

## Unterschiede, Beziehungen und Gemeinsamkeiten der Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem Nationalen Anhang zum Eurocode 8

Gottfried Grünthal  
Christian Bosse



# Unterschiede, Beziehungen und Gemeinsamkeiten der Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem Nationalen Anhang zum Eurocode 8

## Erdbebenzonenkarte nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 und Karte der spektralen Antwortbodenbeschleunigungen nach E DIN EN 1998-1/NA:2018-10

Die Karte der spektralen elastischen Antwortbodenbeschleunigungen zum Entwurf des neuen Nationalen Anhangs zum EC 8 (E DIN EN 1998-1/NA:2018-10) hat in Anwenderkreisen einige Diskussionen ausgelöst. Diese bezogen sich insbesondere auf den Vergleich zur Erdbebenzonenkarte des bisherigen Nationalen Anhangs (DIN EN 1998-1/NA:2011-01). Grundsätzlich ist zu betonen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen den beiden Karten nicht hergestellt werden kann, da diese auf sehr unterschiedlichen Parametrisierungen basieren. Um für weitere Diskussionen eine sachliche Grundlage zu schaffen, werden in diesem Beitrag die grundlegenden Charakteristika beider Berechnungsmodelle, d. h. zu den Erdbebenkarten des bisherigen und des neuen NA, gegenübergestellt. Des Weiteren werden vier Varianten vorgestellt, wie zumindest auf indirektem Wege die beiden unterschiedlichen Kartentypen in Beziehung gesetzt werden können. Im Ergebnis zeigen die Varianten, dass sie einem gemeinsamen Trend folgen.

**Stichworte** Erdbebenkarten; Erdbebengefährdung; Deutschland; Nationaler Anhang zum EC 8; DIN EN 1998-1/NA:2011-01; E DIN EN 1998-1/NA:2018-10

### 1 Einführung

Die Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands für den Nationalen Anhang (NA) zum Eurocode 8 (EC 8), d. h. die Normenentwurfsfassung E DIN EN 1998/NA:2018-10 [1], löste eine bemerkenswerte Resonanz aus. (Anm.: Die Neueinschätzung war Gegenstand von 272 erfassten Presseberichten bis Mitte August 2018 (pers. Mitteilung von J. Zens, Leiter Öffentlichkeitsarbeit am GFZ Potsdam nach Recherche einer Medienauswertefirma); der zugehörige OpenAccess-Artikel <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-018-0315-y> hat derzeit mehr als 11 000 Downloads.) Eine wesentliche Frage für die praktizierenden Erdbebeningenieure betrifft verständlicherweise den Vergleich der seismischen Lastannahmen zwischen dem bisherigen NA, d. h. der DIN EN 1998/NA:2011-01 [2], und dem neuen NA. Zur besseren Lesbarkeit des vorliegenden Beitrags wird für den neuen NA die Kurzbezeichnung NA:2018 eingeführt und für den bisherige NA die Kurzform NA:2011.

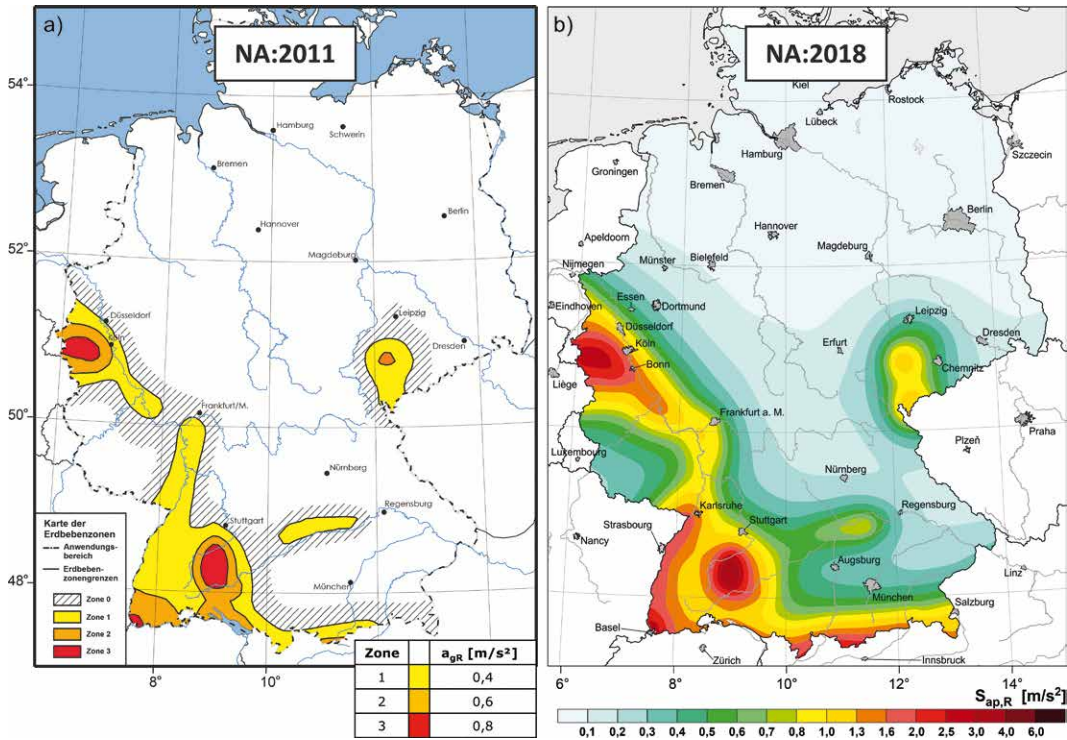
**Differences, relationships and similarities between the earthquake maps according to the previous and the new National Annex to Eurocode 8 – Earthquake zone map according to DIN EN 1998-1/NA:2011-01 and map of spectral response ground accelerations according to E DIN EN 1998-1/NA:2018-10**

The map of the spectral elastic response ground accelerations for the draft of the new National Annex to EC 8 (E DIN EN 1998-1/NA:2018-10) has triggered some discussion. These were related to the comparison with the earthquake zone map of the previous National Annex (DIN EN 1998 1/NA:2011-01). Basically, it has to be emphasized that a direct connection between the two maps cannot be established, since they are based on very different parameterizations. In order to provide a factual basis for further discussions, this article compares the basic characteristics of both calculation models, i.e. the earthquake maps of the previous and the new NA. In addition, four variants are presented to show how the two different map types can be related, at least indirectly. For this purpose, basic limitations associated with such relationships are described. As a result, the variants show that they follow a common trend, apart from a few systematic deviations, both to smaller and to larger values.

**Keywords** earthquake maps; seismic hazard; Germany; National Annex to EC 8; DIN EN 1998-1/NA:2011-01; E DIN EN 1998-1/NA:2018-10

Ein direkter Vergleich der beiden NA ist jedoch grundsätzlich nur eingeschränkt möglich. Denn ein wesentliches Element des NA:2011 ist die Zuordnung von Referenz-Spitzenwerten der Bodenbeschleunigung zu berechneten makroseismischen Intensitäten der Erdbebengefährdungskarte. Diese Zuordnung im Rahmen des NA:2011 wird im vorliegenden Beitrag sowohl anhand klassischer als auch modernerer empirischer Relationen gespiegelt, um zu verdeutlichen, dass diese Zuweisung nur sehr bedingt den Beobachtungsdaten gerecht wird. Aber gerade diese Beobachtungsdaten bilden das Rückgrat zur Berechnung der Erdbebenkarte des NA:2018. Dieser Gegensatz begründet wesentlich die Limitierung des direkten Vergleichs, stellt aber nur einen Aspekt der hier behandelten Thematik dar.

Den Publikationen der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands [3, 4] sowie des NA:2018 folgten jedoch auch kontroverse Diskussionen bez. einer mutmaßlichen generell höheren Bewertung der Erdbebengefährdung im Vergleich zum NA:2011. Das Anliegen des vorliegenden Beitrags ist es daher, die tatsächlichen Zu-



**Bild 1** Gegenüberstellung der Karten der Erdbebengefährdung des NA:2011 und NA:2018: a) Karte nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 [2], die gemäß der Plattform zur Abfrage der Zugehörigkeit von Orten zu Erdbebenzonen [8] bzw. mit der Farbgebung in [10] dargestellt wird; b) Karte der E DIN EN 1998-1/NA:2018-10 [1], die die Plateau-Werte der elastischen spektralen Antwortbeschleunigung, d. h. Bild NA.1 im NA:2018, darstellt (entsprechend Bild 15 von [4] bzw. Fig. 24 von [3])

Comparison of the maps of earthquake hazard of NA:2011 and NA:2018: a) map of DIN EN 1998-1/NA:2011-01 [2] according to the platform for the query of the affiliation of locations to earthquake zones [8] respectively with the colour code of [10]; b) map of E DIN EN 1998-1/NA:2018-10 [1] shows the elastic spectral response acceleration, Fig. NA.1 in NA:2018 (corresponding to Fig. 15 of [4] respectively, Fig. 24 of [3])

sammenhänge aufzuzeigen, um zu einer Versachlichung beizutragen, und schließlich verschiedene Wege bzw. Varianten vorzustellen, wie die Erdbebenkarten nach altem und neuem NA in Beziehung gesetzt werden können.

Den Autoren der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung [3, 4] war es durchaus bewusst, dass Fragen des Vergleichs zwischen bisherigen und neuen Berechnungsergebnissen von großer praktischer Relevanz sind. Dementsprechend enthalten beide Veröffentlichungen in speziellen Unterkapiteln Vergleiche von Karten und Antwortspektren mit früheren Berechnungsergebnissen der Autoren. Zum Ersten betrifft das die Gegenüberstellung der probabilistischen Karten der Erdbebengefährdung für die Spitzenbodenbeschleunigung (PGA) nach dem neuen Berechnungsmodell mit den bereitgestellten Lastannahmen entsprechend den Anforderungen der DIN 19700 [5]. Zum Zweiten wurde die intensitätsbasierte Karte, die dem NA:2011 zugrunde liegt, mit der ebenso in makroseismischen Intensitäten parametrisierten Karte verglichen, die direkt aus dem Berechnungsmodell für die Erdbebengefährdungskarte des NA:2018 folgt. Zum Dritten wurden spektrale elastische Antwortspektren herangezogen, und zwar anhand der Neueinschätzung und gemäß den Anforderungen für die DIN 19700. Auf die ausgesprochen gute Übereinstimmung der drei aufgezeigten Gegenüberstellungen wird in [3, 4] ausführlich hingewiesen. Zwei von diesen Vergleichen betreffen jedoch Darstellungen, die für Anforderungen gemäß der DIN 19700

bereitgestellt wurden. Lediglich der o. g. zweite Vergleich bezieht sich auf die Grundlagenkarte für den NA:2011, ohne jedoch explizit auf die Erdbebenzonenkarte dieses NA einzugehen und ohne die prinzipiellen Limitierungen einer direkten Inbeziehungsetzung der Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem NA zu erläutern.

Um die eingangs erwähnten, teils kontroversen Diskussionen argumentativ auf eine sachliche Basis zu stellen, werden in diesem Beitrag zunächst die generellen Charakteristika der Berechnungsmodelle für den alten und neuen NA gegenübergestellt. In dem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass bez. der Neueinschätzung sämtliche Modelle und Eingangsdaten in [6] bereitgestellt werden und in [7] als herunterladbarer Daten-Service zur Verfügung stehen, um ein Maximum an Transparenz zu gewährleisten.

Eine direkte Gegenüberstellung der Erdbebenzonenkarte des derzeit gültigen NA:2011 und des im Oktober 2018 veröffentlichten Entwurfs, wie in Bild 1 gezeigt, macht sofort deutlich, dass beide Karten derart unterschiedlich parametrisiert sind, dass ein quantitativer Vergleich auf direktem Weg nicht möglich ist. Bild 1a zeigt die Erdbebenzonen des NA:2011, basierend auf den Referenz-Spitzenwerten der Bodenbeschleunigungen  $a_{gR}$  in m/s<sup>2</sup>. In Bild 1b ist die Karte der Plateau-Werte der elastischen spektralen Antwortbeschleunigung  $S_{ap,R}$  in m/s<sup>2</sup> gemäß NA:2018 dargestellt.

Diese grundsätzlich unterschiedlichen Parametrisierungen können nur unter einschränkenden Annahmen in Beziehung zueinander gesetzt werden. Die Annahmen, um die Karten in gewissem Sinne vergleichbar zu machen, werden in diesem Beitrag detailliert beschrieben. Jede der hier vorgestellten vier Varianten ist mit Einschränkungen verbunden und bedarf daher einer Bewertung bzw. Gewichtung. Ein eindeutiger Weg ist, wie bereits erwähnt, nicht möglich. Zudem werden hiermit der ebenso diskutierten Höherbewertung der Erdbebengefährdung die konkreten Tatsachenbefunde gegenübergestellt. Ebenso wird an zwei Beispielen, den Orten Tübingen und Nördlingen, auf spezielle ingenieurseismologische Merkmale und Unterschiede zwischen dem NA:2011 und dem NA:2018 eingegangen.

## 2 Charakteristika der Berechnungsmodelle für die Erdbebenkarten des NA:2011 und des NA:2018

In diesem Abschnitt werden die grundlegenden Charakteristika der Berechnungsmodelle der hier im Fokus stehenden Erdbebenkarten des NA:2011 und NA:2018 (Bild 1) komprimiert dargestellt. Die Karte nach NA:2011 wird hier gemäß der Plattform zur Abfrage der Zugehörigkeit von Orten zu Erdbebenzonen [8] dargestellt und die Karte der spektralen Antwortbeschleunigung, Bild NA.1 im NA:2018, als linke Karte aus Bild 15 von [4] (bzw. linke Karte von Fig. 24 von [3]). In der rechten Karte (Bild 1b) fehlt hier die im NA:2018 in Rot hervorgehobene Konturlinie bei  $S_{ap,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$ . Auf diese wird separat in Abschn. 4 eingegangen.

### 2.1 Methodische Spezifika der Karte der Erdbebenzonen des NA:2011

Die Beauftragung zur Berechnung der probabilistischen Karte der Erdbebengefährdung Deutschlands für das seinerzeit auf der Tagesordnung stehende Nationale Anwendungsdokument (NAD) erfolgte im Jahre 1993 durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin (DIBt). Deziert wurde eine in makroseismischen Intensitäten parametrisierte Karte im Rahmen der probabilistischen seismischen Hazard-Abschätzung (PSHA) für eine Überschreitenswahrscheinlichkeit von 10% innerhalb einer Standzeit von 50 Jahren verlangt, was einer mittleren Wiederholungsperiode von  $RP = 475$  Jahren [a] entspricht. (Anm.: In den deutschen Versionen des EC 8 wird der englische Begriff „return period“ mit „Wiederkehrperiode“ übersetzt. Dementsprechend wird „Wiederkehrperiode“ auch in den NA verwandt. Hierbei ist jedoch, wie Abrahamson [9] betont, strikt zu unterscheiden zwischen der unterschiedlichen Bedeutung von „return period“ und „recurrence period“. Zur Unterscheidung beider Begriffe im Deutschen verwenden die Verfasser in ihren neueren Beiträgen möglichst für den im Rahmen von PSHA korrekten Begriff der „return period“ die Übersetzung „Wiederholungsperiode“ im Gegensatz zur „Wiederkehrperiode“ für „recurrence period“.) Die Karte

wurde im Juli 1995 vorgelegt (aufgrund einer entsprechenden Pressemitteilung der Öffentlichkeit zuerst in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung am 25. Juli 1995 vorgestellt, gefolgt von weiteren Pressemeldungen). Sie konnte nach der vertraglich vereinbarten Prüfung im Jahre 1996 publiziert werden [10].

Bereits im Vorfeld dieses Projekts wurde seitens der Mitarbeiter des GFZ Potsdam dafür plädiert, die Erdbebengefährdungskarte für PGA zu berechnen. Dies war seinerzeit zum einen etablierter Standard; andererseits übernahm der Erstautor 1992 im Rahmen des Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) die Leitung des Regionalzentrums für Europa nördlich von  $44^\circ\text{N}$  mit der Zielstellung der Berechnung der Erdbebengefährdungskarte für die Region mit der Parametrisierung in PGA. Es wäre also für diesbezügliche Arbeiten im GFZ Potsdam effizient gewesen, in beiden parallel laufenden Projekten methodisch ähnlich vorgehen zu können. Die erste PGA-basierte Karte für die genannte GSHAP-Region wurde 1996 vorgestellt [11], die finale Karte 1997 [12], wohingegen die Abschlussveröffentlichung einem Sonderband zu GSHAP vorbehalten blieb [13].

Trotz der beschriebenen methodischen Standards zur Berechnung der Erdbebengefährdung war es im Rahmen der Entwicklung erdbebengerechter Baunormen in den 1990er-Jahren in etlichen Ländern noch üblich, anstatt von PGA, d. h. den beobachteten Spitzenbodenbeschleunigungen, von intensitätsbasierten Karten auszugehen. Das traf auch auf Deutschland zu, wo in der BRD in der Tradition der bis dato gültigen DIN 4149:1981 [14] eine intensitätsbasierte Karte als Ziel vorgegeben war. Den Intensitäten wurden „Regelwerte für die Horizontalbeschleunigung“  $a_0$  „bei harten Festgesteinen“ zugeordnet. In dieser Norm wird explizit darauf hingewiesen, dass diese „angenommenen Beschleunigungen ... nicht identisch mit den bei Erdbeben bereits gemessenen Bodenspitzenbeschleunigungen“ sind, „die höher liegen ...“. Physikalische oder empirisch abgesicherte Beziehungen zwischen PGA und  $a_0$  existieren nicht. In der DIN 4149:2005-04 [15], in die die Resultate aus [10] einfließen, werden die vormaligen „angenommenen Beschleunigungen“ nach [14] nun als „Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung  $a_g$ “ bezeichnet. Im EC 8, in der Fassung der DIN EN 1998-1:2010-12 [16], ist es „ $a_{gR}$ “, die „Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung für Baugrundklasse A“. Die Baugrundklasse A, die für den NA:2018 modifiziert wurde, bezeichnet hier „Fels oder andere felsähnliche geologische Formation (mit  $v_{S30} > 800 \text{ m/s}$ ) mit höchstens 5 m weicherem Material an der Oberfläche“.  $v_{S30}$  bezeichnet die mittlere Scherwellengeschwindigkeit innerhalb der oberen 30 m. Für den NA:2018 werden Baugrundklassen A, B und C für die oberen ca. 20 m mit geologischen Untergrundklassen R, S und T kombiniert. Es gilt  $a_g = a_{gR}$  für die „Referenz-Wiederkehrperiode“ von 475 Jahren. Im NA:2011 werden die  $a_g$ -Werte von DIN 4149:2005-04 [15] unverändert übernommen und als „Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung  $a_{gR}$ “ benannt.

Nach diesem Exkurs zu Begriffsbestimmungen, die im Folgenden noch von Bedeutung sein werden, nun zurück zur PSHA-Methodik für die Karte des NA:2011. Für das Forschungsvorhaben im Rahmen des Vertrags des GFZ mit dem DIBt wurde ein durchgängig intensitätsbasierter probabilistischer Berechnungsweg, d.h. vom entsprechenden Erdbebenkatalog über Häufigkeits-Intensitätsbeziehungen für seismische Quellregionen bis zum Endergebnis, entwickelt [10]. Unsicherheiten in Modellen und Parametern wurden noch nicht berücksichtigt. Die jeweils genutzten sog. „best estimates“ von Parametern und Modellen entsprechen im Vergleich zu modernen PSHA den berechneten Mittelwerten.

Bestandteil des DIBt-Projekts war es zudem, eine Definition von Intervallen berechneter Intensitäten für eine Karte von Erdbebenzonen vorzuschlagen. Jedoch war die Zuordnung von effektiven oder Design-Bodenbeschleunigungswerten  $a_g$  zu den Intensitätsintervallen der Erdbebenzonen ausdrücklich nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens. Die berechnete Karte mit den vorgeschlagenen Intensitätsintervallen der Erdbebenzonen 2 und 3 wurde direkt für den Entwurf des damaligen NAD übernommen. Die untere Intensitätsbegrenzung für die Darstellung der Erdbebenzone 1 wurde jedoch im Normenausschuss modifiziert. Als Norm eingeführt wurde die Erdbebenzonenkarte schließlich als DIN 4149:2005-04 mit den vier Erdbebenzonen 0, 1, 2 und 3 [15]. Diese Erdbebenzonenkarte fand sodann weitere Anwendung für den NA zum EC 8 von 2011, d.h. in der DIN EN 1998/NA:2011-01 [2].

Tab. 1 zeigt die jeweiligen Intensitätsbereiche dieser Zonen und die zugeordneten Referenz-Spitzenwerte der Bodenbeschleunigung  $a_{gR}$ .

Formen der elastischen Antwortspektren für den NA:2011 wurden deterministisch anhand von Simulationsrechnungen im Rahmen zweier Studien von Schwarz et al. [19] sowie von Brüstle und Stange [20] ermittelt. Aus beiden resultierte im Jahre 1999 eine Kompromisslösung im Rahmen der Normungsarbeit.

Innerhalb der Erdbebenzonen werden die Parameter, die die seismischen Lastannahmen beschreiben, als konstant angenommen. Folglich sind die Erdbebenzonenengrenzen mit Sprüngen der Parameter verbunden.

Bezüglich der Untergrundbedingungen, für die moderne Karten der Erdbebengefährdung gelten, wird standardmäßig ein Festgesteinsuntergrund angenommen. Demgegenüber ist es ein prinzipielles Merkmal intensitätsbasierter PSHA, dass sie für einen mittleren geologischen Untergrund gelten, der für das Untersuchungsgebiet typisch ist. Genauer gesagt ist der mittlere Untergrund gemeint, der für bebauten Gebiete von Ortschaften typisch ist, d.h. die Orte, aus denen makroseismische Beobachtungen vorliegen. Diese makroseismischen Daten fließen in empirische Relationen ein, die im Rahmen der Berechnungsprozedur genutzt werden. Diese Daten repräsentieren

**Tab. 1** Definition der Intensitätsbereiche der Erdbebenzonen der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 und Zuordnung der Referenz-Spitzenwerte der Bodenbeschleunigung  $a_{gR}$   
Definition of the intensity ranges of the earthquake zones of DIN EN 1998-1/NA:2011-01 and assignment of the reference peak values of the ground acceleration  $a_{gR}$

Erdbebenzone	Intensitätsintervall	Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung* $a_{gR}$ m/s <sup>2</sup>
0	$6 \leq I < 6,5$	–
1	$6,5 \leq I < 7$	0,4
2	$7 \leq I < 7,5$	0,6
3	$7,5 \leq I$	0,8

\* Anmerkung: Die  $a_{gR}$ -Werte wurden nicht den Intervallmitten der Intensitätsbereiche zugeordnet, sondern folgenden rechnerischen Bezugsintensitäten  $I_m$ . In Zone 1 gilt  $I_m = 6,25$ , in Zone 2  $I_m = 7$ , in Zone 3  $I_m = 7,5$  [17, 18]. Die größte berechnete Intensität in Zone 3 beträgt  $I = 8,1$  [10].

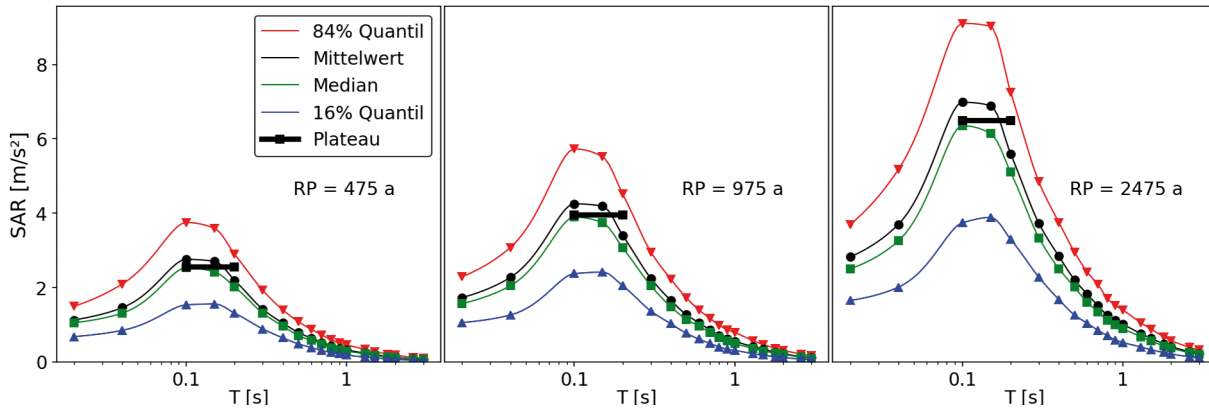
daher einen mittleren Untergrund, der sich aus der Gesamtheit der Orte ergibt, aus denen die genannten Intensitätsdaten vorliegen. Untersuchungen dazu, welcher Art ein solcher mittlerer Untergrund wäre, ausgedrückt z. B. in Form von  $v_{S30}$ -Werten, liegen für Deutschland nicht vor.

Zu den erwähnten empirischen Relationen, die in PSHA einfließen, gehören insbesondere Dämpfungsbeziehungen der Intensität mit der Entfernung. Für das Untersuchungsgebiet entwickelten Stromeyer und Grünthal [21] eine entsprechende Relation, die in [3] zudem in Momentmagnituden  $M_w$  kalibriert vorliegt.

## 2.2 Methodische Charakteristika der Karte der spektralen Antwortbeschleunigung des NA:2018

Die Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands für den NA:2018 zum EC 8 [3–7], ebenso im Auftrag des DIBt, erfolgte unter der Prämisse der möglichst vollständigen Einbeziehung der Unsicherheiten in Modelle und berücksichtigte Ausgangsdaten für die PSHA.

Hierbei wurden epistemische Unsicherheiten als Bestandteil eines Logischen Baums (logic tree LT) mit 4040 Endzweigen behandelt, wobei angestrebt wurde, alle Unsicherheiten in Modellen und Parametern in einem ausgewogenen und harmonisierten Detaillierungsgrad zu berücksichtigen. Die Vorgehensweise ermöglicht die gesicherte Berechnung von Mittelwerten und Quantilen der betrachteten 19 Spektralwerte im Periodenbereich von  $T = 0,02$ – $3,0$  s sowie der makroseismischen Intensitäten. Die Resultate für  $T = 0,02$  s können PGA-Werten gleichgesetzt werden. Routinemäßig werden alle Ergebnisse für die  $RP = 475, 975$  und  $2\,475$  a bereitgestellt: Das sind hier die gewichteten arithmetischen Mittelwerte anhand des LT, die Medianwerte sowie das 16 %- und das 84 %-Quantil. Details zur Prozedur können den Arbeiten [3, 4] entnommen werden. Der gesamte Input ist anhand der Daten von [6, 7] verfügbar.



**Bild 2** Gefährungskonsistente Antwortspektren (UHS) für Aachen für mittlere Wiederholungsperioden  $RP = 475, 975$  und  $2\,475$  Jahre für die Quantile von 16%, 50% und 84% sowie Mittelwerte; Illustration der Ermittlung der Mittelwerte aus den Spektralampplituden für die Perioden  $T = 0,1$  s,  $0,15$  s und  $0,2$  s, welche das Plateau der UHS bilden (fetter schwarzer Balken im Bild) und in der Karte der spektralen Antwortbodenbeschleunigungen (SRA) des E DIN EN 1998-1/NA:2018-10 (Bild NA.1) dargestellt sind (nach [23])

Uniform hazard spectra (UHS) for the city of Aachen for mean return periods  $RP = 475, 975$  and  $2\,475$  a respectively for quantiles of 16%, 50% and 84% and for mean values; illustration of the determination of the mean values from the spectral amplitudes for the periods  $T = 0,1$  s,  $0,15$  s and  $0,2$  s, which form the plateau of the UHS (black bar in bold) and which are shown in the map of the spectral response soil accelerations (SRA) of E DIN EN 1998-1/NA:2018-10 (Fig. NA.1) (according to [23])

**Tab. 2** Komprimierter Vergleich der methodischen Besonderheiten von DIN EN 1998-1/NA:2011-01 und E DIN EN 1998-1/NA:2018-10  
Compressed comparison of the methodological features of DIN EN 1998-1/NA:2011-01 and E DIN EN 1998-1/NA:2018-10

Methodisches Merkmal	DIN EN 1998-1/NA:2011-01	E DIN EN 1998-1/NA:2018-10
Seismizitätsdatenbasis und Ereignishäufigkeiten etc.	intensitätsbasiert	magnitudenbasiert
Probabilistische Berechnung	ja	ja
Einbeziehung von Unsicherheiten in Ausgangsdaten	nein, nur Nutzung von „best estimates“ (entspricht Mittelwerten)	ja, volle Einbeziehung der Unsicherheiten in Modellen und Ausgangsdaten – damit sind gewichtete arithmetische Mittelwerte sicher angebar sowie sämtliche Quantile
Berechnung für bestimmten Untergrundtyp	nein, Berechnung für nur einen mittleren Untergrund, der typisch für die Orte ist, aus den makroseismische Daten vorliegen, die in genutzte Parameterbeziehungen eingeflossen sind	ja, Berechnung für Festgestein mit $v_{S30} = 800$ m/s <sup>2</sup>
Ergebnisdarstellung der Berechnungen	als „best estimate“, entspricht Mittelwerten	Nutzung der Mittelwerte für NA; alle Quantile verfügbar
Ergebnisparametrisierung der Berechnungen für die Erdbebenkarte	in makroseismischen Intensitäten	in spektralen Antwortbodenbeschleunigungen für 19 Schwingungsperioden sowie makroseismischen Intensitäten – daraus wurden aus den drei größten spektralen Antwortbeschleunigungen (für $T = \{0,1, 0,15, 0,2\}$ s) die jeweiligen Mittelwerte ermittelt und diese im Bild NA.1 vom NA:2018 als Karte dargestellt
Umformung der Ergebnisdarstellung in einen anderen Parameter	ja, Zuordnung von Referenz-Spitzenbodenbeschleunigungen zu makroseismischen Intensitäten – diese sind nicht gleichzusetzen mit beobachteten Spitzenbodenbeschleunigungen; deterministische Ermittlung von Spektrumformen mittels Simulationsrechnungen	nein, keine Umformung, lediglich Mittelwertbildung für die elastischen Design-Antwortspektren
Ergebnisdarstellung: konstant in Zone oder punktgenau	konstant in Erdbebenzone	punktgenau

Anstatt der gefährdungskonsistenten Antwortspektren (uniform hazard spectra UHS), die in [22] für beliebige Punkte innerhalb Deutschlands bereitgestellt werden, nutzt der NA:2018 die aus der Anwendung des LT berechneten Mittelwerte für die Spektralamplituden der Perioden  $T = 0,1$  s,  $0,15$  s und  $0,2$  s, aus denen wiederum die Mittelwerte gebildet werden. Diese Berechnungen erfolgen für Festgesteinsuntergrund mit  $v_{S30} = 800$  m/s (im NA:2018 bezeichnet mit dem Untergrundverhältnis A-R, d.h. der Baugrundklasse A (unverwitterte Festgesteine mit  $v_{S30} > 800$  m/s und geologischer Untergrundklasse R („Fels, Festgestein“)).

Bild 2 illustriert die Vorgehensweise zur Ermittlung des Plateauwerts in den elastischen Beschleunigungsantwortspektren anhand der UHS für Aachen für die drei genutzten RP, die drei Quantile sowie die Mittelwerte. Die Karte der so gewonnenen Plateaubereiche der Antwortspektren,  $S_{ap,R}$ , für die mittlere Wiederholungsperiode  $RP = 475$  a zeigt Bild NA.1 des NA:2018 (Bild 1b).

Alle Ergebnisdarstellungen fußen also prinzipiell auf möglichst umfassenden Beobachtungsdaten, ohne dass Umwandlungen von resultierenden Parametern erfolgten. Lediglich die gewonnenen spezifischen UHS wurden für die Nutzung als elastisches Beschleunigungsantwortspektrum (Bild NA.2 vom NA:2018) bez. ihrer Spektrumform den Vorgaben des EC 8 angepasst [24].

Die seismischen Lastannahmen werden, wie in [3] kurz beschrieben, punktgenau in einem Gitter von  $0,01 \times 0,01$  Längen- bzw. Breitengraden bereitgestellt. Hierfür wird ein spezielles Interpolationsverfahren genutzt, welches auf den Daten der 16 umliegenden Berechnungspunkte im Gitter von  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  beruht.

### 2.3 Gegenüberstellung der methodischen Eigenschaften der Erdbebenkarten der beiden Nationalen Anwendungsdokumente

Zur besseren Übersicht werden in Tab. 2 die wesentlichen Merkmale der methodischen Besonderheiten in der Berechnung der Erdbebenkarten für den NA:2011 und den NA:2018 einander gegenübergestellt. Damit wird deutlich, dass sich Vorgehensweisen und Darstellungen der Resultate der seismischen Gefährdungsabschätzungen grundsätzlich voneinander unterscheiden. Eine Inbeziehungsetzung der Referenzwerte der Spitzenbodenbeschleunigung vom NA:2011 mit den Plateaubereichen,  $S_{ap,R}$ , des NA:2018 stößt damit auf prinzipielle Einschränkungen.

## 3 Möglichkeiten, die Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem NA in Beziehung zu setzen

Ein zentrales Element, um den NA:2011 mit dem NA:2018 in Beziehung zu setzen, stellt die Parameterrelation der makroseismischen Intensität mit der Boden-

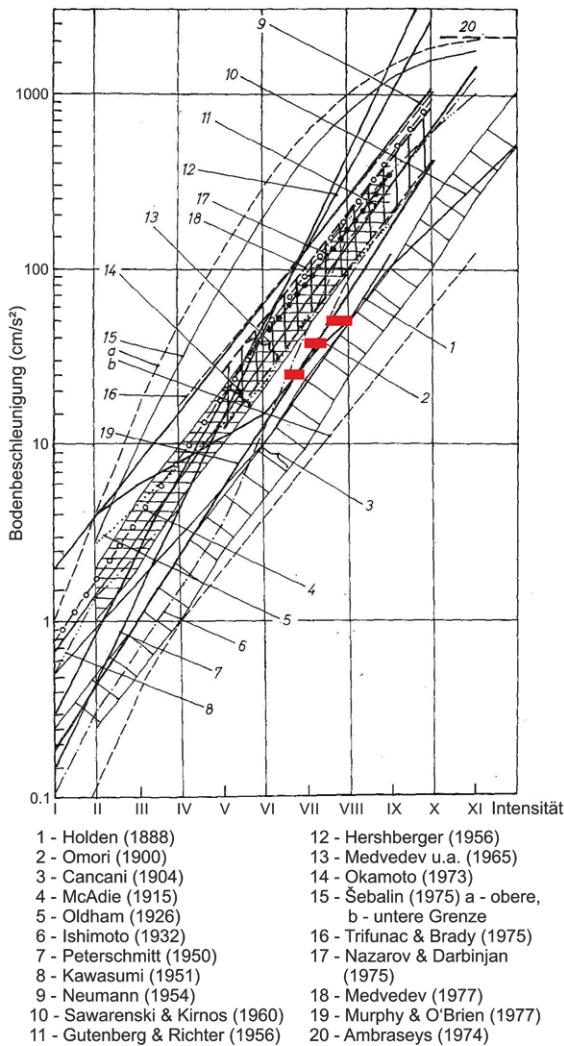
beschleunigung dar. Denn die Grundlage der Karte der Erdbebenzonen des NA:2011 ist die makroseismische Intensität und die Basis für die Karte des NA:2018 ist die physikalische Bodenbeschleunigung. Beide Parameter, die makroseismische Intensität und die physikalische Bodenbeschleunigung bzw. die elastische Antwortbeschleunigung, sind jedoch grundsätzlich verschieden – obwohl beide jeweils ein Maß für die Stärke von Erschütterungen des Untergrunds bei Erdbeben sind. In Abschn. 3.1 wird auf diesen Unterschied näher eingegangen, um die Grenzen der direkten Übertragbarkeit aufzuzeigen. Die Abschn. 3.2–3.5 beschreiben sodann vier Varianten, wie der NA:2011 und der NA:2018 zueinander in Beziehung gesetzt werden können.

### 3.1 Die makroseismische Intensität und die Zuordnung von Bodenbeschleunigungen

Die makroseismische Intensität repräsentiert eine Klassifikation der Stärke von Bodenerschütterungen während eines Erdbebens auf der Grundlage beobachteter Effekte an einem Ort, d.h. als *ein* repräsentativer Wert für z.B. einen Wohnort bis zur Größe einer mittelgroßen Stadt oder aber für einen Stadtteil einer Großstadt. Beobachtete Intensitäten werden als ganzzahlige Größen einer zwölfteiligen Skala erfasst. Unsichere Bewertungen werden als z.B.  $6-7^\circ$  angegeben, wobei keinesfalls eine Halbgradgenauigkeit impliziert wird. Lediglich im Rahmen von numerischen Prozeduren können Dezimale von Intensitäten berechnet werden. Die quantitative Stärkebestimmung von Erdbeben aus Zeiten vor der Einrichtung seismischer Stationsnetze ist nur anhand der makroseismischen Methodik möglich. Die Magnitude eines Erdbebens lässt sich makroseismisch mit in etwa derselben Unsicherheit bestimmen wie anhand von individuellen instrumentellen Aufzeichnungen. Erst die Nutzung hinreichend dichter seismischer Stationsnetze ermöglicht genauere Angaben von Magnituden. Bezüglich weiterer grundsätzlicher Informationen zur Intensität von Erdbeben sei auf ein entsprechendes Enzyklopädie-Kapitel [25] verwiesen.

Es ist unzweifelhaft, dass die beobachteten Effekte, auf denen die Intensitätsbewertungen beruhen, ein Produkt realer physikalischer Bodenbewegungsparameter sind. Ein solcher Zusammenhang ist jedoch komplex und nur eingeschränkt anhand einfacher Korrelationen darstellbar. Versuche, die Stärke von Erdbeben und die hierbei beobachteten Effekte in Form von physikalischen Parametern wie die der beobachteten Spitzenbodenbeschleunigung PGA auszudrücken, reichen bis in das letzte Viertel des vorletzten Jahrhunderts zurück (s. Zusammenstellung in [26]). Zur Mitte der 1970er-Jahre lagen sodann genügend Beobachtungsdaten zu PGA vor, dass sich zeigte, dass die Streuung beobachteter PGA-Werte, aufgetragen über beobachteten Intensitätswerten, bis zu zwei Größenordnungen umfasst [27, 28]. Aus Intensitäten abgeleitete physikalische Bodenbewegungsparameter, wie PGA, haben somit eine begrenzte Aussagekraft. Aus die-

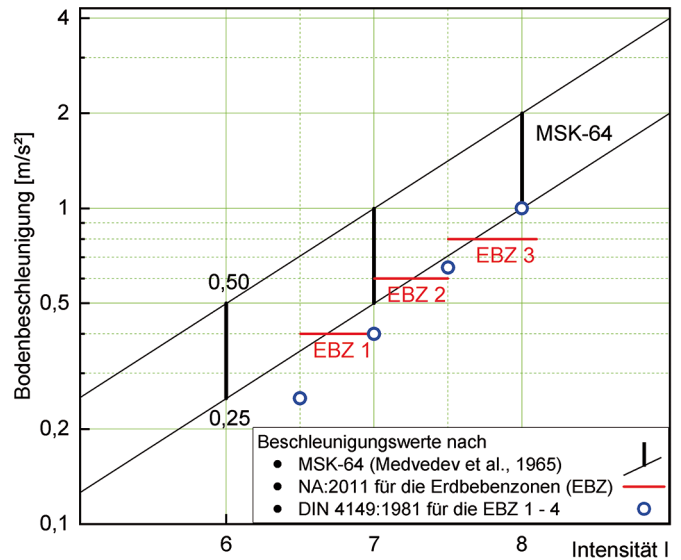




**Bild 3** Zusammenstellung „historischer“ empirischer Beziehungen zwischen Bodenbeschleunigungen und makroseismischen Intensitäten bis 1977, ergänzt, nach Grünthal [26] – bez. der Referenzen der dargestellten Relationen, die in der Legende genannt sind, sei auf [26] verwiesen; die Daten zu 15 nach Shebalin [28] geben mit *a* die untere und mit *b* die obere Grenze an, mit 20 wird nach Ambraseys [27] die seinerzeit zu erwartende max. mögliche Bodenbeschleunigung benannt; in Rot sind zusätzlich die Referenz-Bodenbeschleunigungen der Erdbebenzonen des NA:2011 für die jeweiligen Intensitätsintervalle eingetragen, die für die Erdbebenzonen gelten; 13 bezeichnet die Beschleunigungszuordnung zu Intensitäten gemäß der makroseismischen Skala MSK-64 [31]

Compilation of “historical” empirical relationships between soil accelerations and macroseismic intensities until 1977, supplemented, according to Grünthal [26] – regarding the references of the shown relations, which are mentioned in the legend, please refer to [26]; the data for 15 according to Shebalin [28] indicate the lower limit with *a* and the upper limit with *b*; named with 20, the max. possible soil acceleration to be expected at that time according to Ambraseys [27]; the reference soil accelerations of the earthquake zones of NA:2011 for the respective intensity intervals that apply to the earthquake zones are added to the original figure in red; 13 denotes the acceleration assignment to intensities according to the macroseismic scale MSK-64 [31]

sem Grunde wurde für die Europäische Makroseismische Skala, EMS-98 [29], davon abgesehen, den Intensitätsgraden Werte von PGA zuzuordnen ([29], S. 54 f.), was in früheren Skalen verschiedentlich üblich war. Bezüglich des Kernteils der EMS-98 sei auf dessen deutsche Übersetzung verwiesen [30].

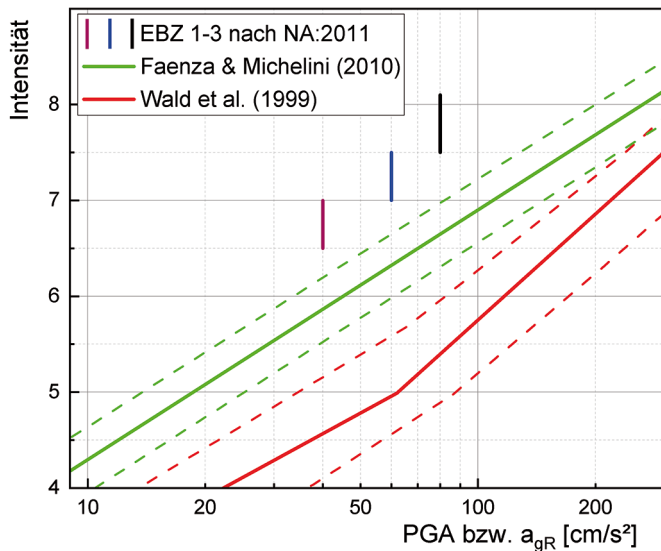


**Bild 4** Zuordnung von Intensitäten mit max. Bodenbeschleunigungen gemäß MSK-64 [31] im Vergleich zu den entsprechenden Bodenbeschleunigungen und Intensitätsintervallen der Erdbebenzonen (EBZ) 1 bis 3 nach NA:2011; zusätzlich sind die Bodenbeschleunigungen gezeigt, die für die vier EBZ nach der Erdbebenzonenkarte der DIN 4149:1981 [14] gelten

Assignment of intensities with maximum ground accelerations according to MSK-64 [31] in comparison with the corresponding soil accelerations and intensity intervals of the earthquake zones (EBZ) 1 to 3 of the NA:2011; in addition, the ground accelerations are shown which are valid for the four EBZ of the earthquake zone map of DIN 4149:1981 [14]

Eine Zusammenstellung empirischer Beziehungen zwischen Bodenbeschleunigungen und makroseismischen Intensitäten, die bis 1977 publiziert wurden, zeigt Bild 3. Hier sind zusätzlich die Referenz-Bodenbeschleunigungen vom NA:2011 (Tab. 1), welche unverändert von der DIN 4149 von 2005 [15] übernommen und bereits Ende der 1990er-Jahre im Rahmen der Normenausschussarbeiten entwickelt wurden, für die zugehörigen jeweiligen Intensitätsintervalle eingetragen. Es ist ersichtlich, dass diese Normenwerte im unteren Bereich damals veröffentlichter empirischer Beziehungen liegen. Sie entsprechen recht gut dem wiederum unteren Bereich von Beschleunigungswerten der seinerzeit auch in Deutschland weit verbreiteten makroseismischen Skala MSK-64 (nach Medvedev, Sponheuer und Kárník [31]), deren Beschleunigungszuordnung zu Intensitäten im Bild mit den mit 13 gekennzeichneten Graphen angegeben ist.

Den Bereich der Zuordnung von Intensitäten zu max. Bodenbeschleunigungen gemäß MSK-64 im Vergleich mit den entsprechenden Zuordnungen von Bodenbeschleunigungen zu entsprechenden Intensitätsintervallen der Erdbebenzonen (EBZ) 1–3 nach NA:2011 zeigt Bild 4. Auch hier wird deutlich, dass die Bodenbeschleunigungen in den EBZ des NA:2011 recht gut dem unteren Wertebereich gemäß MSK-64-Skala entsprechen. Zusätzlich sind in Bild 4 die Bodenbeschleunigungen dargestellt, die für die vier EBZ nach der Erdbebenzonenkarte der DIN 4149:1981 [14] gelten. Diese Erdbebenzonenkarte war bis 2005 normungsrelevant. Die Ähnlichkeit in



**Bild 5** Auswahl modernerer empirischer Relationen zwischen max. Bodenbeschleunigungen PGA und Intensitäten nach Wald et al. [32] und Faenza und Michelini [33] mit ihren Unsicherheitsbereichen im Vergleich mit den  $a_{gR}$ -Werten der drei EBZ des NA:2011  
 Selection of more modern empirical relations between max. soil accelerations PGA and intensities according to Wald et al. [32] and Faenza and Michelini [33] with their uncertainty ranges in comparison with the  $a_{gR}$  values of the three EBZ of NA:2011

der Zuordnung zwischen den genannten Parametern in beiden Normengenerationen ist auffällig.

Modernere empirische Relationen zwischen max. Bodenbeschleunigungen (PGA) und Intensitäten zeigt Bild 5. Auch hier sind die zugehörigen Werte der drei EBZ des NA:2011 ergänzt. Das Bild beschränkt sich auf die zwei gebräuchlichsten Relationen mit ihren Unsicherheitsbereichen. Die Relation nach Wald et al. [32] wird hauptsächlich in den USA und die Beziehung nach Faenza und Michelini [33], die auf italienischen Daten beruht, in Europa angewandt. Hinzuweisen ist darauf, dass erstere Relation [32] auf Werten nach der Modified-Mercalli- (MM) Skala von 1993 beruht, letztere [33] auf Daten nach der Mercalli-Cancani-Sieberg- (MCS) Skala von 1932 und die Intensitäten der EBZ auf der MSK-64-Skala von 1965 [31]. Weiteres zu den genannten Skalen, wie MM, MCS und MSK, in [25, 26].

Intensitätsbewertungen nach den genannten Skalen sind jedoch nach Musson et al. [34] hinreichend äquivalent, sodass die vorgenommenen Vergleiche zulässig sind. Unterschiede zwischen den Skalen bestehen insbesondere in der Güte und dem Gewicht subjektiver Faktoren in der Bestimmung von Intensitäten. Diese Aussagen gelten insbesondere auch für eine Einbeziehung von Intensitätswerten anhand der EMS-98 [29], auf der Resultate im Rahmen der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands [3, 4] beruhen.

Trotz der prinzipiellen Unschärfe in Beziehungen zwischen Intensitäten und PGA scheint die Relation nach Faenza und Michelini [33] recht brauchbare Resultate zu

liefern. Daher wird auf diese im entsprechenden Beitrag in der o. g. Enzyklopädie [25] explizit hingewiesen. Zudem beruhen auf dieser Relation intensitätsbasierte Erdbebengefährdungskarten, die im Rahmen der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung für die Schweiz [35] gewonnen wurden.

Die Bodenbeschleunigungen  $a_{gR}$  der EBZ des NA:2011 weisen signifikant kleinere Werte als die PGA auf, die nach der Relation nach Faenza und Michelini [33] zu erwarten wären. Noch größer ist die Differenz bezüglich der PGA gemäß Wald et al. [32].

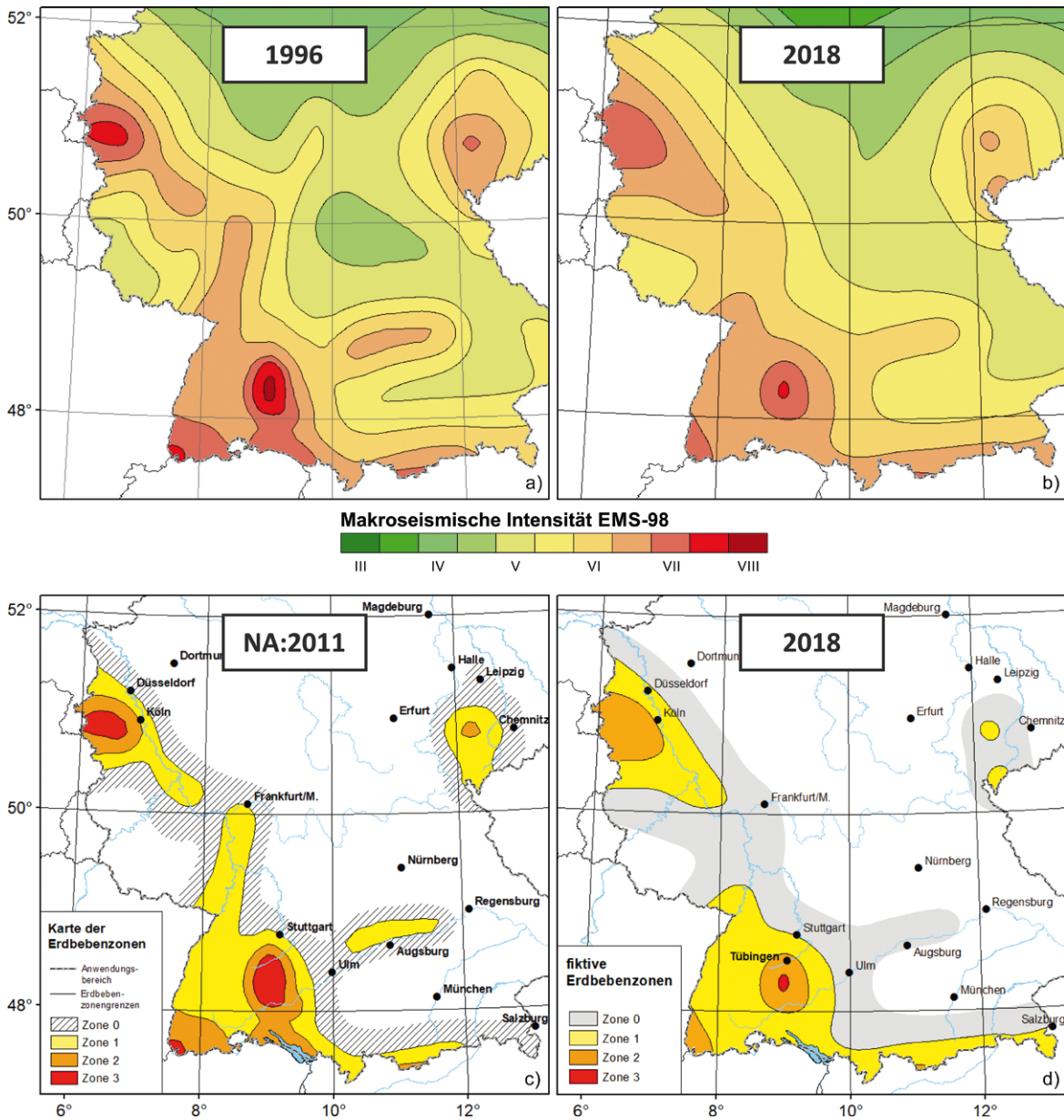
### 3.2 Weg 1: direkter Vergleich intensitätsbasierter Erdbebengefährdungskarten

Eine direkte Möglichkeit des Vergleichs alter und neuer Einschätzung der Erdbebengefährdung für die NA besteht in der Heranziehung der intensitätsbasierten Berechnungen im Rahmen beider Vorhaben, d. h. der Resultate von 1996 [10] und der von 2018 [3, 4]. Da es absehbar war, dass der Vergleich der neuen mit der alten Berechnung von Interesse sein würde, ist, wie in der Einführung erwähnt, eine intensitätsbasierte Karte auch anhand des neuen Berechnungsmodells bereits erstellt und in [3, 4] publiziert worden. Diese intensitätsbasierte Karte diene auch der Plausibilitätskontrolle des neuen Berechnungsmodells, denn sie beruht auf demselben Berechnungsmodell wie die beschleunigungsbasierten Karten. Im vorliegenden Aufsatz werden diese Karten als Bilder 6a, 6b gezeigt, jedoch nur für den relevanten Ausschnitt, in dem Erdbebenzonen definiert sind bzw. eine für normale Hochbauten relevante Erdbebengefährdung existiert. Die geringeren Intensitäten in den Hauptbebengebieten anhand der Neueinschätzung werden in beiden genannten Veröffentlichungen bereits klar herausgestellt.

Entsprechend der Definition der Erdbebenzonen für den NA:2011 (Tab. 2) wurde aus Bild 6a die Karte der Erdbebenzonen dieses NA erstellt (Bild 6c). In analoger Weise wurde die Karte nach der Neueinschätzung (Bild 6b) umgewandelt und Bild 6d generiert. Diese Inbeziehungsetzung alter und neuer Berechnung der Erdbebengefährdung stellt den einzigen direkten Weg dar.

### 3.3 Weg 2: Darstellung einer Zonenkarte mit den $a_{gR}$ -Werten des NA:2011 für entsprechende Konturen der $a_{gR}$ -Karte gemäß NA:2018

Die  $S_{ap,R}$ -Karte kann nach der Gleichung NA.1 laut NA:2018 in eine  $a_{gR}$ -Karte überführt werden, indem die  $S_{ap,R}$ -Werte durch 2,5 dividiert werden. Im Gegensatz zu einer solchen einfachen Division variiert dieser Faktor, wenn das Verhältnis vom Plateau der Antwortbeschleunigung zu PGA für  $RP = 475$  a betrachtet wird. Innerhalb des Untersuchungsgebiets liegt dieser Faktor generell unter 2,5 (Abschn. 3.4). Das heißt, die tatsächlichen PGA-Werte sind generell größer als die durch Division durch



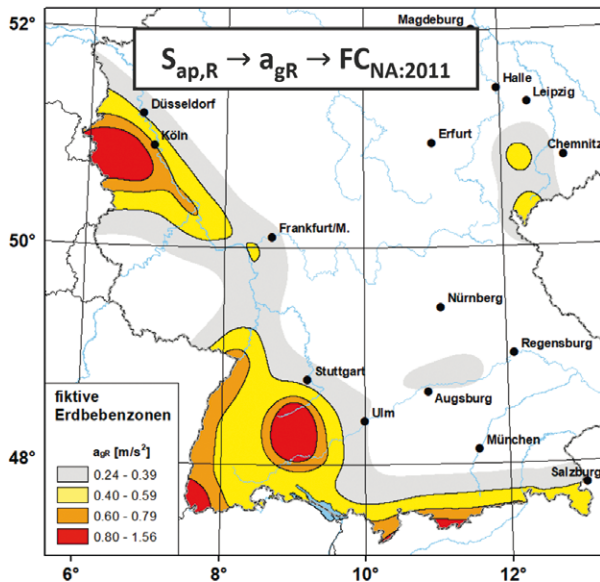
**Bild 6** Vergleich intensitätsbasierter Erdbebengefährdungskarten Deutschlands (Ausschnitt für das Gebiet mit Erdbebenzonen): a) Karte nach der Veröffentlichung von 1996 [10] für den NA:2011, b) Karte nach der Neueinschätzung von 2018 [3, 4], c) Darstellung der obigen Karte (a) entsprechend der Definition der Erdbebenzonen für den NA:2011 (Tab. 2), d) Karte nach der Neueinschätzung (b), dargestellt analog wie Karte (c)  
 Comparison of intensity-based earthquake hazard maps of Germany (section for the area with earthquake zones): a) map after publication of 1996 [10] for NA:2011, b) map after reassessment of 2018 [3, 4], c) display of the above map (a) according to the definition of earthquake zones for NA:2011 (Tab. 2), d) map after the reassessment (b), displayed analogously to map (c)

2,5 erhaltenen  $a_{gR}$ -Werte. Dieser Effekt ist in Gebieten geringer Gefährdung stärker ausgeprägt als in Gebieten höherer Gefährdung.

Bild 7 zeigt die  $a_{gR}$ -Karte im Farbcode der bisherigen Norm NA:2011, die aus der  $S_{ap,R}$ -Karte durch o. g. Division erstellt wurde. Hierbei werden, wie in der bisher genutzten Erdbebenzonenkarte, die  $a_{gR} = 0,4 \text{ m/s}^2$ -Kontur als Begrenzung der Zone 1 sowie die Konturen bei  $a_{gR} = 0,6 \text{ m/s}^2$  und  $a_{gR} = 0,8 \text{ m/s}^2$  als Begrenzungen der Zonen 2 bzw. 3 dargestellt. Die Erstreckung der Zone 0 anhand der Karte von Bild 7 entspräche in etwa der  $0,6 \text{ m/s}^2$ -Kontur in der  $S_{ap,R}$ -Karte, da  $S_{ap,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$  dividiert durch  $2,5 a_{gR} = 0,24 \text{ m/s}^2$  als deren äußere Begrenzung ergibt. Anhand der so gewonnenen Karte fiktiver

Erdbebenzonen würden im Südwesten Deutschlands im Vergleich zur Karte der Erdbebenzonen des NA:2011 (Bild 6c) etliche Gebiete der Zone 1 wegfallen (z. B. im nördlichen Oberrheingraben und zwischen Altmühl und Donau). Zone 2 würde sich weiter nach Norden entlang des Rheins ausdehnen, allerdings am Hochrhein fast völlig entfallen, sowie gänzlich nördlich des Bodensees. Zone 3 würde in der Umgebung von Basel ein kleineres Gebiet einnehmen, jedoch fiel sie in einer Umgebung der Albstadt-Herdzone größer aus.

Ein Mangel in der Vorgehensweise zur Erstellung des Bilds 7 besteht darin, dass hier Zuordnungen von Referenzwerten der Bodenbeschleunigung  $a_{gR}$  zu makroseismischen Intensitäten Anwendung finden, die unzurei-



**Bild 7** Darstellung der mittels Division durch 2,5 aus der  $S_{ap,R}$ -Karte erstellten  $a_{gR}$ -Karte im Farbcode (FC) der bisherigen Norm NA:2011; die  $0,4\text{-m/s}^2$ -Kontur der  $a_{gR}$ -Karte entspricht wie im NA:2011 der unteren Begrenzung der Zone 1, die Konturen bei  $0,6\text{ m/s}^2$  und bei  $0,8\text{ m/s}^2$  den unteren Begrenzungen der Zonen 2 und 3  
Representation of the  $a_{gR}$  map created by division through 2.5 from the  $S_{ap,R}$  map in the colour code (FC) of the previous NA:2011; the  $0.4\text{ m/s}^2$  contour of the  $a_{gR}$  map corresponds, as in NA:2011, to the lower boundary of zone 1, and the contours at  $0.6\text{ m/s}^2$  and at  $0.8\text{ m/s}^2$  correspond to the lower boundaries of zones 2 and 3, respectively

chend durch Fakten anhand von Beobachtungsdaten bzw. gut belegten empirischen Beziehungen begründet sind.

Die den makroseismischen Intensitäten zugeordneten  $a_{gR}$ -Werte des NA:2011 sind im Vergleich zu den bei solchen Intensitäten real beobachteten PGA-Werten relativ klein (Abschn. 3.1). Das wird nur zu einem Teil und hauptsächlich in Gebieten geringerer Gefährdung dadurch kompensiert, dass die näherungsweise Bestimmung der PGA aus  $S_{ap,R}$  mittels einfacher Division durch 2,5 den realen PGA-Wert unterschätzt. Werden nun die (gemessen an den zugehörigen Intensitäten zu geringen)  $a_{gR}$ -Werte als Grenzen fiktiver EBZ in einer Karte für PGA verwendet, wird sich eine Überschätzung der Gefährdung, insbesondere in Gebieten mit höheren PGA, ergeben.

### 3.4 Weg 3: Nutzung einer empirischen Beziehung zwischen Intensität und PGA zur Überführung der Karte des NA:2018 in eine intensitätsbasierte Karte gemäß NA:2011

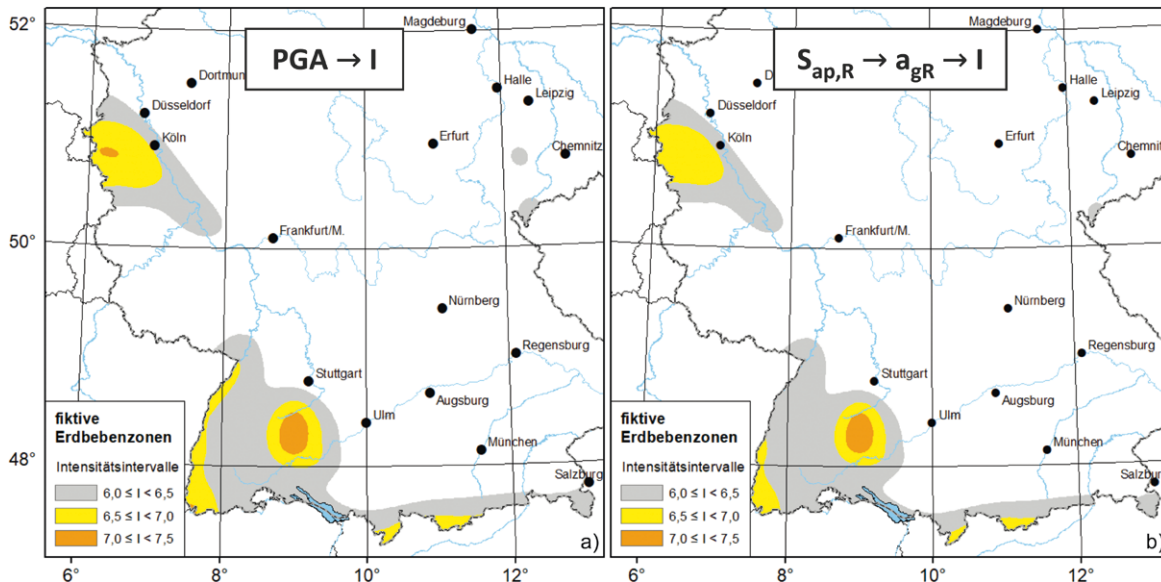
Eine weitere Möglichkeit, die Karte des NA:2018 in eine intensitätsbasierte Karte gemäß NA:2011 zu überführen, bietet die Nutzung einer geeigneten empirischen Beziehung zwischen PGA und makroseismischen Intensitäten. Wie oben bereits erwähnt, erscheint hierfür die entsprechende empirische Beziehung nach Faenza und Michellini [33] als geeignet. In Bild 8a ist die entsprechende intensitätsbasierte Karte wiedergegeben, die direkt aus der An-

wendung der Relation aus [33] auf die PGA-Karte als Bestandteil der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands folgt, d.h. die Karte von Fig. 8–10 nach [6] für  $RP = 475$  a und für Mittelwerte. Die Karte von Bild 8a ist auch hier gemäß der Definition der Erdbebenzonen vom NA:2011 dargestellt. Es ist auffällig, dass die so gewonnene Karte fiktiver Erdbebenzonen deutlich kleinere Zonengebiete ausweist. Im Vergleich mit der Karte des NA:2011 fallen die Intensitäten sogar flächendeckend kleiner oder höchstens gleich aus: EBZ 3 entfällt völlig, Zone 2 ist lediglich im Albstädter Herdgebiet sowie in einem Areal mit sehr geringer Ausdehnung südöstlich von Aachen ausgewiesen. Am Bodensee und Hochrhein wird die EBZ 2 aus NA:2011 durch Zone 0 ersetzt, weite Teile des nördlichen Oberrheins sind nun ohne EBZ und auch die Erdbebenzonen im Osten des Landes entfallen fast vollständig. Analoges gilt im Vergleich mit den Zonen, die aus der primären intensitätsbasierten Gefährdungskarte abgeleitet wurden, die direkt aus dem Berechnungsmodell folgt (Karte von Bild 6d). Sie fallen auf dem größten Teil der Fläche um wenigstens eine Erdbebenzone geringer aus.

Ein solches Resultat ist allerdings zu erwarten angesichts der Anwendung der Relation nach Faenza und Michellini [33] auf eine Karte, die für Festgestein mit  $v_{S30} = 800$  m/s berechnet wurde, wohingegen die Karte von Bild 6d für einen mittleren Untergrund gilt, der typisch für die Orte im Untersuchungsgebiet ist, aus denen makroseismische Beobachtungen vorliegen. Hier liegen zum allergrößten Teil signifikant weichere Untergründe vor als solche, für die  $v_{S30} = 800$  m/s gilt. Systematische Untersuchungen zur Charakterisierung der  $v_{S30}$ -Werte liegen für Deutschland nicht vor.

Betont sei, dass intensitätsbasierte seismische Gefährdungskarten typischerweise für die mittleren Untergründe der jeweiligen Untersuchungsgebiete berechnet werden. Eine Intensitätskorrektur bezüglich des Untergrunds wird in den Guidelines zur Anwendung der makroseismischen Skala EMS-98 [29, S. 29–30] ausdrücklich abgelehnt. Ein solches Vorgehen würde dem grundlegenden Prinzip der makroseismischen Intensität widersprechen, ein Maß für die beobachteten Effekte bei einem Erdbeben zu sein. Das zeigt eine begrenzte praktische Relevanz der Anwendung der Relation nach Faenza und Michellini [33] für berechnete PGA, die ausschließlich für Festgestein gelten.

Eine physikalische Größe, die den Werten von PGA entsprechen sollte, ist der Parameter  $a_{gR}$ , der gemäß Gleichung NA.1 des NA:2018 direkt aus  $S_{ap,R}$  folgt, indem  $S_{ap,R}$  durch den effektiven Überhöhungsfaktor 2,5 dividiert wird. Die Anwendung der empirischen Relation nach Faenza und Michellini [33] auf die  $a_{gR}$ -Werte zeigt Bild 8b. Auch hier werden die relativ geringen Intensitäten deutlich, die in Form fiktiver Erdbebenzonen für Festgesteinsuntergrund dargestellt sind. Jedoch hat die Karte in Bild 8b eine besondere Relevanz für den Gegenstand der vorliegenden Arbeit, Beziehungen zwischen den Erd-



**Bild 8** Intensitätsbasierte probabilistische Karten  $I_{FM10}$  für  $RP = 475$  a und für Mittelwerte, die aus der Anwendung der Relation nach Faenza und Michellini [33] auf Karten für PGA- sowie  $a_{gR}$ -Werte folgen und gemäß der Definition der Erdbebenzonen des NA:2011 dargestellt sind: a) Karte für  $I_{FM10}$  abgeleitet aus PGA als Bestandteil der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands nach [3, 4], b)  $I_{FM10}$ -Karte erstellt aus den  $a_{gR}$ -Werten, die sich aus der  $S_{ap,R}$ -Karte mittels Division durch 2,5 ergibt

Intensity-based probabilistic maps  $I_{FM10}$  for  $RP = 475$  a and for mean values resulting from the application of the Faenza and Michellini [33] relation on maps for PGA and on a map of  $a_{gR}$ , presented according to the definition of earthquake zones of the NA:2011: a) map of  $I_{FM10}$  derived from PGA as part of the reassessment of the earthquake hazard of Germany according to [3, 4], b) map of  $I_{FM10}$  produced from the  $a_{gR}$  values resulting from the  $S_{ap,R}$  map by dividing by 2.5

bebenkarten nach NA:2011 und NA:2018 zu diskutieren, da die Karte in Bild 8b direkt aus der Karte des NA:2018 folgt.

Zu Bild 8b ist jedoch einschränkend zu bemerken, dass die Relation von Faenza und Michellini [33] ausdrücklich auf PGA-Werten beruht und damit formell Bild 8a die Präferenz gebührt. Andererseits birgt die Nutzung der  $a_{gR}$ -Werte als Ausgangspunkt den Vorteil, dass hierbei Daten direkt aus dem NA herangezogen werden.

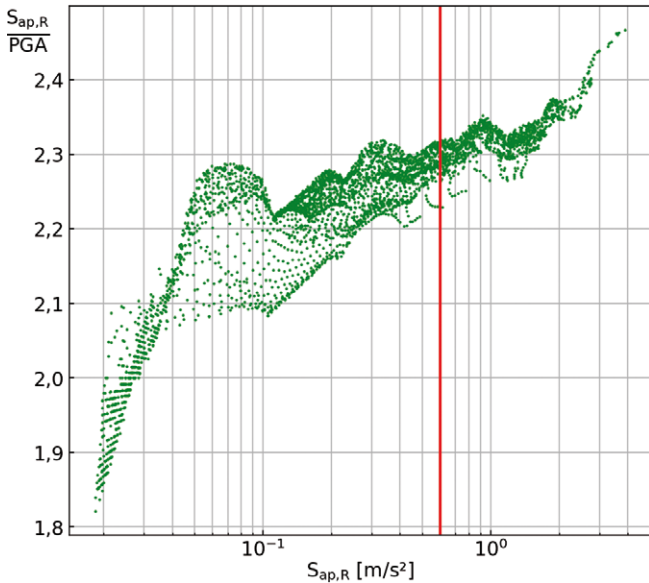
Aus dem Vergleich der beiden Kartenbilder (Bilder 8a, 8b) wird deutlich, dass die auf den  $a_{gR}$ -Werten basierende Intensitätskarte geringfügig kleinere Werte zeigt als das Kartenbild, das aus PGA gewonnen wurde. Zur Erklärung dieses Unterschieds wird für jeden der 4114 Punkte, an dem  $S_{ap,R}$  und PGA innerhalb Deutschlands berechnet wurden, d. h. an den entsprechenden Punkten des Gitters von  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  geografischer Länge und Breite, das Verhältnis von  $S_{ap,R}$  zu PGA gebildet. Bild 9 zeigt diese Verhältniswerte. Sie reichen von 1,82 bis 2,47. Ihr Mittel liegt bei 2,23. Werden nur die gefährdungsrelevanten Werte für  $S_{ap,R} \geq 0,6$  m/s<sup>2</sup> (an 1084 Punkten) für die Mittelwertbildung berücksichtigt, ergibt sich als Mittelwert 2,32, d. h. ein kleinerer Wert als  $\beta_0 = 2,5$  in den NA. Somit erklärt sich, dass die über  $a_{gR}$  bestimmten Intensitäten kleinere Werte aufweisen als die direkt aus PGA ermittelten. Hier stellt sich die Frage, ob in der Norm künftig der tatsächliche, also etwas kleinere Wert für  $\beta_0$  Anwendung finden sollte.

### 3.5 Weg 4: Anpassung der aus PGA und $a_{gR}$ ermittelten intensitätsbasierten Karten auf mittlere Untergrundbedingungen

Bereits im Abschn. 3.4 wurde auf die eingeschränkte Relevanz intensitätsbasierter Karten hingewiesen, sofern sie anhand einer empirischen Relation gewonnen wurden, in die für Festgestein geltende physikalische Erschütterungsparameter einfließen. Eine solche Herangehensweise hat wenig gemein mit dem Grundprinzip der makroseismischen Intensität, ein Maß für beobachtete Effekte zu sein. In diese Effekte fließen immer auch die konkreten Verhältnisse zum geologischen Untergrund bzw. Baugrund ein. Daher soll im Folgenden diskutiert werden, welche Differenzen die Karten der Bilder 8a, 8b zur intensitätsbasierten PSHA-Karte (Bild 6b bzw. 6d) zeigen bzw. wie die Karten von Bild 8 ggf. zu modifizieren wären, um tatsächlichen Untergrundverhältnissen näher zu kommen.

Hierzu wurden die Differenzen zwischen den Karten der Bilder 6b, 8a in Abhängigkeit von den Intensitätswerten  $I_{FM10}$  nach der empirischen Relation von Faenza und Michellini [33] ermittelt. Danach ergibt sich für die kumulativen Mittelwerte bei  $I_{FM10} = 6,0$  eine Intensitätsdifferenz von 0,47.

Um die Karte von Bild 8a, die für einen angenommenen durchgängigen Festgesteinsuntergrund gilt, in erster Näherung auf einen mittleren tatsächlichen Untergrund anzupassen, können die im Bild dargestellten Intensitäten um den gerundeten Differenzwert von 0,5 erhöht werden

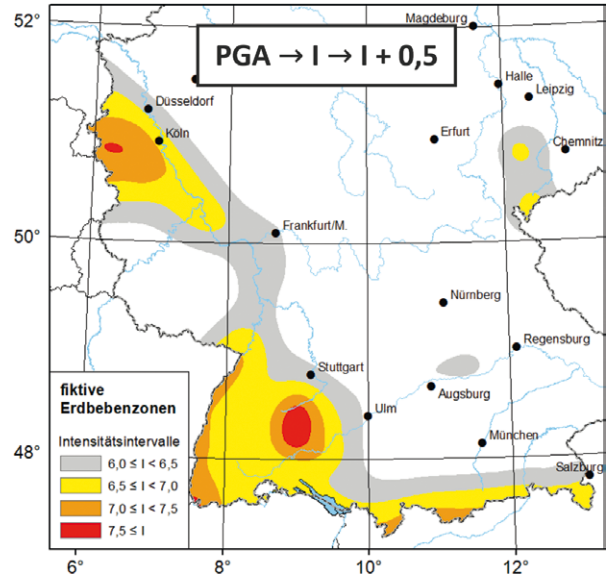


**Bild 9** Quotient aus  $S_{ap,R}$  und PGA für jeden der 4114 Datenpunkte im  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  Gitter geografischer Länge bzw. Breite, an denen beide Werte berechnet wurden; der  $S_{ap,R}$ -Wert von  $0,6 \text{ m/s}^2$  ist hervorgehoben  
 Quotient of  $S_{ap,R}$  and PGA for each of the 4114 data points in a grid of  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  longitude and latitude, respectively, where both  $S_{ap,R}$  and PGA were computed; the value of  $S_{ap,R}$  of  $0.6 \text{ m/s}^2$  is indicated

bzw. die fiktiven Erdbebenzonen, die mit  $0,5^\circ$ -Schritten definiert sind, um jeweils einen Wert erhöht werden. Die so gewonnene Karte (Bild 10) stellt also eine zumindest grobe Variante einer Übertragung auf Verhältnisse für mittleren Untergrund dar. Jedoch folgt hier anhand der Addition des konstanten Betrags von  $0,5$  infolge der ermittelten Intensitätsabhängigkeit der Differenz eine unrealistische Überbewertung der höheren Intensitätsbereiche. Zur Karte von Bild 10 ist allerdings zu betonen, dass sie nicht als unabhängig angesehen werden kann, da sie von der direkt berechneten intensitätsbasierten PSHA, d. h. der Darstellung in Bild 8a, abhängt.

Analog gingen Wiemer et al. [35] für die Schweiz vor, um eine intensitätsbasierte Gefährdungskarte aus der Umwandlung ihrer PGA-Karte durch Anwendung der empirischen Relation von Faenza und Michelini [33] zu generieren. Ihre PGA-Karte wurde für einen Festgesteinsuntergrund von  $v_{S30} = 1105 \text{ m/s}$  berechnet. Für die Orte in der Schweiz nahmen sie nach Auswertung einschlägiger Literatur einen mittleren Untergrund von  $v_{S30} = 600 \text{ m/s}$  an. Entsprechend den  $v_{S30}$ -Unterschieden beschreiben sie eine Intensitätsdifferenz von  $0,47$  bezüglich beider Untergrundtypen. Um die Verhältnisse für den dortigen mittleren Untergrund abzubilden, wenden auch sie den gerundeten Differenzwert von  $0,5$  an.

Auffälligerweise ist der Verschiebungsbetrag von  $0,47$  Intensitätseinheiten, wie er für das Schweizer Projekt angewandt wurde, derselbe, der auch als Mittelwert der kumulativen Differenzen für  $I_{FM10} \geq 6,0^\circ$  anhand der Daten aus Deutschland ermittelt worden ist. Zudem erfolgten die Berechnungen für die Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands für  $v_{S30} = 800 \text{ m/s}$ .



**Bild 10** Anpassung der für einen durchgängigen Festgesteinsuntergrund geltenden Daten (PGA) von Bild 8a ( $I_{FM10}$ ) an einen mittleren tatsächlichen Untergrund durch Erhöhung der Ausgangsintensitäten für Festgestein um den Differenzwert von  $0,5$   
 Adjustment of the data (PGA) applicable to a continuous solid rock subsoil from Fig. 8 ( $I_{FM10}$ ) to a mean actual subsoil by increasing the initial intensities for solid rock by the difference value of  $0.5$

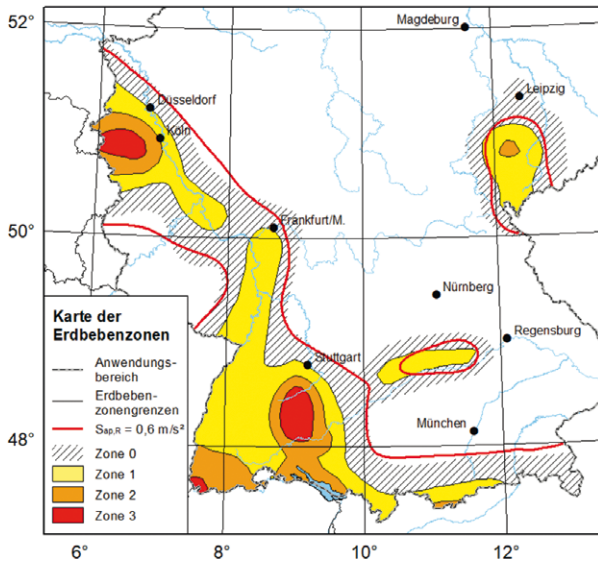
Die mittleren  $v_{S30}$ -Werte für Ortslagen in Deutschland dürften signifikant kleiner sein als die  $v_{S30}$  von  $600 \text{ m/s}$ , die für die Orte der Schweiz gelten. Obwohl die Ausgangsdaten in beiden Untersuchungsgebieten völlig unterschiedlich sind, scheint es nicht unplausibel, dass sich ähnliche Werte ergeben können; dass diese jedoch gleich sind, ist als Zufall anzusehen.

Die fiktiven Erdbebenzonen in Bild 10 stimmen erstaunlich gut mit denen der intensitätsbasierten Rechnung (Bild 6d) überein. Die Zone 2 überdeckt in Bild 10 jedoch in einem schmalen Streifen zusätzliche Gebiete im mittleren Teil des Oberrheingrabens direkt am Rhein. Zone 3 mit Albstadt im Zentralteil fällt in Bild 10 größer aus.

Wie bereits für Bild 8 erwähnt, ist auch die Karte von Bild 10 nicht als unabhängig zu betrachten, da sie von der direkten intensitätsbasierten PSHA, d. h. der Darstellung in den Bildern 6b, 8a, abhängen.

#### 4 Weitere ingenieurseismologische Merkmale nach bisherigem und neuem NA

Obwohl hier mögliche Beziehungen zwischen den Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem Nationalen Anhang zum Eurocode 8 im Mittelpunkt stehen, d. h. die Erdbebenzonenkarte nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 und die Karte der spektralen Antwortbodenbeschleunigungen nach E DIN EN 1998-1/NA:2018-10, sollen der Vollständigkeit halber zwei weitere ingenieurseismologische Merkmale Erwähnung finden. Das sind die Konturlinie bei  $S_{ap,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$  im Bild NA.1 des NA:2018 sowie der Vergleich der elastischen Beschleunigungsant-



**Bild 11** Vergleich der Erdbebenzonenkarte des NA:2011 mit der Konturlinie bei  $S_{ap,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$  im Bild NA.1 vom NA:2018; mit der Konturlinie wird im NA:2018 festgelegt, dass für elastische Antwortbeschleunigungen  $S_{ap,R} < 0,6 \text{ m/s}^2$  die Norm für übliche Hochbauten aller Bedeutungskategorien i. d. R. nicht angewendet werden muss; der Verlauf der Konturlinie stimmt in weiten Teilen des Anwendungsgebiets mit der oberen Begrenzung der Erdbebenzone 0 des NA:2011 überein  
Comparison of the earthquake zone map of NA:2011 with the contour line at  $S_{ap,R} = 0.6 \text{ m/s}^2$  in Fig. NA.1 of NA:2018; the contour line is used in NA:2018 to specify that for elastic response accelerations  $S_{ap,R} < 0.6 \text{ m/s}^2$ , the building code does not normally have to be applied for usual building structures of all importance categories; the course of the contour line corresponds in large parts of the application area with the upper boundary of the earthquake zone 0 of NA:2011

wortspektren nach bisherigem und neuem NA für ausgewählte Orte.

#### 4.1 Konturlinie bei $S_{ap,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$ im Bild NA.1 vom NA:2018

Die Konturlinie bei  $S_{ap,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$  im Bild NA.1 vom NA:2018 unterteilt das Anwendungsgebiet des NA in Regionen, in denen die Beschleunigung für das Gefährdungsniveau von  $RP = 475$  a entweder größer oder kleiner als der genannte  $S_{ap,R}$ -Wert ist. Im NA:2018 ist festgelegt, dass für elastische Antwortbeschleunigungen  $S_{ap,R} < 0,6 \text{ m/s}^2$  die Norm für übliche Hochbauten aller Bedeutungskategorien i. d. R. nicht angewendet werden muss. Dem genannten  $S_{ap,R}$ -Wert entspricht ein  $a_{gR} = 0,24 \text{ m/s}^2$ , was nach den Festlegungen für den NA:2011 einem unteren Wert der Erdbebenzone 0 gleich käme. In der Tat stimmt der Verlauf der Konturlinie in weiten Teilen des Anwendungsgebiets mit der äußeren Begrenzung der Erdbebenzone 0 des NA:2011 ausgesprochen gut überein (Bild 11).

Die Erdbebenzone 0 des NA:2011 wurde eingeführt, um für Standorte sicherheitsrelevanter Bauwerke außerhalb der Zone 1 für das Referenz-Gefährdungsniveau von  $RP = 475$  a auf ein entsprechendes seismisches Gefährdungspotenzial hinzuweisen. In Zone 0 werden laut NA zwar keine Erdbebenvorkehrungen gefordert, jedoch

sind – am Maßstab historischer Beobachtungszeiträume – schadenverursachende Intensitäten nicht auszuschließen. Daher wird für die Zone 0 zumindest empfohlen, für Bauwerke höherer Bedeutungskategorien den Festlegungen bzw. Regeln für Zone 1 zu folgen [18].

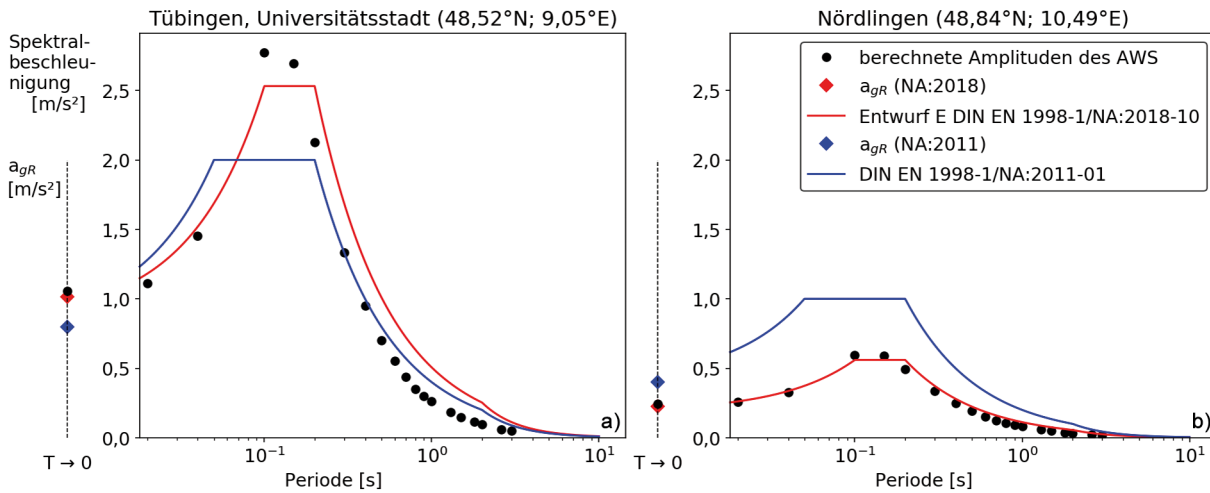
Bezüglich der Forderungen in beiden NA, bis zu welchen seismischen Lastannahmen Erdbebenvorkehrungen zu treffen sind (im NA:2011 bis zum  $a_{gR}$ -Wert von  $0,4 \text{ m/s}^2$ , was einem  $S_{ap,R}$ -Wert von  $1,0 \text{ m/s}^2$  entspräche), besteht in der Tat eine Vergrößerung dieses Gebiets. Diese Vergrößerung geht jedoch nicht auf erhöhte Werte seitens der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung zurück. Zumindest sind die  $a_{gR}$ -Werte des vergrößerten Gebiets nach NA:2018, wie erläutert, nicht größer als diejenigen der bisherigen Erdbebenzone 0, womit sich eine weitgehende Kongruenz ergibt. Wollte man im NA:2018 jedoch völlig analog zum NA:2011 vorgehen, müsste die Begrenzung des Gebiets, in dem Erdbebenvorkehrungen zu treffen sind, beim o. g.  $S_{ap,R}$ -Wert von  $1,0 \text{ m/s}^2$  liegen.

#### 4.2 Beschleunigungsantwortspektren nach bisherigem und neuem NA

Angesichts der Verschiedenartigkeit in der Berechnung und Anwendung der Beschleunigungsantwortspektren nach bisherigem und neuem NA, welche in den Abschn. 2, 3.1 dargestellt werden, ist mit dementsprechenden Unterschieden in den Spektren zu rechnen. Hier sollen lediglich beispielhaft für zwei typische Orte die Spektren miteinander verglichen werden. Ausgewählt wurden Tübingen in der EBZ 3 und Nördlingen in der EBZ 1. Bild 12 zeigt den Vergleich der elastischen Antwortspektren nach NA:2011 und nach NA:2018 sowie die berechneten Amplituden des Antwortspektrums gemäß [3, 4, 8]. Links neben der Spektraldarstellung findet sich die Ordinate für die  $a_{gR}$ - bzw. PGA-Werte.

Der  $a_{gR}$ -Wert für Tübingen von  $1,01 \text{ m/s}^2$  wird aus dem  $S_{ap,R}$ -Wert von  $2,53 \text{ m/s}^2$  nach der seit Februar 2017 online geschalteten interaktiven Plattform zur Abfrage der elastischen Antwortspektren [8] aus der Division durch 2,5 erhalten. Dieser Wert ist aufgrund der neuen Herangehensweise natürlich größer als ein auf ein unteres Intervall einer Zone orientierter Wert, wenn der entsprechende Ort nicht auf der Intervallgrenze liegt, und dieser zudem, wie oben erläutert, nicht auf konkreten Beobachtungen, wie die Karte des NA:2018, beruht. Wie das Beispiel zeigt, hat die Wahl der  $a_{gR}$ -Werte des NA:2011, d. h. die Einhängewerte für die Spektren, einen entscheidenden Einfluss auf die sich ergebenden Unterschiede. Der Plateaubereich ist nach NA:2018 deutlich schmaler als nach dem bisherigen NA:2011. Die berechneten Amplituden des Antwortspektrums sind für Schwingungsperioden  $T \geq 0,2$  s kleiner als die nach der Spektralform des NA:2018.

Während sich für Tübingen gemäß NA:2018 höhere Plateauwerte ergeben, sind diese für Nördlingen kleiner. Dies trifft auch auf die  $a_{gR}$ -Werte zu.



**Bild 12** Vergleich der elastischen Antwortspektren nach NA:2011 (blau) und nach NA:2018 (rot) für Festgesteinsuntergrund A-R; ebenso dargestellt sind die berechneten Amplituden des Antwortspektrums (AWS) bei bestimmten Perioden als schwarze Punkte gemäß [3, 4 bzw. 22]; zusätzlich werden die zugehörigen  $a_{gR}$ -Werte für eine gegen null gehende Periode auf einer separaten Ordinate aufgetragen; a) Darstellung für Tübingen, b) Darstellung für Nördlingen  
 Comparison of the elastic response spectra according to NA:2011 (blue) and NA:2018 (red) for rock soil conditions A-R; also shown are the calculated amplitudes of the response spectrum (AWS) as black points according to [3, 4 and 22]; in addition, the corresponding  $a_{gR}$  values for a period approaching zero are depicted on a separate ordinate; a) depiction for Tübingen, b) depiction for Nördlingen

## 5 Diskussion, Bewertung und Zusammenfassung

Zur Inbeziehungsetzung der Erdbebenkarten vom NA:2011 und vom NA:2018 erweist es sich als zweckmäßig, die Spezifika ihrer jeweiligen Berechnung und Darstellungsform gegenüberzustellen (Abschn. 2). Diese sind derart unterschiedlich, dass ein Vergleich beider Erdbebenkarten nur bedingt und insbesondere nicht auf direktem Wege möglich ist.

Als erste vorgestellte Variante der Inbeziehungsetzung beider Erdbebenkarten (Bild 6) wird anhand des Berechnungsmodells, das der Erstellung der Karte der Erdbebengefährdung für den NA:2018 zugrunde liegt, eine intensitätsbasierte Gefährdungskarte herangezogen (Bild 6b) und in derselben Form in Erdbebenzonen dargestellt (Bild 6d) wie für den NA:2011. Die Karte des NA:2011 (Bild 6c) und die Karte von Bild 6d zeigen eine gute strukturelle Übereinstimmung, jedoch mit signifikant geringeren Intensitäten nach der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung. Einschränkend ist zu dieser Variante darauf hinzuweisen, dass eine solche intensitätsbezogene Erdbebenzonenkarte keinen direkten Bezug zur Karte des NA:2108 aufweist.

Die zweite Variante (Bild 7) gründet sich direkt auf die Karte des NA:2018. Diese wurde in  $a_{gR}$  umgewandelt und gemäß der Definition der Erdbebenzonen des NA:2011 dargestellt. Eine Einschränkung bez. dieser Vorgehensweise besteht jedoch darin, dass die Karte von Bild 7 letztlich auf beobachteten Beschleunigungsdaten beruht und damit nicht auf den in spezieller Weise für den NA:2011 bzw. bereits für die DIN 4149 von 2005 [15] gewählten Referenzwerten für die Spitzenbodenbeschleunigung. Da letztere deutlich geringer sind als die beobachteten (Abschn. 3.1), ergibt sich eine gebietsweise Überschätzung in den Beschleunigungsdaten gemäß Bild 7.

Die dritte hier behandelte Variante nutzt die empirische Beziehung zwischen PGA und makroseismischen Intensitäten nach Faenza und Michelini [33]. Diese wurde zum einen konform mit o. g. Autoren auf PGA angewandt (Bild 8a) und schließlich aber auch auf die  $a_{gR}$ -Werte (Bild 8b), die aus der Karte des NA:2018 gewonnen wurden. Da die verwandte empirische Beziehung als relativ zuverlässig angesehen werden kann, sollte beiden intensitätsbasierten Karten ein entsprechender Stellenwert zugesprochen werden können. Hier ist jedoch einschränkend zu betonen, dass die Karten von Bild 8 die Verhältnisse für Festgestein widerspiegeln. Solche intensitätsbasierten Karten stehen im Widerspruch zur Definition der makroseismischen Intensität, die sich auf beobachtete Effekte bezieht, in die die konkreten Untergrundbedingungen einfließen. Ein Ausblenden dieser Untergrundbedingungen durch die Reduzierung von Intensitäten auf Festgesteinsbedingungen sollte gemäß [29] vermieden werden.

Als vierte vorgestellte Variante wird schließlich die intensitätsbasierte Karte von Bild 8a bez. der Untergrundbedingungen, wie oben diskutiert, in erster Näherung korrigiert, um möglichst die erwarteten Effekte bez. der konkreten Untergrundbedingungen abzubilden. Hier konnte als Korrekturterm eine einfache Addition der Karte von Bild 8a mit dem Wert von 0,5 abgeleitet werden. Eine analoge Korrektur fand für das entsprechende Vorhaben für die Schweiz [35] Anwendung.

Sollten die Karten nach den vier Varianten einem gewissen Ranking unterzogen werden, wäre also den Karten nach dem Weg 1 und nach dem Weg 4 die größte Relevanz zuzuweisen.

Wie aufgezeigt werden konnte, besitzen diese Varianten ihre Vor- und Nachteile. Eines ist diesen Varianten jedoch gemein: sie belegen, abgesehen von kleinräumigeren Va-



riationen und gewissen methodisch bedingten systematischen Abweichungen sowohl zu kleineren als auch zu größeren Werten, eine weitgehende Übereinstimmung in der Abschätzung der erwarteten seismischen Lastannahmen für das betrachtete Gefährdungsniveau nach bisheriger [10] und neuer Einschätzung der Erdbebengefährdung [3, 4]. Die erwähnte Persistenz in den Resultaten der Erdbebengefährdungsabschätzungen anhand der jüngsten Arbeit von 2018 [3, 4], auf der die Erdbebenkarte des NA:2018 beruht, und derjenigen von 1996 [10], als Grundlage der Erdbebenzonenkarte des NA:2011, schließt die Resultate der zeitlich dazwischenliegenden seismischen Gefährdungsabschätzungen durchaus mit ein [5, 13, 36].

Eine weitere Gemeinsamkeit sämtlicher vorgestellter und diskutierter Varianten der Inbeziehungsetzung der bisherigen und neuen Erdbebenkarten der NA ist, dass die Karten, die aus dem neuen Berechnungsmodell zur Erdbebengefährdungsabschätzung bzw. aus der resultierenden Karte für das NA:2018 folgen, nach den vorgenommenen Vergleichen in weiten Teilen des Anwendungs-

gebiets geringere Bodenerschütterungswerte aufweisen als die bisherige Karte. Hierzu gehören insbesondere Gebiete nördlich des Bodensees sowie Gebiete nördlich des östlichen und mittleren Hochrheins. Dies trifft ebenso auf den nördlichen Teil des Oberrheingrabens zu, Gebiete im westlichen Thüringen und im östlichen Sachsen sowie den Raum zwischen Altmühl und Donau.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die vorgestellten vier Varianten, abgesehen von methodisch bedingten systematischen Abweichungen untereinander, sowohl zu kleineren als auch zu größeren Werten, einem gemeinsamen Trend folgen, d.h. dass sich die Varianten prinzipiell ähneln. Andererseits existiert, natürlich die Betrachtung gleicher Parameter vorausgesetzt, eine weitreichende Persistenz in der Abschätzung erwarteter Bodenbeschleunigungen für das betrachtete Gefährdungsniveau nach früheren und den neuen Abschätzungen der Erdbebengefährdung. Allerdings wurden für definierte Gebiete anhand der Neueinschätzung der Erdbebengefährdung geringere Erschütterungswerte berechnet.

## Literatur

- [1] E DIN EN 1998-1/NA:2018-10 (2018) *Nationaler Anhang – national festgelegte Parameter – Teil 1/NA: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Grundlagen, Erdbebenwirkungen und Regeln für Hochbau*. Berlin: Beuth-Verlag. Ausgabe Okt. 2018.
- [2] DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (2011) *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebenwirkungen und Regeln für Hochbau*. Berlin: Beuth-Verlag. Ausgabe Jan. 2011.
- [3] Grünthal, G.; Stromeyer, D.; Bosse, C.; Cotton, F.; Bindi, D. (2018) *The probabilistic seismic hazard assessment of Germany – version 2016, considering the range of epistemic uncertainties and aleatory variability* in: Bulletin of Earthquake Engineering 16, no. 10, pp. 4339–4395. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0315-y>
- [4] Grünthal, G.; Stromeyer, D.; Bosse, C.; Cotton, F.; Bindi, D. (2018) *Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands – Version 2016 – für DIN EN 1998-1/NA* in: Bautechnik 95, H. 5, S. 371–384. <https://doi.org/10.1002/bate.201700098>
- [5] Grünthal, G.; Bosse, C.; Stromeyer, D. (2009) *Die neue Generation der probabilistischen seismischen Gefährdungseinschätzung der Bundesrepublik Deutschland: Version 2007 mit Anwendung für die Erdbeben-Lastfälle der DIN 19700:2004-07 „Stauanlagen“*. Scientific Technical Report STR 09/07. GeoForschungsZentrum Potsdam. <https://doi.org/10.2312/GFZ.b103-09076>
- [6] Grünthal, G.; Stromeyer, D.; Bosse, C. (2017) *The data sets of the earthquake model for the probabilistic seismic hazard assessment of Germany, version 2016 – Report on supplementary material for the respective publication*. Scientific Technical Report STR 17/05. GeoForschungsZentrum Potsdam. <https://doi.org/10.2312/GFZ.b103-17056>
- [7] Grünthal, G.; Bosse, C.; Stromeyer, D. (2018) *The Source Model of the Probabilistic Seismic Hazard Assessment (PSHA) of Germany – Version 2016*. V.1.0, GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/GFZ.2.6.2018.001>
- [8] GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam [Hrsg.] *Plattform zur Abfrage der Zugehörigkeit von Orten zu Erdbebenzonen* [online]. Potsdam: Deutsches Geoforschungszentrum. [https://www.gfz-potsdam.de/DIN4149\\_Erdbebenzonenabfrage](https://www.gfz-potsdam.de/DIN4149_Erdbebenzonenabfrage)
- [9] Abrahamson, N. A. (2000) *State of the practice of seismic hazard evaluation* in: International Society for Rock Mechanics [ed.] *GeoEng 2000*. Proceedings of GeoEng2000: an international conference on geotechnical & geological engineering. Melbourne, Australia, 19–24 Nov. 2000.
- [10] Grünthal, G.; Bosse, C. (1996) *Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland – Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode 8*. Forschungsbericht (Scientific Technical Report 96/10). Deutsches GeoForschungszentrum GFZ, Potsdam.
- [11] Grünthal, G.; Bosse, C.; Musson, R. M. W.; Gariel, J. C.; de Crook, T.; Verbeiren, R.; Camelbeek, T.; Mayer-Rosa, D.; Lenhardt, W.; Torkelsson, B. (1996) *Joint Seismic Hazard Assessment for the Central and Western Part of GSHAP-Region 3 (Central and Northwest Europe)*. 25<sup>th</sup> General Assembly of the European Seismological Commission. Reykjavik, Iceland. 1996.
- [12] Grünthal, G. (1997) *Seismic hazard assessments in Central and Northern Europe – Review of activities of the GSHAP-Regional Center 3* in: Proceedings of the 29<sup>th</sup> IASPEI General Assembly Workshop 17. Thessaloniki, Greece, 18–28 Aug. 1997.
- [13] Grünthal, G.; GSHAP Region 3 Working Group (1999) *Seismic Hazard Assessment for Central, North and Northwest Europe: GSHAP Region 3* in: Annali di Geofisica 42, no. 6, pp. 999–1011.
- [14] DIN 4149 (1981) *Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten – Teil 1*. Berlin: Beuth-Verlag. Ausgabe Apr. 1981.
- [15] DIN 4149:2005-04 (2005) *Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten*. Berlin: Beuth-Verlag.
- [16] DIN EN 1998-1:2010-12 (2010) *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbeben-*

- einwirkungen und Regeln für Hochbauten*. Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009. Berlin: Beuth-Verlag. Ausgabe Dez. 2010.
- [17] Schwarz, J.; Grünthal, G. (1998) *Zukunftsorientierte Konzepte zur Beschreibung seismischer Einwirkungen für das Erdbebeningenieurwesen* in: Bautechnik 75, H. 10, S. 737–752. <http://doi.org/10.1002/bate.199805360>
- [18] Schwarz, J. (2005) *Bemessungsbeschleunigungen für die Gefährdungszonen der DIN 4149* in: Deutsche Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik [Hrsg.] *Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Die neue DIN 4149*. Tagungsband DGEB/DIN-Gemeinschaftstagung. Leinfelden-Echterdingen, 21. Apr. 2005. S. 41–56.
- [19] Schwarz, J.; Lang, D.; Golbs, C. (1999) *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, Bauhaus-Universität Weimar.
- [20] Brüstle, W.; Stange, S. (1999) *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)*. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Berichtsnummer 3480.01/98-4764.
- [21] Stromeyer, D.; Grünthal, G. (2009) *Attenuation relationship of macroseismic intensities in Central Europe* in: Bulletin of the Seismological Society of America 99, no. 2A, pp. 554–565. <https://doi.org/10.1785/0120080011>
- [22] GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam [Hrsg.] Plattform zur Abfrage von Erdbebengefährdungskarten für Deutschland gemäß [3] und [4] sowie Abfrage von UHS und deren Parameter für beliebige Punkte in Deutschland [online]. Potsdam: Deutsches Geoforschungszentrum. <http://www-app5.gfz-potsdam.de/d-eqhaz16> [Zugriff am: 18. Aug. 2020]
- [23] Grünthal, G.; Stromeyer, D.; Bosse, C.; Cotton, F.; Bindi, D. (2019) *Erdbebengefährdung Deutschlands – neu bewertet für aktuelle Baunorm* in: System Erde 9, H. 1, S. 26–31. <https://doi.org/10.2312/GFZ.syserde.09.01.4>
- [24] Schwarz, J.; Kaufmann, C.; Abrahamczyk, L. (2014) *Bauforschungsvorhaben im bauaufsichtlichen Bereich: Seismische Einwirkungen für die neue Generation von Erdbebennormen*. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben 246 40175, Bauhaus-Universität Weimar, Earthquake Damage Analysis Center, Weimar.
- [25] Grünthal, G. (2011) *Earthquakes, Intensity* in: Gupta, H. [ed.] *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. Berlin: Springer. S. 237–242.
- [26] Grünthal, G. (1984) *Seismische Gefährdung* in: Hurtig, E.; Stiller, H. [eds.] *Erdbeben und Erdbebengefährdung*. Berlin: Akademie Verlag. S. 169–238.
- [27] Ambraseys, N. N. (1974) *Notes on engineering seismology* in: Solnes, J. [ed.] *Engineering seismology and earthquake engineering*. NATO Advanced Study Institutes Series E, No. 3. Leiden: Noordhoff. S. 33–54.
- [28] Shebalin, N. (1975) *Ob ocenke sejsmičeskoj intenzivnosti* in: Sejsmičeskaja škala i metody izmerenija sejsmičeskoj intenzivnosti. Moskva. pp. 87–109.
- [29] Grünthal, G. [ed.]; Musson, R. M. W.; Schwarz, J.; Stucchi, M. [assoc. eds.] (1998) *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg. <http://doi.org/10.2312/EMS-98.full.en> (Plattform <http://www.gfz-potsdam.de/EMS98>)
- [30] Grünthal, G. (2020) *Kernteil der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98) in deutscher Übersetzung*. Deutsches Geoforschungszentrum GFZ. <http://doi.org/10.2312/EMS-98.core.de> (Plattform <http://www.gfz-potsdam.de/EMS98> [Zugriff am: 18. Aug. 2020])
- [31] Medvedev, S. V.; Sponheuer, W.; Kárník, V. (1965) *Seismische Intensitätsskala MSK 1964* in: Sponheuer, W. [Hrsg.] *Bericht über die Weiterentwicklung der seismischen Skala*. Veröff. Institut für Geodynamik Jena, H. 8, S. 12–21.
- [32] Wald, D. F.; Quiroriano, V.; Heaton, T. H.; Kanamori, H. (1999) *Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California* in: Earthquake Spectra 15, no. 3, pp. 557–564.
- [33] Faenza, L.; Michelini, A. (2010) *Regression analysis of MCS intensity and ground motion parameters in Italy and its application in ShakeMap* in: Geophysical Journal International 180, no. 3, pp. 1138–1152.
- [34] Musson, R. M. W.; Grünthal, G.; Stucchi, M. (2010) *The comparison of macroseismic intensity scales* in: Journal of Seismology 14, no. 2, pp. 413–428.
- [35] Wiemer, S.; Danciu, L.; Edwards, B.; Marti, M.; Fäh, D.; Hiemer, S.; Wössner, J.; Cauzzi, C.; Kästli, P.; Kremer, K. (2016) *Seismic Hazard Model 2015 for Switzerland (SUI-haz2015)*. Technical Report, Swiss Seismological Service (SED) at ETH Zurich. 10.12686/a2.
- [36] Grünthal, G.; Bosse, C.; Stromeyer, D. (2014) *Building Code Related Seismic Hazard Analyses of Germany and their Relation to SHARE* in: Butenweg, C.; Kaiser, D. [eds.] *Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE)*. DGEB Publikation 16, Deutsche Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (DGEB), DGEB-Workshop, 27. Mai 2014. S. 25–41.

#### Autoren

Prof. Dr. Gottfried Grünthal (Korrespondenzautor)  
ggrue@gfz-potsdam.de  
ehem. Helmholtz-Zentrum Potsdam  
Deutsches GeoForschungszentrum GFZ  
Sektion 2.6 Erdbebengefährdung und dynamische Risiken  
Telegrafenberg  
14473 Potsdam

Dipl.-Phys. Christian Bosse  
bosse@gfz-potsdam.de  
Helmholtz-Zentrum Potsdam  
Deutsches GeoForschungszentrum GFZ  
Sektion 2.6 Erdbebengefährdung und dynamische Risiken  
Telegrafenberg  
14473 Potsdam

#### Zitieren Sie diesen Beitrag

Grünthal, G.; Bosse, C. (2021) *Unterschiede, Beziehungen und Gemeinsamkeiten der Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem Nationalen Anhang zum Eurocode 8*. Bautechnik 98, H. 1, S.1–16. <https://doi.org/10.1002/bate.202000053>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 4. Juni 2020; angenommen: 31. Juli 2020.



# GFZ



Helmholtz-Zentrum  
**POTS DAM**

**GFZ GeoForschungszentrum**

Helmholtz-Zentrum Potsdam

Telegrafenberg

14473 Potsdam

Tel. +49(0)331 288-0

[info@gfz-potsdam.de](mailto:info@gfz-potsdam.de)

[www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)