



Originally published as:

Grünthal, G., Mayer-Rosa, D., Lenhardt, W. (1998): Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten - Deutschland, Österreich, Schweiz. - Bautechnik, 75, 10, 753-767

# Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten – Deutschland, Österreich, Schweiz

Einschätzungen zur Gefährdung durch Erdbeben erfolgten bisher nahezu ausschließlich auf nationaler Ebene. Wegen der Komplexität der heutzutage verwendeten Wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden führt dies in der Regel zu Inhomogenitäten an den Grenzen. Verschiedene internationale Projekte, wie die Schaffung des Eurocode 8, ein EG-Projekt zur Erarbeitung einer einheitlichen Seismizitätsdatenbasis (BEECD) sowie ein globales Forschungsprojekt zur Berechnung einer weltweit harmonisierten Erdbebengefährdungskarte (GSHAP) bildeten einen geeigneten Rahmen, für die Schweiz, für Österreich und die Bundesrepublik Deutschland eine vereinheitlichte Karte der Erdbebengefährdung zu erarbeiten. Diese Aktivität bettet sich zudem in die informelle Zusammenarbeit der Gesellschaften für Erdbebeningenieurwesen der drei Staaten ein, für die die Bezeichnung D-A-CH geprägt wurde. Andererseits dienten die D-A-CH-Staaten als Testgebiet für das globale GSHAP-Forschungsvorhaben. Die beobachteten Schäden in diesem Raum verdeutlichen die Notwendigkeit aktualisierter Erdbebengefährdungseinschätzungen.

Im Beitrag werden neben der vereinheitlichten Gefährdungskarte für die D-A-CH-Staaten auch die elementaren Grundlagen zu deren Erarbeitung vorgestellt; d. h. die Erwähnung der verwandten neuesten Version von Erdbebenkatalogen und die Analyse ihrer zeitlichen Vollständigkeit, ein kurzer Abriss zur probabilistischen Methodik, der Abgrenzung von Quellregionen und deren Seismizitätsverteilungen sowie die Dämpfung der makroseismischen Intensität. Die vorgestellte Gefährdungsabschätzung erfolgte für das international für normale Hochbauten standardisierte Gefährdungsniveau von 10 % Eintreffens- oder Überschreitenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren und für den Erschütterungsparameter der makroseismischen Intensität, u. a. um Fehlereinflüsse zu minimieren. Auf alternative Parameter zur Verwendung für die Gefährdungsabschätzung wird hingewiesen.

**Seismic hazard assessment for the D-A-CH countries - Germany, Austria, and Switzerland.** *Assessments of the hazard due to the earthquakes were so far nearly exclusively carried out on a national level. This usually lead to inhomogeneities at the borders due to the complexity of the used probabilistic methods. Different international projects like the establishment of the Eurocode 8, an EC-project on the elaboration of an unified seismicity data file (BEECD) as well as a global research project on the computation of globally harmonized seismic hazard maps (GSHAP), provided a suitable frame acquiring a unified seismic hazard map for Switzerland, Austria and Germany. Moreover, this activity fits into the informal co-operation of the societies for earthquake engineering of the three countries, for which the term D-A-CH has been introduced. Furthermore, the D-A-CH countries served as the test area for the global GSHAP research project. The observed damaging earthquakes in the study area underline the necessity of updated seismic hazard assessments.*

*This contribution presents both the unified seismic hazard map for the D-A-CH countries and the elementary basis for its elaboration; i.e., the used current version of earthquake catalogues and the analysis of their temporal completeness, a brief excursion on the probabilistic method, the delineation of source regions and their seismicity distribution, and the attenuation of the macroseismic intensity. The presented hazard assessments were carried out for the internationally standardized hazard level for normal structural engineering of an occurrence or exceedance probability of 10 % within 50 years. Macroseismic intensity is used as the shaking parameter, for, inter alia, minimizing the bias in the procedure. Finally, reference is made to alternative parameters to be used in hazard assessments.*

## 1 Einführung

Die Gefährdung durch Erdbeben in den drei Ländern Deutschland, Österreich und Schweiz ist zwar relativ gering, aber keinesfalls vernachlässigbar. Größere Schadenbeben traten in jedem Land höchstens einmal in jeder Generation auf und verlieren sich daher nur zu schnell aus dem Bewußtsein. Trotzdem gehören Erdbeben auch in dieser Region zu den Naturereignissen, die extrem hohe Folgekosten verursachen können. Eine Studie zu den Auswirkungen von Naturkatastrophen des Bundesamtes für Zivilschutz (Bern) [1] hat für die Schweiz ergeben, daß Erdbeben mit 35 % Anteil am möglichen Gesamtschaden aller Naturgefährdungen das dominierende Element darstellen. Auch in den Hauptbebengebieten Deutschlands und Österreichs gehören Erdbeben langfristig neben Überschwemmungen und Stürmen zu den größten Verursachern von Elementarschäden.

Ein adäquater Schutz vor den Auswirkungen von Erdbeben kann nur durch die Einführung geeigneter ingenieurtechnischer Vorkehrungen erreicht werden. Da derartige Maßnahmen zur Erdbebensicherung durch Entwurf, Konstruktion oder Bemessung einen zusätzlichen bauseitigen Aufwand bedeuten, der sich auf die Kosten niederschlägt, sind in geeigneter Weise die Gebiete abzugrenzen, in denen mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten Beben-Erschütterungsparameter erreicht oder überschritten werden. Derartige Informationen vermitteln Erdbebengefährdungskarten, die auf Wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage ermittelt werden.

Die Festlegung eines Gefährdungsniveaus, für das Gefährdungskarten erstellt und in Bebenzonierungskarten für erdbebengerechte Baunormen einfließen, ist in jedem Falle eine politische Entscheidung darüber, wieviel Restrisiko die Gesellschaft zu tragen bereit ist. Für die erdbebengerechte Auslegung normaler Hochbauten, von denen kein besonderes Sekundärrisiko für die Umwelt ausgeht, hat sich im letzten Jahrzehnt quasi weltweit eine 90%ige Nichtüberschreitenswahrscheinlichkeit bestimmter Erschütterungsparameter innerhalb einer angenommenen Standzeit von 50 Jahren durchgesetzt. Unter Zugrundelegung der *Poisson*verteilttheit von Beben ergibt sich hieraus eine mittlere Wiederholungsperiode von 474,56 bzw. gerundet von 475 Jahren.

Wahrscheinlichkeitstheoretische Abschätzungen zur Erdbebengefährdung beruhen auf einer Reihe unterschiedlicher Eingangsparameter sowie statistischer Modelle zum Auftreten von Beben und stellen damit

eine anspruchsvolle geowissenschaftliche Aufgabe dar. Deren Komplexität führte in vielen Fällen dazu, daß verschiedene nationale Gefährdungskarten an den Staatsgrenzen z. T. beträchtliche Sprünge aufweisen. Auch die Verschiedenartigkeit von Zonierungskarten von Baunormen in dicht besiedelten Grenzregionen, wie z. B. im Raum Basel, wo die unterschiedlichen Konzepte in den Zonierungskarten der Schweiz, Frankreichs und Deutschlands zusammentreffen, kann zu Irritationen führen.

Von seismologischer Seite existieren daher intensive Bemühungen, grenzüberschreitend harmonisierte Abschätzungen der Erdbebengefährdung vorzunehmen bzw. zentralisiert unter Zugrundelegung von detaillierten Erdbebenherdmodellen, die größere Gebiete überdecken, einheitliche Gefährdungskarten zu berechnen. Für den Raum der D-A-CH-Staaten, d. h. für Deutschland (D), Österreich (A) und die Schweiz (CH), deren Gesellschaften für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik zu bestimmten Aktivitäten unter dem Titel D-A-CH zusammenarbeiten, reichen die Bemühungen, eine vereinheitlichte Erdbebengefährdungskarte zu berechnen, auf das Jahr 1993 zurück. Zu dieser Zeit wurde zudem ein globales Forschungsprojekt zur weltweit einheitlichen Abschätzung der Erdbebengefährdung ins Leben gerufen: das Global Seismic Hazard Assessment Program GSHAP des Internationalen Lithosphären-Programmes (ILP), das als globales Demonstrationsprojekt zur Internationalen Dekade der UN zur Verminderung der Auswirkungen von Naturkatastrophen (IDNDR) initiiert wurde [2]. Das GeoForschungsZentrum Potsdam wurde von der internationalen Fachwelt als GSHAP-Regionalzentrum für Europa nördlich des Mittelmeerraumes (bzw. nördlich von 46° N) ausgewählt, wo sämtliche Arbeiten für diesen Raum koordiniert und die Gefährdungsberechnungen zentral durchgeführt werden [3], [4]. Die für die D-A-CH-Staaten bei Übernahme der GSHAP-Aktivitäten am GFZ Potsdam bereits angelaufenen gemeinsamen Aktivitäten dienen sodann als GSHAP-Testgebiet, wo sämtliches Methodeninventar seitens des Regionalzentrums erprobt und weiterentwickelt wurde.

Das Endprodukt von GSHAP sind Gefährdungskarten sowohl für die Spitzenbodenbeschleunigung als auch für spektrale Bodenbeschleunigungen von 0,3 s und 1,0 s jeweils für steifen Untergrund. Als zugrunde gelegtes Gefährdungsniveau im Rahmen von GSHAP gilt ebenfalls die bereits oben erwähnte mittlere Wiederholungsperiode von 475 Jahren. Für die GSHAP-Regionalzentren wurden moderne Software-Entwicklungen zugänglich gemacht, wie das Rechenprogramm FRISK88M [37], welches in vollem Maße Unsicherheiten in den Eingangsparametern berücksichtigt.

Zusätzlich zu den Beschleunigungs-Gefährdungskarten wurde das Ziel verfolgt, Gefährdungskarten für die makroseismische Intensität als Erschütterungsparameter zu berechnen. Letztere bieten gerade für den mitteleuropäischen Raum eine Reihe von Vorzügen,

die auch seitens des Erdbebeningenieurwesens dazu beitragen, für spezielle Fragestellungen auf Intensitätsgefährdungskarten zurückzugreifen. Folgende Fakten sprechen für die Verwendung von Intensitätsgefährdungskarten:

1) Sie beruhen auf dem gleichen Parameter zur Klassifizierung der Erdbebenstärke, d. h. der makroseismischen Intensität, der für die deutliche Mehrzahl der Schadenbeben in der 500- bis 1000jährigen katalogisierten Bebenhistorie primär abgeleitet werden kann. Empirische Umrechnungen der Intensitäten in Magnituden sowie die Verwendung der Magnituden für die Dämpfungsrelationen der Bodenbeschleunigung mit der Entfernung sind für Intensitätsgefährdungskarten nicht notwendig. Die gesamte Kette der Berechnungen beruht auf einem einheitlichen Parameter. Denn Gefährdungsabschätzungen für die Bodenbeschleunigung als Parameter setzen magnitudenorientierte Bebenkataloge auch für die vorinstrumentellen, historischen Beben voraus. Die Magnituden von historischen Beben müssen mittels empirischer Umrechnungen aus den Intensitäten sowie oftmals nur angenommener Herdtiefen bestimmt werden und weisen demzufolge Unsicherheiten auf. (Die unterschiedlichen Konzepte zur Stärkeklassifizierung von Erdbeben mittels der makroseismischen Intensität und der berechneten Magnitude sind im Anhang zusammengestellt.)

2) Dämpfungsrelationen der Bodenbeschleunigung mit der Entfernung vom Bebenherd, die einen bedeutenden Einfluß bei Gefährdungsabschätzungen besitzen, sind für Mitteleuropa ungleich schlechter durch Beobachtungen abgesichert als die Dämpfung der makroseismischen Intensität in Abhängigkeit von der Herdtiefe.

3) Frühere Gefährdungskarten liegen i. d. R. für die Intensität als Parameter vor. Damit werden quantitative Vergleiche ermöglicht; insbesondere zu robusten Gefährdungsabschätzungen, die lediglich aus der Auszählung der an bestimmten Orten in der Vergangenheit aufgetretenen Intensitäten abgeleitet sind [5], [6], welche einen einfachen Test der Zuverlässigkeit der gewonnenen Resultate ermöglichen.

4) Intensitätsgefährdungskarten bieten im Zusammenhang mit der neuen Europäischen Makroseismischen Skala EMS-92 [7] die Möglichkeit, quantitative Aussagen zum zu erwartenden Schadensausmaß für Bauten unterschiedlichen Verletzbarkeitsverhaltens zu gewinnen und damit einen Ansatz, eine Erdbebengefährdungskarte, in gewissem Grade zumindest, in eine Erdbebenrisikokarte zu überführen. Dieser Aspekt ist besonders für die Versicherungswirtschaft von Interesse.

5) Erdbebengefährdungskarten für Bodenbeschleunigungen sind für Planer, Politiker und andere Entscheidungsträger, die keine Seismologen oder Erdbebeningenieure sind, weniger anschaulich als Gefährdungskarten, die in Form makroseismischer Intensitäten skaliert sind. Nichtsdestotrotz ist festzuhalten, daß künftige Gefährdungsabschätzungen vornehmlich für die Spitzenbodenbeschleunigung, für spektrale Bodenbeschleunigungen und deren Fraktilen erfolgen werden.

## 2 Vorgaben aus dem Eurocode 8

Die Bemühungen von seismologischer Seite, zu einer neuen Qualität der seismischen Gefährdungsabschätzungen zu gelangen, gingen einher mit der Konzipierung des Eurocode 8 [8], der Norm des Comité Européen de Normalisation (CEN) zur Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Der Eurocode 8 (EC 8) sieht jedoch keine vereinheitlichte Erdbebenzonierungskarte für dessen Anwendungsbereich vor. Wesentliche Parameter der Erdbebeneinwirkung, darunter auch die Erdbebenzonierung, werden auf nationaler Ebene erstellt und in Form Nationaler Anwendungsdokumente (NAD) zum EC 8 vorgelegt. Für den EC 8 wird für die Definition der Erdbebenzonen ebenso ein Gefährdungsniveau von 475 Jahren, die sogenannte Referenz-Wiederkehrperiode, herangezogen. Als Wert für die Bodenerschütterung, mit dem die Erdbebengefährdung ausgedrückt wird, ist im EC 8 ein Effektivwert der Spitzenbodenbeschleunigung vorgesehen. Der erste Arbeitsschritt zur Gefährdungsfestlegung kann über die makroseismische Intensität als Erschütterungsparameter erfolgen, der nachfolgend ein entsprechender Wert der effektiven Spitzenbodenbeschleunigung zugeordnet wird.

Für die Bundesrepublik Deutschland bedeutet dieses Vorgehen eine drastische Änderung der bisherigen Praxis, welche auf der Erdbebenzonierungskarte der DIN 4149 [9] beruht. Diese Zonierungskarte repräsentiert das bereits aus den dreißiger Jahren stammende Konzept maximaler in der Historie beobachteter Intensitäten. Karten dieses Typs sind nicht vereinbar mit dem EC 8, da sie sich keinem Wahrscheinlichkeitsniveau zuordnen lassen. Die seismologischen Grundlagen für die Erdbebenzonierungskarte des NAD der Bundesrepublik Deutschland wurden 1995 vorgelegt und 1996 in Berichtsform im Zusammenhang mit einer möglichen Variante der Zuordnung von Erdbebenzonen zu den Konturlinien der Gefährdungskarte veröffentlicht [10]. Diese entsprechen weitgehend der hier vorgelegten Intensitäts-Gefährdungskarte.

In Österreich ist der erste Teil der nationalen Baunorm ÖNORM B4015 [11] seit Oktober 1997 in Kraft. Diese neue Fassung der ÖNORM berücksichtigt die EC 8-Empfehlungen und basiert auf einem probabilistischen Konzept [12]. Der zweite Teil der Norm, der sich mit den Berechnungsverfahren befasst, wird, erscheint voraussichtlich Ende 1998.

In der Schweiz basieren die Zonenkarten in der nationalen Baunorm SIA 160 [13] schon auf einem modernen probabilistischen Konzept [14]. Trotzdem sind Neuberechnungen der Gefährdungszonen und der zugehörigen Auslegungsparameter angebracht, da einerseits neue (und bessere) Daten verfügbar sind und andererseits in der Rechnung Unsicherheiten besser berücksichtigt werden müssen [15].

Entsprechendes gilt für alle anderen Länder, die am Konzept des Eurocode 8 mitarbeiten. Da europaweit

ein einheitliches und abgestimmtes Vorgehen erforderlich ist und Grenzen zwischen den Ländern nicht mehr Anlaß zu unterschiedlichen Belastungsannahmen und unverträglichen Bauauslegungen sein sollten, wäre es für die Erdbebenzonierungskarten zum EC 8 zu wünschen, daß hier ähnliche vereinheitlichte Ansätze vorgelegt werden, wie diejenigen, die von seismologischer Seite bereits erarbeitet wurden bzw. in Zukunft weiter verbessert werden.

## 3 Verwandte Erdbebenkataloge

Bebendaten und Abschätzungen der zeitlichen Vollständigkeit der Bebenkataloge hoher Qualität sind eine wesentliche Grundlage für zuverlässige seismische Gefährdungsabschätzungen. Für die hier beschriebenen Ergebnisse konnten weitgehend die jüngsten Versionen der meist unveröffentlichten, nationalen Kataloge der beteiligten Länder verwendet werden. Darüber hinaus waren auch die Erdbeben der angrenzenden Gebiete einzubeziehen, um die makroseismische Beeinflussung von außerhalb liegenden aktiven Herdregionen in die Berechnung einfließen zu lassen. Im einzelnen sind dies neben den aktualisierten Bebenkatalogen für Deutschland [16], [17], Österreich [18] und Schweiz [19] auch die Kataloge aus Belgien [20], Fennoskandien [21], Frankreich [22], Großbritannien [23], Italien [24], [25], Niederlande [26], Polen [27], [28], Slowenien [29], [30], Tschechien [31] und Ungarn [32].

Zur Erstellung einer einheitlichen Seismizitätsdatenbasis (Bild 1) waren an Hand der genannten Kataloge umfangreiche Anpassungsarbeiten vorzunehmen. In den Fällen multipler Einträge mußten z. B. die jeweils zuverlässigsten Interpretationen ermittelt und die übrigen Varianten mit einer entsprechenden Kennung versehen werden.

Für die Generierung einer zuverlässigen Seismizitätsdatenbasis erwies es sich als notwendig, wenigstens den größten Teil der Schadenbeben im Untersuchungsgebiet einer kritischen Prüfung zu unterziehen. Diese Arbeiten konnten weitgehend im Rahmen des EG-Projects „A Basic European Earthquake Catalogue and a Database for the evaluation of long-term seismicity and seismic hazard, BEECD“ (Contract EV5V-CT94-0497) erfolgen, wo in den Jahren 1995 und 1996 entsprechende Forschungsmittel bereit standen und der erstgenannte Autor als Contractor mitwirkte.

Neben den bereits bei [10] genannten Neuinterpretationen historischer Erdbeben bzw. schon auf den ersten Blick als Scheinbeben zu erkennenden chronistischen Fehlern, die vom Anbeginn der Arbeiten als solche gekennzeichnet wurden (wie z. B. das vermeintliche Schadenbeben von 1348 im Sauerland (in der Gegend von Schwelm, wo angeblich die Altenberger Abtei zerstört wurde und welches mit einer Intensität von VIII katalogisiert ist [16], aber offensichtlich eine Verwechslung mit bzw. Übertragung vom Friauler Beben vom 25.

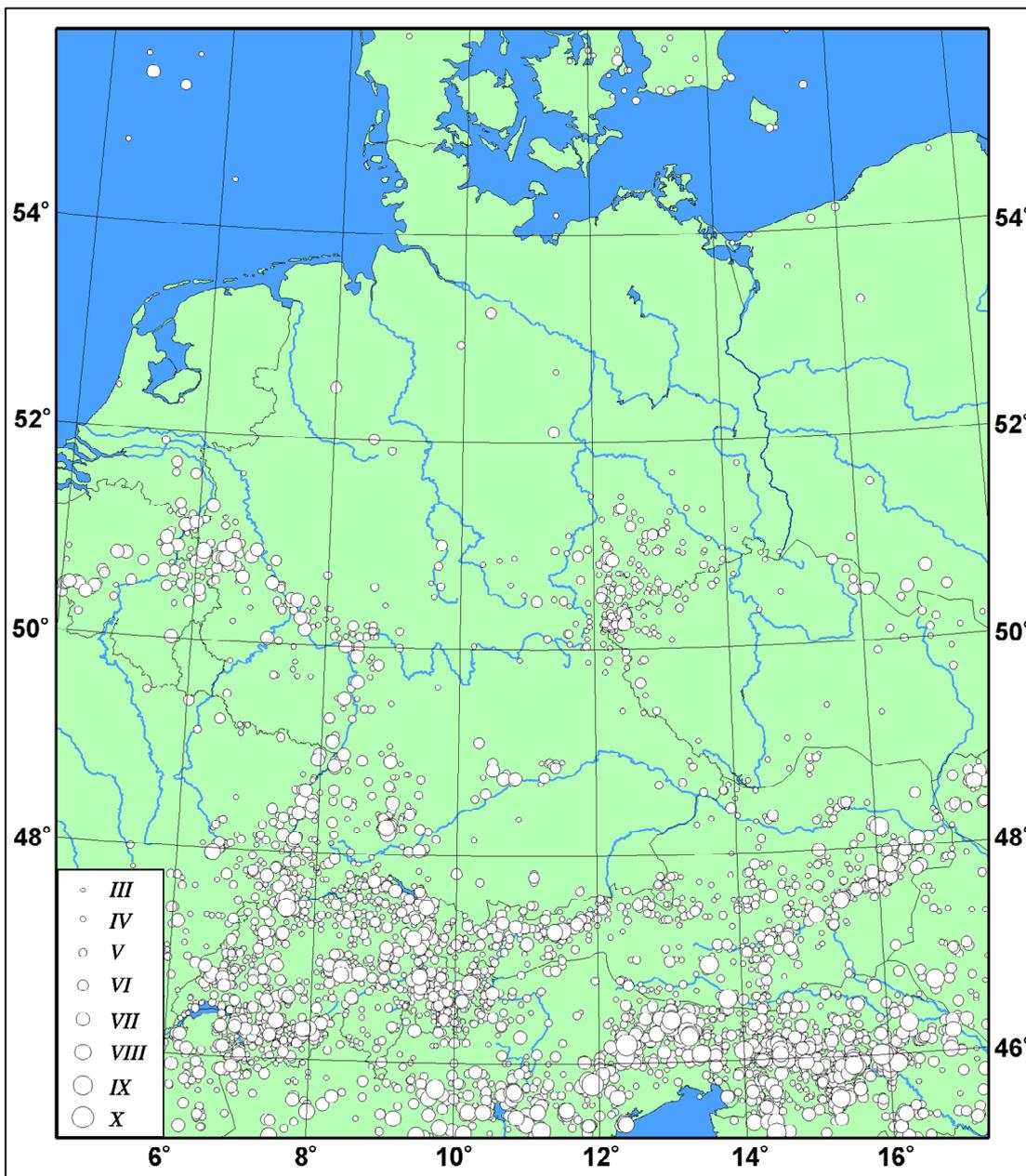


Bild 1. Epizentrenkarte Mitteleuropas, aktualisiert nach [3]. Zu den einzelnen Beben sind die maximalen oder Epizentralintensitäten dargestellt, wobei in Gebieten mit sich überdeckenden Bebenherden die größeren Intensitätskreise zuoberst liegen. Die zeitliche Vollständigkeit der erfaßten Seismizität ist Tabelle 1 zu entnehmen  
 Fig. 1. Epicentre map of Central Europe updated after [3]. The maximum or epicentral intensities are depicted for the single earthquakes. The largest intensity circles are plotted as uppermost ones in areas of overlapping earthquake foci. The temporal completeness of the catalogued seismicity is given in table 1

Januar 1348 darstellt), konnten so grundlegend neue Erkenntnisse zu zahlreichen historischen Schlüsselerebeben gewonnen werden. Einzelne bisher nicht katalogisierte Schadenbeben mußten neu in den Seismizitätsdatenfile aufgenommen werden (z. B. 1395 und 1504 im Niederrheingebiet); aber eine weitaus größere Zahl erwies sich als Scheinbeben (wie z. B. ein angebliches Beben der Intensität VIII im Jahre 1445 in Mainz). Es sei hier nur darauf verwiesen, daß die entsprechenden Materialien mit Einzelheiten zu solchen Neuinterpretationen von historischen Schlüsselerebeben gegenwärtig

zur Veröffentlichung vorbereitet werden.

Als weiterer, wesentlicher Arbeitsschritt folgt die Analyse der Vollständigkeit der katalogisierten Daten. Dies hat einen erheblichen Einfluß auf die Güte der Gefährdungsbestimmung. Hierzu wurde das Gesamtuntersuchungsgebiet in 8 Großregionen mit unterschiedlichen kulturhistorischen Aspekten bezüglich der Erfassung von Beben in lokalen Chroniken untergliedert. Zur Vollständigkeitsanalyse wurden verschiedene statistische Verfahren (z. B. [33]) herangezogen. Am anschaulichsten ist eine graphische Methode, die im

Bild 2 für die Bebenaten der Schweiz, Österreich und des Rheingebiets dargestellt ist. Eine starke Krümmung der einzelnen Kurven für die kumulierte Häufigkeit von Erdbeben eines bestimmten Intensitätsgrades deutet auf eine sich mit der Zeit stark ändernde Vollständigkeit hin. Der Zeitpunkt, ab dem die Kurven bis zur heutigen Zeit einen linearen Verlauf annehmen, ist in Tabelle 1 angegeben und markiert den Anfang der als hinreichend vollständig angenommenen Intervalle für die angegebenen Intensitäten.

#### 4 Die beobachtete Bebenaktivität

Anhand der instrumentellen Bebenaten dieses Jahrhunderts, ergänzt durch die historischen, vorinstrumentellen Daten, ergibt sich ein relativ vollständiges Bild der Seismizität Mitteleuropas (Bild 1).

Nördlich der Alpenländer zeigt das Gebiet der **Bundesrepublik Deutschland** die höchste Bebenaktivität sowie die größte Bebengefährdung im Vergleich zu den Nachbarn im Westen, Norden und Osten. Auffällig sind dabei in Bild 1 die Häufungen von Bebenherden im Ober-, Mittel- und Niederrheingebiet (Baden, Hessen, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen), im Gebiet der Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg), im Bodenseegebiet, in Ostthüringen und Sachsen sowie ein isoliertes Gebiet, das sich von der Riesalb bis zum Altmühltal (Bayern) erstreckt. Allein aus diesem Jahrhundert sei exemplarisch an folgende Schadenbeben erinnert:

16. Nov. 1911 Schwäbische Alb, Albstadt (Ebingen-Leutlingen)

Intensität VIII, Magnitude ca. 6,1

27. Juni 1935 Saugau (Oberschwaben)

Intensität VII-VIII, Magnitude ca. 5,6

3. Sept. 1978 Schwäbische Alb, Albstadt (Onstmettingen-Tailfingen)

Intensität VII-VIII, Magnitude 5,7

13. April 1992 Roermond/Heinsberg (Niederrhein)

Intensität VII, Magnitude 5,8

In der **Schweiz** ist eine höhere Konzentration von Erdbebenherden in den Kantonen Wallis, Basel, Obwalden, Glarus und Graubünden zu beobachten. Erdbeben im Bereich der Magnitude von 6 waren in diesem Jahrhundert nicht zu verzeichnen. Prominente Beben (Intensität VII und größer) in diesem Jahrhundert waren:

29. Apr. 1905 Martigny VS

Intensität VII-VIII, Magnitude ca. 5,3

28. Aug. 1915 Martigny VS

Intensität VII, Magnitude ca. 5,0

8. Jan. 1925 Yverdon

Intensität VII, Magnitude ca. 5,0

1. März 1929 Yverdon

Intensität VII-VIII, Magnitude ca. 5,3

25. Jan. 1946 Sion-Sierre VS

Intensität VIII, Magnitude 5,5

23. März 1960 Brig VS

Intensität VII, Magnitude 5,0

17. Feb. 1964 Sarnen OW

Intensität VII, Magnitude 5,0

29. Sept. 1971 Glarus

Intensität VII, Magnitude 5,0

Auch die Herde im angrenzenden Ausland verursachen zum Teil heftige Erschütterungen in der Schweiz (z. B. Schwäbische Alb 1978 mit einer Intensität von V-VI in der Schweiz).

Die Bereiche **Österreichs**, die regelmäßig von Erdbeben betroffen sind, zeichnen sich ebenfalls gut anhand der Epizentrenverteilung (Bild 1) der gefühlten Erdbeben (mit Intensitäten  $\geq$  III) ab. Zu den bekanntesten seismotektonischen Störungszonen zählen das Wiener Becken, die Mur-Mürztal-Störung, die zur Bildung des Wiener Beckens beiträgt, sowie die Inntal- und Lavanttal-Störung. Stärkere Erdbeben sind zwar selten in Österreich - doch sind mehrere Erdbeben dieser Klasse seit dem 13. Jahrhundert bekannt. Auf die Bundeshauptstadt Wien hatte das sogenannte „Neulengbacher Erdbeben“ am 15. September 1590 die bisher stärksten Auswirkungen. Damals gab es neben vielen Gebäudeschäden auch mehrere Todesopfer. Das letzte Erdbeben, das eine Epizentralintensität VIII aufwies und schwere Gebäudeschäden verursachte, ereignete sich am Abend des 8. Oktober 1927 in Schwadorf im Wiener Becken.

Das jüngste stärkere Erdbeben ereignete sich am Sonntagvormittag des 16. April 1972 in Seebenstein/Niederösterreich im südlichen Teil des Wiener Beckens. Die Folgen waren bis Wien spürbar, wo die Feuerwehr zu über 800 Einsätzen gerufen wurde. Damals stürzten Teile der Balustrade der Wiener Universität herab, und unzählige Schornsteine im Stadtgebiet von Wien wurden beschädigt.

Die stärksten Beben Österreichs im 20. Jahrhundert waren:

8. Okt. 1927 Schwadorf (Niederösterreich)

Intensität VIII, Magnitude ca. 5,2

7. Okt. 1930 Namlos (Tirol)

Intensität VIII, Magnitude ca. 5,3

3. Okt. 1936 Obdacher Sattel (Steiermark)

Intensität VII-VIII, Magnitude ca. 5,1

16. April 1972 Seebenstein (Niederösterreich)

Intensität VII-VIII, Magnitude 5,3

Beben mit maximalen Intensitäten von VIII bis IX oder größer sind im Untersuchungsgebiet nördlich der Schweiz und Österreichs bisher nicht beobachtet worden. Innerhalb der Schweiz sind zu dieser Stärkeklasse von VIII bis IX oder IX die Beben von Basel 1356 zu rechnen, 1601 im Kanton Unterwalden, 1755 und 1855 im Raum Brig/Visp sowie 1796 im St. Gallener Rheintal. In Österreich sind in diese Bebenklasse das Beben von 1201 in Kärnten einzuordnen, das Neulengbacher Beben von 1590 sowie das Villacher Beben von 1690.

Vom nordostitalienischen Bebengebiet des Friaul, wo eine Häufung von Beben mit Intensität IX und größer zu beobachten ist, werden weite Teile des Untersuchungsgebietes makroseismisch beeinflusst (letztes Beispiel war das Beben vom 6. Mai 1976).

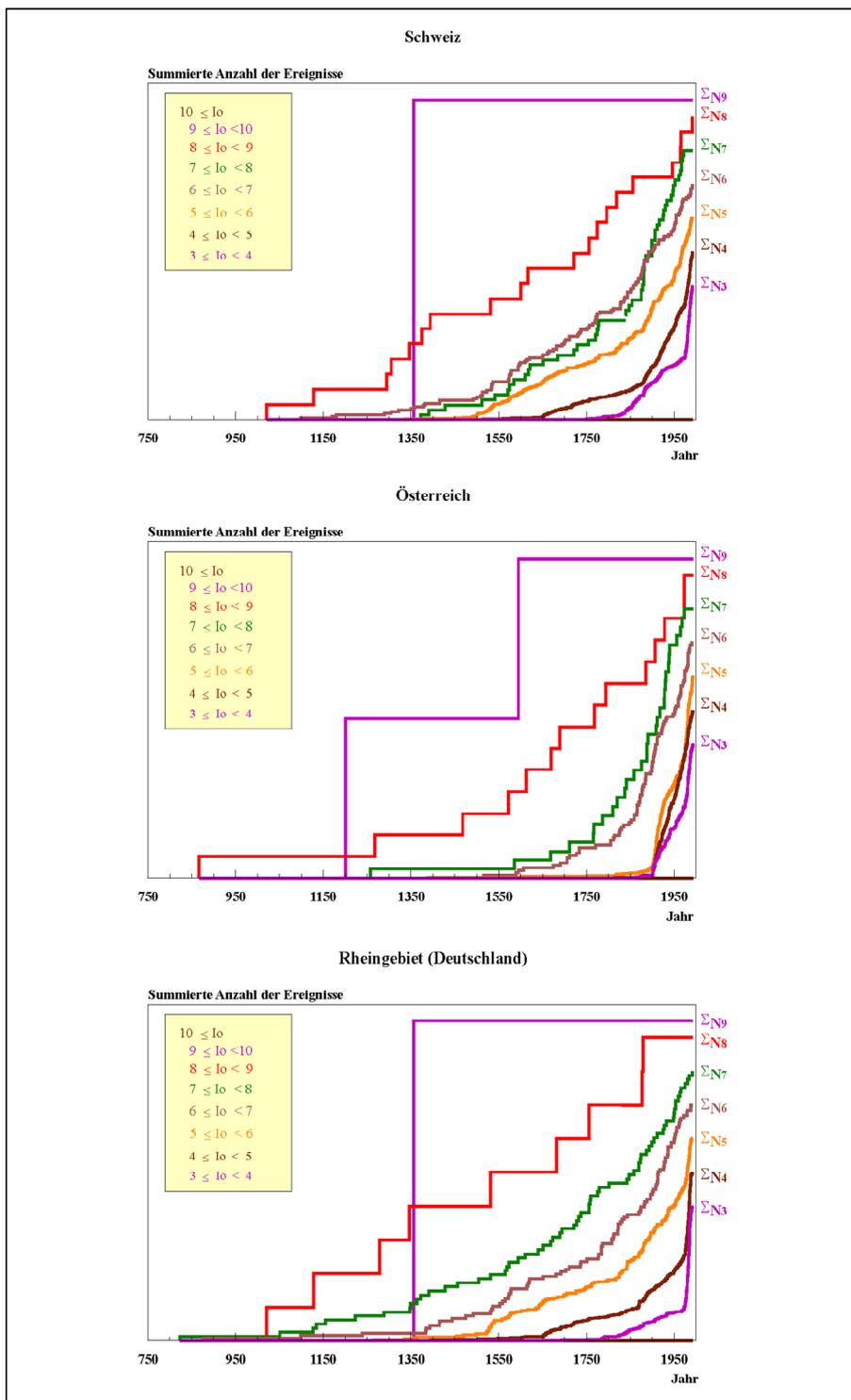


Bild 2. Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Erdbebenhäufigkeit für einzelne Intensitätsklassen in der Schweiz, Österreich und in Deutschland für das Rheingebiet  
 Fig. 2. Representation of the temporal course of the frequency of earthquakes for single intensity classes in Switzerland, Austria and the Rhine area in Germany

Die Herdtiefen der Beben, die nicht unmaßgeblich das Ausmaß der seismischen Gefährdung bestimmen, erstrecken sich im Untersuchungsgebiet - von wenigen Ausnahmen abgesehen - bis in eine Tiefe von 20 km. Die stärksten Beben, die insbesondere von ingenieur-

mäßiger Relevanz sind, ereignen sich in den meisten Teilen des Untersuchungsgebietes im Tiefenbereich von 8 bis 12 km. Abweichungen mit relativ flachen Herden der stärksten Beben finden sich in weiten Teilen von Baden-Württemberg mit Herdtiefen von 4 bis 9

Tabelle 1. Analyse einer hinreichenden Vollständigkeit katalogisierter Intensitätsklassen ab  $I = IV$  für die Großregionen des Gesamtuntersuchungsgebietes  
 Table 1. Analysis of the completeness of catalogued intensity classes for intensities  $I \geq IV$  for the gross zones of the study area

$I_0$	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Österreich	1900	1900	1850	1670	1550	1200	
Schweiz	1875	1875	1650	1575	1300	1300	
Norditalien	1875	1875	1750	1600	1200	1200	1100
Rheingebiet	1875	1825	1775	1500	1250	1250	
Sachsen/Thüringen	1850	1770	1700	1400			
übriges Deutschland	1925	1875	1875	1750	1625		
BENELUX-Staaten	1925	1875	1825	1675	1350		
Südkandinavien	1880	1775	1775	1700			

km sowie im östlichen Teil des Wiener Beckens und der böhmischen Masse, z. B. im Mühlviertel (Ober-Österreich) oder im Waldviertel (Nieder-Österreich). Größere als die mittleren Herdtiefen der charakteristischen Beben finden sich im NW-Teil des Bebengebietes der Niederrheinischen Bucht mit Tiefen von  $h = 12$  bis 20 km (Nordrhein-Westfalen und Niederlande) sowie im westlichen Teil des Wallis sowie im Engadin ( $h = 16$  bis 22 km).

## 5 Die probabilistische Bestimmung der Erdbebengefährdung

### 5.1 Methodik

Die Grundlage der verwendeten Methodik zur seismischen Gefährdungsabschätzung für die Erdbebenzonenkarten bildet das weltweit bewährte Konzept nach Cornell [34] bzw. McGuire [35], das von einigen vereinfachenden Annahmen ausgeht und in Bild 3 schematisch dargestellt ist. Der Cornellsche Ansatz ist in Computerprogrammen verschiedener Autoren realisiert [35], [36], [37]. Um die Gefährdung eines Ortes zu bestimmen, wird das diesen Ort beeinflussende Gebiet in seismische Quellzonen aufgeteilt. Die Festlegung dieser Quellzonen erfolgt auf der Grundlage der seismotektonischen Gegebenheiten sowie der historischen und heutigen Bebenaktivität. Jede einzelne dieser Quellen bezeichnet im weiteren Vorgehen ein Gebiet, in dem die Seismizität als homogen angesehen wird. In die Gefährdungsberechnung gehen diese Quellzonen mit ihren Geometrien und Lagen sowie der ihr eigenen Häufigkeitsbeziehung der jährlichen Intensitäts- oder Magnitudenraten pro Stärkeklassenintervall ein. Es ist leicht einzusehen, daß die Distanz zum Ort, für den die Gefährdung berechnet wird, eine entscheidende Rolle spielt. Je nach Region ist dafür die sogenannte Abminderungsrelation der Gefährdungsgröße, Intensität bzw. Beschleunigung, maßgebend. Daher sind für das errechnete Gefährdungsniveau oft zu 80 % und mehr die Quellzonen verantwortlich, in welcher der Ort liegt und

diejenigen in unmittelbarer Nähe. Meist haben Quellzonen, die mehr als 50 km entfernt sind, nur noch einen geringen Einfluß.

Sollen die Parameter der Häufigkeitsverteilung von Beben der Stärkeklassen in der  $j$ -ten Quelle abgeschätzt werden, ergibt sich nach [35] für die Ableitung der jährlichen Häufigkeit  $N_j$  nach  $d_m$ :

$$\frac{dN_j(m)}{dm} = v_j \cdot \frac{dF_{M,j}(m)}{dm}$$

$$= v_j \cdot \begin{cases} 0 & \forall m \in (-\infty, m_{\min}) \\ \frac{\exp(-\beta_j m)}{A_j} & \forall m \in (m_{\min}, m_{\max}) \\ 0 & \forall m \in (m_{\max}, \infty) \end{cases} \quad (1)$$

$$A_j = \frac{\exp(-\beta_j m_{\min}) - \exp(-\beta_j m_{\max})}{\beta_j}$$

wobei  $v_j$  die jährliche Häufigkeit der Ereignisse mit  $m \geq m_{\min}$  angibt und  $\beta_j$  der Verteilungsparameter der  $j$ -ten Quelle ist. Die Parameter  $v_j$  und  $\beta_j$  werden an die reale Aktivität der betreffenden Quellregion angepaßt.

Die Dämpfung des betrachteten Bodenbewegungsparameters ist eine weitere wesentliche Eingangsgröße. Sie geht als Erwartungswert des betrachteten Parameters unter der Bedingung ein, daß in der Entfernung  $r$  ein Ereignis der Größe  $m$  stattfindet. Dieser Parameter wird als normalverteilt angenommen.

Aus den Eingangsgrößen folgt unter Verwendung des Satzes von der totalen Wahrscheinlichkeit und Summation über alle Quellen für den Erwartungswert  $v$  der jährlichen Rate des Auftretens oder Überschreitens von  $i$  am untersuchten Ort:

$$v = \sum_j v_j \cdot \int \int_{Q_j M} P[I \geq i | m \wedge r] dF_{M,j}(m) dF_{R,j}(r) \quad (2)$$

( $P[I \geq i | M = m \wedge R = r]$ : Wahrscheinlichkeit, daß am untersuchten Ort  $i$  der Erwartungswert des betrachteten

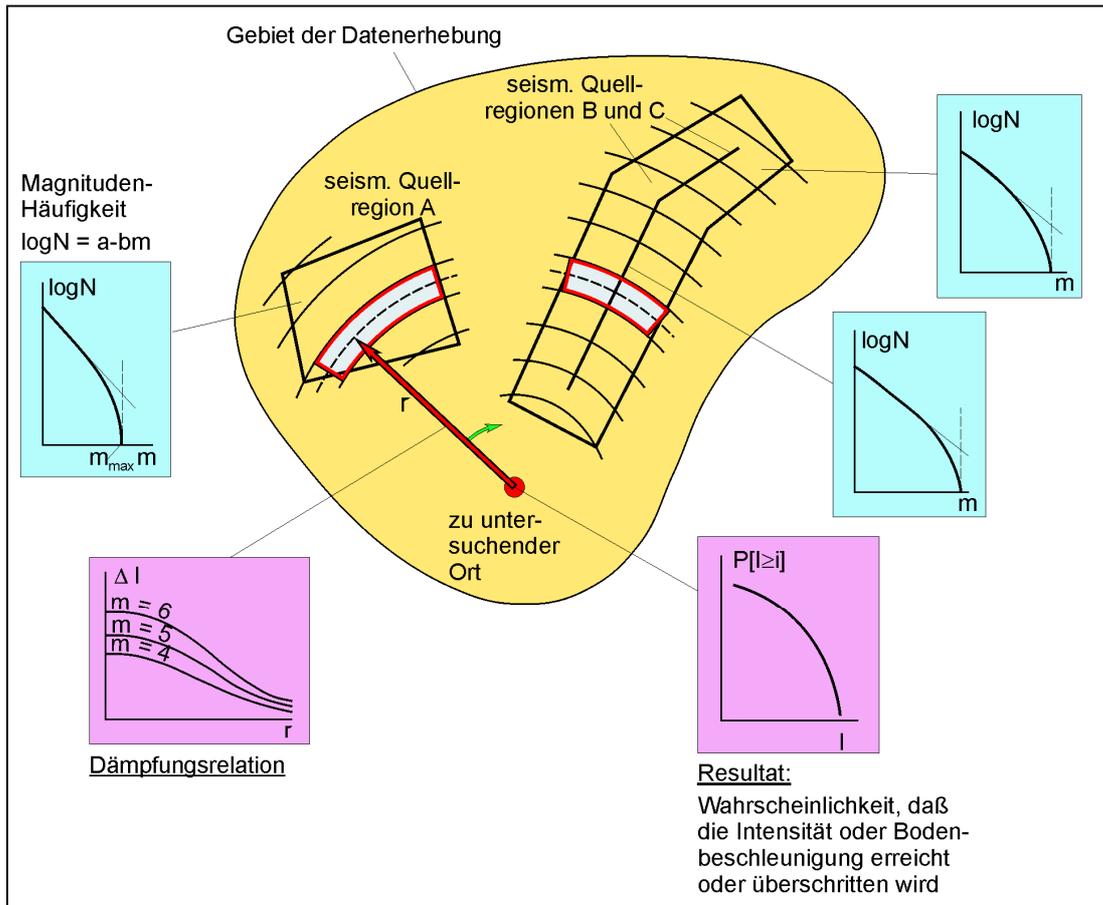


Bild 3. Probabilistische seismische Gefährdungsbestimmung nach der Cornell-Methode  
 Fig. 3. Probabilistic seismic hazard assessment according to the Cornell method

Bodenbewegungsparameters  $i$  (z. B. Intensität oder Bodenbeschleunigung) erreicht oder überschritten wird unter der Bedingung, daß in der Entfernung  $r$  ein Ereignis der Größe  $m$  stattfindet;  $dF_{M,j}$ : siehe (1);  $dF_{R,j}$ : Verteilung des Abstandes des Ereignisses vom betrachteten Ort, abhängig von Geometrie und Lage der  $j$ -ten Quelle  $Q_j$ ).

Die Anzahl von Erdbeben in einem Zeitintervall  $\Delta t$  folgt in guter Näherung einer Poissonverteilung, sofern nur statistisch unabhängige Ereignisse betrachtet werden, d. h. wenn Vor- und Nachbeben aus den Daten eliminiert sind:

$$P[K = k] = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot \exp(-\lambda) \quad (3)$$

( $P[K = k]$ : Wahrscheinlichkeit, daß in  $\Delta t$  genau  $k$  Ereignisse eintreten;  $\lambda$ : Erwartungswert der Ereigniszahl in  $\Delta t$ ).

Die Summe poissonverteilter Zufallsgrößen ist ebenfalls poissonverteilt. Daher ist das Auftreten oder Überschreiten eines konkreten Wertes  $i$  des untersuchten Bodenbewegungsparameters am betrachteten Ort auch poissonverteilt und es gilt  $\lambda = v \cdot \Delta t$ . Setzt man die mitt-

lere Wiederkehrperiode  $T = 1/\lambda$ , so folgt aus Gl. (3) für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens mindestens eines Ereignisses in  $\Delta t$ ,  $P[n \geq 1] = 1 - P[K = 0]$ :

$$P[K \geq 1] = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{T}\right) \quad (4)$$

Somit ergibt sich die Beziehung zwischen der Auftretens- oder Überschreitenswahrscheinlichkeit  $P[n \geq 1]$  im Zeitraum  $\Delta t$  und der mittleren Wiederkehrperiode  $T$ :

$$T = \frac{\Delta t}{\ln(1 - P[K \geq 1])} \quad (5)$$

Quantile können aus den Gln. (3) bzw. (4) berechnet werden. Danach ergibt sich z. B., daß innerhalb eines Zeitraumes von 475 Jahren die in einer Gefährdungskarte für diese mittlere Wiederholungsperiode ausgewiesenen Intensitäten mit einer Wahrscheinlichkeit von 63% auftreten oder überschritten werden.

## 5.2 Definition der seismischen Quellzonen

Zur Berechnung der Erdbebengefährdung sind für sämtliche Bebengebiete Herdregionen zu bestimmen, von denen das Untersuchungsgebiet makroseismisch beeinflusst werden kann. Sowohl tektonische Störungen oder Verwerfungen („Linienquellen“) als auch beliebig ausgedehnte, bestimmte Tiefenbereiche repräsentierende Erdbebengebiete („Flächenquellen“) können festgelegt werden, die das seismische Potential der Region beinhalten. Dabei können ebenso sich überlappende Flächenquellen abgegrenzt werden, die unterschiedliche seismogene Tiefenbereiche abdecken.

Diejenigen Herdregionen, welche die seismische Gefährdung maßgeblich bestimmen, konnten in den meisten Fällen anhand gut definierter seismotektonischer Kriterien festgelegt werden und stimmen zudem weitgehend mit der beobachteten räumlichen Verteilung der Beben überein. Bild 4 zeigt einen Ausschnitt der abgegrenzten Herdregionen sowie die zugehörige Seismizität, die hier im Unterschied zum Bild 1 für die einzelnen Herde die Bebenstärke in Form der Magnitude zeigt. Magnitudendatensätze sind der Ausgangspunkt für Berechnungen der Gefährdung für die Beschleunigung als Parameter, da die Beschleunigungs-Dämpfungs-Beziehungen von diesem Parameter, heute meist von der Momentmagnitude, ausgehen.

In das Gesamtkonzept der abgegrenzten Herdregionen von der Straße von Dover im Westen bis zu den Kleinen Karpaten im Osten, von Schweden im Norden bis zur Lombardei im Süden sind in starkem Maße Detailuntersuchungen nationaler bzw. lokaler Bearbeiter eingeflossen. Die Regionenabgrenzung für die Schweiz ist im wesentlichen identisch mit der von *R. Säggerer* und *D. Mayer-Rosa* [12], für den süddeutschen Raum sind die Hinweise von *G. Schneider*, Stuttgart, eingeflossen bzw. Angaben von *L. Ahorner*, Köln/Bensberg, für das Niederrheingebiet, für Norditalien dienen die Quellzonen nach [38] als Grundlage, sowie für Frankreich eine Vorgabe vom AFPS. Die weiteren Quellzonenabgrenzungen erfolgten in Abstimmung mit den Partnern in den entsprechenden Nachbarländern. Die seismotektonischen Besonderheiten, die den abgegrenzten Herdregionen zugrunde liegen, werden hier nicht näher erläutert.

## 5.3 Bestimmung der Seismizitätsverteilungen

Nach Abgrenzung der einzelnen Quellregionen sind für diese die Parameter der Seismizitätsverteilungen unter Ausschluß der Vor- und Nachbeben zu bestimmen, woraus sich ein Poisson-verteilter Datensatz ergibt. Hierbei wird prinzipiell nach Gl. (1) vorgegangen. Bekannter ist jedoch der sich in der Regel ergebende gute lineare Zusammenhang zwischen dem Logarithmus der jährlichen Häufigkeit einzelner Bebenstärkeklassen in Abhängigkeit von der Bebenstärke, welcher in den 40er Jahren von *Gutenberg* und *Richter* eingeführt wurde:

$$\log N = a - bI_0 \quad (6)$$

Gut belegte lineare Verläufe der *Gutenberg-Richter*-Relation konnten für nahezu alle Herd- oder Quellregionen gewonnen werden. Bild 5 zeigt hierfür einige Beispiele in sowohl flächennormierter als auch in nicht-normierter Darstellung der jährlichen Intensitäts-Häufigkeitsverteilungen; d. h. für die Quellzonen Mur-Mürz in Österreich, für den Hohenzollerngraben (Raum Albstadt) in Baden-Württemberg und für die Quellregion Basel mit dem Hauptanteil in der Schweiz.

In den Gebieten mit sehr geringer Bebenaktivität wurden die *b*-Werte aus einem größeren Umfeld der jeweiligen Region bestimmt und die *a*-Werte den konkreten Seismizitätsdaten dieser Region angepaßt. Eines der neuen Elemente dieser Prozedur stellt die Behandlung der ungenauen Intensitätsangaben dar. So wurden z. B. bei Intensitäten wie V-VI jeweils 50% der Daten der nächsthöheren sowie der nächstunteren Klasse zugeordnet. Dieses Verfahren führt zu jährlichen Raten in den kumulativen Verteilungen, die größer als in früheren Abschätzungen sind.

Die in der Gl. (1) berücksichtigten oberen Grenzwerte von Bebenstärken sind bei probabilistischen Gefährdungseinschätzungen Bestandteil der Rechenprozedur und bezeichnen die Werte, die mit einer Auftretens- oder Überschreitenswahrscheinlichkeit von Null zu erwarten sind. In Übereinstimmung mit der international geübten Praxis moderner Erdbebengefährdungseinschätzungen wird für die obere Grenzintensität  $I_{\max}$  ein Zuschlag zu den in den Herdregionen maximal beobachteten Intensitäten  $I_{\max \text{ obs}}$  eingeführt. Nach Abschätzung einer für Mitteleuropa geeigneten Vorgehensweise wird in Abstimmung mit europäischen Partnern wie folgt verfahren:

$$I_{\max} = I_{\max \text{ obs}} + 1,5 (\pm 0,5);$$

mit folgenden Zusatzkriterien:  $I_{\max}$  ist stets  $\geq$  VII, sowie  $\leq$  X. Lediglich für Teile Norditaliens und anderer Gebiete höchster Bebenstätigkeit mit  $I_{\max \text{ obs}} = X$  gilt  $I_{\max} = X-XI$ . Die Wahl dieses oberen Grenzwertes hat in erster Linie Einfluß auf die Erdbebengefährdungsabschätzungen im Bereich von Gefährdungsniveaus, die kleiner als der hier betrachtete Wert von 90% Nicht-überschreitenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren sind.

## 5.4 Bestimmung der Abminderungsrelation und charakteristische Herdtiefe

Für jede seismische Quelle ist die Relation zwischen Erschütterungsgröße (Intensität oder Beschleunigung) und Entfernung zu ermitteln. Diese Relation kann für jede Quelle individuell verschieden oder für ein ganzes Land einheitlich sein. Die Dämpfungsrelation der Intensität mit der Entfernung nach [39] beschreibt am besten die Beobachtungen im Untersuchungsgebiet:

$$\overline{I(I_0, r)} = I_0 - 3 \cdot \left( \log \frac{r}{h} + \alpha \cdot \log e \cdot (r - h) \right);$$

*r* Hypozentraldistanz; *h* Herdtiefe; *r* und *h* in km

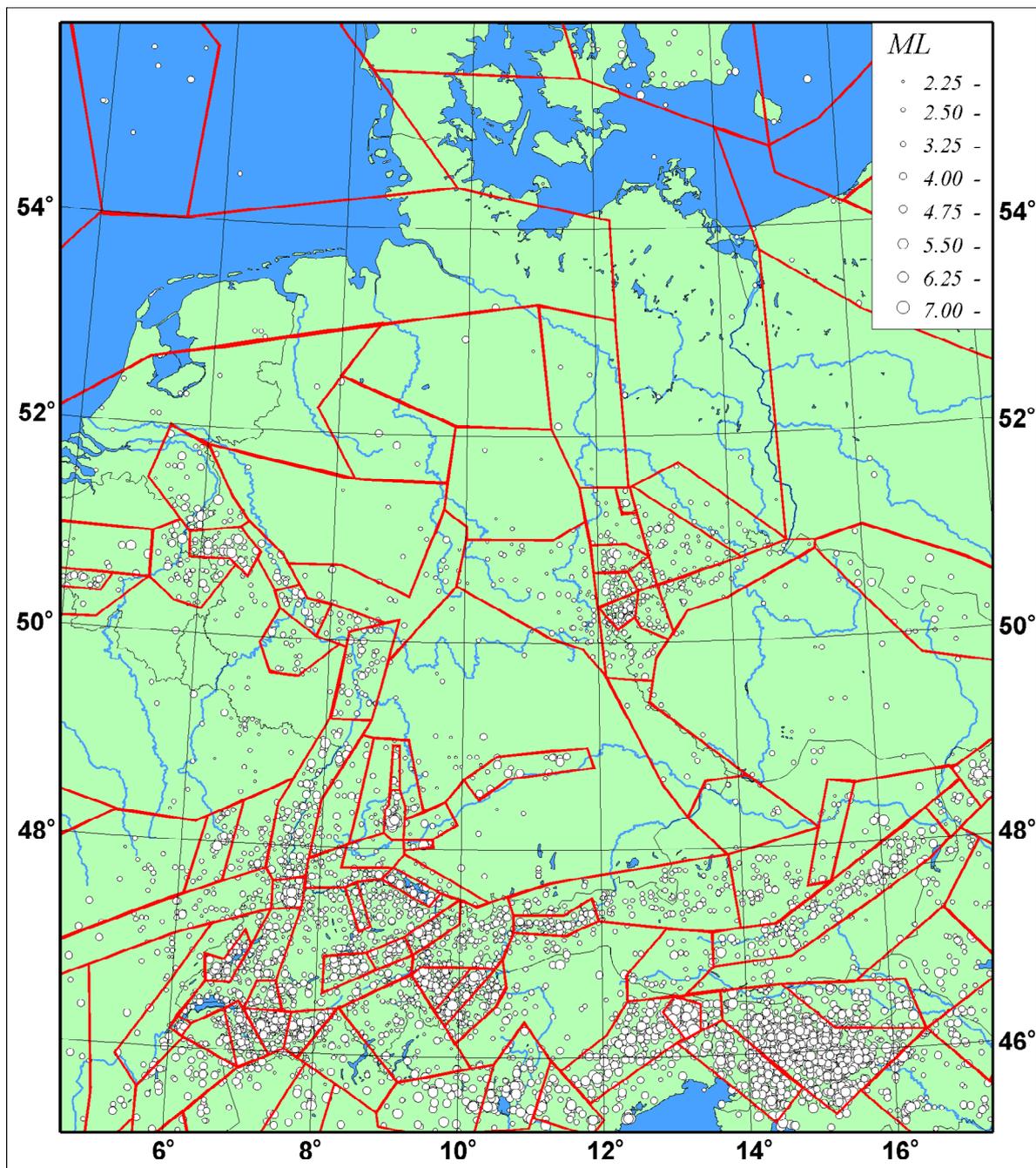


Bild 4. Abgrenzung von seismischen Herdregionen („Quellzonen“) in Mitteleuropa. Dargestellt sind außerdem die Erdbeben in Form von Magnitudenwerten. Der Datensatz ist identisch zu Bild 1

Fig. 4. Delineation of seismic source regions in Central Europe. There are depicted additionally the earthquakes in form of their magnitudes. The data set is identical as in Fig. 1

Sie repräsentiert (mit  $\alpha = 0,002 \text{ km}^{-1}$ ) die mittlere Intensitätsabnahme mit der Entfernung und nicht die Intensitätsüberhöhung durch ungünstige, erschütterungsverstärkende Baugrundverhältnisse. Durch derartige lokale Baugrundsituationen, höher ausgebildete Schadensgrade (oder andere makroseismische Effekte) sind bei der Intensitätsbestimmung nach der für Europa von der Europäischen Seismologischen Kommission für makroseismische Betrachtungen offiziell empfohlenen European Macroseismic Scale EMS-92 [7] nicht

ausschlaggebend, sondern die Gesamtheit der aufgetretenen Bebenwirkungen. Eine Intensitätskorrektur im Hinblick auf solche Untergrundeffekte verbietet sich per Definition der makroseismischen Intensität (vgl. Anleitungen zur makroseismischen Praxis in [7]).

Für jede Quellzone wurde mindestens eine charakteristische Herdtiefe aus den Tiefenangaben der drei bis fünf stärksten Beben jeder Region bestimmt. Quellzonen, aus denen keine entsprechenden Tiefenangaben verfügbar sind, wurden mit Werten von 10 km ange-

setzt. Die berechneten charakteristischen Herdtiefen variieren im Bereich von 4 bis 22 km.

## 6 Die Abschätzung der seismischen Gefährdung

Die probabilistischen seismischen Gefährdungsabschätzungen wurden für ein Punktraaster von  $0,1^\circ$  vorgenommen. Als Resultat ergibt sich damit für eine mittlere Wiederholungsperiode von 475 Jahren die in Bild 6 dargestellte Gefährdungskarte für die D-A-CH-Länder. Die Isolinien bzw. Farbflächen in der Kartenbeilage/Titelbild repräsentieren makroseismische Intensitäten, die während einer Zeitspanne von 50 Jahren mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% auftreten oder überschritten werden.

Abgesehen von Feinheiten im Isoleistenverlauf ist das Erscheinungsbild dieser Karte seit deren Vorstellung auf der XXI. IUGG Generalversammlung 1995 in Boulder (Co.) [40] unverändert geblieben, obwohl danach bis in die jüngste Zeit sukzessiv Verbesserungen an den Ausgangsdaten und einzelnen Schritten der Datenaufbereitung vorgenommen wurden.

Prinzipiell ist festzustellen, daß die Karte der Erdbebengefährdung sehr gut die Gebiete abbildet, die eine erhöhte Seismizität aufweisen. Die Gebiete, die für das betrachtete Gefährdungsniveau die größte Gefährdung zeigen und wo gerade die Intensität VIII erreicht wird, sind jeweils relativ kleine Gebiete im Wallis (Raum Visp/Brig), im Gebiet des Hohenzollerngrabens (Raum Albstadt) und im südlichsten Teil Kärntens im Grenzgebiet zum Friaul. Im Engadin, im Raum Basel, im Raum Innsbruck sowie im Niederrheingebiet (Raum Aachen) zeigt die Karte die Intensität von VII-VIII.

Weite Teile der Schweiz und Tirols sowie die gesamte Mur-Mürz-Zone in Österreich einschließlich des Wiener Beckens weisen eine Intensität von VII auf. In der Bundesrepublik Deutschland ist das Gebiet zwischen der Albstadt-Bebenzone und dem Bodenseegebiet, der südwestlichste Teil von Baden-Württemberg sowie ein größeres Gebiet der Niederrheinischen Bucht westlich von Köln durch eine Intensität von VII charakterisiert.

Die Intensität von VI-VII markiert den Oberrheingraben, Teile des Mittelrheingebiets, die Bebenzone im östlichen Thüringen und dem südwestlichen Teil Sachsens sowie die Bebenzone, die sich von der Riesalb bis zum Altmühltal erstreckt.

Der nahezu bebenfreie norddeutsche Raum weist für das betrachtete Gefährdungsniveau erwartungsgemäß lediglich Intensitäten von III bzw. III-IV auf, wobei auffällt, daß im nördlichsten Teil des Untersuchungsgebietes ein leichter Anstieg der berechneten Intensitäten, bedingt durch die graduell höhere Bebenaktivität Skandinaviens, beobachtet wird.

Die vorliegende Gefährdungskarte zeigt eine gute Übereinstimmung mit neueren vergleichbaren seismischen Gefährdungseinschätzungen der Niederlande

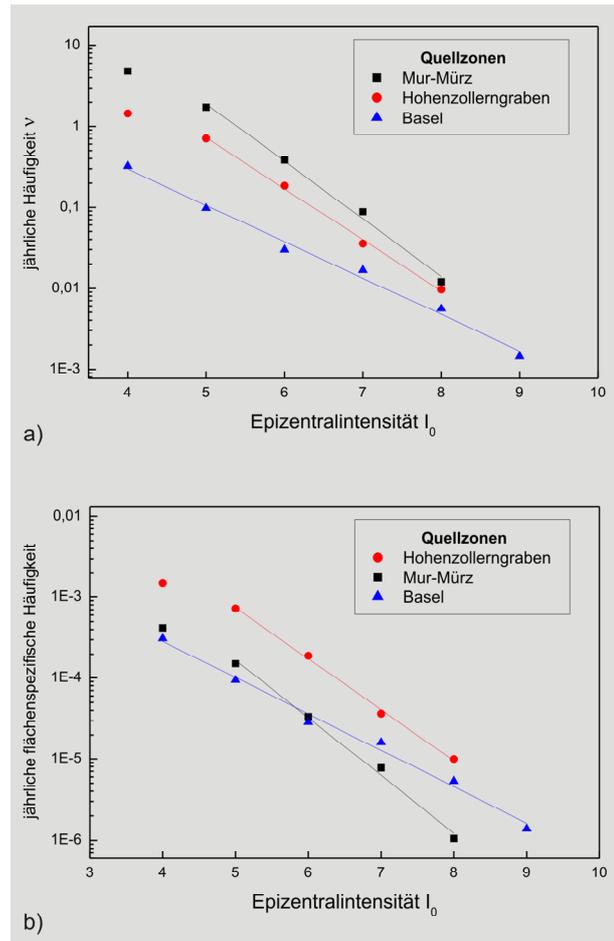


Bild 5. Kumulative Intensitäts-Häufigkeitsdarstellungen für drei Quellzonen (Hohenzollerngraben, Mur-Mürz, Raum Basel); a) ohne Normierung, b) normiert auf  $1 \text{ km}^2$

Fig. 5. Cumulative intensity-frequency distribution for three source zones (Hohenzollern, Mur-Mürz, region of Basel); a) without normalization, b) normalized for  $1 \text{ km}^2$

[41], für Italien [42] und für die Schweiz [43].

Obwohl seismische Gefährdungsabschätzungen für ingenieurseismologische Erschütterungsparameter, wie die Spitzenbodenbeschleunigung oder die spektrale Bodenbeschleunigung, nicht Gegenstand des vorliegenden Beitrages sind, sei darauf hingewiesen, daß die entsprechenden Gefährdungskarten für diese Parameter [44] qualitativ eine etwas abweichende regionale Gewichtung in den Gefährdungen aufweisen. Als Ausblick auf künftige Arbeiten zu seismischen Gefährdungsabschätzungen bzw. gefährdungskonsistenten Beschleunigungs-Antwortspektren [45] sei erwähnt, daß sie sich hauptsächlich diesen Parametern und ihren Fraktilem widmen werden.

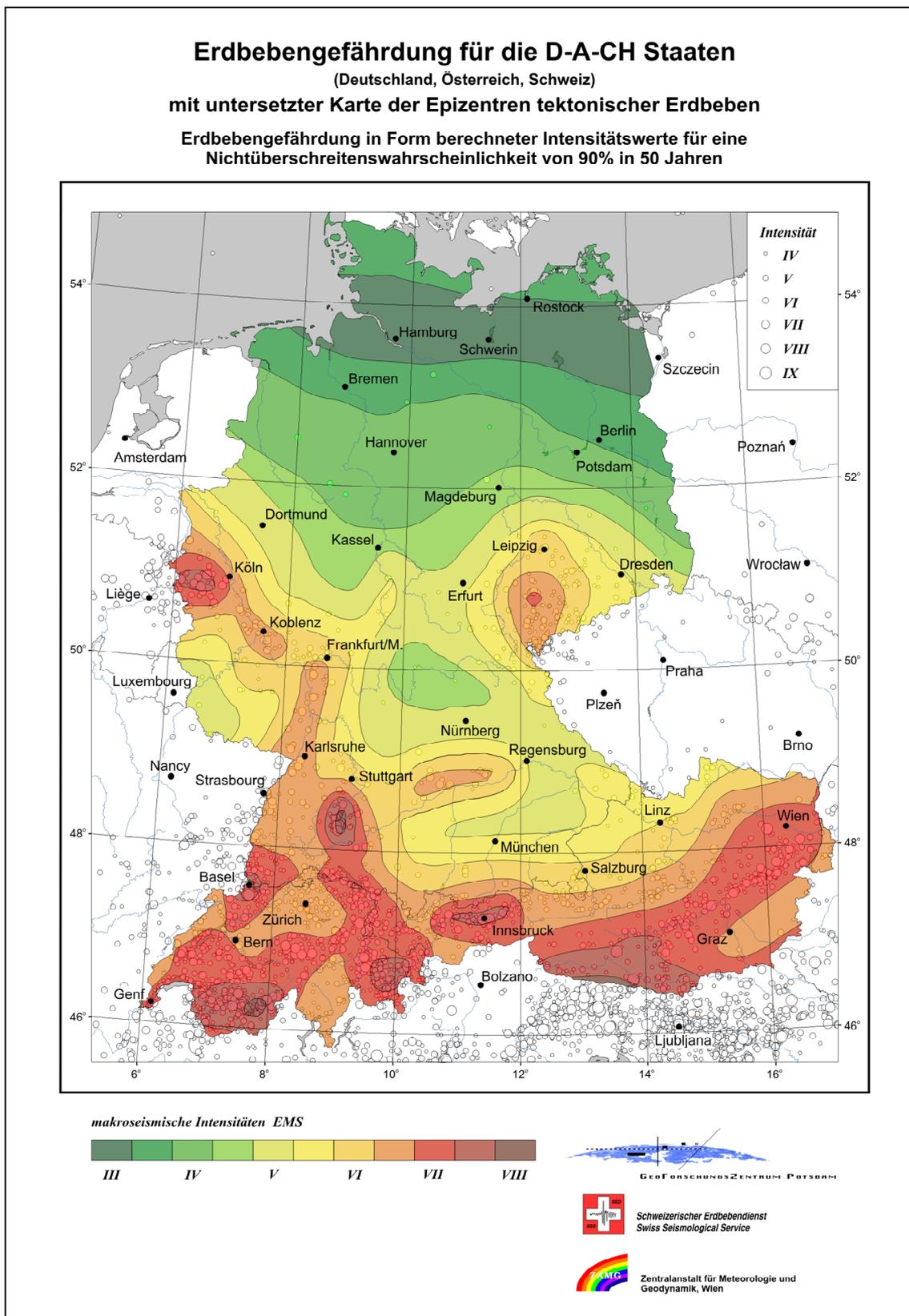


Bild 6. Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten mit untergesetzter Karte der Epizentren tektonischer Erdbeben; die Erdbebengefährdung ist in Form berechneter Intensitätswerte für eine Nichtüberschreitenswahrscheinlichkeit von 90% in 50 Jahren dargestellt (s. a. Farbbeilage zu diesem Aufsatz)

Fig. 6. Seismic hazard map for the D-A-CH countries with an underlying map of the epicentres of tectonic earthquakes; the seismic hazard is depicted in form of intensities for a non-exceedance probability of 90% within 50 years (see the enclosed colour-version of the map)

**Anhang:****Einheiten der Erdbebenstärke/  
Units of earthquake strength**

Zur Beschreibung der Bebenstärke stehen zwei Skalen zur Verfügung, die in ihrer Aussage grundverschieden sind:

**Magnitude**

Die Magnituden-Skala, 1935 von Ch. Richter eingeführt (daher auch Richter-Skala genannt), gibt ein Maß für die beim Erdbeben freigesetzte Energiemenge. Die Magnitude wird berechnet aufgrund der durch Seismographen gemessenen Erschütterungsamplituden. Die

bisher registrierten maximalen Ereignisse erreichten Magnituden um 8,5. Schäden an Gebäuden treten etwa ab Magnitude 5 auf. Die Magnituden-Skala verläuft logarithmisch. Eine Magnitudenstufe bezeichnet etwa einen Faktor 30 Differenz in der freigesetzten Energie. Es existieren verschiedene Magnitudenarten für die Amplituden unterschiedlicher seismischer Wellen genutzt werden, Magnituden, die anhand der Dauer der Registrierungen oder anhand des physikalisch begründeten seismischen Moments berechnet werden.

**Intensität**

Die Intensitätsskala basiert auf der Beobachtung der Bebenwirkung auf Menschen, Gebäude oder Natur im

**Stark vereinfachte Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-92**

Europäische Makroseismische Skala - 1992 (Grünthal, 1993)

**Strongly simplified short form of the macroseismic intensity scale EMS-92**

European Macroseismic Scale - 1992

EMS Intensität	Definition	Beschreibung der maximalen Wirkungen (stark verkürzt)
I	nicht fühlbar	Nicht fühlbar.
II	kaum bemerkbar	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
III	schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern. Lampen schwingen leicht.
IV	deutlich	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
V	stark	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Gelegentlich treten Haarrisse im Verputz auf und in wenigen Fällen Abfall kleiner Putzstücke.
VI	leichte Gebäudeschäden	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An einigen Häusern entstehen leichte Schäden (Risse im Verputz), vornehmlich an Häusern in schlechterem Zustand feine Mauerrisse, Abfallen von Verputz- und Schornsteinteilen.
VII	Gebäudeschäden	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (Mauerrisse). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse, vereinzelt Einsturz von Zwischenwänden.
VIII	schwere Gebäudeschäden	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. Selbst schwere Möbel werden verschoben und zum Teil umgeworfen. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d. h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
IX	zerstörend	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
X	sehr zerstörend	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
XI	verwüstend	Die meisten Bauwerke, selbst mit guter erdbebengerechter Konstruktion, werden zerstört.
XII	vollständig verwüstend	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört. verwüstend

betroffenen Gebiet, ist also keine exakt meßbare, aber eine recht robuste deskriptive Größe. Makroseismische Intensitätsskalen sind seit Anfang des Jahrhunderts im Gebrauch und mehrfach aktualisiert worden. Seit Jahrzehnten werden (außer in Japan) 12-stufige Skalen benutzt, deren Intensitätswerte weitgehend kompatibel sind. Die neueste Weiterentwicklung stellt die Europäische Makroseismische Skala dar (EMS-92) [7], die u. a. auch erdbebengerecht konstruierte Bauten einschließt.

## Literatur

- [1] BZS: Katastrophen und Notlagen in der Schweiz, eine vergleichende Übersicht (KATANOS-Studie). Bundesamt für Zivilschutz, Bern 1995.
- [2] Giardini, D. and Basham, P.: The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), *Annali di Geofisica*, Vol. XXXVI, No. 3-4, 1993.
- [3] Grünthal, G.: The GSHAP-Regional Centre in Potsdam: Progress report. *Proceed. XXIV ESC General Assembly*, Vol. III, 1535-1541, Athen 1994.
- [4] Grünthal, G.: Joint Seismic Hazard Assessment for the Central and Western Part of GSHAP-Region 3 (Central and Northwest Europe). In: B. Thorkelsson (Ed.): *Seismology in Europe. Papers present. at the XXV General Assembly*, 339-342, Reykjavik 1996.
- [5] Grünthal, G.: A method for seismic hazard assessment based on digitized macroseismic maps - applied on the GDR data base. 4th Internat. Symp. on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk, Sept. 1989, conference volume, 18-19, Prague 1989.
- [6] Grünthal, G.: Die seismische Gefährdung im östlichen Teil Deutschlands und deren Berücksichtigung in erdbebengerechten Baunormen. In: P. Knoll und D. Werner (Hrsg.): *Tagungsband Kolloquium „Erdbebeningenieurwesen, ingenieurseismologische Grundlagen, Vorschriften und Standards, Fallstudien“*, DGE-B-Publikation Nr. 5, 9-38, Potsdam 1991.
- [7] Grünthal, G.: European Macroseismic Scale 1992 (EMS-92), *Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie*, No. 7, 79pp., Luxembourg 1993.
- [8] Eurocode 8 - Design provision for earthquake resistance of structures - Part 1-1: General rules - Seismic actions and general requirements for structures: ENV 1998-1-1: 1994.
- [9] DIN 4149, Teil 1: Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe April 1981; Ausgabe Dezember 1992.
- [10] Grünthal, G. und Bosse, Ch.: Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland - Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode B. GFZ Potsdam, Scientific Technical Report STR 96/10, 24pp., 1996.
- [11] ÖNORM B 4015-1: Belastungsannahmen im Bauwesen, außergewöhnliche Einwirkungen, Erdbebenwirkungen. Österreichisches Normungsinstitut (ÖN), ICS 91.010.30, 1997.
- [12] Lenhardt, W. A.: Regional earthquake hazard in Austria. In: Duma, G. (Hrsg.): *Proc. 10th European Conference on Earthquake Engineering*. Vol. 1, 63-68, Balkema 1995.
- [13] SIA 160: Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1989.
- [14] Sägesser R. und Mayer-Rosa, D.: Erdbebengefährdung in der Schweiz. *Schweizerische Bauzeitung SIA*, 3-18, 1978.
- [15] Rüttener, E. und Mayer-Rosa, D.: Erdbebengefährdung in der Schweiz. *Schweizerischer Pool für Erdbebedeckung, Geschäftsbericht*, Bern 1996.
- [16] Leydecker, G.: Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000-1981. *Geolog. Jahrbuch Reihe E*, 36, 83pp., 1986.
- [17] Grünthal, G.: Erdbebenkatalog des Territoriums der Deutschen Demokratischen Republik und angrenzender Gebiete von 823 bis 1984. *Zentralinst. für Physik der Erde Nr. 99*, 177pp., 1988.
- [18] Lenhardt, W. A.: Österreichisches Erdbebendatenfile (1201-1993), Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien. Unveröff. Computer-file, 1994.
- [19] Mayer-Rosa, D. und Baer M.: Erdbebenkatalog der Schweiz 1295-1992. *Schweizerischer Erdbebedienst, ETH Zürich*, Computer-file, 1994.
- [20] Verbeiren, R., Camelbeeck, Th. und Alexandre, P.: Erdbebendatenfile für Belgien, Brüssel. Unveröff. Computer-file, 1994.
- [21] Ahjos, T. and Uski, M.: Earthquake epicenters in Northern Europe. *Tectonophysics* 207, 285-295, 1992.
- [22] SIRENE: Macroseismic database (BRGM/EDF/IPS). Computer-file, 1995.
- [23] Musson, R. M. W.: A catalogue of British Earthquakes. *British Geological Survey. Technical Report WL/94/04. Seismology series*, 1994.
- [24] Postpischl, D.: *Catalogo die terremoti Italiani dall' anno 1000 al 1980*, CNR., P.F.G., 239pp., Computer-file, 1985.
- [25] Stucchi, M.: Italienisches Erdbebendatenfile. Unveröff. Computer-file, 1993.
- [26] Houtgast, G.: Erdbebendatenfile der Niederlande. Unveröff. Computer-file, 1995.
- [27] Pagaczewski, J.: *Catalogue of earthquakes in Poland in 1000-1970 years. Materialy i Prace No. 51.*, Panstwowe wydawnictwo naukowe, Warszawa, 3-36, 1972.
- [28] Guterch, B.: Polnisches Erdbebendatenfile. Unveröff. Computer-file, 1995.
- [29] Ribarič, V.: *Earthquake Catalogue of Slovenia (792-1981)*. Seismological Institute, Ljubljana, SZ

- SRS Publication, 650pp., 1982.
- [30] Živčić, M.: Kroatisches Erdbebenfile, Seismol. Surv. of Slovenia, Ljubljana, 1993.
- [31] Schenková, Z.: Tschechisches Erdbebendatenfile (841-1984). Unveröff. Computer-file, 1993.
- [32] Zsiros, T., Monus, P. and Toth, L.: Hungarian earthquake catalogue (456-1986). Publ. Seismol. Obs. GGRI, H.A.S., Budapest, 182pp., 1988.
- [33] Stepp, J. C.: Analysis of completeness of the earthquake sample in the Pudget sound area and its effect on statistical estimates on earthquake hazard. Proceed. int. conf. on microzonation, 2, 897-910, 1972.
- [34] Cornell, C. A.: Engineering seismic risk analysis. Bull. Seismol. Soc. America, 58, 1503-1606, 1968.
- [35] McGuire, R. K.: FORTRAN Computer program for seismic risk analysis. USGS Open-File Report 76-67, 1976.
- [36] Bender B. and Perkins, D. M.: A computer program for seismic hazard estimation. U.S. Geological Survey Bulletin 1772, 1987.
- [37] McGuire, R. K.: FRISK88M User's Manual. Risk Engineering, Inc., Boulder (Co.), 1996.
- [38] Scandone, P., Patacca, E., Meletti, C., Bellatalla, M., Perilli, N. and Santini, U.: Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. In: Atti del Convegno 1990 Vol. 1. Zonazione e riclassificazione sismica, GNDT Editor, Tip. Moderna, Bologna, 119-133, 1990.
- [39] Sponheuer, W.: Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik. Freiburger Forschungshefte, C 88, Geophysik. Akademie-Verlag Berlin, 117 S., 1960.
- [40] Grünthal, G., Mayer-Rosa, D. and Lenhardt, W.: Joint strategy for seismic hazard assessment; application for Austria, Germany and Switzerland. IUGG XXI General Assembly, SB 51 D-1, B 404, Boulder (Co.), USA, 1995.
- [41] de Crook, Th.: Probabilistic seismic hazard assessment for The Netherlands. Geologie en Mijnbouw, 72, 1-13, 1993.
- [42] Bramerini, F., Di Pasquale, G., Orsini, G., Pugliese, A., Romeo, R. and Sabetta, F.: Rischio sismico del territorio Italiano. Sintesi del rapporto tecnico del Servizio Sismico Nazionale SSN/RT/95/1. IOpp., 1995.
- [43] Rüttener, E.: Earthquake Hazard Evaluation for Switzerland. Matériaux pour la Géologie de la Suisse, Géophysique Nr. 29, Schweizerischer Erdbebedienst, 1995.
- [44] Grünthal, G.: Global Seismic Hazard Assessment Program GSHAP; summary report of the GSHAP-Regional Centre 3, GeoForschungsZentrum Potsdam, July 1997.
- [45] Schwarz, J. und Grünthal, G.: Zukunftsorientierte Konzepte zur Beschreibung seismischer Einwirkungen für das Erdbebeningenieurwesen, Bautechnik 75 (1998), H. 10, S. 737-752 (dieses Heft).

**Autoren dieses Beitrages:**

Dr. rer. nat. Gottfried Grünthal, GeoForschungsZentrum Potsdam, Aufgabenbereich 5, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam  
 Dr. rer. nat. Dieter Mayer-Rosa, Schweizerischer Erdbebedienst, ETH, CH-8093 Zürich  
 Dr. rer. nat. Wolfgang A. Lenhardt, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, A-1190 Wien