

Anwendung des Ausschlusskriteriums „Seismische Aktivität“ bei der Suche und Auswahl eines Standorts für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland

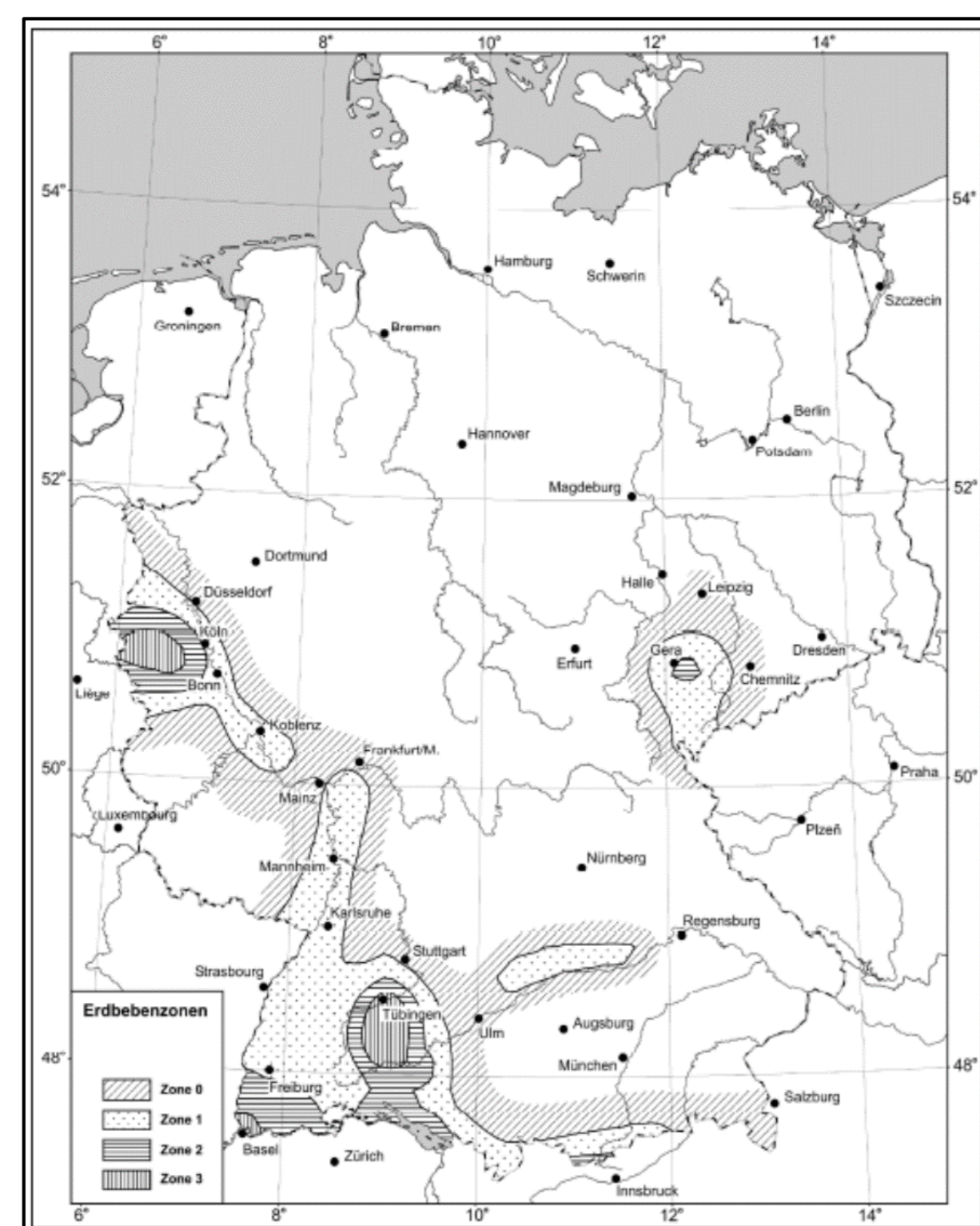
Diethelm Kaiser & Thomas Spies, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Im Standortauswahlgesetz wird in § 22 zum Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ ausgeführt, dass ein Gebiet nicht als Endlagerstandort geeignet ist, wenn die örtliche seismische Gefährdung größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 ist. Diese Norm wird in Kürze durch eine Aktualisierung ersetzt, die dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Der Entwurf hierzu, E DIN EN 1998-1/NA:2018-10, enthält keine Zuordnungen in Erdbebenzonen mehr, sondern weist die seismische Gefährdung räumlich kontinuierlich aus. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat im Auftrag der Bundesgesellschaft für Endlagerung einen Vorschlag zur Anwendung dieses Ausschlusskriteriums unter Verwendung von E DIN EN 1998-1/NA:2018-10 erarbeitet. Die BGR schlägt vor, als Grenzwert zur Anwendung des Ausschlusskriteriums den Wert der spektralen

Antwortbeschleunigung im Plateaubereich von $1,8 \text{ ms}^{-2}$ in E DIN EN 1998-1/NA:2018-10 zu verwenden. Dieser Wert entspricht der makroseismischen Intensität 7, für den die seismische Gefährdung größer als in Erdbebenzone 1 nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 ist. Für Gebiete, in denen dieser Wert überschritten wird, gilt das Ausschlusskriterium als erfüllt.

Grundsätzlich ist das Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ im Standortauswahlgesetz jedoch wenig geeignet, um die Erdbebengefährdung eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle zu ermitteln. Der Bewertungszeitraum für die Sicherheit des Endlagers beträgt eine Million Jahre und unterscheidet sich erheblich vom Betrachtungszeitraum von 50 Jahren der Norm DIN

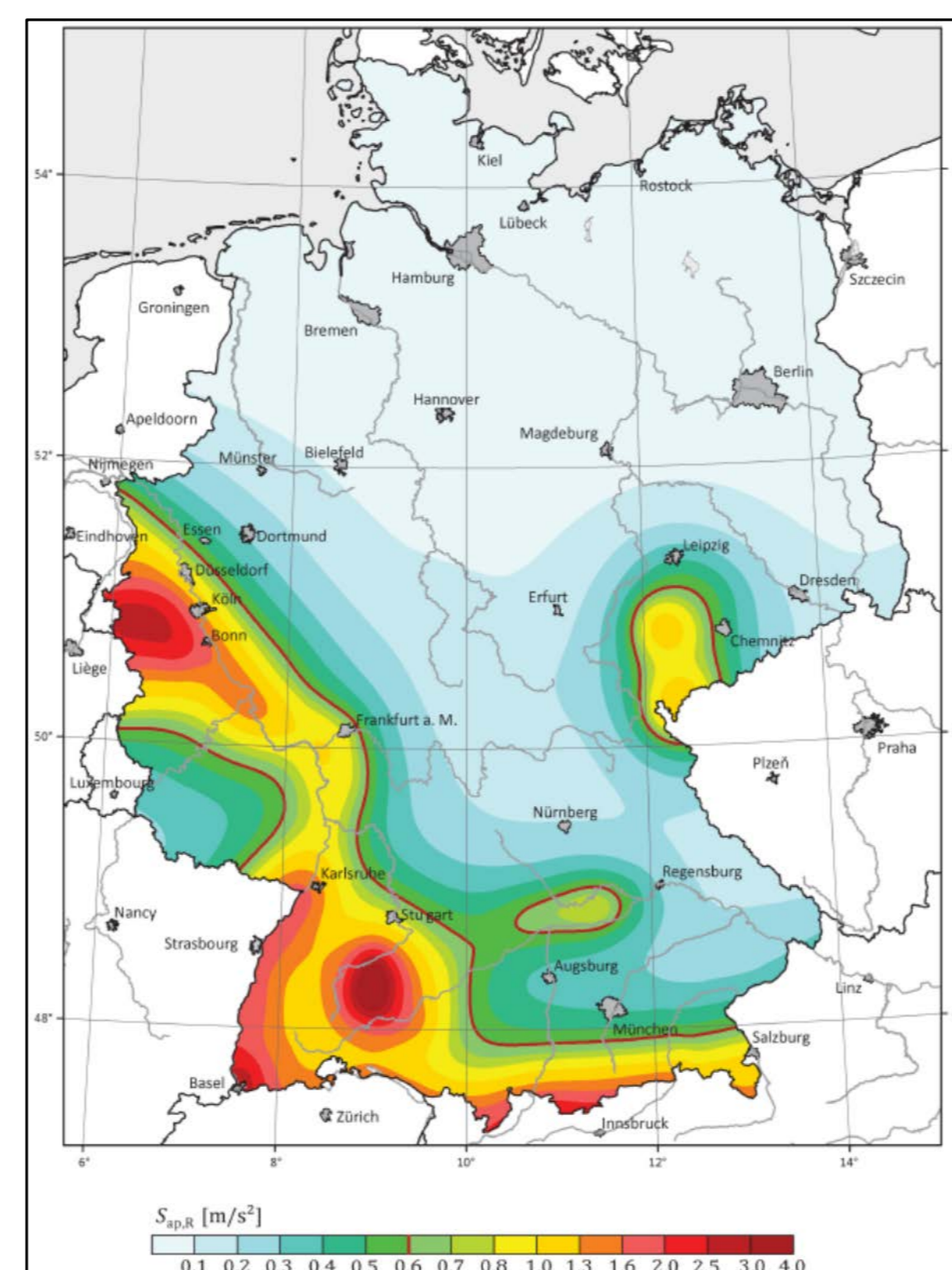
EN 1998-1/NA. Die Intensität bzw. die Beschleunigung gilt für die Erdoberfläche; die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle soll jedoch in tiefen geologischen Formationen erfolgen. Neben der Gefährdung aufgrund von seismischen Bodenbewegungen als Bewertungsmaßstab des Ausschlusskriteriums hat eine andere Art der Gefährdung durch Erdbeben für Endlager in tiefen geologischen Formationen eine größere Bedeutung, nämlich bruchartige Verschiebungen im Endlagerbereich. Das Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ bezieht sich im Unterschied zu allen anderen Ausschlusskriterien im Standortauswahlgesetz § 22 nicht auf ein wissenschaftlich formuliertes Merkmal, sondern auf eine Norm, deren Bemessungsgrößen aufgrund eines Kompromisses zwischen Sicherheitsbetrachtungen und wirtschaftlichen Überlegungen wie erhöhten Baukosten festgelegt wurden.



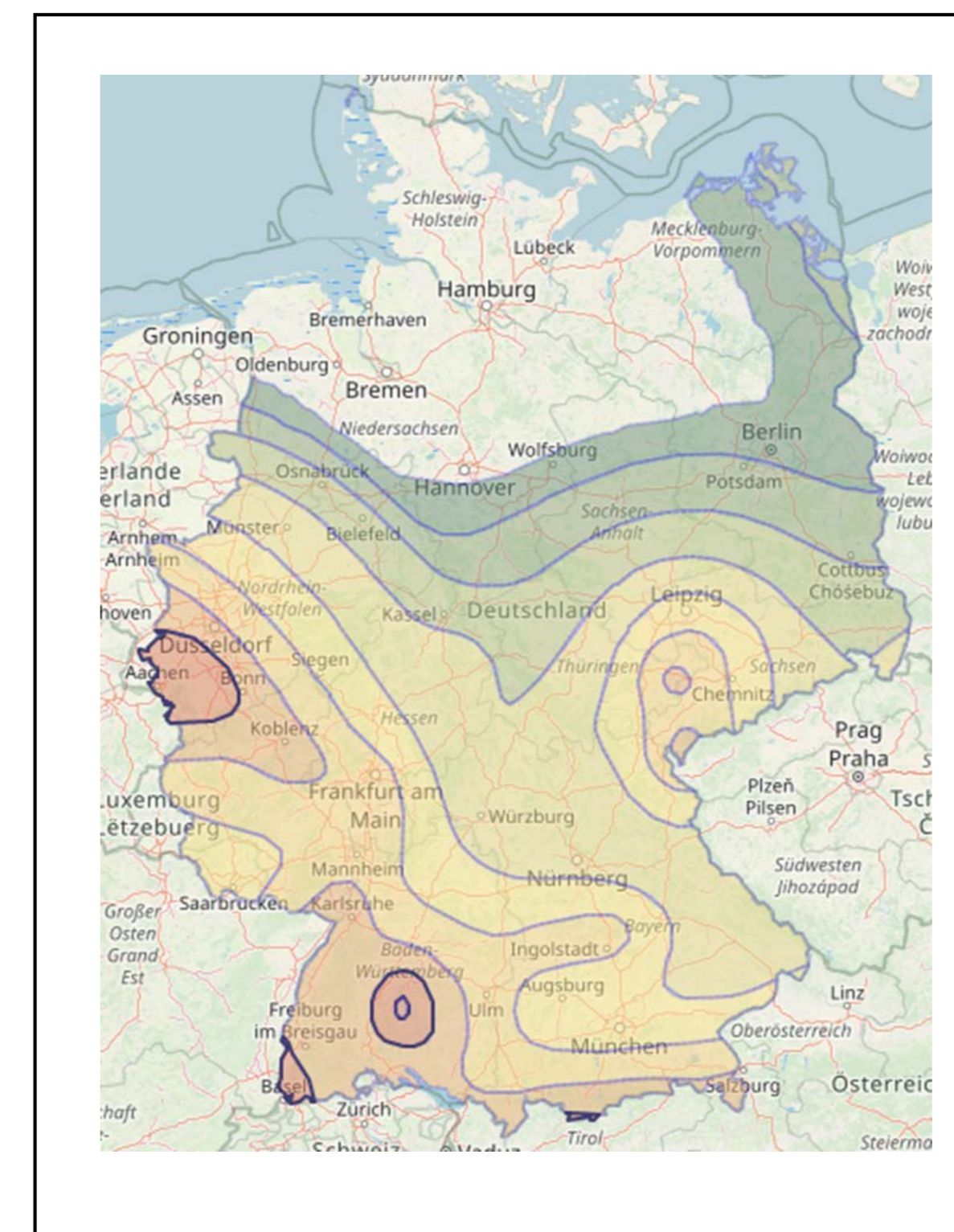
Schematische Darstellung der Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland, Bild NA.1 in der Deutschen Norm DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (noch geltende Fassung, 2011). Das Ausschlusskriterium „Seismische Aktivität“ nach StandAG § 22 ist erfüllt, wenn die örtliche seismische Gefährdung größer ist als in Erdbebenzone 1. Dies trifft für Erdbebenzonen 2 und 3 zu, in denen nach der Definition in der Norm die makroseismische Intensität $I \geq 7$ ist. Grundlage: Grünthal & Bosse (1996).

Datenbestand, Methoden, Kenngrößen	DIN EN 1998-1/NA 2011-01	E DIN EN 1998-1/NA:2018-10
Erdbebenkatalog	Erdbeben bis ca. 1995	grundlegend überarbeitet Erdbeben bis 2014
Stärkemaß der Erdbeben	Epizentralintensität I_0	Momentmagnitude M_w
Seismotektonische Regionen	1 Einteilung	5 Einteilungen und 2 quellregionfreie Ansätze
Geologische Untergrundverhältnisse	Mittlere geologische Untergrundverhältnisse (nicht spezifiziert)	Fels (mittlere Scherwellengeschwindigkeit in den oberen 30 m vs $30 = 800 \text{ m/s}$)
Methode, Gefährdungsniveau	probabilistische seismische Gefährdungsberechnungen, Überschreitenswahrscheinlichkeit 10 % in 50 a	probabilistische seismische Gefährdungsberechnungen, Überschreitenswahrscheinlichkeit 10 % in 50 a
Parameter der Bodenbewegung	Makroseismische Intensität I	Spektrale Amplituden des Antwortspektrums
Bodenbewegungsmodelle	1 Modell: makroseismische Intensität als Funktion der Epizentralintensität und der Hypozentralentfernung	5 Bodenbewegungsmodelle: spektrale Amplituden des Antwortspektrums als Funktion der Entfernung, der Momentmagnitude und weiterer Einflussgrößen
Kenngröße der seismischen Einwirkung	Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung umgerechnet aus Intensität	Mittlere Amplituden im Plateaubereich des Antwortspektrums (bei Perioden = 0,1 s, 0,15 s und 0,2 s) $S_{ap,R}$
Berücksichtigung von Ungewissheiten	Nein	Aleatorische Variabilitäten, und epistemische Unsicherheiten mittels logischem Baum

Unterschiede in den Datengrundlagen, Berechnungsmethoden und seismologischen Kenngrößen zwischen der noch geltenden Erdbebenbaunorm und dem Entwurf zur Aktualisierung. Die Berechnungen der seismischen Gefährdung für die Aktualisierung sind in Grünthal et al. (2018) erläutert: 'Probabilistic seismic hazard assessment of Germany—version 2016'.



Darstellung der räumlichen Verteilung der spektralen Antwortbeschleunigung $S_{ap,R}$ für die Untergrundklasse A-R „Fels“ im Plateaubereich des Antwortspektrums für eine Wiederkehrperiode $T_{NCR} = 475 \text{ a}$, Bild NA.1 in E DIN EN 1998-1/NA:2018-10, Entwurf der Aktualisierung, 2018). Für Beschleunigungen $S_{ap,R} < 0,6 \text{ m/s}^2$ muss die vorliegende Norm in der Regel für übliche Hochbauten aller Bedeutungskategorien nicht angewendet werden. Dieser Grenzwert ist mit der roten Linie gekennzeichnet. Grundlage: Grünthal et al. (2018).



Verteilung der berechneten seismischen Intensitäten in Deutschland für die Überschreitenswahrscheinlichkeit 10 % in 50 a (Berechnung in Zusammenhang mit dem Entwurf zur Aktualisierung). Die Isolinien decken den Bereich von 3,5 bis 8 in Intervallen von 0,5 ab. Die schwarzen Linien begrenzen die Intensitätsklasse zwischen 7,0 und 7,5. Internetseite des GFZ: <http://www-app5.gfz-potsdam.de/d-eghaz16/>

Länge [lon] (°)	Breite [lat] (°)	Region	$S_{ap,R}$ (m/s^2)
6,08	51,20	NR	1,4950
6,31	51,18	NR	1,5417
6,32	50,50	NR	1,5659
6,38	50,50	NR	1,5442
6,52	50,51	NR	1,5748
6,52	51,13	NR	1,5785
6,66	50,51	NR	1,6004
6,72	51,05	NR	1,6001
6,80	50,53	NR	1,6733
6,87	50,95	NR	1,6164
6,94	50,56	NR	1,6890
6,99	50,83	NR	1,6747
7,06	50,68	NR	1,7279
7,58	48,06	SO	1,9177
7,66	47,99	SO	1,8733
7,73	47,90	SO	1,8213
7,80	47,82	SO	1,8075
7,87	47,73	SO	1,8278
7,92	47,65	SO	1,8110
7,94	47,55	SO	1,8391
8,64	48,23	SA	1,7774
8,64	48,32	SA	1,7830
8,67	48,14	SA	1,7515
8,68	48,42	SA	1,8011
8,74	48,49	SA	1,8132
8,75	48,06	SA	1,7329
8,85	48,56	SA	1,8300
8,88	48,01	SA	1,7408
8,90	48,58	SA	1,8078
9,02	47,99	SA	1,7518
9,04	48,59	SA	1,8370
9,16	48,00	SA	1,7877
9,17	48,55	SA	1,8555
9,26	48,48	SA	1,8686
9,29	48,04	SA	1,7904
9,32	48,40	SA	1,8644
9,36	48,12	SA	1,7986
9,36	48,31	SA	1,8167
9,37	48,21	SA	1,7978
10,95	47,46	Z	2,2299
11,09	47,45	Z	2,2363
11,23	47,44	Z	2,2289
11,30	47,44	Z	2,2124

Amplituden im Plateaubereich der spektralen Antwortbeschleunigung $S_{ap,R}$ für die makroseismische Intensität $I = 7$, Überschreitenswahrscheinlichkeit 10% in 50 a (siehe benachbarte Abb. links), für die jeweiligen geografischen Koordinaten entlang der Isolinien $I = 7$. Die Regionen sind wie folgt kodiert: NR - Niederrheinische Bucht, SA - Schwäbische Alb, SO - Südlicher Oberrheingraben, Z - Gebiet an der Zugspitze. Als Mittelwert ergibt sich $1,8 \text{ m/s}^2$, Standardabweichung $0,2 \text{ m/s}^2$.

DIN EN 1998-1/NA:2011-01 (2011): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau. DOI:10.31030/1738038
E DIN EN 1998-1/NA:2018-10 (2018): Entwurf: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau. DOI:10.31030/2885780
Grünthal, G. & Bosse, C. (1996): Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland - Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode 8: Forschungsbericht. GeoForschungsZentrum, Bd. STR 96/10: S. 1-24; Potsdam. DOI:10.2312/GFZ.b103-96103
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. Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 10: S. 4339-4395. DOI:10.1007/s10518-018-0315-y
Kaiser, D. & Spies, T. (2020): Standortauswahl: Anwendung des Ausschlusskriteriums Seismische Aktivität, Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, B3.1/B50161-15/2020-0003/003, 20.08.2020, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich_Ausschlusskriterien/2020_09_25_ausschlusskriterium_seismische_aktivitaet_abschlussbericht.html