforschung der Erdbebentätigkeit der nördlichen Rheinlande wurden auch Informationen zu unterschiedlichen Untergrundbedingungen vermittelt, die letztlich von überregionaler Bedeutung waren. Motivation waren die bekannten Störungssysteme in der Niederrheinischen Bucht und die geologischen und untergrundbedingten Besonderheiten im Neuwieder Becken.

In einem mehrjährigen Vorhaben konnte ein Messnetz installiert werden, mit dem die Mikrobentätigkeit bzw. eine Vielzahl schwächerer Beben registriert werden konnten. Auf Grundlage dieser Beben leitete Ahorner einen Zusammenhang zwischen Intensität und Magnitude ab, den er um einen Entfernungsterm erweiterte. Damit wurde gewährleistet, dass der Einfluss von Magnitude und Entfernung in einer datengestützten Form am Maßstab der Intensität kalibriert werden konnte (s.a. [11]).

6 Auswertung des Roermond-Bebens 1992

Die Verbindung zwischen theoretischen Untersuchungen, Gefährdungsberechnungen und der Bereitstellung der erforderlichen regional- und standorttypischen Basisdaten zeichnet das Bemühen des praktischen Ingenieurseismologen und Geophysikers L. Ahorner aus. Insofern mag das Roermond-Erdbeben vom 13. April 1992 ein Höhepunkt und wohl auch die Bestätigung seiner wissenschaftlichen Tätigkeit gewesen sein.

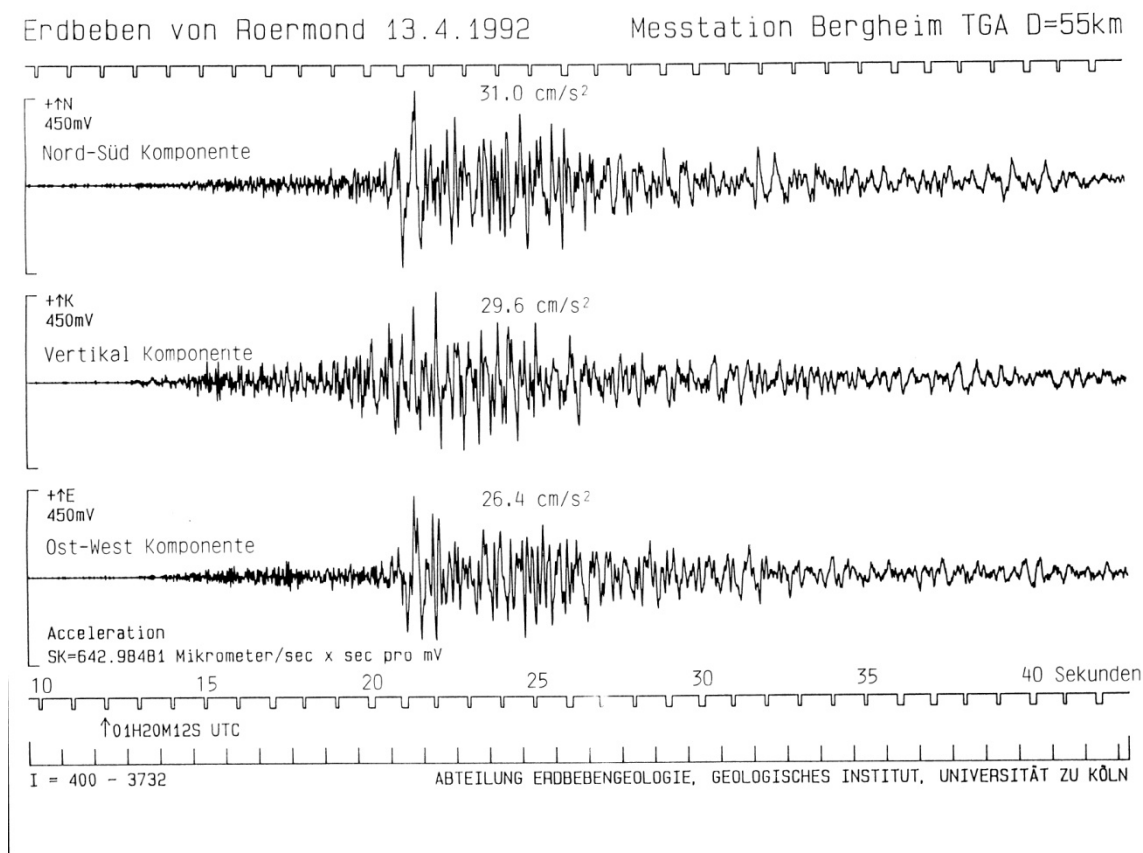


Bild 7 Seismische Registrierungen des Roermond-Erdbebens; Messstation Bergheim TGA
D = 55 km

Erstmals lagen hier Bebenregistrierungen für bemessungsrelevante Magnituden bzw. Intensitäten vor (Bild 7). Von Ahorner wird eine Übersicht zu den registrierten Bodenbewegungen gegeben und schlussfolgernd die Forderung erhoben, sich stärker um den Ausbau eines Starkbebenmessnetzes zu bemühen [18]. Die Konsequenzen für die Baunormung werden in den Beiträgen von Schwarz und Ahorner (u.a. [19]) zur Diskussion gestellt. Beantwortet wurde auch die Frage, welche der üblichen Korrelationen zwischen Intensität und Beschleunigung bzw. welche

Abnahmebeziehungen der Bodenbewegung für deutsche Erdbebengebiete als charakteristisch anzusehen sein.

Die umfangreiche Auswertung des Roermond-Erdbebens [20], Umfang und die Qualität der makroseismischen Befunde (vgl. Bild 8) bot die Gelegenheit zu einer Wiederaufnahme und Überprüfung des Konzepts der standortabhängigen Intensitätskorrektur [14].

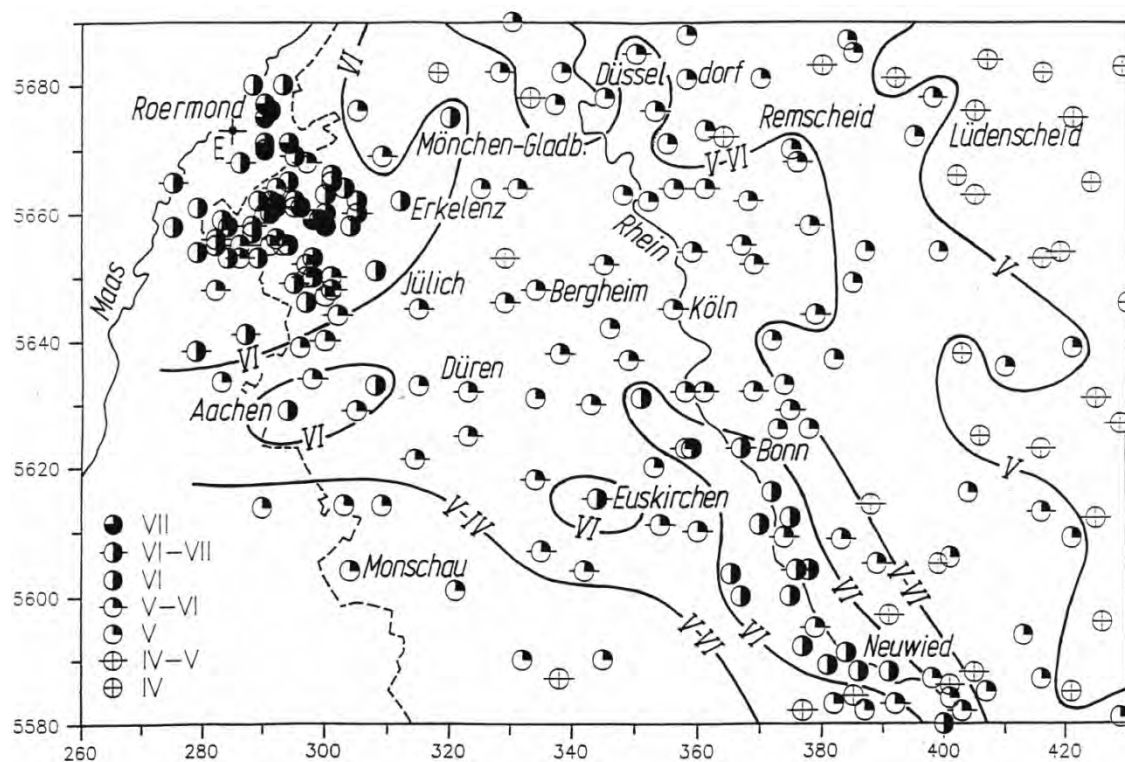


Bild 8 Makroseismische Intensitäten des Erdbebens von Roermond am 13. April 1992 nach Meidow und Ahorner [20]; siehe auch Einordnung des Kartenausschnittes in Bild 5

7 Magnitudenorientierter Erdbebenkatalog

Zu den Randgebieten der Tätigkeit von Ahorner, die ihn zu seinen ursprünglichen Arbeiten zurückführt, gehört die systematische Aufbereitung und kontinuierliche Pflege eines Katalogs, der als „Ahorner-Katalog“ bekannt geworden ist und in einer aktualisierten Form herausgegeben werden soll (s.a. [21]). Nachdem vorangehende Erdbebenkataloge für Deutschland sich vornehmlich auf die Auswertung und Wiedergabe markanter Schütterwirkungen beschränkten, erkannte Ahorner bereits Anfang der 50-er Jahre, dass die Intensität für die ingenieurrelevanten Fragestellungen allein nicht ausreichend sein kann, sondern dass über die Magnitude der Beben wesentliche Informationen instrumentell abgesichert werden können. Woraus sich konsequent auch

die Notwendigkeit ergab, historische (instrumentell nicht aufgezeichnete) Beben hinsichtlich ihrer Magnitude zu bewerten. In seinem Erdbebenkatalog wird die lokale Magnitude entsprechenden Ereignissen zugeordnet und auf der Grundlage einer statistisch repräsentativen Datenbasis aus anderen Katalogdaten ergänzt. Dieses Vorgehen wird auch heute übernommen, um magnituden-orientierte Erdbebenkataloge herauszugeben.

Die makroseismische Reinterpretation historischer Ereignisse erwies sich nicht nur als spannendes Arbeitsgebiet, sondern war auch notwendig, um über den Erdbebenkatalog eine belastbare Auslegungsgrundlage für kerntechnische und andere sicherheitsrelevante Anlagen bereitzustellen. Die stärksten Erdbeben in der Niederrheinischen Bucht wurden unter der Anleitung von Ahorner in der Promotion von Meidow [22] neu reinterpretiert und auf eine erweiterte Datenbasis gestellt.

Auch nach seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst hat Ludwig Ahorner sich weiter intensiv der Pflege und Aktualisierung seines Kataloges gewidmet. Von einigen historischen Erdbeben ist aufgrund der von ihm noch durchgeführten Arbeiten bekannt, dass die damaligen Katalogeinträge einer kritischen Überprüfung zugänglich sein sollten. Dies betrifft u.a. das Beben von Ludwigshafen 1952. In einer seiner letzten Ausarbeitungen zu diesem Erdbeben hat Prof. Ahorner sich nochmals mit der makroseismischen Karte und den instrumentellen Bestimmungen auseinandergesetzt. Die gewonnenen Erkenntnisse sind insofern von Bedeutung, als dieses Erdbeben zu den stärksten Beben im Oberrheingraben zählt [23].

Am 14. Mai 2007 ist Prof. Dr. Ludwig Ahorner verstorben. Wie die Ausführungen zu einzelnen Teilgebieten seines Wirkens in großer Wertschätzung und Dankbarkeit vermitteln sollen, hat er Herausragendes und Bleibendes für das Erdbebeningenieurwesen geleistet.

Literatur

- [1] Ahorner, L.: Seismo-tectonic relations between the Graben zones of the upper and lower Rhine valley. In: *Graben Problems, Intern. Upper Mantle Proj.*, Scientific Report No. 27, 155–166. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1970.
- [2] Ahorner, L.: Die Erdbebentätigkeit am Südwestrand der Niederrheinischen Bucht zwischen Euskirchen und Düren. - In: Koenig, G. (Hrsg.): Cuchenheim 1084-1984. II Naturwissenschaftliche und historische Beiträge; Veröff. des Ver. der Gesch.- und Heimatfreunde des Kr. Eusk. e.V.; Reihe A Bd. 14.2, 1984, 23-36.

- [3] Ahorner, L., Murawski, H., Schneider, G.: Die Verbreitung von schadensverursachenden Erdbeben auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. *Z. Geophys.* 36 (1970), 313–341
- [4] DIN 4149 (1981): Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. Normenausschuß im Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., April 1981, Berlin.
- [5] Hiller, W., Schwarzbach, M., Sponheuer, W.: Karte der Erdbebengefährdung. *Die Bautechnik* 32 (1955), 132.
- [6] KTA 2201.1 (1975): Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen. Teil 1: Grundsätze. Fassung 6/75.
- [7] Amstein, S., Lang, D.H., Schwarz, J.: Schütterwirkung historischer Erdbeben und aktuelle Anwendungsgebiete für das Erdbebeningenieurwesen. *Bautechnik* 82 (2005) 9, 641-656.
- [8] Ahorner, L., Rosenhauer, W. (1978): Seismic Risk Evaluation for the Upper Rhine Graben and its Vicinity. *J. Geophysics* 44 (1978), 481–497.
- [9] Ahorner, L.: Seismicity and neotectonic structural activity of the Rhine Graben system in Central Europe. In: A.R. Ritsema und A. Gürpınar (eds.): *Seismicity and seismic risk in the offshore North Sea area* 101 (1983), 111, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- [10] König und Heunisch (Autorenkollektiv): Realistische Lastannahmen für Bauwerke II. Abschlußbericht im Auftrage des Instituts für Bautechnik Berlin, Frankfurt/M., 1986.
- [11] Ahorner, L., Rosenhauer, W.: Regionale Erdbebengefährdung. Kap. 9 in [8]
- [12] Ahorner, L., Budny, M.; Rosenhauer, W.: Methoden zur Erdbebengefährdungsanalyse. Lokale Standortbesonderheiten. Kap. 10 in [8]
- [13] Hosser, D., Keintzel, E., Schneider, G.: Proposal for harmonized rules for the determination of seismic input data (Coordination: Eibl, J., Keintzel, E.). Universität Karlsruhe, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, 1990.
- [14] Schwarz, J., Ahorner, L., Langhammer, T., Kaufmann, Chr.: Quantifizierung der Schadenspotentiale infolge Erdbeben (3): Modellstudie Niederrheinische Bucht mit dem Roermond-Erdbeben vom 13. April 1992. (zur Veröffentlichung in *Bautechnik*)

-
- [15] DIN 4149: 2005: Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. Vorgesehen als Ersatz für DIN 4149-1:1981-04 und DIN 4149-1/A1:1992-12. Normenausschuß im Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., April 2005, Berlin.
- [16] Schwarz, J., Lang, D., Golbs, Chr.: Erarbeitung von Spektren für die DIN 4149-neu unter Berücksichtigung der Besonderheiten deutscher Erdbebengebiete und der Periodenlage von Mauerwerksbauten. Forschungsbericht, Bauhaus-Universität Weimar, Juli 1999 (1. Entwurf), September 1999 (Endfassung).
- [17] Budny, M.: Seismische Bestimmung der bodendynamischen Kennwerte von oberflächennahen Schichten in Erdbebengebieten der Niederrheinischen Bucht und ihre ingenieurseismologische Anwendung. Geologisches Institut der Universität zu Köln, Sonderveröffentlichung Nr. 57, 1984.
- [18] Ahorner, L.: Gemessene Bodenbeschleunigungen beim Roermonder Erdbeben am 13. April 1992. Bauingenieur 68 (1993), 201-205.
- [19] Schwarz, J., Ahorner, L.: Actual strong motion records in Central Europe - Conclusions for Engineering design practice, In: *Proceed. of the 5th SECED* (A.S. Elnashai, Ed.), Chester 1995. A.A. Balkema/ Rotterdam/Brookfield, 303–310.
- [20] Meidow, H., Ahorner, L.: Macroseismic effects in Germany of the 1992 Roermond earthquake and their interpretation. *Geologie en Mijnbouw* 73 (1994), 271-279
- [21] Ahorner, L., Amstein, S., Golbs, C., Meidow, H., Schwarz, J.: An Earthquake Catalogue for Germany and adjacent Areas considering engineering demands. Poster ID 1956. 1st ECEES 2006; <http://www.edac.biz/index.php?id=127>
- [22] Meidow, H.: Rekonstruktion und Reinterpretation von historischen Erdbeben in den nördlichen Rheinlanden unter Berücksichtigung der Erfahrungen bei dem Erdbeben von Roermond am 13. April 1992. Dissertation, Universität Köln, Leverkusen, 1995.
- [23] Ahorner, L., Schneider, G.: Herdmechanismen von Erdbeben im Oberrhein-Graben und in seinen Randgebieten. In: H.-J. Illies & K. Fuchs (eds.): *Approaches to taphrogenesis*. Schweizerbart, Stuttgart, 1974, pp. 104–117.

Hinweis: Die Bilder 1 bis 6 wurden von Mitarbeitern des Zentrums für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden (EDAC) anhand der Literaturvorlagen bzw. Arbeitsfassungen von Prof. Ahorner im GIS-Format (mit dem Programm MapInfo) reproduziert.