Originally published as:

Schwarz, J., Grünthal, G. (2005): Bauten in deutschen Erdbebengebieten - zur Einführung der DIN 4149:2005. - Bautechnik, 82, 8, 486-499

DOI: 10.1002/bate.200590165

Bauten in deutschen Erdbebengebieten - zur Einführung der DIN 4149: 2005

Herrn Prof. Dr. *Ludwig Ahorner* anlässlich seines 75. Geburtstags gewidmet

Die Einführung der DIN 4149: 2005 bildet eine wichtige Voraussetzung, um im Kontext der Harmonisierung europäischer Baubestimmungen ein erdbebensicheres und wirtschaftliches Bauen in den Erdbebengebieten Deutschlands zu ermöglichen. Verschiedene Phasen der Erarbeitung werden in einer chronologischen Form beleuchtet und mit einem Ausblick auf die weitere Normenentwicklung abgeschlossen. Es werden interdisziplinäre Forschungsarbeiten gewürdigt, die wesentlich dazu beigetragen haben, das Regelwerk der seismischen Lastannahmen für Bauwerke neu zu konzipieren. Insbesondere durch die Festlegung geologie- und untergrundbezogener Bemessungsspektren wird eine differenzierte Beschreibung seismischer Einwirkungen und auf die regionalen Besonderheiten deutscher Erdbebengebiete ausgerichtete Bauwerksbemessung gewährleistet. Der erreichte Grad der Harmonisierung europäischer Erdbebenbaunormen wird anhand aktueller Zonenkarten sowie der Festlegungen zu Bemessungsbeschleunigungen entlang der nationalen Grenzen beispielhaft nachvollzogen. Da die neue Gefährdungszonenkarte eine veränderte regionale Verteilung der Erdbebenzonen bedingt, wird auf die Notwendigkeit einer Bewertung der Erdbebentauglichkeit der vorherrschenden Bauweisen und die Identifikation der im Katastrophenfall bedeuten- den Anlagen und Einrichtungen hingewiesen.

Buildings in German seismic regions - to the introduction of the revised German Seismic Code DIN 4149: 2005. *The introduction of the revised Seismic Code DIN 4149: 2005 can be regarded as an important step towards earthquake resistant and economic building design in German earthquake regions. Different stages of its elaboration are described chronologically, concluding in an outlook on the ongoing development in European code standardization. Interdisciplinary research projects, which influenced the redrafting of the general rules and the implementation of new approaches, substantially, are recognized for their contributions. In particular, the concept of geology- and subsoil-dependent response spectra enables a refined description of seismic action and building design while reflecting the existing site conditions realistically. The attained state of harmonisation of national regulations is discussed exemplary by comparing peak ground and derived design accelerations alongside the borders with neighbouring countries like Belgium, France and Switzerland. With respect to the new zoning map and the modifications of affected areas, the need of practical implementation is directed towards two tasks: evaluation of the existing building stock and the predominant building types and identification of those structures and facilities which are of high importance in cases of catastrophic events.*

1 Vorbemerkungen

Unter dem Eindruck der Wirkungen des Erdbebens in der Schwäbischen Alb 1978 wurde die Norm für Bauten in deutschen Erdbebengebieten überarbeitet und in der Ausgabe DIN 4149 (April, 1981) [1] eingeführt.

Seitdem haben sich die Konzepte des erdbebengerechten Bauens grundlegend verändert und in verschiedenen neuen Normengenerationen international ihre baupraktische Anwendung gefunden. Diese modernen Nachweiskonzepte werden auch durch den Eurocode 8 aufgegriffen und auf die Besonderheiten europäischer Erdbebenbedingungen ausgerichtet.

Nach verschiedenen Phasen der Erarbeitung und Überarbeitung liegt seit April 2005 die DIN 4149 als Weißdruck vor [2]. Die Neufassung der DIN 4149 zeichnet sich durch drei Sachverhalte aus:

- dem allgemein fortgeschrittenen Erkenntnisstand wird Rechnung getragen
- die Gedanken des EC 8 werden im Sinne der Europäischen Harmonisierung in wesentlichen Passagen übernommen
- Regeln werden gleichzeitig (und hier insbesondere auf der Einwirkungsseite) auf die regionalen Besonderheiten zugeschnitten bzw. durch alternative Vorgehensweisen ergänzt.

Durch die Einführung geologie- und untergrundbezogener Bemessungsspektren ist es gelungen, eine differenzierte Beschreibung seismischer Einwirkungen und damit eine standortspezifische und zugleich auch ökonomische Bauwerksbemessung zu gewährleisten.

Die Einführung der DIN 4149: 2005 [2] ist auch deshalb als eine wichtige Entscheidung zu würdigen, weil mit ihr ein erdbebensicheres und wirtschaftliches Bauen in den Erdbebengebieten Deutschlands im Kontext der europäischen Harmonisierung von Baunormen ermöglicht wird. Wie in [3] angemerkt, tragen die innovativen Elemente der Norm auch zum Ansehen und zur Wettbewerbsfähigkeit der auf dem Gebiet des Erdbebeningenieurwesens tätigen Fachleute in Europa und darüber hinaus bei. Aus diesem Grunde wurden die Normungsarbeiten von Anfang an durch Mitglieder der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik e. V. (DGEb) gestaltet und gefördert [3], [4], [5].

Wichtige Begleitinformationen stehen u. a. durch die zu den DGEb-DIN-Gemeinschaftstagungen „Eurocode 8/DIN 4149 „Neue Regeln bei der Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben“ (Januar 1998) bzw. „Auslegung von Bauwerken

gegen Erdbeben - Die neue DIN 4149 (April 2005)“ bereitgestellten Materialien zur Verfügung. Auf diese Weise wurden auch die Vertreter von Behörden und aus der Baupraxis frühzeitig über die zu erwartenden Veränderungen informiert.

Die Gefährdungszonenkarte und Beschleunigungswerte der DIN 4149 [2] stammen aus den Jahren 1995 bis 1997 ([7], [8], [9]). Die DIN 4149 folgt in diesen grundlegenden Elementen dem Nationalen Anwendungsdokument zum Eurocode 8 (NAD) [10]. Es darf aber nicht unerwähnt bleiben, dass es in den Jahren zwischen 1981 (Herausgabe der DIN 4149) und dem ersten NAD [10] bereits Vorschläge zur Anpassung der seismischen Bemessungsgrößen gegeben hat, die jeweils den Stand der Harmonisierung Europäischer Baubestimmungen zum Ausgangspunkt nahmen. Dies sei in einer chronologischen Form verdeutlicht, die in Abschn. 6 die künftige Normenentwicklung einschließt.

2 Bemessungsbeschleunigungen für Bauten in deutschen Erdbebengebieten

2.1 DIN 4149 (April, 1981; erweitert 1992) [1]

2.1.1 Ermittlung der Rechenwerte

Nach DIN 4149 (Fassung von 1981, Erweiterung 1992) [1] ist der Rechenwert der Bodenbeschleunigung a_0 aus dem Produkt folgender Beiwerte zu ermitteln:

$$a_0 = a_0 \cdot \kappa \cdot \alpha \quad (1)$$

mit Regelwert der Bodenbeschleunigung a_0 , Baugrundfaktor κ , Abminderungsfaktor α ($\alpha = 1,0$ für Zone 4 und Bauwerksklasse 3; ($\alpha = 0,5$ für Zone 1 und Bauwerksklasse 1). In einer Fußnote wird dem Bauherren empfohlen, „durch entsprechende Wahl von α eine weitergehende Sicherung des Bauwerkes anzustreben“.

Mit dem Abminderungsfaktor α sollte berücksichtigt werden, dass „bei geringeren Erdbebenbeschleunigungen das Gefährdungsrisiko geringer ist“. Er wurde deshalb sowohl von der Bauwerksklasse als auch von der Erdbebenzone abhängig gemacht.

Dieser auslegungsphilosophischen Grundüberlegung konnte in der Neufassung der DIN konzeptionell nicht mehr gefolgt werden, da hier der zu erwartende Grad der Bauwerksschädigung indirekt in einer kaum nachvollziehbaren Form faktorisiert wird.

Zu den Regelwerten der Horizontalbeschleunigung a_0 wird in einer Anmerkung von Abschn. 7 Lastannahmen (hier: 7.1 Allgemeines) auf Besonderheiten der Beschleunigungswerte hingewiesen [1]

„Die angenommenen Beschleunigungen beruhen auf Beobachtungen über Bauwerksschäden in Deutschland. Sie sind nicht identisch mit den bei Erdbeben bereits gemessenen Bodenspitzenbeschleunigungen, die höher liegen, und sich nur wegen der kurzen in deutschen Erdbebengebieten auftretenden Wirkungsdauer, der bei Gebäuden vorhandenen Dämpfung und dem Auftreten plastischer Verformungen sowie anderer Arten von Energiezerstreuung nicht voll auswirken.“

2.1.2 Zonen und Beschleunigungszuordnung

In den Erläuterungen zu Abschn. 3 (Anwendungsbereich) finden sich Hinweise, wie die Zoneneinteilung erfolgt ist (vgl. Bild 1):

- Gebiete, in denen die größte bisher beobachtete Intensität 6,5 beträgt, werden der Erdbebenzone 1 zugeordnet. - Analog erfolgt die Zuordnung zu Gebieten, in denen die größte bisher beobachtete Intensität 7,0 (Zone 2), 7,5 (Zone 3) bzw. 8,0 (Zone 4) beträgt.

- Gebiete mit sehr geringer seismischer Gefährdung, in denen die Intensität 5 nach den bisherigen Erfahrungen nicht überschritten wurde, werden der Erdbebenzone A zugeordnet. Gebiete, in denen die Intensität 6 aufgetreten ist oder nach den bisherigen Erfahrungen erwartet werden kann, werden als Erdbebenzone 0 bezeichnet.

- Für Gebäude in Gebieten der Erdbebenzonen A und 0 wird kein Erdbebennachweis gefordert.

Eine eindeutige Zuordnung zwischen den Zonen und mit ihnen abgedeckten Intensitätsbereichen ist nicht möglich (s. a. Tabelle 3 im Erläuterungsteil der DIN 4149 [1]). In Bild 1 wird davon ausgegangen, dass für die Zone 1 gilt: $6,0 < I_s \leq 6,5$ usw. (Ebenso denkbar wäre eine Zuordnung der Form für Zone 1: $6,5 \leq I_s < 7,0$ usw.).

2.2 Vorschläge zur Neufassung

2.2.1 Vorhaben „Realistische seismische Bemessungsgrößen für Bauwerke mit erhöhtem Sekundärrisiko“

Bereits im IfBt-Vorhaben „Realistische seismische Bemessungsgrößen für Bauwerke mit erhöhtem Sekundärrisiko“ wurde als Konsequenz der von *Ahorner* und *Rosenhauer* [11] vorgelegten probabilistischen Karten empfohlen, die Zonenkarte der DIN 4149 (1981) durch eine neue, z. B. für die mit einer jährlichen Überschreitensrate der Standortintensität von $10^{-3}/a$ zu ersetzen [12].

Nach Auswertung einer Vielzahl der damals aktuellen Starkbebenregistrierungen in Form intensitäts- und untergrundbezogener Spektren wurden auch Überlegungen zu den Regelwerten der Horizontalbeschleunigung angestellt. Die gewählte Vorgehensweise folgt der verbreiteten Definition, dass sich die Effektivbeschleunigung (EPA) aus dem Plateau der maximalen Spektralwerte ($S_{a,max}$) und einem vorgegebenen Vergrößerungsfaktor (β_0) ableiten lässt ($EPA = S_{a,max}/\beta_0$).

Der Vergrößerungsfaktor beträgt im alten DIN-Spektrum

Bild 1. Rechenwerte der Horizontalbeschleunigung $a_0 \cdot \alpha$ für festen, felsigen Baugrund ($\kappa = 1,0$) nach DIN 4149 [1] in Abhängigkeit von Zone und Bauwerksklasse

Fig. 1. Design values of horizontal acceleration $a_0 \cdot \alpha$ for firm rock-like ground ($\kappa = 1,0$) in DIN 4149 [1] and its definition in dependence on zone and building class

1,8 und stand in der Fassung zum EC 8 von (1984) mit $\beta_0 = 2,25$ zur Diskussion [13]. (Aus heutiger Sicht wäre der Faktor $\beta_0 = 2,5$ anzusetzen.) Als Bezugsspektrum wurde die Untergrundklasse mit der größten Datendichte (bzw. statistischen Signifikanz) zugrunde gelegt (Klasse M) und der Bodenfaktor 1,2 herausgerechnet [12]. Ausgehend von dem für steifen Baugrund in DIN 4149 (1981) [1] maßgeblichen Baugrundfaktor $\alpha = 1,2$ und den zonen- bzw. intensitätsabhängigen maximalen Spektralwerten $S_{a,max} = 1,6 \text{ m/s}^2$ ($I = 6,5$, Zone 1), $S_{a,max} = 2,5 \text{ m/s}^2$ ($I = 7,0$, Zone 2), $S_{a,max} = 3,3 \text{ m/s}^2$ ($I = 7,5$, Zone 3) und $S_{a,max} = 5,3 \text{ m/s}^2$ ($I = 8,0$, Zone 4) ergeben sich die in Bild 2 dargestellten Beschleunigungswerte.

Die aus dieser Vorgehensweise folgenden Beschleunigungswerte sind ein Vielfaches höher als die Regelwerte der DIN 4149 [1]. Es ist nachvollziehbar, dass dieser Ansatz in der Baupraxis keine Akzeptanz gefunden hat.

Er wurde aber im Rahmen der Erarbeitung des Eurocode 8 erneut aufgegriffen und in einem Vorschlag zur „Harmonisierung europäischer Baubestimmungen: Seismische Eingangsgrößen für die Berechnung von Bauten in deutschen Erdbebengebieten“ konzeptionell weiterentwickelt.

2.2.2 Vorschlag zur Harmonisierung europäischer Baubestimmungen [14]

In einem Forschungsvorhaben zur Harmonisierung europäischer Baubestimmungen wurde von Hosser, Keintzel und Schneider [14] ein grundlegend neuer Ansatz für die Festlegung der seismischen Eingangsgrößen für die Berechnung von Bauten in deutschen Erdbebengebieten vorgelegt. Dieser Vorschlag wurde auch in den Beratungen der Europäischen Normungsgremien zur Diskussion gestellt [15]. Es darf heute eingeschätzt werden, dass die entwickelten Ansätze ihrer Zeit voraus waren, damals aber keine Zustimmung fanden.

Statt der vier Zonen in [1] wurde eine Beschränkung auf zwei Zonen (1, 2) vorgesehen. Die Beschleunigungsparameter wurden aus den Ergebnissen statistischer Datenauswertungen [12] abgeleitet, indem der Plateauwert im Beschleunigungs-Antwortspektrum durch einen repräsentativen Vergrößerungsfaktor ($\beta_0 = 2,5$) geteilt wurde. Ermittelt wurden:

Bild 2. Vorschlag für die Regelwerke der Horizontalbeschleunigung in DIN 4149; abgeleitet aus den intensitäts- und untergrundbezogenen Spektren nach [12]

Fig. 2. Proposed design values for horizontal acceleration in DIN 4149, derived from the statistical investigation of intensity- and subsoil-dependent spectra in [12]

$a_g = 0,5 \text{ m/s}^2$ (Zone 1 mit $I_{rep} = 6,5 \pm 0,5$ bzw. $I_{rep} = 7,0 \pm 0,5$ für weichen Untergrund)
 $a_g = 1,0 \text{ m/s}^2$ (Zone 2 mit $I_{rep} = 7,5 \pm 0,5$ bzw. $I_{rep} = 8,0 \pm 0,5$ für weichen Untergrund).

Die repräsentativen Intensitätswerte (I_{rep}) der beiden Zonen wurden für Intensitätsbeobachtungen auf felsigem bzw. weichem Untergrund unterschiedlich definiert. Auf diesem Wege sollte ein Übergang der rein deterministisch orientierten Zonenkarte der DIN 4149 [1] zur Neufassung der Einwirkungen aus intensitäts- und untergrundbezogenen Datenauswertungen vollzogen werden.

Die Zonen 1 und 2 sollten in die neue „Zone 1“ und die Zonen 3 und 4 in die neue „Zone 2“ zusammengefasst werden (Bild 3).

Dass sich das Konzept nicht durchsetzen konnte, ist wiederum auf die erkennbare Erhöhung der Einwirkungen, aber auch auf Detailpunkte in der Umsetzung zurückzuführen. Die Orientierung auf die Intensität war als eine Besonderheit für die Situation in deutschen Erdbebengebieten auch für die Neufassung der DIN zu unterstützen bzw. zu fordern.

Das von G. Schneider im Rahmen des Vorhabens eingeführte Konzept geologie- und untergrundabhängiger Bemessungsgrößen wurde in verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen aufgegriffen [16], weiterentwickelt [17], [18] und schließlich mit einigen Modifikation der DIN 4149 [2] zugrunde gelegt [19], [20].

Mit großen Anstrengungen ist es gelungen, Elemente dieses Konzeptes im Eurocode 8 zu verankern und somit die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass die DIN 4149 [2] als konsistent mit der Euronorm betrachtet werden kann.

2.2.3 Eurocode 8 ENV 1998-1-1:1994

Im Eurocode 8 ENV 1998-1-1:1994 [21] wurde als Basisgröße zur Beschreibung der seismischen Gefährdung die „effektive“ Bodenbeschleunigung a_g eingeführt. Sie bezieht sich auf Beschleunigungen auf felsigem oder steifem Untergrund

Bild 3. Zoneneinteilung und Horizontalbeschleunigungen gemäß eines Vorschlages zur Harmonisierung Europäischer Baubestimmungen und seiner Anwendung auf deutsche Erdbebengebiete nach [14], [15]

Fig. 3. Zoning and horizontal acceleration according to a proposal for harmonized rules for the determination of seismic input data in Europe and its application on German earthquake regions [14], [15]

(EC 8 Part 1.1: „4 Seismic Action“; 4.1 (2)). Einige Regeln der deutschen Übersetzung (1998) seien hier nochmals wiedergegeben:

(2) Für die meisten Anwendungen dieses Eurocodes wird die Gefährdung durch einen einzigen Parameter beschrieben, d. h. durch a_g effektiver Spitzenwert der Bodenbeschleunigung in Fels oder in festem Untergrund, im folgenden Bemessungswert der Bodenbeschleunigung genannt.

(3) Der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung, die von den nationalen Behörden für jede Erdbebenzone festgelegt wird, entspricht einer Referenz-Wiederkehrperiode von [475] Jahren. Dieser Referenz-Wiederkehrperiode wird ein Bedeutungsfaktor γ_I gleich 1,0 zugeordnet.

(4) Erdbebenzonen mit einem Bemessungswert der Bodenbeschleunigung von $a_g < [0,1 \text{ g}]$ sind Zonen mit geringer Seismizität, für die reduzierte oder vereinfachte Verfahren zur Erdbebenauslegung für bestimmte Tragwerksarten oder -kategorien verwendet werden können.

(5) In Erdbebenzonen mit einem Bemessungswert der Bodenbeschleunigung von $a_g \leq [0,04 \text{ g}]$ müssen die Vorschriften von Eurocode 8 nicht beachtet werden.

(Anmerkung: Die Klammerangaben [] waren als Richtwerte vorgesehen, die national gemäß der besonderen Bedingungen eines Landes angepasst werden konnten.)

Daraus sind zunächst folgende grundsätzliche Feststellungen abzuleiten [22]:

- Die Bemessungsbeschleunigungen waren als „effektive Beschleunigungen“ zu ermitteln bzw. als solche definiert.
- Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung a_g standen von Anfang an in Verbindung zum Geltungsbereich „vereinfachter Verfahren“, die vornehmlich bei der Auslegung von Mauerwerksbauten ihren Niederschlag gefunden haben.
- Es sind nur solche Gebiete als Erdbebenzone auszuweisen, in denen ein bestimmter Bemessungswert der Bodenbeschleunigung von a_g nicht unterschritten wird. Für das NAD [10] und später für die DIN 4149 [2] wurde ein solcher Grenzwert mit $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2 \approx [0,04 \text{ g}]$ festgelegt bzw. übernommen.
- Die Beschleunigungswerte standen weiterhin in Verbindung zum Geltungsbereich der Norm bzw. zur Einordnung eines Gebiets hinsichtlich seiner Seismizität. Gerade aufgrund dieser Einordnung als „low-seismicity region“ konnte für deutsche Erdbebengebiete von Regelungen des Eurocode 8 abgewichen werden.

2.2.4 Vorhaben „Festlegung effektiver Beschleunigungen für probabilistische Gefährdungszonenkarten im Zusammenhang mit der nationalen Anwendung des EC 8“ [9]

Im Auftrage des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin wurden in [8], [9] bestehende Defizite und Unklarheiten bei der Festlegung „effektiver“ Bodenbeschleunigungen bzw. Bemessungsbeschleunigungen dargestellt und Vorschläge zu einer auf internationaler Ebene normungsfähigen Vorgehensweise unterbreitet. Bekannte und auch neuartige Methoden zur Ermittlung der effektiven Beschleunigung wurden herausgearbeitet, in ihrem theoretischen Hintergrund diskutiert und – soweit dies möglich war – zur Anwendung gebracht.

Auf Grundlage dieser Untersuchungen konnten Effektivbeschleunigungen für die Zonen der probabilistischen Gefährdungszonenkarte zum NAD [10] unter Berücksichtigung der für europäische Erdbebengebiete repräsentativen Abnahmebeziehungen abgeleitet werden. Eine Zusammenfassung der umfangreichen Untersuchungen ist u. a. [23] zu entnehmen.

Ergebnisse aus fünf dieser Methoden sind in Bild 4 zu-

sammengestellt. Zur Vorbereitung einer Entscheidung für das Normungsgremium wurden untere und obere Werte angegeben, die aus den angewandten Methoden für die Beschleunigungen abzuleiten waren. Diese beziehen sich auf die nach unterschiedlichen Korrelationen zwischen der Beschleunigung und makroseismischen Ausgangsgröße (Intensität) bzw. den für diese Intensitäten wahrscheinlichsten Magnituden-Entfernungskombinationen.

2.3 DIN 4149: 2005 [2]

Mit den Bemessungsbeschleunigungen werden die geologie- und untergrundbezogenen Spektren der DIN 4149: 2005 auf das für die jeweilige Erdbebenzone charakteristische Auslegungsniveau für gewöhnliche Hochbauten (hier für die Bauwerkskategorie II: Wohngebäude) skaliert. Es handelt sich um Beschleunigungswerte, die den auf probabilistischer Grundlage ermittelten Erdbebenzonen zugeordnet sind. Bild 5 zeigt diese Zonen, die aus einer Gefährdungskarte unter Vorgabe einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren (mittlere Wiederkehrperiode von 475 Jahren) ermittelt wurden [7].

2.3.1 Ermittlung (Grundgleichung)

Nach DIN 4149: 2005 [2] ist der Rechenwert der Bodenbeschleunigung aus dem Produkt der Beiwerte $a_g \cdot S \cdot \gamma_I$ zu ermitteln; mit dem Referenzwert der Bemessungsbeschleunigung für felsigen Untergrund a_g , Baugrundfaktor S gemäß Tabelle 2; Bedeutungsbeiwert γ_I gemäß Tabelle 3). Konform mit der aktuellen Fassung zum Eurocode 8 [24], [25] wäre zu schreiben:

$$a_g = a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I \quad (2)$$

a_g in der DIN entspricht somit a_{gR} im EC 8 der Felsbeschleunigung im Fels (Rock). Im Beitrag werden die Bezeichnungen gemäß Gl. (2) verwendet (vgl. auch Tabelle 1).

Die Erdbebenzonen werden auf der Grundlage berechneter Intensitäten in Intensitätsintervalle eingeteilt (Tabelle 1). Die Gefährdung innerhalb jeder Erdbebenzone wird als einheitlich

Bild 4. Effektivbeschleunigungen für probabilistische Gefährdungszonen: Vorschlag für das Nationale Anwendungsdokument zum prENV 1998-1: 1994 [8], [9]

Fig. 4. Effective accelerations for probabilistic hazard zones: a proposal for the first National Application Document to prENV 1998-1: 1994 [8], [9]

Bild 5. Zonenkarte der deutschen Erdbebengebiete für die Neufassung der DIN 4149 [2]

Fig. 5. Zoning map of German earthquake regions for the new DIN 4149 [2]

angesehen. Als zonenspezifischer Einwirkungsparameter gilt in Anlehnung an Eurocode 8 ein Bemessungswert der Bodenbeschleunigung, der den Erdbebenzonen zugeordnet ist.

2.3.2 Zonen und Beschleunigungszuordnung

Die den Beschleunigungswerten a_{gR} zugeordneten Referenz-Intensitäten I_{Ref} der DIN 4149 [2] sind Tabelle 1 zu entnehmen. Die Zuordnung zwischen den Zonen, den abgedeckten Intensitätsintervallen und Beschleunigungswerten ist eindeutig möglich (vgl. Bild 6).

2.4 Vergleich und Zusammenfassung der Veränderungen

Bild 7 zeigt die Grundwerte der Bemessungsbeschleunigung nach DIN 4149: 1981 [1] und DIN 4149: 2005 [2] ohne Anpassung an die Bauwerksklasse bzw. -kategorie sowie die Zuordnung der für die Beschleunigung maßgeblichen Referenz-Intensitäten (I_{Ref}). Als Referenz-Intensitäten werden jene Intensitäten bezeichnet, auf die sich die Beschleunigungswerte beziehen. Folgende Feststellungen sind zu treffen:

- Die Beschleunigungen der DIN 4149: 2005 [2] sind - bezogen auf die Intensität - größer als die Regelwerte der Horizontalbeschleunigung nach DIN 4149: 1981 [1].
- Dieser Unterschied ist in Zonen geringerer Intensität deutlicher ausgeprägt. Die Anhebung der intensitätsbezogenen Beschleunigungswerte wird in Bild 7 durch einen schwarzen Pfeil markiert.
- Die Zonen der DIN 4149: 2005 [2] sind weder in den

Tabelle 1. Erdbebenzonen des Territoriums der Bundesrepublik Deutschland nach DIN 4149 [2]: Definition und Referenzintensitäten für die zugeordneten Bemessungsbeschleunigungen (I_S - Standortintensität; I_{Ref} - Referenzintensität der Bemessungsbeschleunigung für Fels, Festgestein a_{gR})

Table 1. Seismic zones on the territory of the German Federal Republic according to DIN 4149 [2]: definition and reference intensities for the correlated design accelerations (I_S - site intensity; I_{Ref} - reference intensity for the design acceleration (firm soil, rock) a_{gR})

Zone	a_{gR} m/s ²]	Intensitätsintervall der Zone	I_{Ref}	Bemerkungen
0	keine Angabe	$6,0 \leq I_S < 6,5$	-	
1	0,40	$6,5 \leq I_S < 7,0$	6,2	Geltungsbereich
2	0,60	$7,0 \leq I_S < 7,5$	7,0	
3	0,80	$I_S \geq 6,5$	7,5

Bild 6. Bemessungswerte der Horizontalbeschleunigung $a_{gR} \cdot \gamma_I$ für felsigen Baugrund ($S = 1,0$) nach DIN 4149 [2] in Abhängigkeit von Zone und Bauwerkskategorie

Fig. 6. Design values of horizontal acceleration $a_{gR} \cdot \gamma_I$ for firm, hard ground ($S = 1,0$) in DIN 4149 [2] and its definition in dependence on zone and building class

Intensitätsintervallen noch in den Beschleunigungswerten mit den Zonen nach DIN 4149: 1981 [1] identisch.

- Bezüglich der Festlegung der Beschleunigungswerte a_{gR} in den einzelnen Zonen fällt zunächst auf, dass die maximale, durch die Norm ausgewiesene Beschleunigung für die höchste Zone 3 ($a_{gR} = 0,8$ m/s²) kleiner ist als die Beschleunigung nach DIN 4149 [1] für die Zone 4. Das allgemeine Niveau der Beschleunigung liegt aber höher. Dieser Unterschied wird durch den Bedeutungsbeiwert γ_I weiter ausgeprägt (Bilder 1 und 6).

Die Bemessungsbeschleunigungen beziehen sich somit auf untere Grenzwerte und nicht auf die für die jeweilige Zone repräsentative Intensität (Bild 7). Dass I_{Ref} der Zone 1 außerhalb des Intensitätsintervalls liegt, erklärt sich aus der veränderten Zonenfestlegung zwischen der Karte für das NAD [10] und DIN 4149 [2] gemäß Bild 5. Im NAD [10] wurden in Zone 1 noch Gebiete mit $6,25 \leq I_S < 7,0$ zusammengefasst (I_S - Standortintensität).

Bild 7. Vergleich der Grundwerte der Bemessungsbeschleunigung ohne Anpassung an die Bauwerksklasse bzw. -kategorie und Zuordnung der für die Beschleunigung maßgeblichen Referenz-Intensitäten (I_{Ref})

Fig. 7. Comparison of the basic values of design acceleration without further adoption concerning building class or category and indication of the accelerations (I_{Ref})

3 Erdbebenzonenkarte

3.1 Qualität der neuen Zonenkarte

Die Qualität der probabilistischen Zonenkarte unterscheidet sich grundsätzlich von der deterministischen Karte der DIN 4149 [1], die auf einmalig beobachteten Maximalintensitäten basiert. Die Ermittlung und charakteristische Merkmale der neuen Zonenkarte (auch im Vergleich mit der bisherigen Erdbebenzonenkarte) werden aktuell durch [26] dargelegt. Veränderungen zwischen der alten und neuen Zonenkarte sind aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweise nicht unerwartet und vornehmlich methodisch begründet.

3.2 Grad der europäischen Harmonisierung

Der Grad der europäischen Harmonisierung von Erdbeben-Baunormen soll hier anhand der zugehörigen Erdbebenzonenkarten und zugeordneten Bemessungsbeschleunigungen am Beispiel einiger aneinandergrenzender Zonenkarten aktueller Normen diskutiert werden.

Grundlage der Erdbebenzonenkarten sind probabilistische Einschätzungen der Erdbebengefährdung. Hierzu konnte im Rahmen des Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) [42] eine europäische Harmonisierung durch die Erdbebengefährdungskarten für Europa nach Grünthal u. a. [43], [44] erreicht werden. Diese Gefährdungskarten wurden für Spitzenbodenbeschleunigungen für steifen Untergrund für eine Auftretens- oder Überschreitenswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren berechnet. Die Vorläuferversion dieser Karte für die GSHAP-Region 3, d. h. Europa nördlich des Mittelmeerraumes, wurde für makroseismische Intensitäten berechnet, wovon die sogenannte D-A-CH Karte [30] einen Ausschnitt darstellt. Durch GSHAP wurden in Europa zahlreiche nationale Aktivitäten zur Neuberechnung der Erdbebengefährdung angeregt, wobei weitestgehend, und von wenigen Ausnahmen abgesehen, die Ergebnisse von GSHAP bestätigt werden konnten. Der vorher schon erreichte Stand der Harmonisierung wurde damit wieder aufgegeben.

Am Beispiel zweier grenzüberschreitender Regionen sei hier

dargestellt, wie sich jüngst veröffentlichte probabilistische Gefährdungskarten für Spitzenbodenbeschleunigungen für feste Untergrundgesteine für das Gefährdungsniveau von 10% in 50 Jahren der üblichen Baunormen gegenwärtig darstellen. Im Hinblick auf derartige PGA-Karten ist zu berücksichtigen, dass diese Bodenspitzenbeschleunigungen (PGA Peak Ground Acceleration) darstellen, die nicht mit den Bemessungsbeschleunigungen von Normen, d. h. auch nicht mit denen der DIN 4149: 2005 [2] gleichzusetzen sind (vgl. Abschn. 6.1).

Der erste Vergleich betrifft den Grenzbereich zu Belgien, wobei für Belgien die Ergebnisse von [28] sowie für den angrenzenden deutschen Teil die Ergebnisse von [39] herangezogen wurden (Bild 8a). Für Belgien ergeben sich hiernach geringfügig größere PGA-Werte als in Deutschland.

Das zweite hier betrachtete Grenzgebiet (Bild 9a) betrifft die Grenzregion von Deutschland, Frankreich und der Schweiz. Hierfür wurden PGA-Karten gemäß o. g. Spezifikation herangezogen - nach [29] für Frankreich, für die Schweiz nach Sellami u. a. in einer Veröffentlichung von [27] sowie von [43] für Deutschland gemäß der europäischen GSHAP-Karte.

Im Raum Basel, in dem im Bildausschnitt die Bebengefährdung am größten ist, wird eine auffallend gute Übereinstimmung der PGA-Werte zwischen den Ergebnissen für Deutschland und der Schweiz erreicht. Für Frankreich ergeben sich anhand der herangezogenen Karte dagegen deutlich größere PGA-Werte. Dass diese Werte für Frankreich offenbar recht unsicher sind, scheint aus einer neuesten, gerade vor Redaktionsschluss veröffentlichten neuen Arbeit für Frankreich [45] deutlich zu werden, in der die berechneten PGA-Werte nunmehr, ganz grob zumindest, um Faktoren von ca. 2,5 kleiner sind. Damit nähern sich die Daten für Frankreich wiederum denen für die Schweiz und Deutschland bzw. sind jetzt sogar etwas kleiner. Diese Variationen mögen verdeutlichen, dass probabilistische Erdbebengefährdungsabschätzungen von einzelnen Forschungsteams noch nicht sicher beherrscht werden.

Für beide bisher beschriebenen Bildausschnitte werden im folgenden die Vergleiche der Erdbebenzonenkarten der aktuellen Normen und deren Bemessungsbeschleunigungen behandelt. Für das Grenzgebiet zu Belgien sind es wiederum die Daten nach [28], die herangezogen werden im Vergleich zu denen nach der DIN 4149: 2005-04 (Bild 8b). Die Erdbebenzone in Belgien mit 100 cm/s^2 Bemessungsbeschleunigung grenzt an die Erdbebenzonen 2, 1 und die Zone 0 der DIN-Norm, d. h., die Lastannahmen in Belgien sind um ein Mehrfaches größer. Wie im Nationalen Anwendungsdokument für die Erdbebengebiete Belgiens [28] beschrieben, wurden die Bodenspitzenbeschleunigungen (Bild 8a) durch einen Faktor 0,7 auf das Niveau der Bemessungsbeschleunigungen zurückgeführt.

Für das Grenzgebiet zu Frankreich und zur Schweiz konnte der Vergleich nur mit letzterer vorgenommen werden, da sich die Baunorm und Erdbebenzonenkarte für französische Erdbebengebiete in Überarbeitung befindet.

Hinsichtlich der Schweiz wird in [27] dargelegt, dass die für die Erdbebenzonenkarte erforderlichen Bodenbeschleunigungen nicht direkt aus aktuellen Gefährdungskarten des Schweizerischen Erdbebendienstes übernommen werden konnten, die Spektralwerte der horizontalen Beschleunigung bei 5 und 10 Hz für sehr harten Fels abbilden. Insofern erscheint es bemerkenswert, dass die Autoren nach diversen Umrechnungen zur Aussage gelangen, dass die Beibehaltung der bisherigen Zonen mit den zugehörigen Beschleunigungswerten sich als zweckmäßigste Lösung erwies. In der Konsequenz ändert sich

Bild 8. Vergleich der Spitzenbeschleunigungen und Bemessungswerte in den Erdbebenzonen; dargestellt für den Grenzbereich D-B (D – Deutschland, B – Belgien), a) Bodenspitzenbeschleunigungen aus probabilistischen Gefährdungsanalysen für eine mittlere Wiederkehrperiode von 475 Jahren, b) Bemessungsbeschleunigungen in den nationalen Erdbebenzonenkarten
Fig. 8. Comparison of peak ground acceleration and their design values within the seismic zones, illustrated for the border line between D-B (Germany – Belgium), a) peak ground accelerations from probabilistic hazard analysis for a mean return period of 475 years, b) design accelerations with the nationally applied zoning maps

Bild 9. Vergleich der Beschleunigungen und Bemessungswerte in den Erdbebenzonen; dargestellt für das Dreiländereck D-F-CH (D – Deutschland, F – Frankreich, CH – Schweiz), a) Bodenspitzenbeschleunigungen aus probabilistischen Gefährdungsanalysen für eine mittlere Wiederkehrperiode von 475 Jahren, b) Bemessungsbeschleunigungen in den nationalen Erdbebenzonenkarten (Hinweis: Eine Erdbebenzonenkarte für Frankreich findet sich in Bearbeitung)
Fig. 9. Comparison of peak ground acceleration and their design values within the seismic zones, illustrated for the border line between D-F-CH (Germany - France - Switzerland), a) peak ground accelerations from probabilistic hazard analysis for a mean return period of 475 years, b) design accelerations with the nationally applied zoning maps (remark: a zoning map for France is currently under development)

einzig die geographische Ausdehnung der einzelnen Zonen, wobei für einige Regionen die Höhereinstufung von Bedeutung ist.

Aus Bild 9b wird deutlich, dass im Großraum Basel auf schweizerischer Seite die Lastannahmen um 40 bzw. 50 cm/s^2 größer als in Deutschland sind, währenddessen im übrigen Grenzgebiet die Lastannahme von 60 cm/s^2 völlig übereinstimmend ist.

Dennoch bleibt festzustellen, dass es nur in wenigen Bereichen zwischen den Ländern harmonische Zonenübergänge gibt, die eine Übereinstimmung in den zugeordneten Bemessungsgrößen erkennen ließen.

Dies ist insbesondere für die D-A-CH-Staaten schwer nachvollziehbar, wenn an das Themenheft Erdbebeningenieurwesen 10/1998 der Bautechnik und die als Poster beigelegte Gefährdungskarte aus [30] erinnert wird. Insofern wird die Harmonisierung europäischer Baubestimmungen vom Grund-

satz her erreicht, durch die Nationalen Anwendungsdokumente und ein beträchtliches Maß abweichender Festlegungen in Frage gestellt.

3.3 Induzierte Seismizität

Zur Erdbebenzonenkarte der Bundesrepublik (Bild 2 in DIN 4149 [2]) wird vermerkt, dass nichttektonische seismische Ereignisse bzw. entsprechende Bergbau- oder Erdfallgebiete nicht in der Karte dargestellt werden. Insofern bedarf es hier einer Ergänzung, um in den gefährdeten Gebieten die notwendigen baulichen Vorkehrungen zu veranlassen. Die Frage, in welchen Gebieten, die in der Vergangenheit getroffen waren, heute noch infolge bergbaubedingter Aktivitäten nichttektonischen seismischen Einwirkungen ausgesetzt sein können, wird in [31] behandelt.

4 Standortspezifische Einwirkungen

4.1 Spektrumbeschreibende Parameter

Mehrere interdisziplinäre Forschungsvorhaben haben sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten mit dem Thema befasst, das deutsche Regelwerk der seismischen Lastannahmen für Bauwerke neu zu konzipieren (s. Abschnitt 2.2).

Die Parameter für das elastische Antwortspektrum der horizontalen Bodenbeschleunigung (kurz: „Normspektrum“) in [2] entsprechen den Vorgaben des EC 8. Der prinzipielle Verlauf der Antwortbeschleunigung (amplification, S_e) als Funktion der Eigenperiode T ist durch folgende Beziehungen beschrieben:

$$0 < T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot [1 + (T/T_B) (\eta \cdot \beta_0 - 1)] \quad (3)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \quad (4)$$

$$T_C < T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot T_C/T \quad (5)$$

$$T_D < T : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot T_C \cdot T_D/T^2 \quad (6)$$

Dabei sind:

$S_e(T)$	die Ordinate des elastischen Antwortspektrums
T	die Schwingungsdauer eines linearen Einmassenschwingers
a_g	der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung je nach Erdbebenzone
β_0	der Verstärkungsbeiwert der Spektralbeschleunigung mit dem Referenzwert $\beta_0 = 2,5$ für 5% viskose Dämpfung
T_A, T_B, T_C, T_D	die Kontrollperioden des Antwortspektrums, mit $T_A = 0$
S	der Untergrundparameter
η	der Dämpfungs-Korrekturbeiwert mit dem Referenzwert $\eta = 1$ für 5% kritische Dämpfung

Die Eckperioden T_B und T_C bestimmen die Lage des Spektralplateaus. Das Plateau der Spektren ist in seiner Höhe be-

stimmt durch den Faktor β_0 . Die Parameter sind Tabelle 2 zu entnehmen.

4.2 Berücksichtigung des Baugrunds

Der Einfluss des Baugrunds wird in [1] durch den Baugrundfaktor κ berücksichtigt. Im Sinne einer Referenzbedingung (ohne Bodeneinfluss) galt bei festen, felsigen Bedingungen $\kappa = 1,0$. Dieses Prinzip der Referenz wurde auch in der Neufassung der DIN 4149 beibehalten.

Während in [1] grundsätzlich galt: $\kappa \geq 1,0$ und mit dem Baugrundfaktor das gesamte Spektrum gleichmäßig angehoben wurde, zeichnet sich die Vorgehensweise in [2] durch eine differenzierte und periodenabhängige Berücksichtigung der untergrundbedingten Verstärkungseffekte $S_e(T)$ aus. Dies schließt ein, dass es zur Abschwächung der seismischen Einwirkungen kommen kann.

Der Bodenfaktor S in [2] gilt für den gesamten Periodenbereich, so dass das Produkt von $a_{gR} \cdot S$ nicht nur die Aufgabe einer standortbezogenen Einhängebeschleunigung wahrzunehmen, sondern nach [18] auch Besonderheiten der Spektrumform (Fixierung des spektralen Vergrößerungsfaktors β_0) auszugleichen hat. Da jedoch durch die Kontrollperioden T_B, T_C, T_D eine sehr differenzierte Relation zum Felsspektrum möglich wurde, sind in diesem Bereich die Parameter gemäß der jeweiligen Baugrundklasse (Tabelle 2) festzulegen. In [32] werden Unterschiede zwischen den baugrundabhängigen Spektren und dem Felsspektrum durch eine frequenzabhängige Relation r_s veranschaulicht, die die Effekte der Kontrollperioden vergleichbar einer Übertragungsfunktion abbilden. Diese Relation ist in DIN 4149 [1], für die im Grunde genommen in jedem Falle $T_C = 0,45$ s und für $T_B = 0$ zu setzen war, konstant und mit dem Baugrundfaktor κ identisch.

Der oberflächennahe Baugrund ist standortbezogen vom Anwender festzulegen und schließt die oberen 20 m ein. Ist dieser Baugrund (auch aus Aufwandsgründen) nicht klassifizierbar, ist vom jeweils ungünstigsten Untergrund (höchste Einwirkungen) auszugehen.

4.3 Berücksichtigung des Tiefenprofils

Für die in deutschen Erdbebengebieten vorkommenden geologischen Strukturen mit zum Teil sehr mächtigem sedimentärem Deckgebirge reicht eine pauschale Klassifikation des Standorts nach Einschätzung der Materialverhältnisse in den obersten Zehnermetern nicht aus. Die heute noch übliche Klassifikation von Normspektren aufgrund der Bodenverhältnisse im flachen Untergrund (üblicherweise nur bis 30 m Tiefe) bzw. Baugrund allein kann also zu völlig falschen Einschätzungen führen, insbesondere bei weichem Untergrund an der Oberfläche.

Der Einfluss des Untergrunds auf die Erdbebeneinwirkung wird in der DIN 4149 [2] ausgehend von der Einstufung in eine der drei geologischen Untergrundklassen R, T, S (vormals bezeichnet mit A, B, C) und zusätzlich in eine der drei Baugrundklassen A, B, C (vormals bezeichnet mit 1, 2, 3) berücksichtigt. Mit „Baugrund“ im Sinne dieser Norm wird der seismisch relevante, oberflächennahe Untergrund bis zu einer Tiefe von etwa 20 m, mit geologischem Untergrund wird der Bereich ab einer Tiefe von etwa 20 m bezeichnet („deep geology“).

Das Tiefenprofil an einem Standort schließt den oberflächennahen Baugrund und die Geologie im Sinne der Abfolge und Mächtigkeit der Sedimentschichten über dem tiefen Fels ein.

Tabelle 2. Parameter zur Beschreibung der standortbezogenen DIN-Spektren (elastische Antwortspektren der horizontalen Bodenbeschleunigung) entsprechend der Formeln (3) bis (6); Klammerangaben beziehen sich auf die vormalige Bezeichnung der Untergrundklassen (u. a. im Gelbdruck)
Table 2. Parameters defining the site-dependent DIN spectra (elastic response spectra of horizontal acceleration) according to Equations (3) to (6); formerly used notations of ground classes are given in brackets

Untergrundklasse	S	β_0	T_B	T_C [s]	T_D [s]
A-R (A1)	1,00	2,5	0,05	0,20	2,0
B-R (A2)	1,25	2,5	0,05	0,25	2,0
C-R (A3)	1,50	2,5	0,05	0,30	2,0
B-T (B2)	1,00	2,5	0,10	0,30	2,0
C-T (B3)	1,25	2,5	0,10	0,40	2,0
C-S (C3)	0,75	2,5	0,10	0,50	2,0

Die Kartierung der geologischen Untergrundklassen R, T, S (vormals A, B, C) wurde nur in den Gebieten der Erdbebenzonen in Deutschland in Abstimmung mit den geologischen Diensten der betroffenen deutschen Bundesländer durchgeführt [33].

Die Zuweisung zu einer geologischen Untergrundklasse erfordert, dass die betreffenden geologischen Verhältnisse nicht nur punktuell, sondern flächenhaft, also mit Ausdehnung von mindestens etwa 20 km zutreffend sind. Lokale Sonderfälle, z. B. kleinräumige Sedimentbecken, sowie auch Details des Grenzlinienverlaufs zwischen den Gebieten unterschiedlicher

geologischer Klassen wurden nicht kartiert.

Seismische Einwirkungen werden in DIN 4149 [2] nach der jeweiligen Kombination definiert, wobei durch die Karte der geologischen Untergrundklassen die Festlegung weiterhin eine Bewertung der oberflächennahen Bereiche erforderlich macht.

Als Kombination von geologischem Untergrund und Baugrund können die Untergrundverhältnisse A-R, B-R, C-R, B-T, C-T, C-S (vormals bezeichnet: A1, A2, A3, B2, B3, C3) vorkommen.

Damit ergeben sich mit den vorgeschlagenen Parametern für jede der Erdbebenzonen verschiedene Normspektren als elastische Antwortspektren der horizontalen Bodenbeschleunigung (Bild 10).

Das Konzept geologie- und untergrundbezogener Spektren geht in den wesentlichen Ansätzen auf den Vorschlag zur Harmonisierung der Baubestimmungen von [14] zurück. Darin werden, wenn auch zunächst beschränkt auf Baden-Württemberg, geologische Untergrundstrukturen ausgewiesen (Bild 11a). Die geologischen Untergrundstrukturen werden stärker differenziert als in DIN 4149 [2]. So steht z. B. Struktur „M1“ für einen Standort, bei dem sich eine ca. 10 m mächtige Schicht h1 über dem felsigen Untergrund befindet, und „M3“ für einen Standort, bei dem sich eine ca. 1000 m mächtige Schicht h1 (der Scherwellengeschwindigkeit $c_s = 600$ m/s) über dem felsigen Untergrund (mit $c_s = 3300$ m/s) befindet. Eine Analogiebetrachtung der Zuordnung würde ergeben: M1 entspricht etwa B-R; M2 = B-T; M3 etwa C-S und R (R_c) bzw. R (R_s) jeweils A-R.

Damit wäre jedem Standort vom Ansatz her ein Spektrum zuordenbar. Dieses zukunftsweisende Konzept konnte in dieser Form nicht durchgestanden werden, weil die lokale Variation des oberflächennahen Untergrunds sich einer solchen großmaßstäblichen Abbildung entzieht und eine Mikrozonierung voraussetzen würde.

Bild 11b reproduziert die Karte innerhalb der Zonen der DIN 4149 [2] für das Gebiet Baden-Württemberg. Die bereits von G. Schneider skizzierten Konturen der Untergrundklassen

Bild 10. Normspektren der DIN 4149 [2], skaliert auf eine Einheitsbeschleunigung von $1,0 \text{ m/s}^2$

Fig. 10. Norm spectra of DIN 4149 [2], scaled on a unit acceleration of 1.0 m/s^2

Bild 11. Klassifikation der geologischen Untergrundbedingungen in den Erdbebenzonen Baden-Württembergs: a) Vorschlag von G. Schneider in [15] auf der Grundlage der Zonenkarte der DIN 4149 [1]; reproduziert nach [22], b) Untergrundklassen nach DIN 4149 [2]

Fig. 11. Macro-scale classification of geological site conditions within seismic zones of Baden-Württemberg: a) proposal by G. Schneider in [15] on the basis of the zoning contours of DIN 4149; reproduced by [22], b) geological types in DIN 4149 [2]

[15] decken sich mit der aktuellen Karte in DIN 4149 [2] – Bild 3 in [2], wenn man den jeweils kompatiblen Zuordnungen folgt.

Die geologischen Untergrundklassen R, T und S sind in allen Zonen anzutreffen. Anhand der Überlagerung von Zonen- und Untergrundklassenkarten können die jeweiligen Flächenanteile ermittelt werden [22]. In allen Erdbebenzonen dominiert der Anteil der geologischen Untergrundklasse R.

5 Hinweise zur Anwendung von DIN 4149:2005

5.1 Beschleunigungen innerhalb einer Zone

Die Gefährdung innerhalb jeder Zone wird als konstant angenommen. Da sich die Bemessungsbeschleunigungen auf Referenzintensitäten beziehen, die in jedem Falle für die unteren Intensitäten stehen, ist es naheliegend zu unterstellen, dass das Sicherheitsniveau eines Gebäudes marginal von seiner Lage innerhalb der Zone beeinflusst wird. Zudem kann gezeigt werden, dass sich die Gefährdungskurven von allen Standorten, die sich in der gleichen Zone befinden, unterscheiden. Es sei auf Bild 4 in [34] hingewiesen. Dort ist unschwer zu erkennen, dass die Schar der Gefährdungskurven ober- und unterhalb des Referenz-Gefährdungsniveaus signifikant streuen. Dieser Sachverhalt ist zu berücksichtigen, wenn Einwirkungsgrößen über gefährdungsbezogene Parameter anzupassen sind, wie z. B. durch den Bedeutungsfaktor γ_I .

5.2 Anpassung der Beschleunigung durch den Bedeutungsfaktor

Die Festlegung der Bemessungsbeschleunigung gemäß Gl. (2) hat die Wertigkeit bzw. Bedeutung des auszulegenden Bauwerks zu berücksichtigen. Dies geschieht über den Bedeutungsfaktor γ_I , der in Abhängigkeit von der Bedeutungskategorie (früher bezeichnet als Bauwerksklasse) zu wählen ist (siehe Tabelle 3).

Die Zuordnung der Hochbauten hat entsprechend ihrer Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit bzw. der mit einem Einsturz verbundenen Folgen (z. B. Gefahr für Leib und Leben, Kulturgüter und Sachwerte) zu erfolgen. Die auslegungsphilosophische Zielstellung und Aufgabe bestehen darin, über diesen Faktor die seismischen Einwirkungen für ein vom Sicherheitsniveau allgemeiner Wohngebäude (Referenzwiederkehrperiode von 475 Jahren) abweichendes Gefährdungs-

niveau zu beschreiben. So werden Krankenhäuser, Feuerwehrgebäude u. a. weiterhin der höchsten Bedeutungskategorie IV zugeordnet (Tabelle 3).

Daraus leiten sich zwei unterschiedliche Vorgehensweisen zur Festlegung der Bemessungsbeschleunigung a_g gemäß Beziehung (2) ab:

(1) Der Bedeutungsfaktor γ_I wird vorgegeben und der Bemessungswert der Beschleunigung der Zone, in der sich der Standort befindet, entsprechend vergrößert. Die damit verbundene Wiederkehrperiode ist aufgrund des Bemessungscharakters der Beschleunigung nicht eindeutig quantifizierbar.

(2) Es wird eine von 475 Jahren abweichende Wiederkehrperiode T_R vorgegeben, für die eine Anpassung der Bemessungsbeschleunigung vorzunehmen ist. Dies setzt in der Regel eine probabilistische Standortgefährdungsanalyse voraus.

In DIN 4149 [2] wird Vorgehensweise (1) Präferenz eingeräumt, das heißt, die Bedeutungsfaktoren können ohne eine weitere Gefährdungsberechnung gemäß Tabelle 3 übernommen werden. Der Bedeutungsfaktor γ_I hebt (oder senkt) definitionsgemäß das Niveau des Bemessungserdbebens auf eine nicht eindeutig spezifizierbare Größe der Wiederkehrperiode, für die jedoch noch geeignete bzw. zitierfähige Vorgaben fehlen.

5.3 Bedeutung der „Zone 0“

Da auch Standorte, die beim Referenz-Gefährdungsniveau von $T_R = 475$ Jahren außerhalb der Zone 1 ein seismisches Gefährdungspotential besitzen, ist die Kennzeichnung von seismogenen Randbereichen sinnvoll. Die Zonenkarte kennzeichnet über schraffierten Gebiete eine Zone 0, für die gilt, dass einerseits keine Erdbebenvorkehrungen gefordert werden, andererseits – am Maßstab des historischen Beobachtungszeitraumes Schaden verursachende Intensitäten nicht auszuschließen sind (Bild 5).

Es ist demzufolge für Bauwerke der Bedeutungskategorien III und IV in Zone „0“ zu empfehlen, den Festlegungen bzw. Regeln für Zone 1 zu folgen [22].

6 Weitere Normenentwicklung

Im Sinne eines Ausblickes sei die Frage verfolgt, welche Konsequenzen sich aus der Weiterentwicklung des Eurocode 8 für die Festlegungen der DIN 4149: 2005 oder des Nationa-

Tabelle 3. Bedeutungskategorien und Bedeutungsbeiwerte für Bauwerke γ_I
Table 3. Importance categories and importance factors for buildings γ_I

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_I
I	Bauwerke von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten, usw.	0,8
II	gewöhnliche Bauten, die nicht zu den anderen Kategorien gehören, z. B. Wohngebäude	1,0
III	Bauwerke, deren Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben im Hinblick auf die mit einem Einsturz verbundenen Folgen wichtig ist, z. B. große Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen, Kaufhäuser usw.	1,2
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit während des Erdbebens von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrhäuser, usw.	1,4

len Anwendungsdokumentes ergeben. Dabei wird auf einen Vorentwurf [35] und die in deutscher Übersetzung vorliegende Fassung des Eurocode 8 (prEN 1998-1: 2003) [24] Bezug genommen.

6.1 Kompatibilität der Gefährdungskenngrößen und Seismizitätsbewertung

Eine wesentliche inhaltliche Veränderung hat die zuvor noch als „effektive Beschleunigung“ zu verstehende Bemessungsbeschleunigung bereits in einer überarbeiteten Fassung des Grundlagenteils erfahren [35], indem die Gefährdungskenngröße als Spitzenbodenbeschleunigung (peak ground acceleration) definiert und ein Anpassungsfaktor k eingeführt wurde:

„(2) For most of the applications of EN 1998, the hazard is described in terms of a single parameter, i.e. the value of the reference ground acceleration a_{gR} at type A ground, $k \cdot a_{gR}$, where a_{gR} is the reference peak ground acceleration at type A ground and k a modification factor to account for special regional situations.“

Mit dem Faktor k wurde die Tür für eine Anpassung an das nationale Auslegungsniveau offen gehalten. Der Faktor k hätte die möglichen Unterschiede zwischen einer Bemessungs- und einer Spitzenbodenbeschleunigung auszugleichen und wäre durch den Nationalen Anhang festzulegen (vgl. auch Bilder 8, 9). Wie groß der Faktor k in deutschen Erdbebengebieten anzunehmen wäre, ob und welche regionale Unterschiede gegebenenfalls zu berücksichtigen wären, müsste durch Ergebnisse von weiteren probabilistischen Gefährdungsanalysen (mit veränderten methodischen Ansätzen) beantwortet werden.

Die Erdbebeneinwirkung in den Erdbebenzonen wird auch in der Endfassung des EC 8 [24] (hier Entwurfsfassung der deutschen Übersetzung [25]) als Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung a_{gR} für Baugrundklasse A beschrieben. Der Referenz-Wiederkehrperiode wird ein Bedeutungsbeiwert $\gamma_1 = 1,0$ zugewiesen. Für andere Wiederkehrperioden ist die Bemessungs-Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A, a_g , gleich a_{gR} multipliziert mit dem Bedeutungsbeiwert γ_1 ($a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR}$), vgl. Beziehung (2).

In Fällen geringer Seismizität dürfen nach prEN 1998-1: 2003 [24] verkürzte oder vereinfachte Verfahren der Erdbebenauslegung für bestimmte Bauwerkstypen verwendet werden, wobei in den Anmerkungen empfohlen wird:

- als Fälle **geringer Seismizität** solche zu betrachten, in denen entweder die Bemessungs-Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A, a_g , nicht größer ist als $0,08 g$ ($0,78 \text{ m/s}^2$) oder solche, in denen das Produkt $a_g \cdot S$ nicht größer ist als $0,1 g$ ($0,98 \text{ m/s}^2$);
- als Fälle sehr geringer Seismizität, in denen die Vorschriften von EN 1998 nicht zu berücksichtigen sind, solche zu betrachten, in denen entweder die Bemessungs-Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A, a_g , nicht größer ist als $0,04 g$ ($0,39 \text{ m/s}^2$) oder solche, in denen das Produkt $a_g \cdot S$ nicht größer ist als $0,05 g$ ($0,49 \text{ m/s}^2$).

Auf diesen Passus wird in Abschnitt 11.6 der DIN 4149 [2] (Konstruktive Regeln für Mauerwerksbauten ohne rechnerischen Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für den Lastfall Erdbeben) Bezug genommen. Damit kommt es zu einer bedeutenden Vereinfachung der Nachweisführung. Mit den Bemessungswerten der Beschleunigung von $a_g = 0,40 \text{ m/s}^2$ (Zone 1) und $a_g = 0,80 \text{ m/s}^2$ (Zone 3) hat die DIN 4149: 2005 im Rahmen der Europäischen Baubestimmungen Bestand.

6.2 Kompatibilität der Untergrundklassifikation und Spektren

Nach dem im EC 8 (prEN 1998-1) verankerten Klassifikationsschema wären Standorte nur nach dem oberflächennahen Baugrund (ground type) zu klassifizieren. Das für die DIN 4149: 2005 gewählte Konzept wurde in den letzten Fassungen zum EC 8 durch eine Anmerkung etabliert, wonach im Nationalen Anhang andere Spektren definiert werden können, wenn der geologische Untergrund berücksichtigt wird [25]. Dies ist bei den Spektren der DIN 4149: 2005 der Fall (Tabelle 2, Bild 10).

Aufgrund der Unterscheidung zwischen zwei Spektrumtypen in [24] wäre der für die deutschen Erdbebengebiete dann maßgebliche Spektrumtyp durch einen schmalbandigen Plateaubereich und höhere Amplifikatoren $S_e(T)$ in (4) gekennzeichnet. Eine kritische Auseinandersetzung mit der getroffenen Faktorenfestlegung für die EC 8-Spektren ist nicht Gegenstand dieses Beitrages. Es kann auf entsprechende Untersuchungen in [36] verwiesen werden.

7 Bedeutung von Erdbeben in Deutschland

7.1 Schadenspotentiale

In der Bearbeitungsphase wurde wiederholt die Frage aufgeworfen [3], [4], [5]: Braucht Deutschland eine neue Erdbebenbaunorm, und welche Rolle hat sie zu übernehmen, da seit mehr als 25 Jahren keine Beben mit nennenswerten Schäden aufgetreten sind?

Die Frage beinhaltet bereits eine der möglichen Antworten: Eine Bewährungsprobe brauchte die Norm durch das Ausbleiben schwerer Beben nicht zu bestehen. Es ist somit weiterhin unklar, welches Niveau der Erdbebentauglichkeit die Bauten in den Haupterdbebengebieten besitzen und welchen Beitrag die Norm aus 1981 [1] zur Anhebung der Widerstandsfähigkeit geleistet hat (s. Abschnitt 7.2).

Eine stärkere Wahrnehmung der wirtschaftlichen Konsequenzen (Verluste), die aus schweren Schadenbeben resultieren können, wurde zunächst durch die Versicherungswirtschaft gefordert [37]. Maßnahmen des Erdbebenschutzes sind danach weiterhin erforderlich, weil bereits bei geringen Bebenstärken hohe Schäden und Verluste auftreten können und sich diese Tendenz verstärken wird. Die Betroffenheit der Menschen kann groß sein durch den nicht gedeckten Schaden.

Ein wichtiger Beitrag zur Klärung der Schadenspotentiale wurde im Rahmen des Deutschen Forschungsnetzes Naturkatastrophen (DFNK) geleistet (u. a. [38]). Von den am Projekt beteiligten Autoren wurden Szenarien für Erdbeben in Großraum Köln (Übergangsbereich Zone 1 in Zone 2) und deren Eintretenswahrscheinlichkeiten ermittelt [39]. Für diese wurden von [40] die Schadenspotentiale quantifiziert und in Form der Verteilung von mittleren Schadensgraden in den Stadtbezirken differenziert. Die Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Bei Eintreten von Bebenstärken, die mit der Wiederkehrperiode von 475 Jahren korrespondieren, sind die Schäden eher gering und keinesfalls „lebensbedrohlich“.
- Bei Eintreten von Bebenstärken geringer Eintretenswahrscheinlichkeit, d. h. mit deutlich höherer Wiederkehrperiode z. B. von 2475 Jahren ist ein signifikanter Anstieg der Schäden und Verluste zu verzeichnen.
- Es können Beben sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit nicht ausgeschlossen werden, die ein Katastrophenausmaß erreichen. Insofern gewährleistet die Norm einen Grundschutz, der soweit gehen muss, dass auch stärkere Ereignisse

ohne (partiellen) Bauwerkseinsturz überstanden werden können.

7.2 Hierarchie der Erdbebenauslegung

Die Erdbebentauglichkeit des Gebäudebestandes in den Erdbebengebieten der Bundesrepublik Deutschland ist nicht oder nur in wenigen Fallstudien (s. Abschn. 7.1) untersucht worden. Es stehen keine oder nur wenige Erfahrungswerte zur Verletzbarkeit des gegenwärtigen Bauwerksbestandes zur Verfügung. Es sei an deshalb an den Zweck der DIN 4149 [1] erinnert: „Durch die Festlegungen dieser Norm soll die Widerstandsfähigkeit von Anlagen des üblichen Hochbaus gegenüber Erdbeben soweit angehoben werden, dass auftretende Schäden nicht zum Versagen der Tragkonstruktion führen. Zweck aller Maßnahmen ist ein ausreichender Personenschutz und in besonderen Fällen auch ein Objektschutz.“

Die Ziele in [2] sind so formuliert, dass die Auslegungsphilosophie im Hinblick auf Standsicherheit, Schadensbegrenzung, Gebrauchstauglichkeit noch erkennbar ist:

„Ziel der Norm ist, im Falle eines Erdbebens menschliches Leben zu schützen, Schäden zu begrenzen und sicherzustellen, dass für die öffentliche Sicherheit und Infrastruktur wichtige bauliche Anlagen funktionstüchtig bleiben.“

Durch die neue Gefährdungszonenkarte kommt es zu einer Veränderung in der regional-geographischen Verteilung der Erdbebenzonen. Es gibt Neueinstufungen im Sinne der Höherbewertung und teilweise auch im Sinne einer Herabsetzung der Gefährdung bzw. Einwirkungen. Es gibt Gebiete, die erstmals einer Erdbebenzone zugeordnet werden [41].

Nach Einführung der DIN besteht somit auch ein Handlungsbedarf, der nicht verdrängt werden sollte. Folgende Aufgaben sind u. a. abzuleiten:

- Bewertung der Erdbebentauglichkeit der in den Zielgebieten vorherrschenden Bauweisen, wobei zu klären wäre, welchen Bodenbewegungen die typischen Bauweisen mit welchem Grad der Schädigung zu widerstehen vermögen. Solche Untersuchungen sollten auch die Erfahrungen aus anderen Erdbebengebieten einbeziehen.
- Identifikation von kritischen Objekten, d. h. der im Katastrophenfall „überlebenswichtigen“ „Life-lines“-Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen mit Bedeutung für die Katastrophenbewältigung (Krankenhäuser, Feuerwehrgebäude usw.). In Einzelfällen sollte die Notwendigkeit einer Ertüchtigung nicht ausgeschlossen werden.

Da nicht dokumentiert ist, inwieweit sich die Bausubstanz in den Hauptebebengebieten durch Existenz der DIN 4149 verändert hat, wäre es wünschenswert, wenn mit Einführung der DIN 4149: 2005 diese, erst längerfristig greifende statistische Aufgabe angenommen würde.

Es gibt keine Erfahrungswerte, welche Unterschiede das Verhalten von Bauwerken mit und ohne Erdbebenvorkehrungen im Verhalten unter Starkbeben aufweisen. Mangels Daten und Bestandskenntnis wäre ein Nachweis nicht führbar. Dennoch darf vorausgesetzt werden, dass Bauwerke, die den Regeln erdbebentauglicher Konstruktionen folgen, auch stärkeren Beben ohne signifikante Schäden widerstehen können. Insofern hält sich auch die DIN 4149: 2005 [2] an den Grundsatz, dass Entwurf und Konstruktion vor einem rechnerischen Nachweis stehen. Dies wird in der Norm weiterhin durch die Nachweisentschärfungen bei Begrenzung der Bauwerkshöhe durch Einhaltung von bestimmten Geschosshöhen und durch Empfehlungen für den Entwurf umgesetzt. Die Zielstellung der Norm besteht somit darin, durch eine erdbebengerechte

Konstruktion den Nachweisaufwand in unterschiedlichen Stufen herabzusetzen. Zu diesen Stufen zählt auch die Zulässigkeit vereinfachter Modelle und Verfahren [46].

Literatur

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] DGEb: Stellungnahme des Vorstand der DGEb zur Einführung des Gelbdruckes der DIN 4149-neu. D-A-CH Mitteilungsblatt Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, Band 19, Dezember 2000, Nr. 3, 21.
- [4] Smolka, J.: Erdbebensituation Deutschland. Gefährdung, Risiko, Forschungs- und Handlungsbedarf. Stellungnahme des DGEb-Vorstandes. D-A-CH Mitteilungsblatt Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, Band 18, April 1999, Nr. 1, 6-10.
- [5] Grünthal, G., Schwarz, J.: Podiumsdiskussion zur D-A-CH-Tagung im November 1999 in Berlin: „Brauchen wir auch in Deutschland ein Nationales Aktionsprogramm Erdbeben?“ Bautechnik 77 (1999), 5, 324.
- [6] Meskouris, K., Brüstle, W., Schlüter, F.-H.: Neufassung der Norm DIN 4149. D-A-CH-Mitteilungsblatt Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, 3-8. Bauingenieur 79 (2004) 9.
- [7] Grünthal, G., Bosse, Ch.: Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland - Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode 8. GFZ Potsdam 1996. Scientific Report STR 96/10, 24S.
- [8] Schwarz, J.: Evaluation of effective accelerations for Eurocode 8. In: Seismology in Europe. XXV General Assembly of European Seismological Commission, September 9-14, 1996, Reykjavik, Iceland. Iceland Meteorological Office, Ministry of Environment, University of Iceland, 648-654.
- [9] Schwarz, J.: Festlegung effektiver Beschleunigungen für seismische Gefährdungszonen im Zusammenhang mit der nationalen Anwendung des EC 8. Forschungsprojekt IV 1-5-781/95 im Auftrage des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin, Bauhaus-Universität Institut für Konstruktiven Ingenieurbau Weimar 1997.
- [10] NAD (1997): Nationales Anwendungsdokument zum EC 8. Teil 1-1 und Teil 1-2. Grundlagen der Auslegung von Hochbauten. NABau 00.00.00 Nr. 24-97.
- [11] Ahorner, L., Rosenhauer, W.: Regionale Erdbebengefährdung. Kap. 9 in: Realistische Lastannahmen für Bauwerke II. Abschlußbericht im Auftrag des Instituts für Bautechnik Berlin, König und Heunisch. Frankfurt/M., 1986.
- [12] Hosser, D.: Änderungsvorschläge zu Normen und Empfehlungen. Anhang in: Realistische Lastannahmen für Bauwerke II. Abschlußbericht im Auftrag des Instituts für Bautechnik Berlin, König und Heunisch. Frankfurt/M., 1986.

- [13] Entwurf von Eurocode 8 (1984): Gemeinsame einheitliche Regeln für Bauwerke in Erdbebengebieten. Bericht EUR 8850 DE, EN, FR, IT; Kommission der Europäischen Gemeinschaften Brüssel, Luxemburg.
- [14] *Hosser, D., Keintzel, E., Schneider, G.*: Proposal for harmonized rules for the determination of seismic input data. (Coordination: *J. Eibl, E. Keintzel*). Universität Karlsruhe Institut für Massivbau und Baustofftechnologie 1990.
- [15] *Hosser, D., Keintzel, E., Schneider, G.*: Seismische Eingangsgrößen für die Berechnung von Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben Harmonisierung europäischer Baubestimmungen. Eurocode 8 - Erdbeben. Universität Karlsruhe 1991.
- [16] *Schneider, G.* (1998): Neue Bemessungsspektren für Deutschland. Referate-Sammlung Eurocode 8, DIN 4149 - neue Regeln bei der Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Gemeinschaftstagung DIN und DGEb, 21. Januar 1998, Leinfelden-Echterdingen. Deutsches Institut für Normung e. V., Beitrag 4.1-4.24.
- [17] *Brüstle, W., Stange, St.*: Geologische Untergrundklassen zum Entwurf von Normspektren für DIN 4149 (neu): Modellrechnungen mit Programm SIMUL für synthetische Tiefenprofile der Scherwellengeschwindigkeit zur Klassifizierung des Untergrundes in deutschen Erdbebengebieten (Stand Juli 1999). 33 S., 36 Abb., Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg i. Br., Berichtsnummer 3480.01/98-4764, (1999).
- [18] *Schwarz, J., Lang, D., Golbs, Ch.*: Erarbeitung von Spektren für die DIN 4149-neu unter Berücksichtigung der Besonderheiten deutscher Erdbebengebiete und der Periodenlage von Mauerwerksbauten. Forschungsbericht im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerksbau e. V., Erdbebenzentrum am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Bauhaus-Universität Weimar, Juli 1999 (1. Entwurf), September 1999 (Endfassung).
- [19] *Schwarz, J., Brüstle, W.*: Protokoll der Sitzung des Normenausschusses Bauwesen NABau 00.06.00 des DIN in Stuttgart am 18. Oktober 1999 (unveröffentlicht); verarbeitet in: DIN 4149 (Entwurf 2000), 5. Norm-Vorlage, vorgesehen als Ersatz für DIN 4149-1 (April 1981).
- [20] *Brüstle, W., Schwarz, J.*: Untergrundabhängige Bemessungsspektren in deutschen Erdbebengebieten für die neue Erdbebenbauvorschrift DIN 4149. In: *Meskouris, K., Hinz, K.-G.* (Hrsg.) Schutz von Bauten gegen natürliche und technische Erschütterungen. DGEb-Publikation Nr. 11 (2002), 3-13.
- [21] ENV 1998-1-1: Eurocode 8 - Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-1: General rules - Seismic actions and general requirements for structures. CEN, October 1994.
- [22] *Schwarz, J.*: Bemessungsbeschleunigungen für die Gefährdungszonen der DIN 4149. In: Tagungsband der DGEb-Gemeinschaftstagung Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Die neue DIN 4149. Beuth Verlag GmbH Berlin/Wien/ Zürich 2005, 41-56.
- [23] *Schwarz, J.*: Festlegung effektiver Beschleunigungen für probabilistische Gefährdungszonenkarten im Zusammenhang mit der nationalen Anwendung des EC 8. DGEb-Publikation Nr. 9 (1998) (Hrsg. *S. A. Savidis*). Paläoseismologie, Eurocode 8 und Schwingungsisolierung, S. 45-58.
- [24] prEN 1998-1: 2003 E: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic action and rules for buildings. Final Draft, December 2003.
- [25] prEN 1998-1: 2003: Übersetzungsfassung (stage 49), Entwurf Januar 2003. Eurocode 8 Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 1: Grundlagen, seismische Einwirkungen und Regeln für Hochbauten. 30. September 2003.
- [26] *Grünthal, G.*: Die Erdbebenzonenkarte als Bestandteil der neuen DIN 4149. In: Tagungsband der DGEb-Gemeinschaftstagung Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Die neue DIN 4149. Beuth Verlag GmbH Berlin/Wien/Zürich 2005, 3-24.
- [27] *Wenk, Th., Lestuzzi, P.*: Erdbeben. In Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Einwirkungen auf Tragwerke. Einführung in die Normen SIA 260 und 261. sia-Dokumentation D 0181 (2003), S. 59-66.
- [28] ENV 1998-1-1: Belgian National Application Document (DAN: 2001) Belgian Institute for Standardization, Bruxelles, January 2001.
- [29] *Martin, C., Secanell, R., Combs, Ph., Lignon, G.*: Preliminary probabilistic seismic hazard assessment of France. Proc. 12th European Conference an Earthquake Engineering, Elsevier Science Ltd., Paper 870, 11 p. 2002.
- [30] *Grünthal, G., Mayer-Rosa, D., Lenhardt, W.*: Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten - Deutschland, Österreich, Schweiz. Bautechnik 75 (1998), 10, 753-767.
- [31] *Grünthal, G., Minkley, W.*: Bergbauinduzierte seismische Aktivität als Quelle seismischer Belastungen - zur Notwendigkeit der Ergänzung der Karte der Erdbebenzonen der DIN 4149: 2005-04. Bautechnik 82 (2005) 8, S. 508-513.
- [32] *Schwarz, J., Grünthal, G.*: Aktuelle Probleme der Beschreibung und Harmonisierung von seismischen Einwirkungen in Erdbebenbaunormen. Bautechnik 70 (1993) 11, 681-693.
- [33] *Geyer, M., Schmücking, B., Brüstle, W.*: Karte der geologischen Untergrundklassen für DIN 4149 (neu) - Abschlußbericht. 50 S., 8 Abb., Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg i. Br., Berichtsnummer 2124.01/99-4764, 2000.
- [34] *Schwarz, J., Grünthal, G.*: Zukunftsorientierte Konzepte zur Beschreibung seismischer Einwirkungen für das Erdbebeningenieurwesen. Bautechnik 75 (1998) 10, 737-752.
- [35] prEN 1998-1: 2003 E: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic action and rules for buildings. Rev. Final Project Team Draft, May 2002.
- [36] *Schott, C., Schwarz, J.*: Reliability of Eurocode 8 spectra and the problems of their practical application to Central European earthquake regions. 13th World Conference an Earthquake Engineering 2004, Paper No. 3403, 15 p.
- [37] *Allmann, A., Rauch, E., Smolka, A.*: New paleoseismological findings an major earthquakes in Central Europe. Possible consequences for the earthquake loss potential in Germany. Proceedings 11th European Conference an Earthquake Engineering, Paris. Balkema Rotterdam 1998.
- [38] *Schwarz, J.*: Cluster Risikoanalyse Erdbeben: Struktur, Konzeption und Bewertung der Arbeiten. in : Risiken durch Naturgefahren. Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojektes Deutsches Forschungsnetz Naturkatastrophen (DFNK). (Hrsg. *B. Merz, H. Apel*), Scientific Technical Report STR04/01, GeoForschungsZentrum Potsdam, 2004, 128-134.
- [39] *Grünthal, G., Wahlström, R., Stromeyer, D., Schelle, H., Bosse, Ch.*: Neue Generation von Erdbebengefährdungs-

- einschätzungen. Bericht zum Teilprojekt B1 in: Risiken durch Naturgefahren. Abschlußbericht des BMBF Verbundprojektes Deutsches Forschungsnetz Naturkatastrophen (DFNK). (Hrsg. B. Merz, H. Apel), Scientific Technical Report STR04/01, GeoForschungsZentrum Potsdam, 2004, 135-148.
- [40] Schwarz, J., Maiwald, H., Raschke, M.: Zu erwartende Erdbebenszenarien für deutsche Großstadträume und Quantifizierung der Schadenspotentiale. Bericht zum Teilprojekt B3.1 in: Risiken durch Naturgefahren. Abschlußbericht des BMBF-Verbundprojektes Deutsches Forschungsnetz Naturkatastrophen (DFNK). (Hrsg. B. Merz, H. Apel), Scientific Technical Report STR04/01, GeoForschungsZentrum Potsdam, 2004, 135-148.
- [41] Abrahamczyk, L., Langhammer, L., Schwarz, J.: Erdbebengebiete der Bundesrepublik Deutschland - eine statistische Auswertung. Bautechnik 82 (2005) 8, S. 500-507.
- [42] Giardini, G., Basham, P.: The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), Annali di Geofisica 36 (1993) 3/4, 3-13.
- [43] Grünthal, G., and GSHAP Region 3 Working Group, Seismic Hazard Assessment for Central, North and North-west Europe: GSHAP Region 3. Annali di Geofisica 42 (1999) 6, 999-1011.
- [44] Grünthal, G., Bosse, C., Sellami, S., Mayer-Rosa, D., Giardini, D.: Compilation of the GSHAP regional seismic hazard for Europe, Africa and the Middle East. Annali di Geofisica, 42 (1999) 6, 1215-1223.
- [45] Marin, S., Avouac, J.-P., Nicolas, M., Schlupp, A.: Probabilistic Approach to Seismic Hazard in Metropolitan France, Bull. Seismol. Soc. Am., 94 (2004) 6, 2137-2163.
- [46] Keintzel, E.: Über den Weg zur neuen deutschen Erdbebennorm DIN 4149: 2005-04. Bautechnik 83 (2005) 8, S. 475-480.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Jochen Schwarz, Erdbebenzentrum am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Bauhaus-Universität Weimar, Marienstraße 7a, 99421 Weimar, schwarz@bauing.uni-weimar.de; <http://www.edac.biz>
 Dr. Gottfried Grünthal, GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion 5.3 „Ingenieurseismologie“, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, ggrue@gfz-potsdam.de