



Muhammed Al Koussini, Christoph Butenweg,  
Norbert Gebbeken

## **Vergleich der neuen Erdbebenkarten in Deutschland und mit den Anrainerstaaten**

Muhammed Al Koussini, Christoph Butenweg,  
Norbert Gebbeken

## **Vergleich der neuen Erdbebenkarten in Deutschland und mit den Anrainerstaaten**

**T 3386**

T 3386

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2021

ISBN 978-3-7388-0639-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

---

## **Projekt 20-1005.02**

# **Vergleich der neuen Erdbebenkarten in Deutschland und mit den Anrainerstaaten**

**Auftraggeber:** Deutsches Institut für Bautechnik  
Kolonnenstraße 30  
10829 Berlin

**Auftragnehmer:** SDA-engineering GmbH  
Kaiserstr. 100, TPH III  
52134 Herzogenrath

MJG Ingenieur-GmbH  
Gottfried-Keller-Str. 12  
81245 München

**Bearbeiter:** M.Sc. Muhammed Al Koussini  
Prof. Dr.-Ing. Christoph Butenweg  
Prof. Dr.-Ing. Norbert Gebbeken

**Erstellungsdatum:** 23.03.2021

**Revision:** R-8

**Vertragsnummer:** P 52-5- 3.123-2059/20

**Seitenzahl:** 71

## Inhaltsverzeichnis

<b>NORMEN, RICHTLINIEN UND WEITERE LITERATUR .....</b>	<b>4</b>
<b>1. VERANLASSUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>2. ZIELSETZUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>3. ERDBEBENEINWIRKUNG IN DEUTSCHLAND .....</b>	<b>8</b>
3.1 Entwicklung der Erdbebenkarten .....	8
3.2 Erdbebeneinwirkung: DIN 4149 - DIN EN 1998-1/NA-2011 .....	8
3.2.1 Horizontales Bemessungsspektrum für lineare Berechnungen .....	10
3.2.2 Vertikales elastisches Antwortspektrum.....	11
3.3 Erdbebeneinwirkung: DIN EN 1998-1/NA-2020 .....	12
3.3.1 Horizontales Bemessungsspektrum für lineare Berechnungen .....	14
3.3.2 Vertikales elastisches Antwortspektrum.....	17
3.3.3 Erdbebeneinwirkung für höhere Wiederkehrperioden .....	17
<b>4. VERGLEICH DER ALTEN UND NEUEN ERDBEBENKARTEN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Vergleich auf Grundlage von Erdbebenzonen .....	21
4.2 Vergleich der Nachweisgrenzen .....	22
4.3 Vergleich Antwortspektren .....	24
<b>5. HARMONISIERTE GEFÄHRDUNGSKARTEN .....</b>	<b>31</b>
5.1 SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe).....	31
5.2 GEM: Global Earthquake Model .....	33
5.3 Vergleich der PGA-Werte entlang der Ländergrenzen .....	35
<b>6. VERGLEICH DER ERDBEBENEINWIRKUNGEN .....</b>	<b>36</b>
6.1 Erdbebeneinwirkungen in den einzelnen Ländern .....	36
6.1.1 Belgien.....	37
6.1.2 Frankreich.....	37
6.1.3 Griechenland .....	39
6.1.4 Italien.....	39
6.1.5 Luxemburg.....	41
6.1.6 Niederlande.....	41

---

6.1.7	Österreich.....	43
6.1.8	Polen.....	44
6.1.9	Portugal.....	44
6.1.10	Schweiz.....	45
6.1.11	Tschechien.....	47
6.2	Vergleich der Antwortspektren der einzelnen Länder .....	48
6.2.1	Vergleich der Antwortspektren für Bodenklasse A.....	49
6.2.2	Vergleich der Antwortspektren für Bodenklasse B.....	50
6.2.3	Vergleich der Antwortspektren für Bodenklasse C.....	52
6.3	Vergleich von Standorten entlang der Landesgrenzen.....	55
6.3.1	Vergleich zwischen Deutschland und Niederlande.....	55
6.3.2	Vergleich zwischen Deutschland und Belgien.....	56
6.3.3	Vergleich zwischen Deutschland und Luxemburg.....	58
6.3.4	Vergleich zwischen Deutschland und Frankreich.....	59
6.3.5	Vergleich zwischen Deutschland und der Schweiz.....	61
6.3.6	Vergleich zwischen Deutschland und Österreich.....	63
6.3.7	Vergleich zwischen Deutschland und Tschechien.....	66
<b>7.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>69</b>

## Normen, Richtlinien und weitere Literatur

- [1] E DIN EN 1998-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau; 2020
- [2] DIN EN 1998-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau; Januar 2011
- [3] DIN EN 1998-1: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009, Dezember 2010.
- [4] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin 2005.
- [5] DIN EN 1998-3: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden. Deutsche Fassung EN 1998-3:2005+AC:2010. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin, Dezember 2010.
- [6] Butenweg, C., Rosin, J., Kubalski, T: DiBt-Reports 1 – 4: improved seismic design concepts for masonry buildings in Germany, SDA-engineering GmbH, Herzogenrath, 2ß19.
- [7] Rosin, J., Butenweg, C., Cacciatore, P., Boesen, N.: Investigation of the seismic performance of modern masonry buildings during the Emilia Romagna earthquake series, Mauerwerk 22, Heft 4, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin.
- [8] Wuttke, C., Butenweg, C., Rosin, J., Kubalski, T.: Verbesserte seismische Nachweiskonzepte für Mauerwerkbauten in deutschen Erdbebengebieten, 16. D-A-CH Tagung Erdbebeningenieurwesen & Baudynamik, 26.27.09.2019 in Innsbruck, 2019.
- [9] NEN 6702 : Technical principles for building structures - TGB 1990 - Loadings and deformations (in Dutch). - Nederlands Normalisatie-instituut, ICS 91.080.01, December 2001.
- [10] Ahorner, L., Flick, J.A., van Gils, J.M., Houtgast, G. & A.R. Ritsema (1975): First draft of an earthquake zoning map of Northwest-Germany, Belgium, Luxemburg and the Netherlands. In: on earthquake risk for nuclear power plants: Proceedings of the ESC Symposium in Luxembourg 1975. Royal netherlands meteorological institute, pub. no. 153, January 1976.
- [11] Seismic zoning map for Netherlands out of: de Crook, Th. (1996): A seismic zoning map conforming to Eurocode 8, and practical earthquake parameter relations for the Netherlands, Geologie en Mijnbouw, **75**, 11-18, map from the webpage of the Royal Netherlands Meteorological Institute.
- [12] Grünthal, G., Bosse, C. (1996). Probabilistische karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland – Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode 8: Forschungsbericht (Scientific Technical Report STR 96/10). Potsdam, GeoForschungsZentrum Postdam.
- [13] Grünthal, G. et al. (2018): The probailistic seismic hazard assessment of Germany – version 2016, considering the range of epistemic uncertainties and aleatory variability.
- [14] Grünthal, G., Stromeyer, D., Bosse, C., Cotton, F., Bindi, D. (2018): Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands – Version 2016 – für DIN EN 1998-1/NA. – Bautechnik, 95, 5, pp. 371-384.

- 
- [15] Grünthal, G., Bosse, C., (2021): Unterschiede, Beziehungen und Gemeinsamkeiten der Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem Nationalen Anhang Eurocode 8 – Bautechnik, 98, 5, pp. 1-16.
- [16] Butenweg, C., Kaiser, D.: Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE), Deutsche Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, DGEB-Publikation Nr. 16, 2015.
- [17] NBN EN 1998-1-ANB: National application document to Eurocode: Design of structures for earthquake resistance – Part 1. General rules, seismic actions and rules for buildings (in Dutch). Belgian Institute for normalization (NBN), October 2011.
- [18] NEN 6702: Technical principles for building structures – TGB 1990 – Loadings and deformations (in Dutch). – Nederlands Normalisatie-Instituut, ICS 91.080.01, December 2001.
- [19] NPR 9998+C1: Assessment of structural safety of buildings in case of erection, reconstruction and disapproval – Induced earthquakes – Basis of design, actions and resistances, 2018.
- [20] EN 1998-1:2004/AN-LU:2011 Eurocode 8 -Annexe Nationale Luxembourgeoise, ILNAS Institut luxembourgeois de la normalisation de l'accréditation, de la sécurité et qualité des produits et services, Luxembourg 09/2011.
- [21] NF EN 1998-1/NA (2013), Eurocode 8 – National Annex for France (in French), December 2013.
- [22] Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite «à risque normal»; Le ministre d'Etat, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat, le ministre de l'intérieur, de l'outre-mer et des collectivités territoriales, la secrétaire d'Etat chargée de l'écologie et le secrétaire d'Etat chargé du logement et de l'urbanisme; 24 octobre 2010
- [23] Arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite «à risque normal»; la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, le ministre de l'intérieur, la ministre du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité et la ministre des outre-mer; journal officiel de la république française; 23 septembre 2014
- [24] Décret n° 2015-5 du 6 janvier 2015 modifiant l'article D. 563-8-1 du code de l'environnement
- [25] La nouvelle Réglementation parasismique applicable aux bâtiments; ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement; janvier 2011
- [26] SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein, 2020.
- [27] ÖNORM B 1998-1: 2017-07-01, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-1 und nationale Erläuterungen.
- [28] [Wiedza.pkn.pl/documents/14137/31883/Za%C5%82%C4%85cownik+B\\_Eurokody.pdf/97bf1e36-2c0c-4f50-8ed5-01c=68ddd995](https://wiedza.pkn.pl/documents/14137/31883/Za%C5%82%C4%85cownik+B_Eurokody.pdf/97bf1e36-2c0c-4f50-8ed5-01c=68ddd995)
- [29] CSN EN 1998-1/NA National Annex – Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, CESKA TECHNICKA NORMA 2007
- [30] NCT 2018: Norme Tecnica per le Costruzioni Decreto 2018 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008), 17.01.2018.
- [31] EN 1998-1:2011/NA: Εθνικό Προσάρτημα στον Ερωκώδικα EN 1998-1: Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, 2011



- 
- [32] NP EN 1998-1 2010 NA: National application document to Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (in Portuguese), Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, March 2011.
  - [33] European facilities for Earthquake Hazard and Risk (EFEHR); <http://www.efehr.org/en/hazard-data-access/hazard-maps/>
  - [34] Das interaktive Tool zur Erdbebeneinwirkung nach E DIN En 1998-1/ NA:2020; <https://www.sda-engineering.de/erdbebenkarten-deutschland/>
  - [35] GFZ: Richtigstellungen zum Brief der DGfM: Thema für Tübingen „Neu genormte Erdbeben-Gefahr“ in dem Normdokument NA 005-06 AA N 1121, 02.22.2018
  - [36] SHARE: <http://www.efehr.org:8080/jetspeed/portal/hazard.psml>, publisher: European Facility for Earthquake Hazard and Risk, data gathered on 27. May 2014.
  - [37] GEM: Global Earthquake Model: <https://www.globalquakemodel.org/gem>
  - [38] Grünthal, G.: Vergleich der neuen Erdbebengefährdungskarten der Schweiz, Deutschlands, Österreichs und Frankreichs für die Nationalen Anhänge zum Eurocode 8, Bautechnik, Verlag Ernst und Sohn, Juli 2020.
  - [39] <http://www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/seismic-hazard-switzerland/>

## 1. Veranlassung

Aktuell liegt das Nationale Anwendungsdokument DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] zur DIN EN 1998-1 [3] im Gelbdruck vor. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] liegen in der Einarbeitung neuer Erdbebenkarten und der Integration neuer Nachweisformate für den Mauerwerksbau. Die neuen vom GFZ und der Universität Weimar ausgearbeiteten Erdbebenkarten beruhen auf den Ergebnissen probabilistischer Gefährdungsanalysen und weisen im Gegensatz zur DIN 4149 [4] und dem Nationalen Anwendungsdokument DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] aus dem Jahr 2011 keine Erdbebenzonen mehr aus. Ein erster visueller Vergleich der alten und neuen Karten zeigt eine deutliche Ausdehnung der von Erdbeben betroffenen Gebiete. Weiterhin ist ein wesentlicher Unterschied, dass Gebiete in der aktuellen im Allgemeinen nicht nachweispflichtigen Zone 0 nach DIN 4149 [4] insbesondere für Bauwerke mit höherer Bedeutung nachweispflichtig werden. Zudem ergeben sich teilweise höhere Erdbebeneinwirkungen.

## 2. Zielsetzung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erfolgt zunächst ein Vergleich der Antwortspektren nach DIN 4149 [4] und DIN EN 1998-1/NA-2020 [1]. Dies ist erforderlich, da die Einwirkung in der neuen Erdbebenkarte in Form von Spektralbeschleunigungen und nicht mehr mit maximalen Bodenbeschleunigungen angegeben ist. Zudem werden in der Neufassung vom Einwirkungsniveau abhängige Bodenfaktoren definiert, so dass kein einfacher und direkter Vergleich „alt“ und „neu“ möglich ist. Weiterhin werden die Ausdehnung der Erdbebengebiete und die anzusetzenden Spektralbeschleunigungen in dem neuen Anwendungsdokument bewertet. Das Ergebnis dieses Untersuchungsschritts ist eine Bewertung der Konsequenzen für die anzusetzenden Erdbebeneinwirkungen durch die Einführung neuer Karten in den deutschen Erdbebengebieten.

Darauf aufbauend erfolgt ein Vergleich der seismischen Einwirkungen in deutschen Erdbebengebieten mit den Einwirkungsniveaus in den Anrainerstaaten Niederlande, Belgien, Luxemburg, Polen, Tschechien, Österreich, Schweiz, Frankreich, und Italien. Zusätzlich werden auch noch Portugal, Italien und Griechenland hinzugezogen, obwohl diese Länder nicht direkt an Deutschland grenzen. Für jedes der genannten Länder erfolgt eine Auswertung der aktuellen normativen Dokumente für die Definition der Antwortspektren. Anschließend erfolgt die Gegenüberstellung der Erdbebeneinwirkungen in den Grenzbereichen zwischen Deutschland und den Anrainerstaaten sowie ein Vergleich der Antwortspektren im Hinblick auf die Spektralform und die Amplifikationsfaktoren. Den Abschluss des Berichts bildet eine zusammenfassende Beurteilung der Untersuchungsergebnisse.

### 3. Erdbebeneinwirkung in Deutschland

#### 3.1 Entwicklung der Erdbebenkarten

Die Erdbebeneinwirkung in Deutschland wird bislang durch eine Erdbebenzonenkarte in DIN 4149 [4] beschrieben. Diese Karte wurde auch in das Nationale Anwendungsdokument DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] übernommen, dass jedoch bauaufsichtlich nicht eingeführt wurde. Die Überarbeitung der Erdbebenzonenkarte war erforderlich, da sowohl die methodischen Ansätze als auch der zugrunde gelegte Erdbebenkatalog nicht mehr aktuell waren. Dies ist nachvollziehbar, da die Grundlagenarbeiten zu diesen Karten von bereits 1993 bis 1995 durchgeführt wurden [10].

Die neuen Karten wurden für physikalische Bodenbewegungsgrößen zur Parametrisierung der Ergebnisse probabilistischer seismischer Hazard-Abschätzungen (PSHA) und basierend auf aktualisierten Erdbebenkatalogen erstellt. Eine detaillierte Beschreibung der Herleitung der Karten findet sich in den Veröffentlichungen von Grünthal et al. [13], [14], [15].

#### 3.2 Erdbebeneinwirkung: DIN 4149 - DIN EN 1998-1/NA-2011

Die Erdbebengefährdung in Deutschland wird aktuell durch eine Erdbebenzonenkarte (Abbildung 3-1) mit der in Abschnitt 4.1 genauer erläuterten Zoneneinteilung von 0 bis 3 beschrieben. Die Referenz-Wiederkehrperiode für diese Karte beträgt  $T_{NCR} = 475$  Jahre, was einer Wahrscheinlichkeit des Auftretens oder Überschreitens von 10 % in 50 Jahren entspricht. Jeder Erdbebenzone ist ein Bemessungswert der effektiven Bodenbeschleunigung  $a_g$  gemäß Tabelle 3-1 zugeordnet. Diese effektive Bodenbeschleunigung ist in DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] dem Referenz-Spitzenwert  $a_{gR}$  gleichgesetzt, der auch im Basisdokument DIN EN 1998-1 [3] verwendet wird.

**Tabelle 3-1: Erdbebenzonen mit Bemessungswerten der Bodenbeschleunigung**

Erdbebenzone	Bemessungswert $a_g$ der Bodenbeschleunigung in $[m/s^2]$
0	-
1	0,4
2	0,6
3	0,8

Zusätzlich wird der Einfluss der örtlichen Untergrundverhältnisse auf die Stärke des möglichen Bebens berücksichtigt und zwar sowohl hinsichtlich der Beschaffenheit der ersten 20 m des anliegenden Baugrundes als auch hinsichtlich der geologischen Untergrundverhältnisse. Der Baugrund wird in die Baugrundklassen A, B und C mit den in Tabelle 3-2 beschriebenen Eigenschaften klassifiziert. Die Klassifizierung erfolgt in der Regel im Rahmen eines geotechnischen Bodengutachtens. Liegen keine Informationen über den Baugrund vor, so ist auf der sicheren Seite die ungünstigste Baugrundklasse zu wählen.

Die geologischen Untergrundverhältnisse werden durch die Klassen R, S und T beschrieben (Tabelle 3-2), deren räumliche Verteilung zusammen mit den Erdbebenzonen in Abbildung 3-1 dargestellt ist.

Tabelle 3-2: Baugrund- und Untergrundklassen

Baugrundklassen ( $\leq 20\text{m}$ Tiefe)		Geologische Untergrundklassen ( $> 20\text{m}$ )	
<b>A</b>	unverwitterte Festgesteine Scherwellengeschwindigkeiten: $> 800\text{ m/s}$ .	<b>R</b>	Festgesteinsgebiete
<b>B</b>	mäßig verwitterte Festgesteine oder grob- bis gemischtkörnige Lockergesteine in fester Konsistenz Scherwellengeschwindigkeiten: $350\text{ m/s} - 800\text{ m/s}$ .	<b>S</b>	Gebiete flacher Sedimentbecken und Übergangszonen
<b>C</b>	gemischt- bis feinkörnige Lockergesteine in mindestens steifer Konsistenz Scherwellengeschwindigkeiten: $150\text{ m/s} - 350\text{ m/s}$ .	<b>T</b>	Gebiete tiefer Sedimentbecken

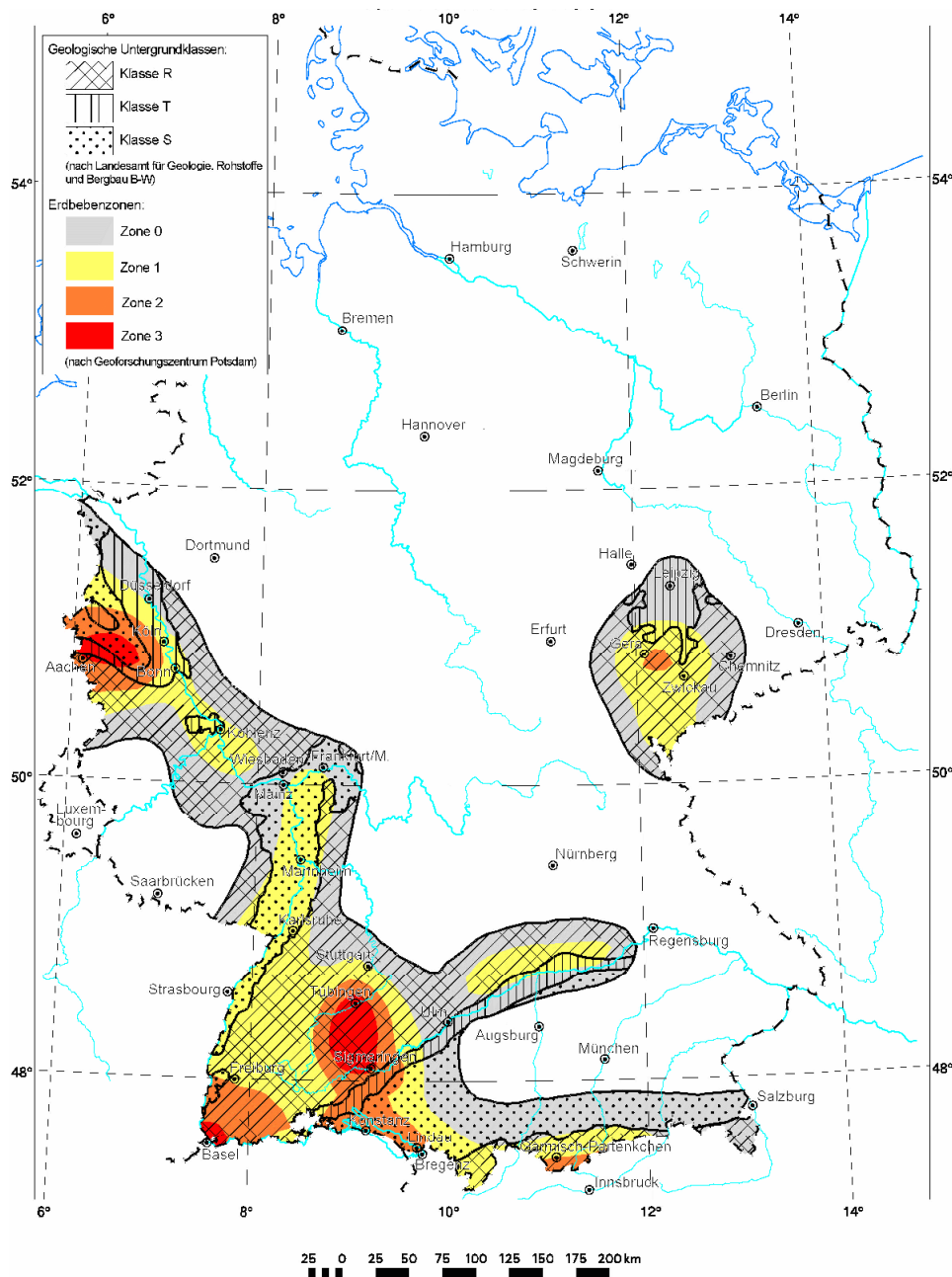


Abbildung 3-1: Erdbebenzonen und geologische Untergrundklassen

### 3.2.1 Horizontales Bemessungsspektrum für lineare Berechnungen

Die horizontale Erdbebeneinwirkung für die seismische Auslegung von Bauwerken wird durch ein Bemessungsspektrum beschrieben. Dieses Spektrum ist definiert durch Funktionen zwischen den Einhängenpunkten von A bis D an den so genannten Kontrollperioden  $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  und  $T_D$  (Abbildung 3-2).

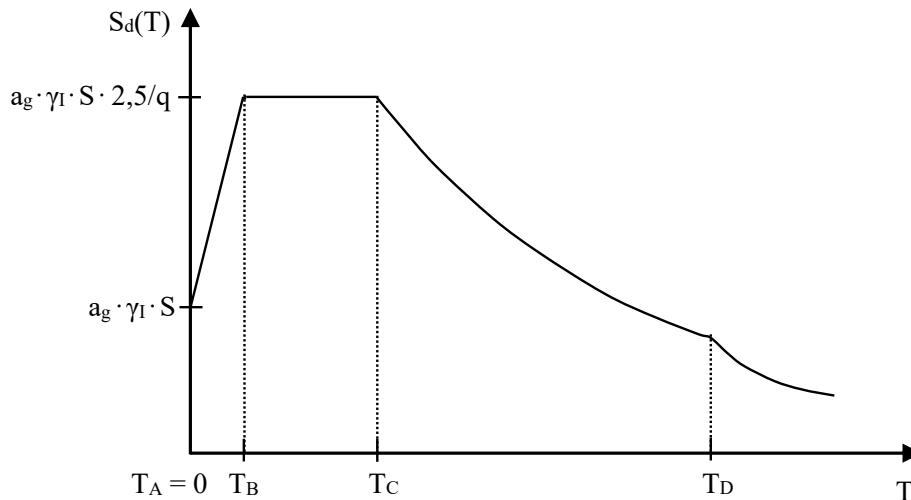


Abbildung 3-2: Horizontales Bemessungsspektrum: DIN 4149 [4], DIN EN 1998/NA-2011 [2]

Die funktionalen Verläufe in den vier Bereichen sind wie folgt definiert:

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - 1 \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = a_g \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C T_D}{T^2}$$

mit:

- $S_d(T)$ : Ordinate des Bemessungsspektrums;
- $T$ : Schwingungsdauer eines linearen Einmassenschwingers;
- $a_g$ : Bemessungswert der Bodenbeschleunigung (=  $a_{gR}$ );
- $a_{gR}$ : Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung;
- $\gamma_I$ : Bedeutungsbeiwert;
- $q$ : Verhaltensbeiwert;
- $S$ : Bodenparameter;
- $T_{A-D}$ : Kontrollperioden des Antwortspektrums.

Der Bemessungswert der effektiven Bodenbeschleunigung  $a_g$  nach DIN 4149 [4] bzw. der Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung  $a_{gR}$  nach DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] werden mit der Erdbebenzonenkarte (Abbildung 3-1) und Tabelle 3-1 ermittelt. Die Kontrollperioden  $T_B$ ,  $T_C$  und  $T_D$  und der Bodenparameter  $S$  werden in Abhängigkeit der geologischen Untergrundklasse und der Baugrundklasse (Tabelle 3-2) mit Tabelle 3-3 bestimmt.

**Tabelle 3-3: Horizontales Spektrum: Perioden  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ , Untergrundparameter  $S$  [4]**

Untergrundverhältnis	$S$	$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

**Tabelle 3-4: Vertikales Spektrum: Perioden  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ , Untergrundparameter  $S$  [4]**

Untergrundverhältnis	$S$	$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,20	2,0
C-R	1,50	0,05	0,20	2,0
B-T	1,00	0,1	0,20	2,0
C-T	1,25	0,1	0,20	2,0
C-S	0,75	0,1	0,20	2,0

### 3.2.2 Vertikales elastisches Antwortspektrum

Für die Aufstellung des elastischen vertikalen Antwortspektrums nach DIN 4149 [4] wird der funktionale Verlauf des horizontalen Bemessungsspektrums angesetzt, wobei der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung  $a_g$  mit dem Faktor 0,7 abzumindern ist und die Kontrollperioden und der Untergrundparameter nach Tabelle 3-4 anzusetzen sind. Der Verhaltensbeiwert ist hierbei im Regelfall mit  $q = 1,0$  anzusetzen.

Nach DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] wird der funktionale Verlauf des vertikalen linearen Antwortspektrums entsprechend des Basisdokuments DIN EN 1998-1 [3] definiert:

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \frac{T_C T_D}{T^2}$$

mit:

$\eta$  Korrekturwert für Dämpfungswerte ungleich  $\xi = 5 \%$ ,  $\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55$

$\xi$  Wert der viskosen Dämpfung des Bauwerks in Prozent

### 3.3 Erdbebeneinwirkung: DIN EN 1998-1/NA-2020

Die Erdbebeneinwirkung in Deutschland wird im Gelbdruck des Nationalen Anwendungsdokumentes DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] durch eine neue kontinuierliche probabilistische Erdbebenkarte beschrieben, die nicht mehr auf Erdbebenzonen basiert. Die Referenz-Wiederkehrperiode für diese Karte beträgt  $T_{NCR} = 475$  Jahre, was einer Wahrscheinlichkeit des Auftretens oder Überschreitens von 10 % in 50 Jahren entspricht. Die Kartendarstellung in Abbildung 3-3 zeigt die spektrale Antwortbeschleunigung  $S_{ap,R}$  im Plateaubereich des Antwortspektrums für das Untergrundverhältnis A-R mit einer Scherwellengeschwindigkeit von  $v_{s30} = 800$  m/s. Die Antwortbeschleunigungen wurden aus den gewichteten arithmetischen Mittelwerten für die Spektralamplituden der Perioden  $T = 0,1$  s,  $0,15$  s und  $0,2$  s des logischen Baums ermittelt, aus denen wiederum die Mittelwerte gebildet wurden. Grundlage hierfür war eine probabilistische Gefährdungsberechnung für eine mittlere Wiederholungsperiode von 475 Jahren [15]. Für die Referenz-Wiederkehrperiode von  $T_{NCR} = 475$  Jahren darf die Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung  $a_{gR}$  für das Untergrundverhältnis A-R,  $a_{gR}$ , aus der spektralen Antwortbeschleunigung für Fels im Plateaubereich  $S_{ap,R}$  mit dem spektralen Überhöhungsfaktor  $\beta_0 = 2,5$  wie folgt berechnet werden:

$$a_{gR} = \frac{S_{ap,R}}{2,5}$$

Zusätzlich wird, wie bereits in der DIN 4149 [4] und DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] der Einfluss der örtlichen Untergrundverhältnisse auf die Stärke des möglichen Bebens berücksichtigt und zwar sowohl hinsichtlich der Beschaffenheit der ersten 20 m des anliegenden Baugrundes als auch hinsichtlich der geologischen Untergrundverhältnisse. Der Baugrund wird in die Baugrundklassen A, B und C mit den in Tabelle 3-5 beschriebenen Eigenschaften klassifiziert. Die Klassifizierung erfolgt in der Regel im Rahmen eines geotechnischen Bodengutachtens. Liegen keine Informationen über den Baugrund vor, so ist auf der sicheren Seite die ungünstigste Baugrundklasse zu wählen.

Die geologischen Untergrundverhältnisse werden durch die Klassen R, S und T beschrieben (Tabelle 3-5), dessen räumliche Verteilung in Abbildung 3-4 dargestellt ist. Die Darstellung der geologischen Untergrundklassen ist bis zu der Anwendungsgrenze von  $S_{ap,R} = 0,6$  m/s<sup>2</sup> angegeben. Bis zu diesem Wert kann für übliche Hochbauten aller Bedeutungskategorien und aller geologischen Untergrundklassen von sehr geringer Seismizität ausgegangen werden, so dass im Allgemeinen kein bautechnischer Nachweis erforderlich ist.

**Tabelle 3-5: Baugrund- und Untergrundklassen**

Baugrundklassen ( $\leq 20$ m Tiefe)		Geologische Untergrundklassen ( $> 20$ m)	
<b>A</b>	unverwitterte Festgesteine Scherwellengeschwindigkeiten: $> 800$ m/s.	<b>R</b>	Festgesteinsgebiete
<b>B</b>	mäßig verwitterte Festgesteine oder grob- bis gemischtkörnige Lockergesteine in fester Konsistenz Scherwellengeschwindigkeiten: $350$ m/s – $800$ m/s.	<b>S</b>	Gebiete flacher Sedimentbecken und Übergangszonen
<b>C</b>	gemischt- bis feinkörnige Lockergesteine in mindestens steifer Konsistenz Scherwellengeschwindigkeiten: $150$ m/s - $350$ m/s.	<b>T</b>	Gebiete tiefer Sedimentbecken

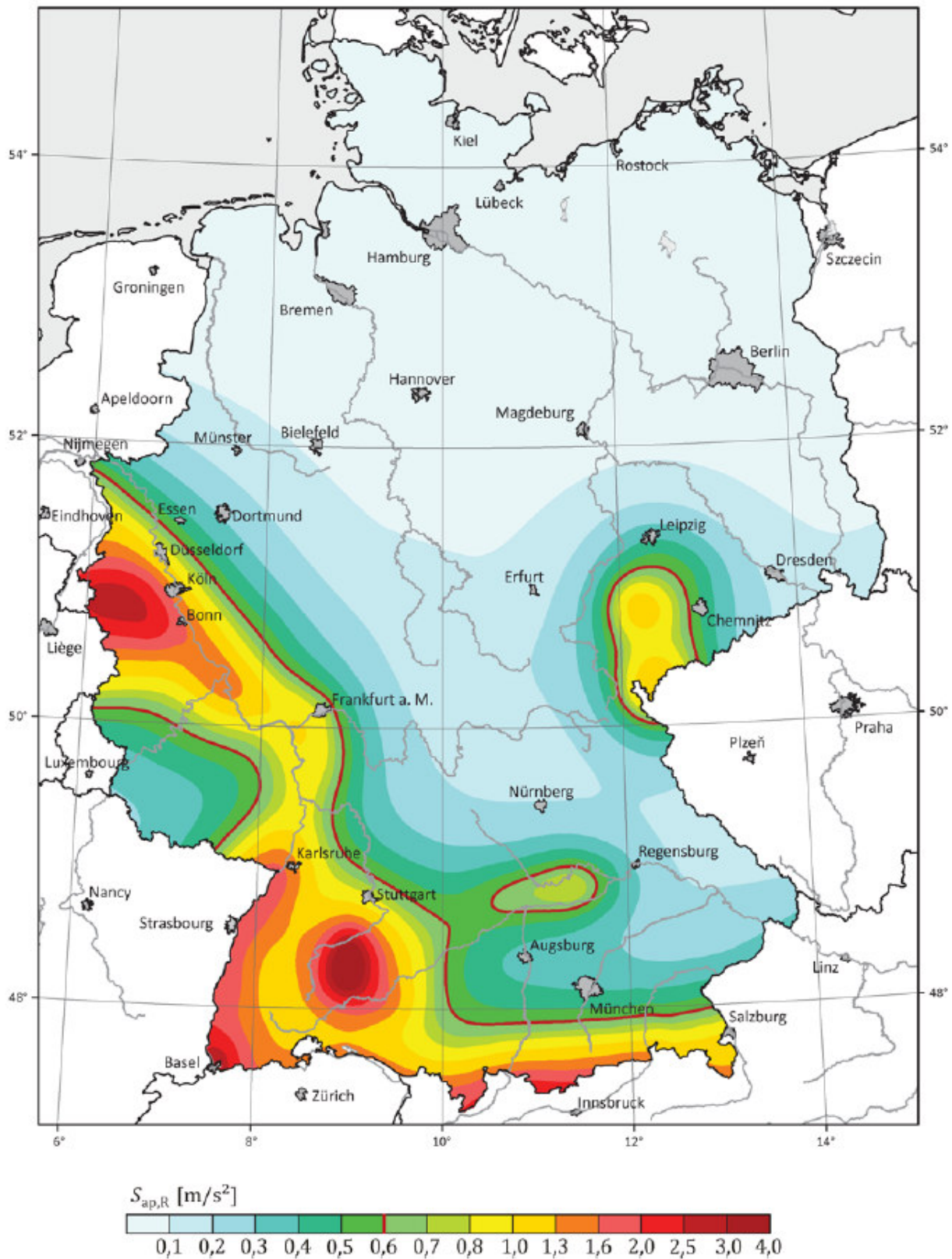


Abbildung 3-3: Räumliche Verteilung der spektral Antwortbeschleunigung für das Untergrundverhältnis A-R im Plateaubereich  $S_{ap,R}$  für eine Wiederkehrperiode von  $T_{NCR} = 475$  Jahre [1]

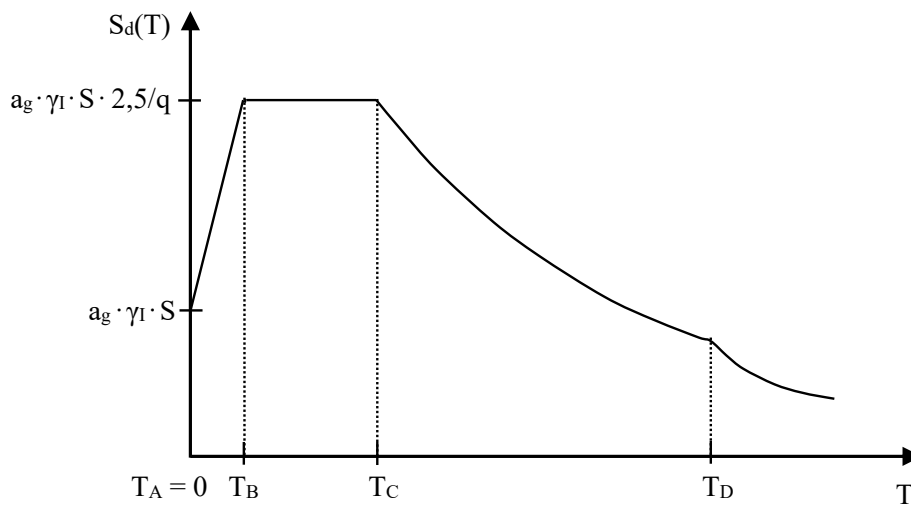




Abbildung 3-4: Schematische Darstellung der geologischen Untergrundklassen im Bereich der Konturlinie von  $S_{aP,R} \leq 0,6 \text{ m/s}^2$

### 3.3.1 Horizontales Bemessungsspektrum für lineare Berechnungen

Die horizontale Erdbebeneinwirkung für die seismische Auslegung von Bauwerken wird durch ein Bemessungsspektrum beschrieben (Abbildung 3-5). Dieses Spektrum ist definiert durch Funktionen zwischen den Einhängenpunkten von A bis D an den so genannten Kontrollperioden  $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  und  $T_D$ .



**Abbildung 3-5: Horizontales Bemessungsspektrum nach DIN EN 1998/NA-2020 [1]**

Die funktionalen Verläufe in den vier Bereichen sind wie folgt definiert:

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C T_D}{T^2}$$

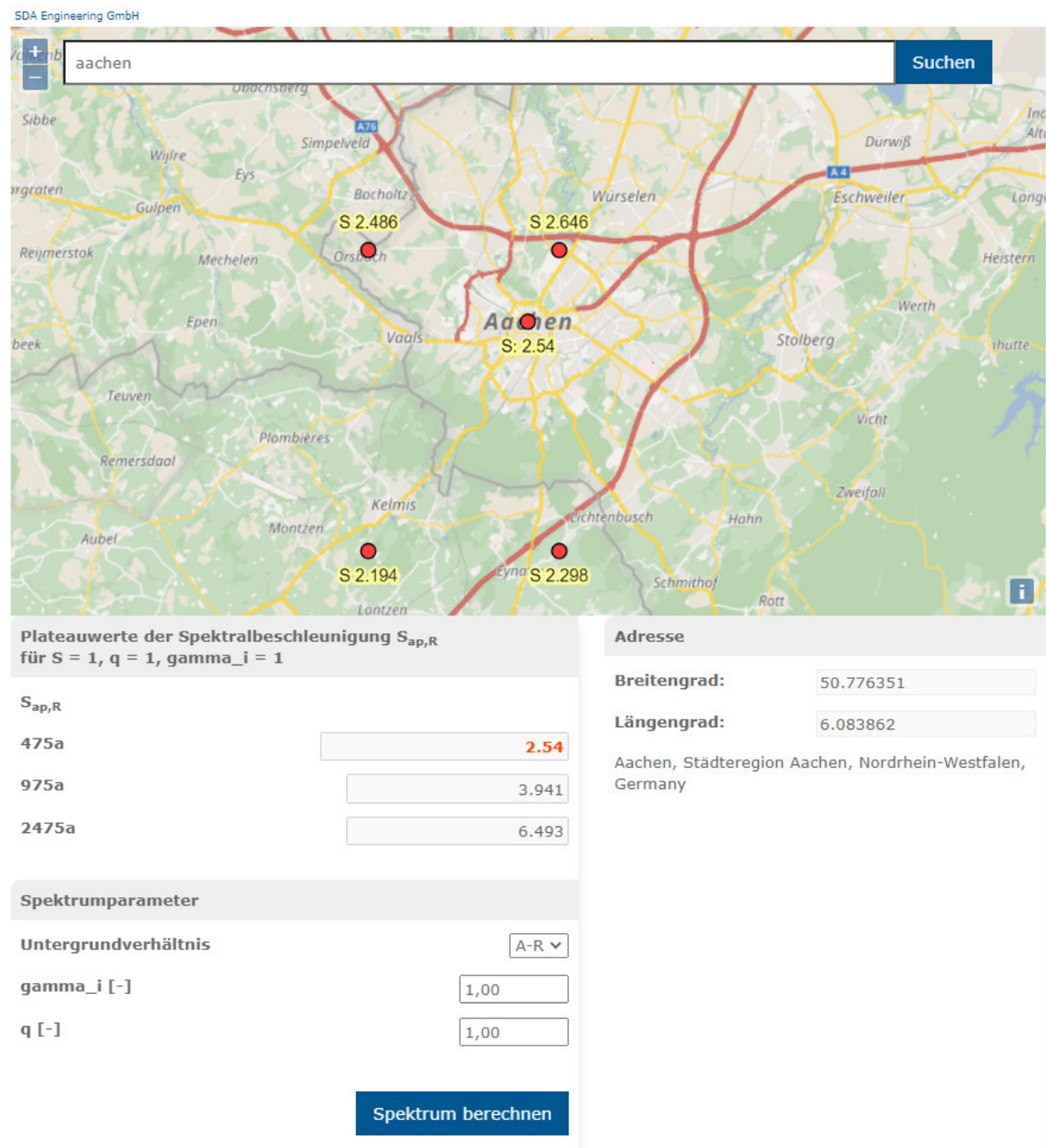
$$a_{gR} = \frac{S_{ap,R}}{2,5}$$

mit:

- $S_d(T)$ : Ordinate des Bemessungsspektrums;
- $T$ : Schwingungsdauer eines linearen Einmassenschwingers;
- $a_{gR}$ : Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung;
- $\gamma_I$ : Bedeutungsbeiwert;
- $q$ : Verhaltensbeiwert;
- $S$ : Bodenparameter;
- $T_{A-D}$ : Kontrollperioden des Antwortspektrums.

Die spektrale Antwortbeschleunigung  $S_{ap,R}$  im Plateaubereich des Antwortspektrums für das Untergrundverhältnis A-R nach DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] kann mit der kontinuierlichen Erdbebenkarte ermittelt werden. Da ein Ablesen aus der gedruckten Karte zu ungenau ist, sollte die Ermittlung auf Grundlage der digitalen Daten des GFZ erfolgen. Die digitalen Daten für die spektralen Antwortbeschleunigungen liegen an den Stützstellen eines Datennetzes (Gitternetz) vor. Aus diesem Datennetz kann für jeden Standort die spektrale Antwortbeschleunigung  $S_{ap,R}$  aus den benachbarten vier Stützstellen des Datennetzes ermittelt und bilinear auf den Standort interpoliert werden. Die Interpolation über die Abfrage

des Internetportals der SDA-engineering GmbH zeigt Abbildung 3-6 am Beispiel des Standorts Aachen. Alternativ kann konservativ auch der größte der vier Eckwerte angesetzt werden.



SDA Engineering GmbH

aachen Suchen

Plateauwerte der Spektralbeschleunigung  $S_{ap,R}$   
für  $S = 1$ ,  $q = 1$ ,  $\gamma_i = 1$

$S_{ap,R}$	
475a	<input type="text" value="2.54"/>
975a	<input type="text" value="3.941"/>
2475a	<input type="text" value="6.493"/>

**Spektrumparameter**

Untergrundverhältnis

$\gamma_i$  [-]

$q$  [-]

Spektrum berechnen

**Adresse**

Breitengrad:

Längengrad:

Aachen, Städteregion Aachen, Nordrhein-Westfalen, Germany

**Abbildung 3-6: Abfrage der spektralen Antwortbeschleunigung für die Stadt Aachen (<https://www.sda-engineering.de/erdbebenkarten-deutschland/>) [34]**

Die Kontrollperioden  $T_B$ ,  $T_C$  und  $T_D$  sind für die unterschiedlichen Bodenverhältnisse in Tabelle 3-6 angegeben. Hierbei ist zu beachten, dass als neue Untergrundkombination B-S hinzugekommen ist. Der Bodenparameter  $S$  ist in Abhängigkeit von der geologischen Untergrundklasse und der Baugrundklasse (Tabelle 3-5) sowie dem Einwirkungs niveau  $S_{ap,R}$  nach Tabelle 3-6 zu bestimmen. Die Abhängigkeit vom Einwirkungs niveau ist ein weiterer wesentlicher Unterschied zur DIN 4149 [4].

**Tabelle 3-6: Horizontales Spektrum: Perioden  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  [1]**

Untergrundverhältnis	$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
A-R	0,10	0,20	2,00
B-R	0,10	0,25	2,00
C-R	0,10	0,30	2,00
B-T	0,10	0,25	2,00
C-T	0,10	0,4	2,00
B-S	0,10	0,4	2,00
C-S	0,10	0,5	2,00

**Tabelle 3-7: Bodenparameter  $S$  zur Beschreibung des horizontalen Antwortspektrums [1]**

$S_{aP,R}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Untergrundverhältnisse						
	A-R	B-R	C-R	B-T	C-T	B-S	C-S
$0,6 \leq S_{aP,R} \leq 1,0$	1,00	1,25	1,50	1,05	1,45	1,30	1,30
$1,0 < S_{aP,R} \leq 2,0$	1,00	1,20	1,30	1,00	1,25	1,15	1,15
$S_{aP,R} > 2,0$	1,00	1,20	1,15	1,00	1,10	0,95	0,95

Hinweis: Für das Untergrundverhältnis B-S darf der Bodenparameter  $S$  wie bei C-S angenommen werden.

### 3.3.2 Vertikales elastisches Antwortspektrum

Nach DIN EN 1998-1/NA-2020 [2] wird der funktionale Verlauf des vertikalen linearen Antwortspektrums entsprechend dem Basisdokument DIN EN 1998-1 [3] definiert:

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \frac{T_C T_D}{T^2}$$

mit:

$\eta$  Korrekturwert für Dämpfungswerte ungleich  $\xi = 5 \%$ ,  $\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55$

$\xi$  Wert der viskosen Dämpfung des Bauwerks in Prozent

Die vertikale Beschleunigung  $a_{vg}$ , der Bodenparameter  $S$  und die Kontrollperioden sind hierbei nach Tabelle 3-8 anzusetzen.

**Tabelle 3-8: Parameter zur Beschreibung der vertikalen elastischen Antwortspektren**

Relation	Bodenparameter	Kontrollperioden		
$a_{vg}/a_g$	$S$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
0,70	1,0	0,05	0,20	1,20

### 3.3.3 Erdbebeneinwirkung für höhere Wiederkehrperioden

Im Nationalen Anhang DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] finden sich zusätzlich zu der Karte mit  $T_{NCR} = 475$  Jahren Wiederkehrperiode im Anhang NA.E zwei weitere informative Karten für die Wiederkehrperioden  $T_{NCR} = 975$  Jahre und  $T_{NCR} = 2475$  Jahre. Die Karten sind in Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8 dargestellt. Mit den Karten können die horizontalen und vertikalen

Antwortspektren, wie in Abschnitt 3.3.1 und Abschnitt 3.2.2 beschrieben, aufgestellt werden. Bei der Aufstellung sind die in Tabelle 3-9 angegebenen Kontrollperioden zu verwenden. Diese Karten können für Bauwerke mit einem höheren Gefährdungspotential zum Einsatz kommen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass eine Ermittlung mit den Karten höherer Wiederkehrperioden und das Konzept der Erhöhung der Erdbebeneinwirkung für 475 Jahre zu unterschiedlichen Ergebnissen führt, da eine lineare Skalierung nur eine grobe Näherung darstellt.

**Tabelle 3-9: Kontrollperioden für  $T_{NCR} = 975$  Jahre,  $T_{NCR} = 2\ 475$  Jahre [1]**

Untergrundverhältnis	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A-R	0,10	0,20	2,00
B-R	0,10	0,25	2,00
C-R	0,10	0,35	2,00
B-T	0,10	0,30	2,00
C-T	0,10	0,50	2,00
B-S	0,10	0,50	2,00
C-S	0,10	0,60	2,00

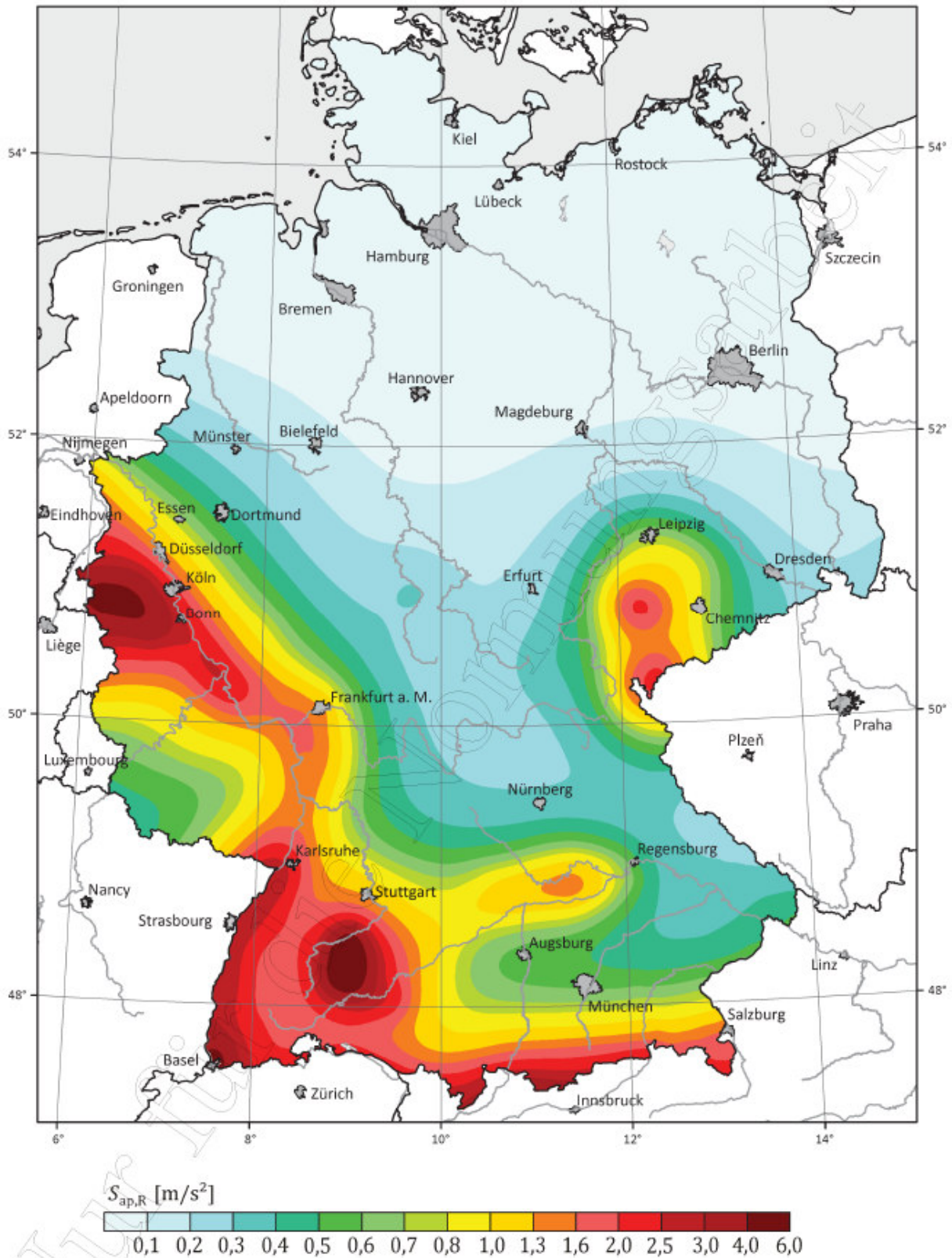


Abbildung 3-7: Räumliche Verteilung der spektralen Antwortbeschleunigung für das Untergrundverhältnis A-R im Plateaubereich  $S_{ap,R}$  für eine Wiederkehrperiode von  $T_{NCR} = 975$  Jahre [1]

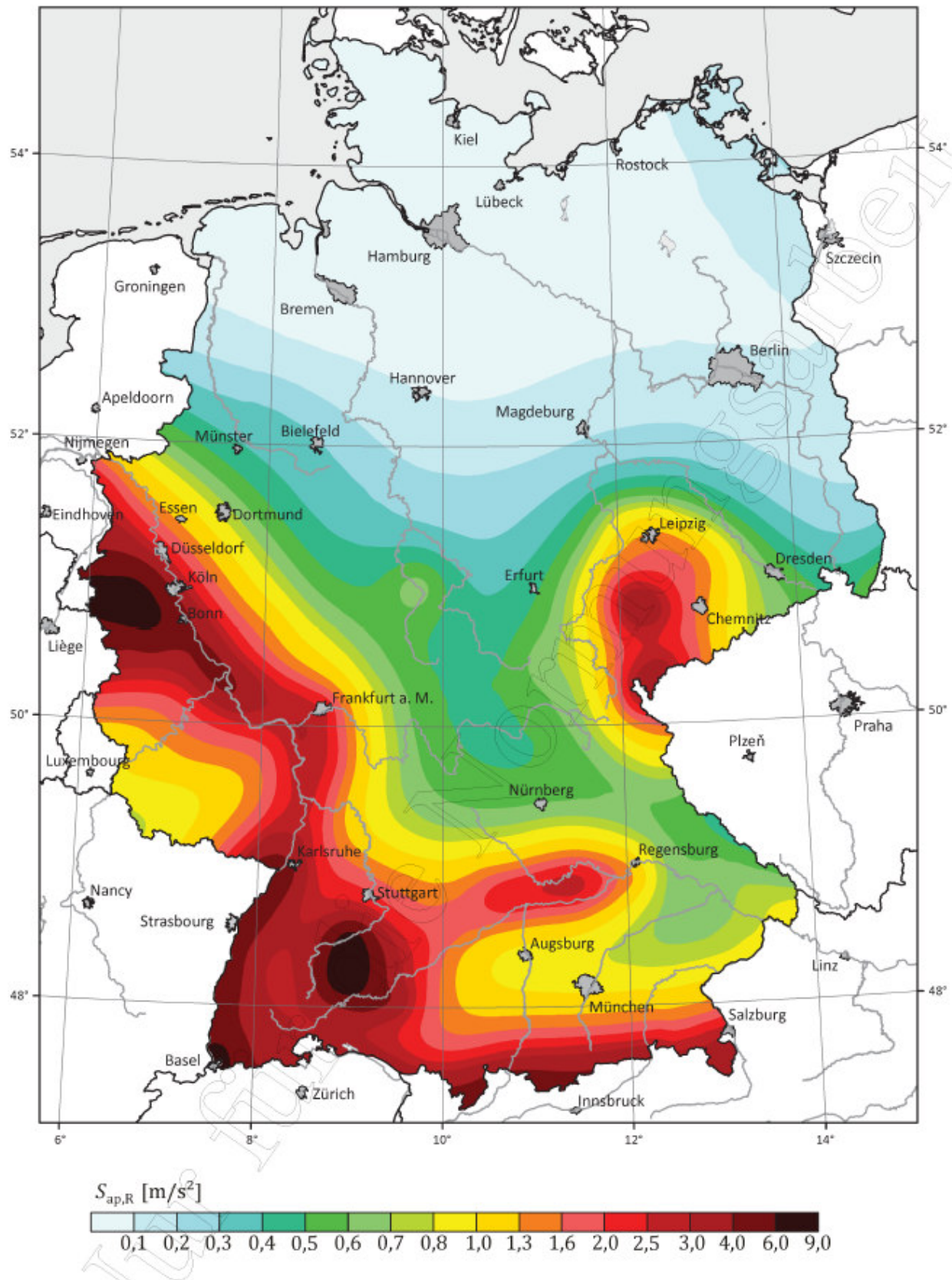


Abbildung 3-8: Räumliche Verteilung der spektral Antwortbeschleunigung für das Untergrundverhältnis A-R im Plateaubereich  $S_{ap,R}$  für eine Wiederkehrperiode von  $T_{NCR} = 2475$  Jahre [1]

## 4. Vergleich der alten und neuen Erdbebenkarten

### 4.1 Vergleich auf Grundlage von Erdbebenzonen

Ein Vergleich der Karten ist möglich, wenn die Karte der spektralen Antwortbeschleunigungen  $S_{ap,R}$  durch den Amplifikationsfaktor von 2,5 geteilt wird und mit den so gewonnenen Werten eine Einteilung in Erdbebenzonen durchgeführt wird. Den Vergleich zeigt Abbildung 4-1. Diese Gegenüberstellung wurde durch das GFZ in dem Normdokument NA 005-06 AA N 1121 [35] durchgeführt. Der Vergleich zeigt, dass einige Erdbebengebiete durch die Aktualisierung der Erdbebenkataloge weggefallen sind: z.B. Zone 1 im Südwesten, nördlicher Oberrheingraben und zwischen Altmühl und Donau). Eine Verkleinerung der Gebiete der Zone 1 ergibt sich auch im Raum Thüringen. Eine Ausweitung der Erdbebengebiete ist im rund um Aachen und Köln, sowie im bayrischen Raum zu sehen. Weiterhin ist erkennbar, dass sich die Zonenverteilung in den Erdbebengebieten (z.B. im Südwesten entlang der Grenze zu Frankreich) verändert hat und die Maximalwerte der Zonen, beispielsweise in der Zone 3 ( $0,8 \text{ m/s}^2 \Rightarrow 0,8 - 1,56 \text{ m/s}^2$ ), deutlich angestiegen sind. Die gestiegenen Werte sind zum Teil dadurch zu erklären, dass die Referenz-Spitzenwerte der Bodenbeschleunigungen  $a_{gR}$  in DIN 4149 [4] bzw. DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] für die unteren Grenzen der Intensitätsintervalle ermittelt wurden. Diese Vorgehensweise führte dazu, dass die Erdbebeneinwirkung für Standorte, die nicht auf der Intervallgrenze lagen, deutlich unterschätzt wurde. Dieses Defizit gleichen die neue Karten aus, weshalb es zu der sichtbaren Veränderung der Zonenverteilung und der Beschleunigungswerte kommt.

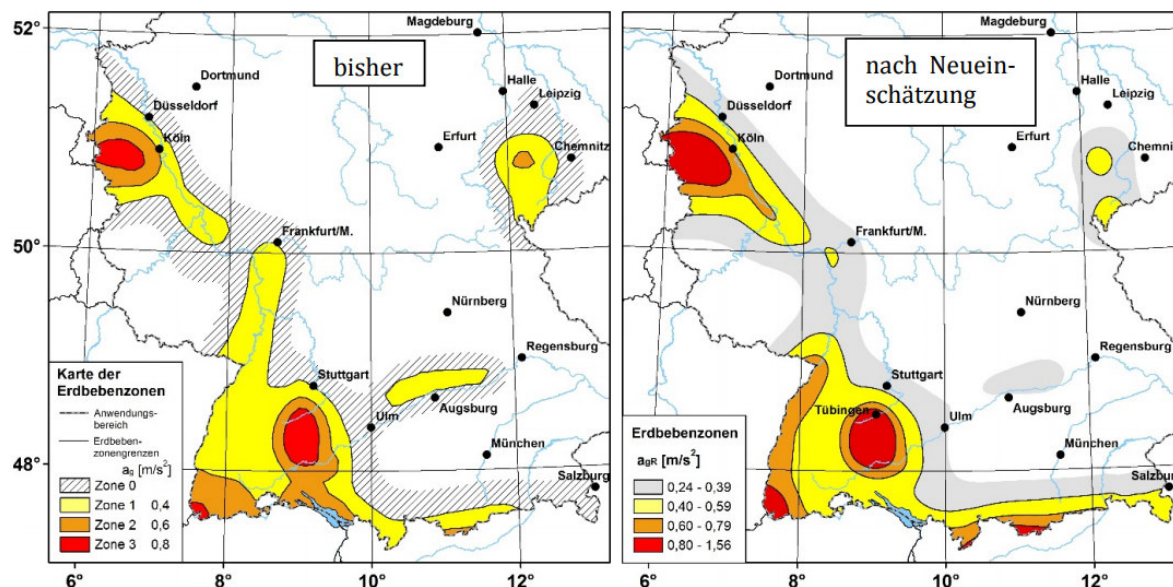


Abbildung 4-1: Vergleich der Erdbebenzonenkarte (links) mit der durch Division erstellten  $a_g$ -Karte (rechts) im Farbcode der bisherigen Norm.

**Fazit:** Die neuen Erdbebenkarten führen nicht gesamtheitlich zu einer Ausweitung der Erdbebengebiete. Einige Gebiete entfallen oder werden kleiner, wohingegen es auch Gebiete mit einer Ausdehnung der Zonen gibt (Raum Aachen/Köln, Bayern). Es kommt zu Verschiebungen der Erdbebenzonen und zu Erhöhungen der maximalen Beschleunigungswerte in den einzelnen Erdbebenzonen.



## 4.2 Vergleich der Nachweisgrenzen

Unabhängig von den Ergebnissen der probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse wurde in DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] die Grenze für sehr geringe Seismizität wie in dem Basisdokument DIN EN 1998-1 [3] festgelegt. Als Fälle geringer Seismizität gelten solche, bei denen das Produkt  $a_g \cdot S$  nicht größer als  $0,5 \text{ m/s}^2$  ist. Unterhalb des Grenzwertes für sehr geringe Seismizität ist im Allgemeinen kein Erdbebennachweis erforderlich. In DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] ist als Orientierung für den Anwender in der Erdbebenkarte zusätzlich die Grenzlinie der spektralen Antwortbeschleunigungen auf Fels von  $S_{aP,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$  ( $a_{gR} = 0,24 \text{ m/s}^2$  für  $S = 1,0$ ,  $\gamma = 1,0$ ) dargestellt. Bei Anwendung dieser Grenzlinie ist die Bedingung für geringe Seismizität immer erfüllt. Die Nachweisgrenze von  $a_g \cdot S$  nicht größer als  $0,5 \text{ m/s}^2$  stellt in Abhängigkeit von Untergrundkombination und Bedeutungsbeiwert in der Regel eine Verschärfung gegenüber der DIN 4149 [4] dar, in der die Untergrenze auf Fels durch die Erdbebenzonierung bei  $a_{gR} = 0,4 \text{ m/s}^2$  für alle Untergrundkombinationen und Bedeutungskategorien lag. Allerdings wurde bei Anwendung der DIN 4149 [4] empfohlen, die konstruktiven Regelungen in Zone 1 auch in der Zone 0 anzuwenden. Ein Vergleich der Konturen von Zone 0 und der Grenzlinie der spektralen Antwortbeschleunigungen auf Fels von  $S_{aP,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$  nach DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] in Abbildung 4-2 zeigt, dass die Grenze der Zone 0 relativ gut mit der als Orientierung für den Anwender eingezeichneten Grenzlinie  $S_{aP,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$  übereinstimmt.

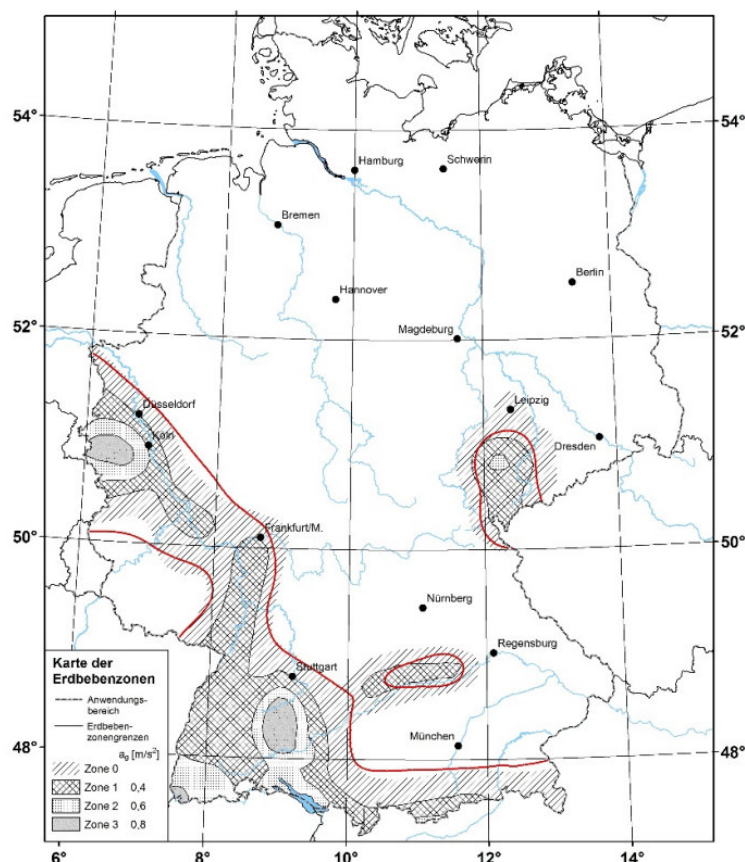


Abbildung 4-2: Vergleich zwischen der flächenmäßigen Ausdehnung der vier Erdbebenzonen der bisherigen Norm (jeweils unterschiedlich schraffiert) mit dem für die Entwurfsfassung festgelegten neuen Gebiet (rote Orientierungslinie  $S_{aP,R} = 0,6 \text{ m/s}^2$ ) für Felsuntergrund.

Tabelle 4-1 gibt einen Überblick über die Grenzwerte für geringe und sehr geringe Seismizität in den betrachteten Ländern. Der Vergleich zeigt, dass in den Ländern mit nationalen Anwendungsdokumenten die Werte des Basisdokuments oder sehr vergleichbare Werte angesetzt werden. In den Ländern ohne Anwendungsdokument liegen keine Angaben vor.

**Tabelle 4-1: Vergleich der Grenzwerte für geringe und sehr geringe Seismizität**

	<b>Geringe Seismizität Abschnitt 3.2.1 (4) [3]</b>	<b>Sehr geringe Seismizität Abschnitt 3.2.1(5) [3]</b>								
<b>DIN EN 1998-1 [3]</b>	$a_g \leq 0,78 \text{ m/s}^2$ oder $a_g \cdot S \leq 0,98 \text{ m/s}^2$	$a_g \leq 0,39 \text{ m/s}^2$ oder $a_g \cdot S \leq 0,49 \text{ m/s}^2$								
<b>Belgien</b>	$a_g \cdot S \leq 0,98 \text{ m/s}^2$	$a_g \cdot S \leq 0,59 \text{ m/s}^2$								
<b>Frankreich</b>	Die Werte für $a_g$ bzw. das Produkt $a_g \cdot S$ werden von der Verwaltung festgelegt.	Die Werte für $a_g$ bzw. das Produkt $a_g \cdot S$ werden von der Verwaltung festgelegt.								
<b>Griechenland</b>	geringe Seismizität existiert nicht	sehr geringe Seismizität existiert nicht								
<b>Italien</b>	Kein Anwendungsdokument	Kein Anwendungsdokument								
<b>Luxemburg</b>	$a_g \cdot S \leq 0,99 \text{ m/s}^2$ für $\gamma = 1,4$ , Baugrundklasse D und $a_{gR} = 0,04 \text{ g}$	$a_g \cdot S \leq 0,59 \text{ m/s}^2$ , wenn folgende Kombinationen von Bedeutungskategorie und Baugrundklasse vorliegen: <table border="1" data-bbox="979 981 1329 1128"> <thead> <tr> <th>Catégories d'importance (tableau 4.3)</th> <th>Classes de sols (tableau 3.1 AN-LU)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>A, B, C, D, E</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>A, B, C</td> </tr> <tr> <td>III et IV</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table>	Catégories d'importance (tableau 4.3)	Classes de sols (tableau 3.1 AN-LU)	I	A, B, C, D, E	II	A, B, C	III et IV	A
Catégories d'importance (tableau 4.3)	Classes de sols (tableau 3.1 AN-LU)									
I	A, B, C, D, E									
II	A, B, C									
III et IV	A									
<b>Niederlande</b>	kein Anwendungsdokument	kein Anwendungsdokument								
<b>Österreich</b>	wie Basisdokument	wie Basisdokument								
<b>Polen</b>	kein Anwendungsdokument	kein Anwendungsdokument								
<b>Portugal</b>	$a_g \leq 0,78 \text{ m/s}^2$ oder $a_g \cdot S \leq 0,98 \text{ m/s}^2$	$a_g \leq 0,39 \text{ m/s}^2$ oder $a_g \cdot S \leq 0,49 \text{ m/s}^2$								
<b>Schweiz</b>	keine Angaben	keine Angaben								
<b>Tschechien</b>	wie Basisdokument	wie Basisdokument								
<b>Deutschland</b>	Erdbebengebiete sind als Gebiete geringer Seismizität klassifiziert	$a_g \cdot S \leq 0,5 \text{ m/s}^2$ bzw. $S_{aP,R} \leq 0,60 \text{ m/s}^2$ für BK II bzw. $S_{aP,R} \leq 0,84 \text{ m/s}^2$ für BK I - IV								

**Fazit:** Die Ausweitung der Nachweisgrenzen ist nicht nur auf die neuen Erdbebengefährdungskarten zurückzuführen. Grund für die Ausweitung der Gebiete mit erforderlichen Erdbebennachweisen ist auch die neue Anwendungsgrenze mit  $a_g \cdot S \leq 0,5 \text{ m/s}^2$  an Stelle von  $a_{gR} \leq 0,4 \text{ m/s}^2$  für alle Untergrundkombinationen und Bedeutungskategorien nach DIN 4149 [4]. Die neue Anwendungsgrenze entspricht der Grenze im Basisdokument DIN EN 1998-1 [3]. Die weiteren untersuchten Länder mit nationalen Anwendungsdokumenten folgen in der Regel ebenfalls dem Basisdokument.

### 4.3 Vergleich Antwortspektren

Im Folgenden erfolgt der Vergleich der Antwortspektren für die lineare Bemessung für verschiedene Untergrundkombinationen und drei verschiedenen Einwirkungsneiveaus der Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung  $\alpha_{gR}$ . (Tabelle 4-2). Die drei unterschiedlichen Einwirkungsneiveaus wurden gewählt, um den Einfluss der Höhe der spektralen Beschleunigungen auf die Bodenfaktoren in der neuen Normfassung DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] zu erfassen.

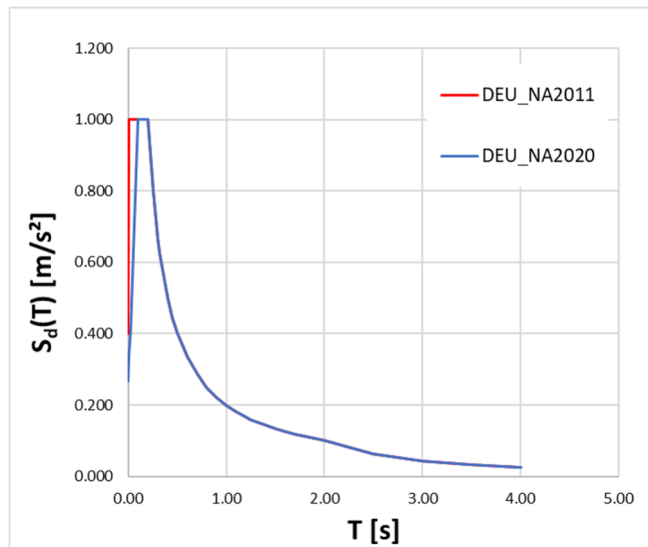
**Tabelle 4-2: Angesetzte Beschleunigungswerte und Bedeutungsfaktoren für den Vergleich**

	$\alpha_{gR} [m/s^2]$	$S_{ap,R} [m/s^2]$	$\gamma_I [-]$
Wert 1 (Zone 1)	0,4	1,0	1,0
Wert 2 (Zone 3)	0,8	2,0	1,0
Wert 3 (Zone >3)	1,2	3,0	1,0

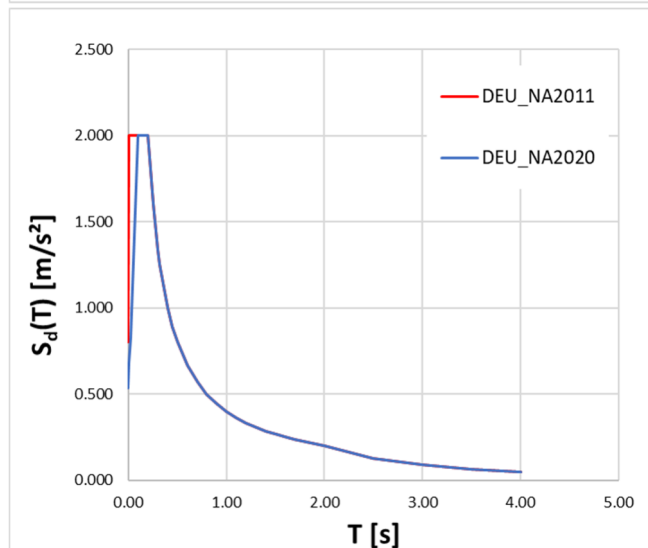
Der Vergleich der Antwortspektren nach DIN 4149 [4] und DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] für die unterschiedlichen Belastungsniveaus zeigt, dass sich für die Untergrundverhältnisse A-R, B-R und B-T sowohl die Form der Spektren als auch die maximalen Plateaubeschleunigungen nur unwesentlich unterscheiden. Für die Baugrundklasse C-R und C-T liegen die Werte der beiden Normen für die Werte  $0,4 m/s^2$  und  $0,8 m/s^2$  relativ nahe beieinander. Für das höhere Einwirkungsneiveau von  $1,2 m/s^2$  ergeben sich nach DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] durch die niedrigeren Bodenfaktoren geringere maximale Spektralbeschleunigungen. Deutliche Abweichungen ergeben sich für die Spektralform C-S, da die zu niedrigen Bodenfaktoren in der DIN 4149 [4] angehoben wurden.

**Fazit:** Bei Ansatz gleicher Referenz-Spitzenbeschleunigungen ergeben sich zwischen den Spektren der beiden Normen deutliche Unterschiede für die Untergrundkombination C-S, da die Bodenfaktoren in DIN 4149 [4] zu klein waren und auf Grundlage von bodendynamischen Berechnungen korrigiert wurden. Weiterhin ist festzustellen, dass die einwirkungsabhängigen Bodenfaktoren nach DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] zu geringeren maximalen Spektralbeschleunigungen für die Untergrundkombinationen C-R und C-T bei steigenden seismischen Einwirkungen führen. Der Grund hierfür liegt in der höheren Dämpfung des Bodens bei größeren Bodenbewegungen.

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 0,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

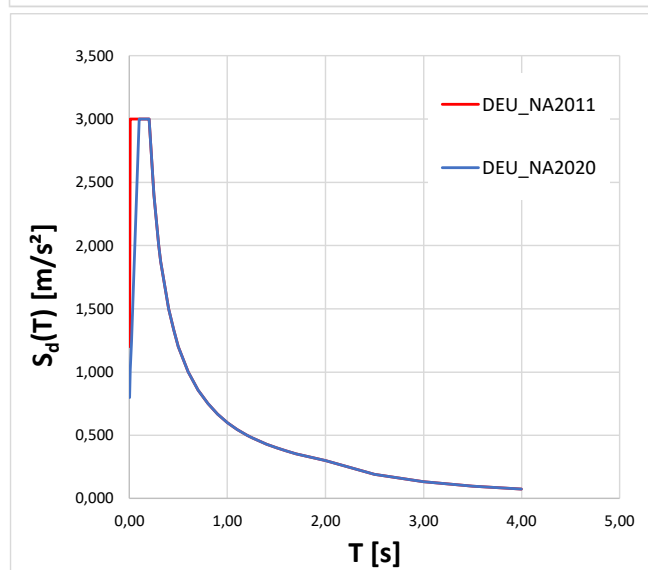
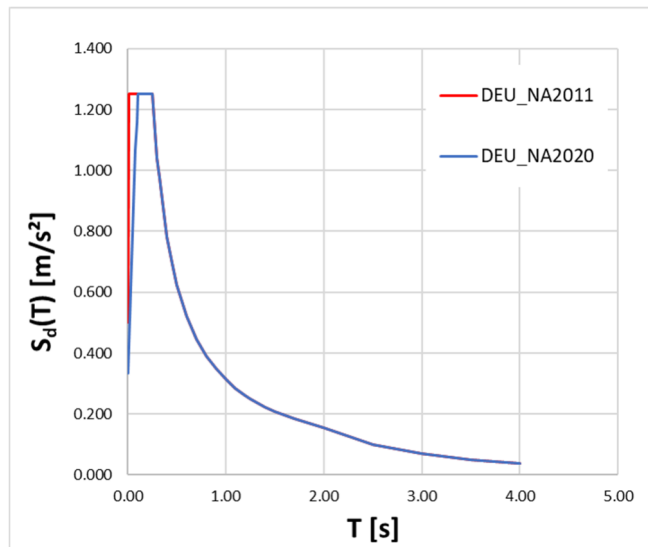
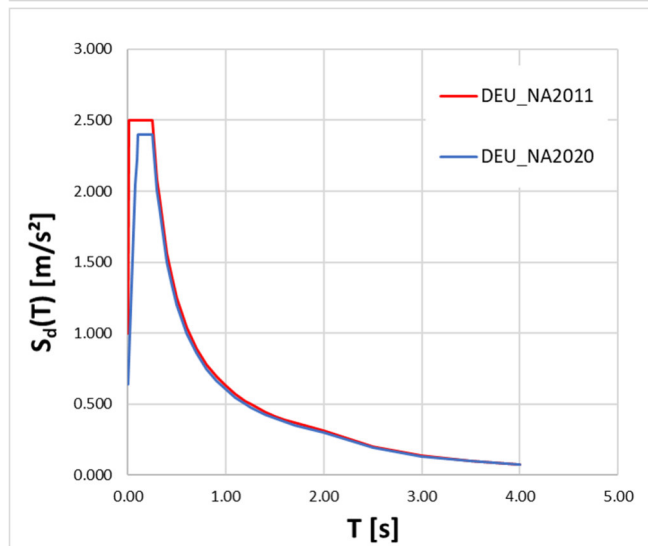


Abbildung 4-3: Vergleich horizontaler Antwortspektren, UK A-R

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 0,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

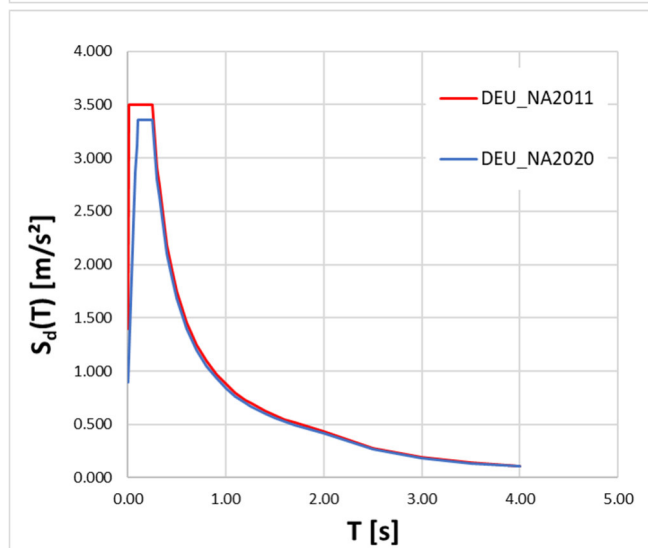
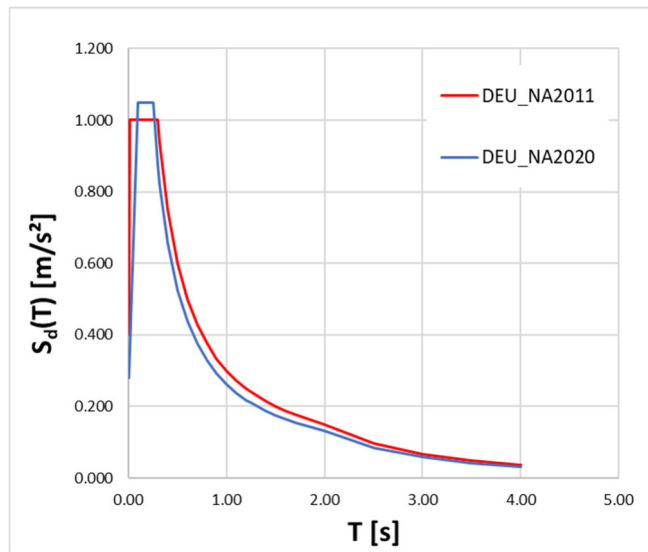
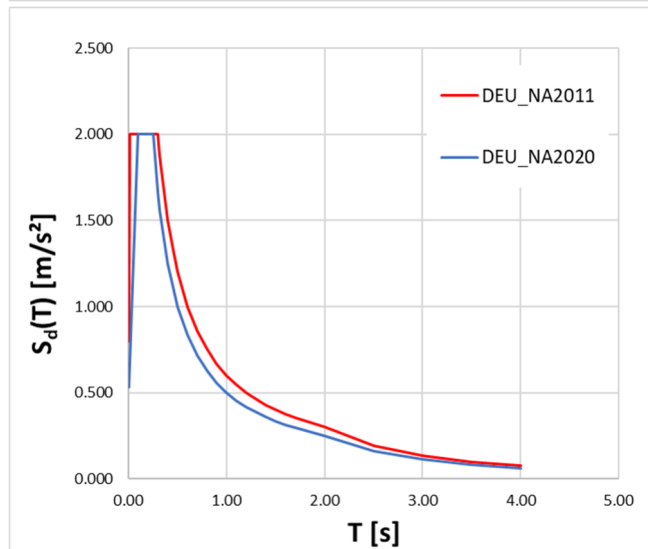


Abbildung 4-4: Vergleich horizontaler Antwortspektren, UK B-R

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 0,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

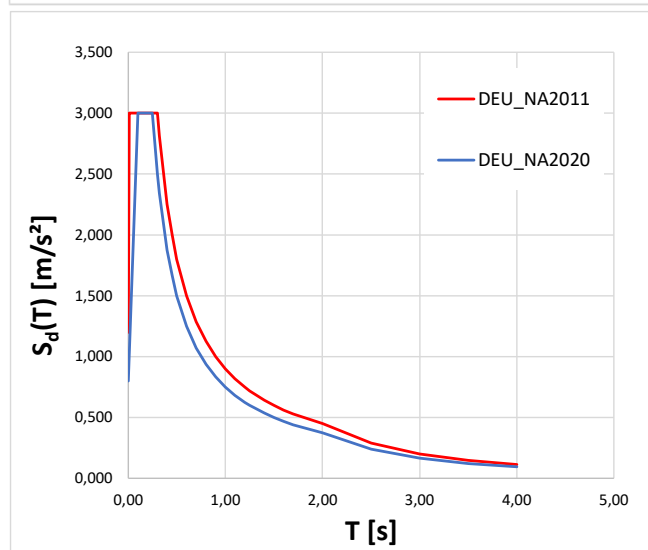
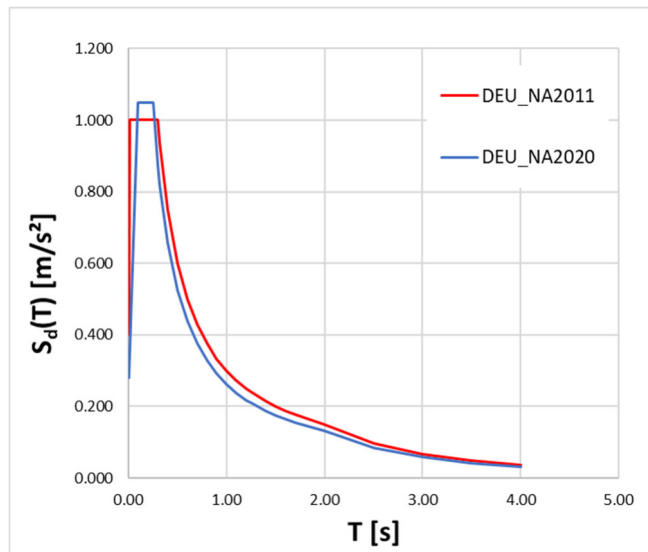
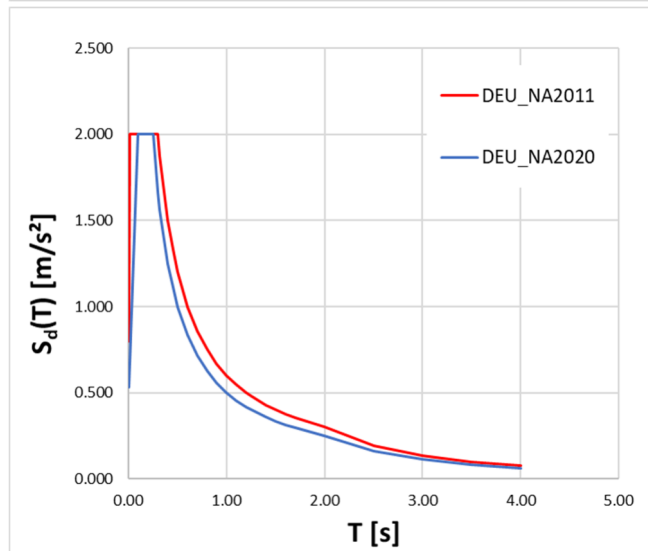


Abbildung 4-5: Vergleich horizontaler Antwortspektren, UK B-T

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 0,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

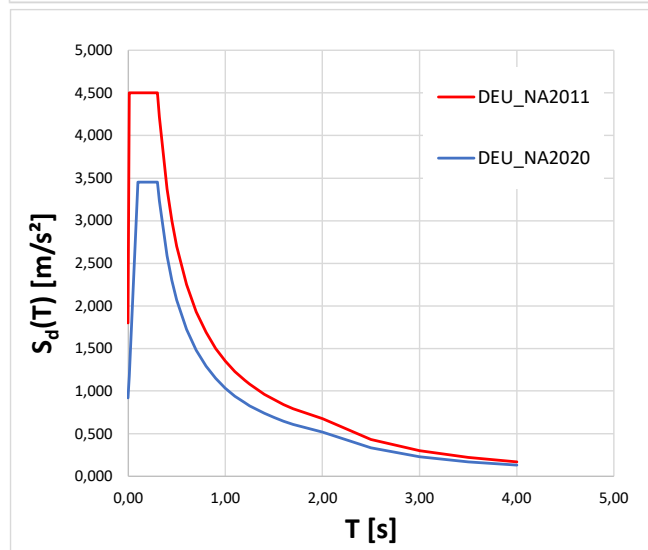
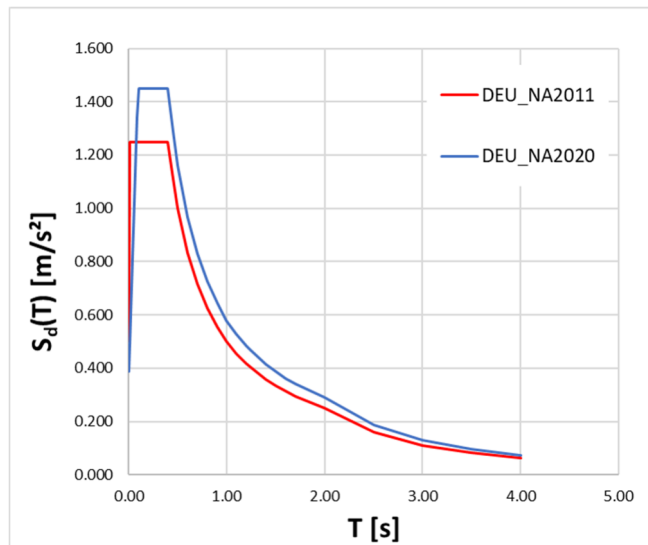
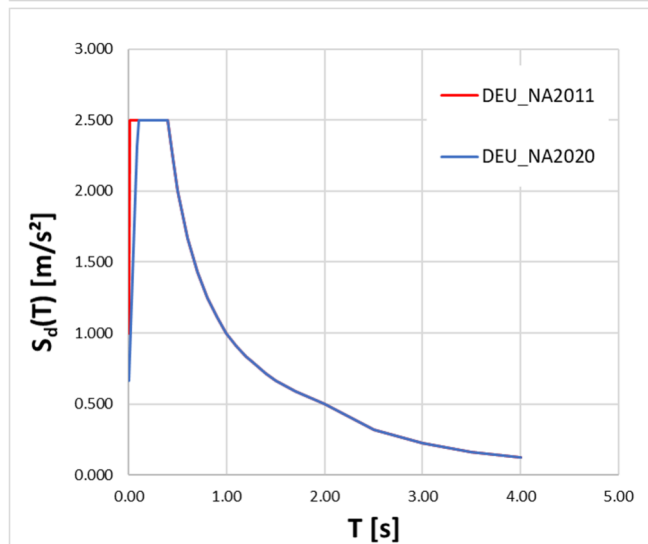


Abbildung 4-6: Vergleich horizontaler Antwortspektren, UK C-R

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 0,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

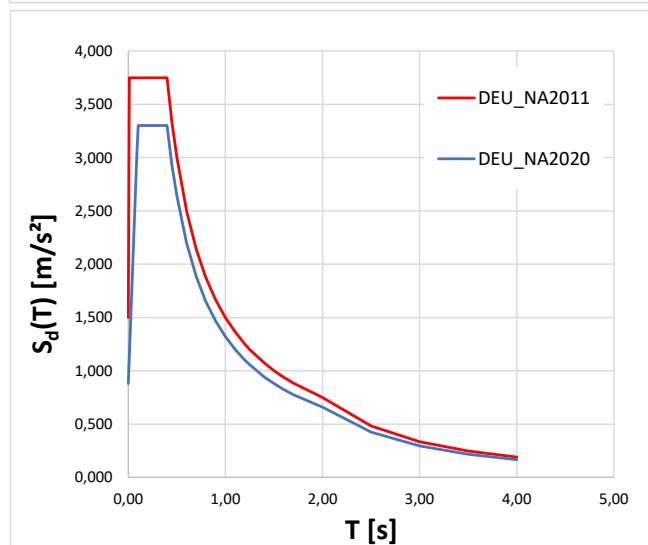
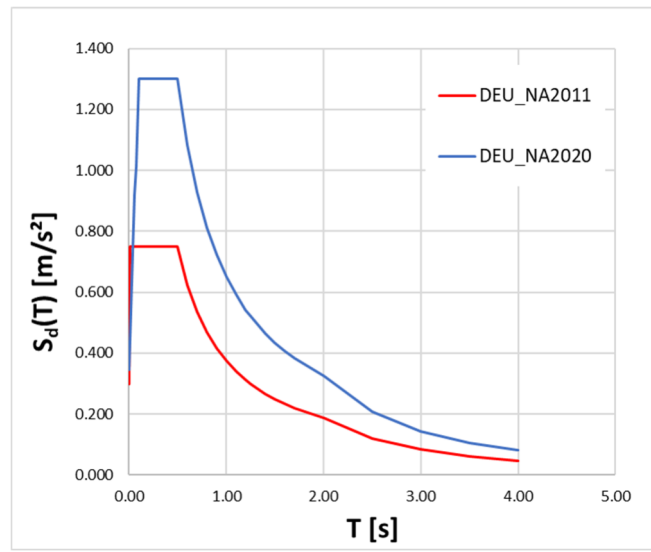


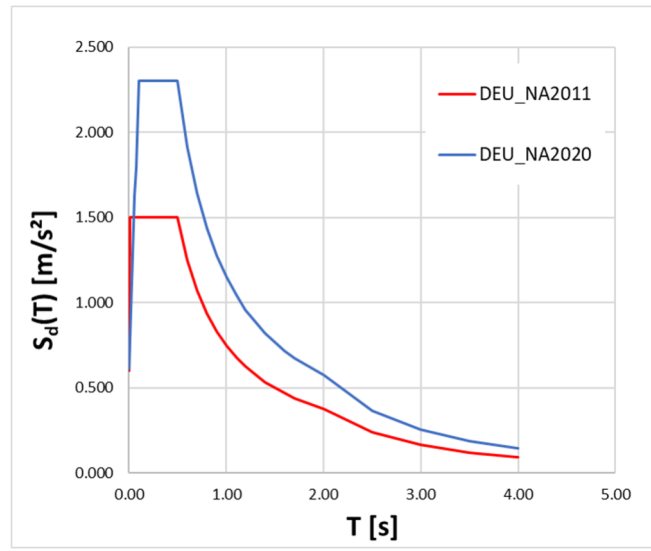
Abbildung 4-7: Vergleich horizontaler Antwortspektren, UK C-T



$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 0,8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

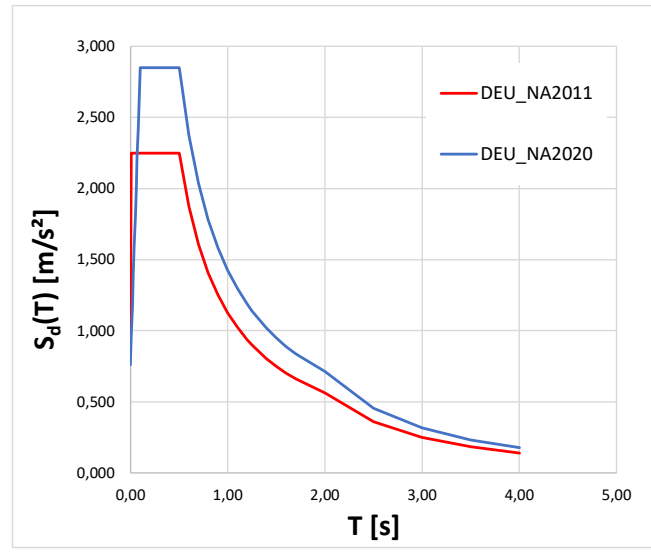


Abbildung 4-8: Vergleich horizontaler Antwortspektren, UK C-S

## 5. Harmonisierte Gefährdungskarten

### 5.1 SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe)

Im europäischen Verbundprojekt SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe), das im 7. Rahmenprogramm der EU mit einem Konsortium von 18 Partnern mit 4.14 Millionen Euro gefördert wurde, erfolgte die Entwicklung eines harmonisierten Modells der seismischen Gefährdung für den Euro-Mediterranen Raum [36]. SHARE stellt die jüngste Weiterentwicklung der europäischen Modelle zur Bewertung der seismischen Gefährdung (SHA) nach GSHAP (1999) und SESAME (2003) dar. Das Projekt sollte der Baupraxis probabilistische seismische Gefährdungskarten mit Wiederkehrperioden von bis zu 4975 Jahren zur Verfügung stellen. Die Ergebnisse des Projekts SHARE sind auf dem Internetportal [www.share-eu.org](http://www.share-eu.org) [36] frei zugänglich und werden durch eine benutzerfreundliche Schnittstelle unterstützt. Damit sind zum ersten Mal Karten und Antwortspektren, so genannte Uniform Hazard Spectra (UHS), für unterschiedliche Stärken von Bodenbewegungen zur erweiterten Erdbebenrisikobewertung verfügbar. Die Ergebnisse des Projekts SHARE wurden in den einzelnen Ländern mit den damals gültigen nationalen Vorschriften und den Standardantwortspektren der DIN EN 1998-1 [3] verglichen. Der Vergleich machte deutlich, dass die Antwortspektren in SHARE in der Regel einen weniger ausgeprägten Plateaubereich und deutlich höhere Spektralbeschleunigungen aufweisen. Weiterhin liegen nur Ergebnisse für Fels mit einer Scherwellengeschwindigkeit von 800 m/s vor, so dass lokale Amplifikationen durch die standortspezifischen geologischen Bedingungen unberücksichtigt bleiben. Nach Projektabschluss wurde deutlich, dass der grundlegende Lösungsansatz einer weitergehenden Harmonisierung mit den vorgeschlagenen Methoden grundsätzlich sinnvoll ist, aber konkrete nationale Implementierungen mit weitergehenden Detailarbeiten unbedingt erforderlich sind. Die dafür notwendigen Prozesse sind in Deutschland und den Anrainerstaaten nach Abschluss des Projekts gestartet worden und haben in den meisten Ländern zu einer Aktualisierung der normativen Erdbebenkarten geführt. Abbildung 5-1 zeigt die harmonisierte Gefährdungskarte für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren und als Ausschnitt daraus den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens maßgebenden Bereich mit Deutschland und den Anrainerstaaten. Grundsätzlich gibt die Karte eine sehr gute erste Orientierung, ersetzt jedoch nicht die normativen nationalen Karten. Zudem sind die Arbeiten aus SHARE in das GEM-Modell [37] eingeflossen, das in Abschnitt 5.2 vorgestellt wird und die aktuellste Quelle für harmonisierte Erdbebengefährdungskarten darstellt. Aus diesem Grunde werden die Karten aus dem Projekt SHARE nicht weiter berücksichtigt und ausgewertet.

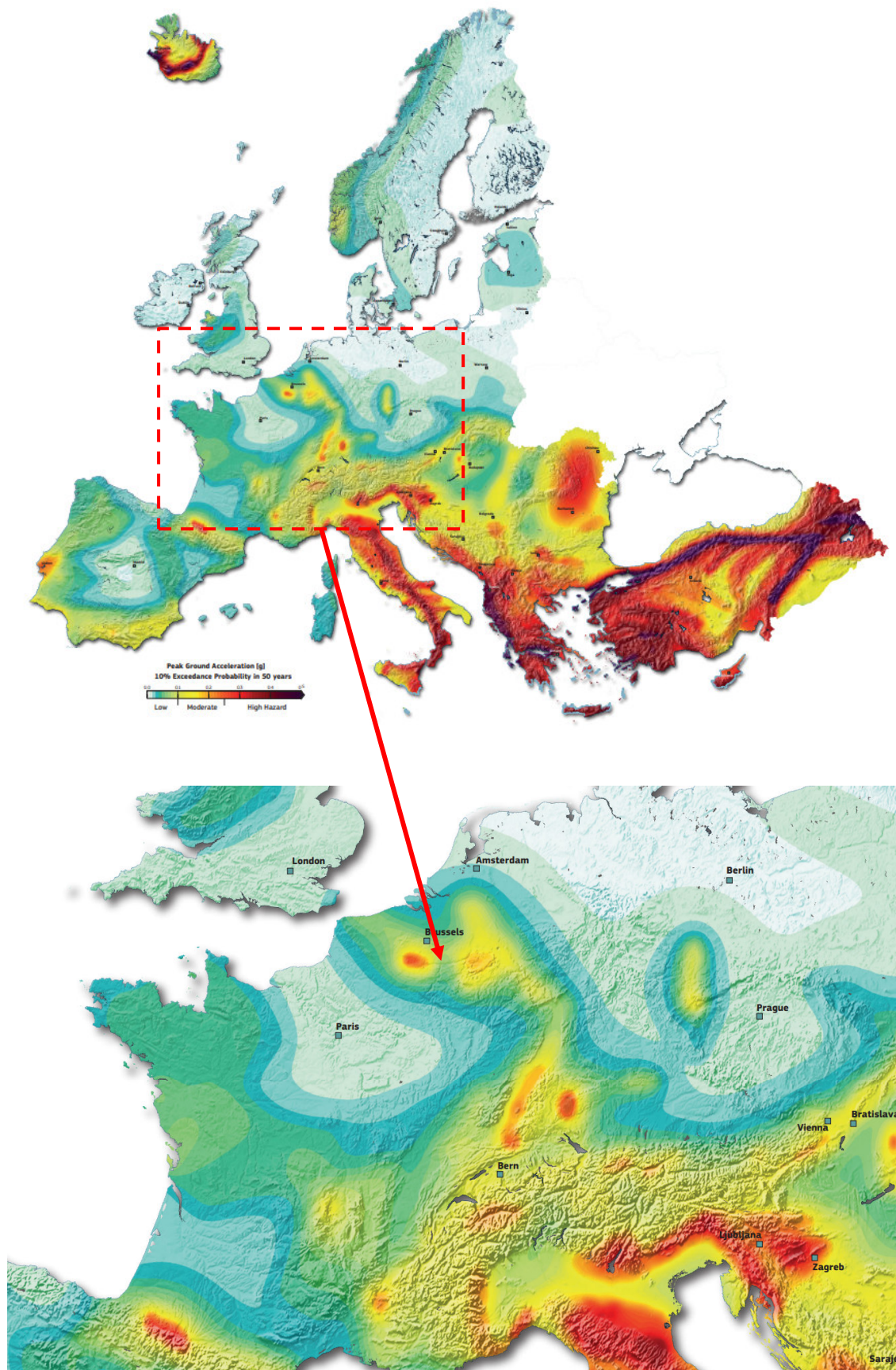


Abbildung 5-1: Harmonisierte Gefährdungskarte aus SHARE [36]

## 5.2 GEM: Global Earthquake Model

Das Global Earthquake Model (GEM) stellt eine weltweite Gefährdungskarte zur Verfügung, mit der die geographische Verteilung der Spitzenbodenbeschleunigung (PGA) mit einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren (10% Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren) auf Felsuntergrund (Scherwellengeschwindigkeit:  $\sim 800$  m/s) für alle Länder weltweit dargestellt werden kann [37]. Darüber hinaus bietet die Internetseite von GEM die Möglichkeit, den PGA-Wert für definierte Standorte abzufragen. Die Gefährdungskarte ist ein Ergebnis der Kombination von etwa 30 Gefährdungsmodellen und stellt den Versuch dar, eine weltweite harmonisierte Karte zur Verfügung zu stellen. Das Kartenmaterial dient zur Orientierung der geografischen Verteilung der PGA, kann aber nicht als Grundlage für die seismische Bemessung von Bauwerken herangezogen werden, da die Angabe von Antwortspektren zur linearen Bemessung fehlen, die Informationen zum Untergrund nicht eingearbeitet sind und auch weitere Angaben wie z.B. zu Vertikalspektren fehlen. Die Karten sind somit sehr hilfreich sich einen ersten Überblick über die Verteilung und Stärke der Erdbebeneinwirkung in einem Land oder an einem konkreten Standort zu verschaffen, sind aber für Bemessungs- und nachweiszwecke unbrauchbar. Aus diesem Grunde werden die GEM-Karten nicht für den direkten Vergleich der Erdbebeneinwirkungen in Deutschland und den Anrainerstaaten herangezogen. Die Karten werden aber zumindest als weitere Informationsquelle zur Bewertung der interpolierten Verteilung der Spitzenbodenbeschleunigung entlang der Landesgrenzen hinzugezogen. Maßgebend sind jedoch schlussendlich die nationalen Erdbebennormen. Abbildung 5-2 zeigt die geographische Verteilung der Spitzenbodenbeschleunigung, korrespondierend zur harmonisierten SHARE-Karte, und als Ausschnitt daraus, den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens maßgebenden Bereich mit Deutschland und den Anrainerstaaten.

**Fazit:** Die Gefährdungskarten SHARE und GEM bieten die Möglichkeit die Verteilung und Größe der Spitzenbodenbeschleunigung auf Felsuntergrund zu bestimmen. Die Karten sind somit eine erste Orientierung, ersetzen aber nicht die nationalen Erdbebennormen und können nicht als Grundlage für seismische Tragwerksbemessungen verwendet werden. Grundsätzlich sind die GEM-Gefährdungskarten zu verwenden, da die Ergebnisse von SHARE darin integriert wurden und GEM die aktuellere Quelle darstellt. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden die Gefährdungskarten in GEM als weitere Informationsquelle zur Bewertung der interpolierten Verteilung der Spitzenbodenbeschleunigung entlang der Landesgrenzen hinzugezogen. Maßgebend bleiben jedoch die nationalen Erdbebennormen.

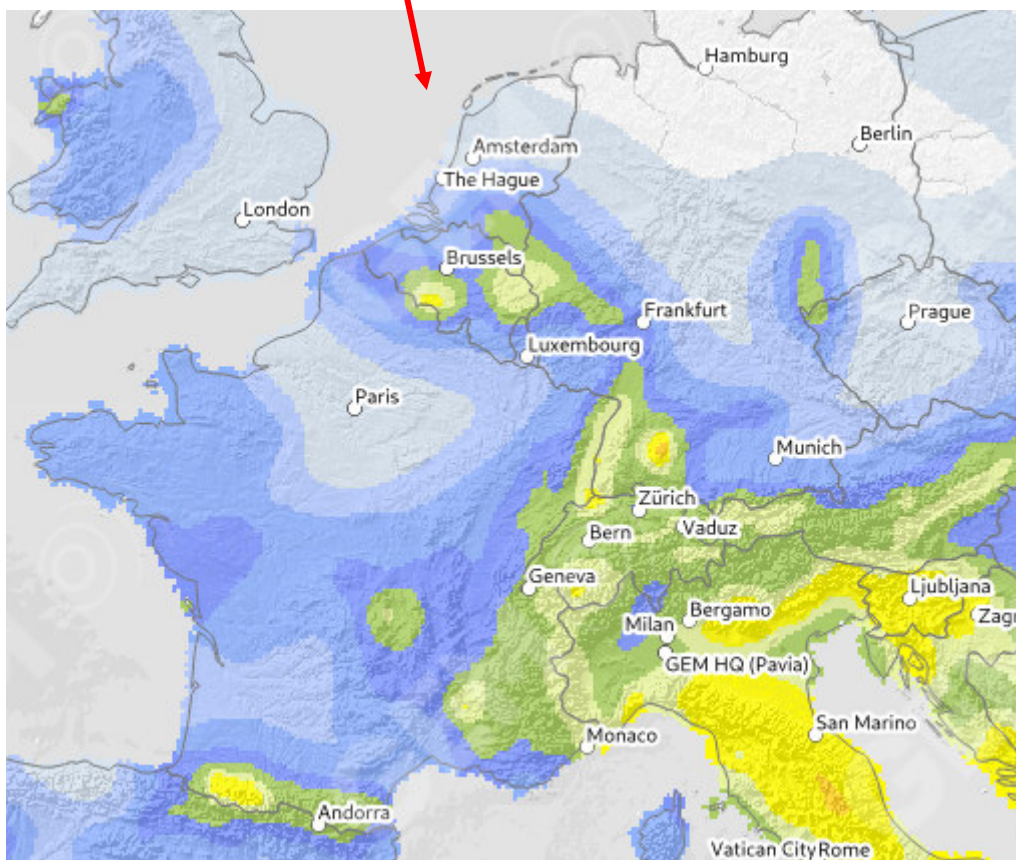
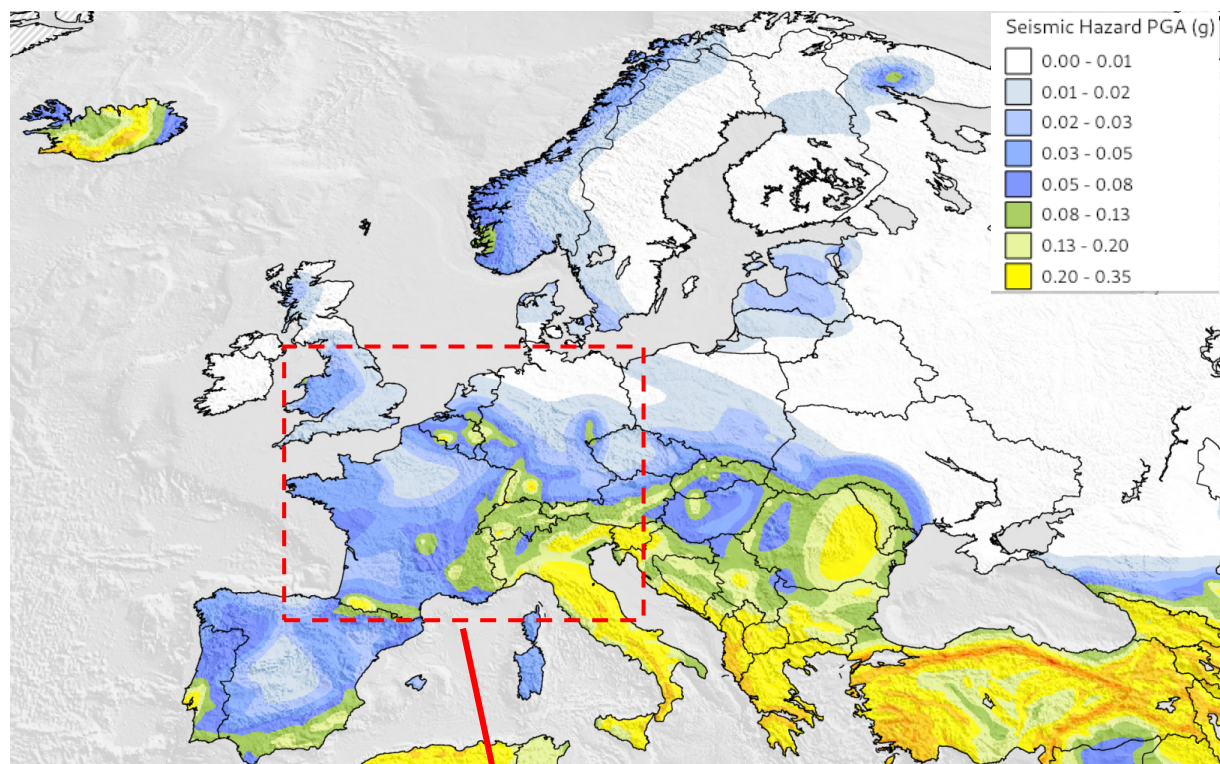


Abbildung 5-2: Harmonisierte Gefährdungskarte aus GEM [37]

### 5.3 Vergleich der PGA-Werte entlang der Ländergrenzen

Grünthal [38] führte einen Vergleich der PGA-Werte der Erdbebengefährdungskarten entlang der Landesgrenzen der Schweiz, Deutschlands, Österreichs und Frankreichs durch. Die für den Vergleich herangezogenen Karten bildeten die Grundlage für die Erstellung der nationalen Anhänge zur DIN EN 1998-1 [3] in den einzelnen Ländern. Dazu überführte er die Karten der einzelnen Länder in ein einheitliches Format und stellte die PGA-Verteilungen entlang der Grenzen im Süden Deutschlands in einer gemeinsamen Karte dar. Der Vergleich wurde für Medianwerte und eine Scherwellengeschwindigkeit von 800 m/s in der obersten Bodenschicht bis 30m Tiefe durchgeführt. Diese Karte ist in Abbildung 5-3 für die Medianwerte dargestellt.

Als Ergebnis ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung an den Landesgrenzen. Insbesondere in Bereichen mit höheren Erdbebeneinwirkungen ist die Übereinstimmung sehr gut. Das Ergebnis bestätigt somit die neuen probabilistischen Erdbebenkarten in Deutschland, die nun wesentlich besser als die Karten der DIN 4149 [4] mit den Karten der Nachbarländer übereinstimmen. Inwiefern sich auch in der normativen Bemessung und Nachweisführung ähnliche Antwortspektren ergeben, wird der konkrete Vergleich von verschiedenen Standorten im Grenzbereich zeigen, der in Abschnitt 6.3 durchgeführt wird.

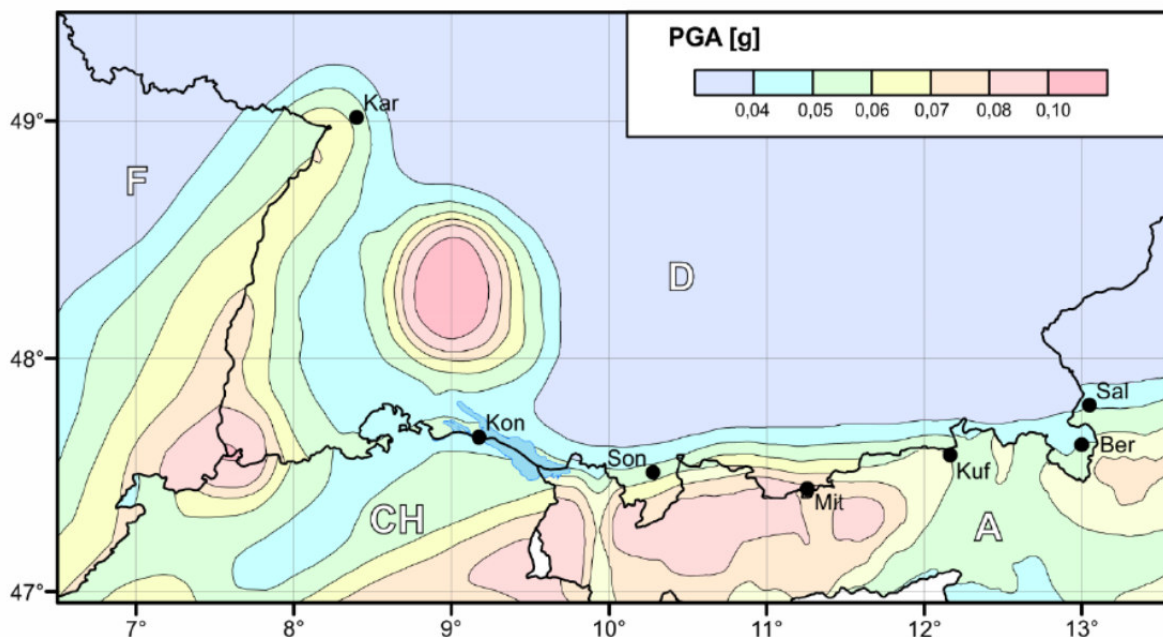


Abbildung 5-3: Vergleich der PGA-Werte entlang der Landesgrenzen in Süddeutschland [38]

**Fazit:** Der Vergleich der PGA-Werte auf Grundlage der für die Ausarbeitung der nationalen Normen entwickelten Gefährdungskarten der einzelnen Länder zeigt entlang der Grenzen eine gute Übereinstimmung. Dies ist eine grundsätzliche Bestätigung der für Deutschland neu erstellten probabilistischen Erdbebenkarten.

## 6. Vergleich der Erdbebeneinwirkungen

### 6.1 Erdbebeneinwirkungen in den einzelnen Ländern

Die Erdbebeneinwirkung in den Anrainerstaaten sowie Portugal, Italien und Griechenland ist in den jeweiligen nationalen Normdokumenten beschrieben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde für jedes Land ein separates Dokument erstellt, in dem die Erstellung der horizontalen und vertikalen Antwortspektren einheitlich in englischer Sprache beschrieben ist. In den Dokumenten sind die aktuelle Norm, die erforderlichen Eingabeparameter zur Erstellung des Antwortspektrums sowie die schrittweise Erstellung des Antwortspektrums mit allen Hintergrundinformationen angegeben. Nachfolgend werden die Karten der einzelnen Länder dargestellt, um einen direkten Überblick im Rahmen dieses Hauptberichts zu erhalten. In Tabelle 6-1 ist die Länderliste mit den dazugehörigen Dokumenten zusammengestellt. Zudem sind die Maximalwerte der Referenz-Spitzenbodenbeschleunigungen als Orientierung für das seismische Gefährdungsniveau der Länder angegeben.

**Tabelle 6-1: Länderliste mit Dokumentnamen und maximalen Beschleunigungen  $a_{gR}$**

Land	Dokument	max. $a_{gR}$ [m/s <sup>2</sup> ]
Deutschland-2020	SEISMIC_HAZARD_GERMANY_2020	1,60
Deutschland-2011	SEISMIC_HAZARD_GERMANY_2011	0,80
Belgien	SEISMIC_HAZARD_BELGIUM	1,00
Frankreich	SEISMIC_HAZARD_FRANCE	1,60
Griechenland	SEISMIC_HAZARD_GREECE	3,60
Italien	SEISNIC_HAZARD_ITALY	2,71
Luxembourg	SEISMIC_HAZARD_LUXEMBOURG	0,39
Niederlande	SEISMIC_HAZARD_NETHERLANDS	0,92
Österreich	SEISNIC_HAZARD_AUSTRIA	1,34
Polen	SEISMIC_HAZARD_POLEN	1,28
Portugal	SEISMIC_HAZARD_PORTUGAL	1,50 – 1,70
Schweiz	SEISMIC_HAZARD_SWITZERLAND	1,60
Tschechien	SEISMIC_HAZARD_CZECH_REPUBLIC	0,69

### 6.1.1 Belgien

In Belgien ist das Nationale Anwendungsdokument NBN EN 1998-1 ANB [17] zur DIN EN 1998-1 [3] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. Abbildung 6-1 zeigt die Erdbebenkarte für Belgien mit einer maximalen Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $a_{gR} = 1,0 \text{ m/s}^2$ .

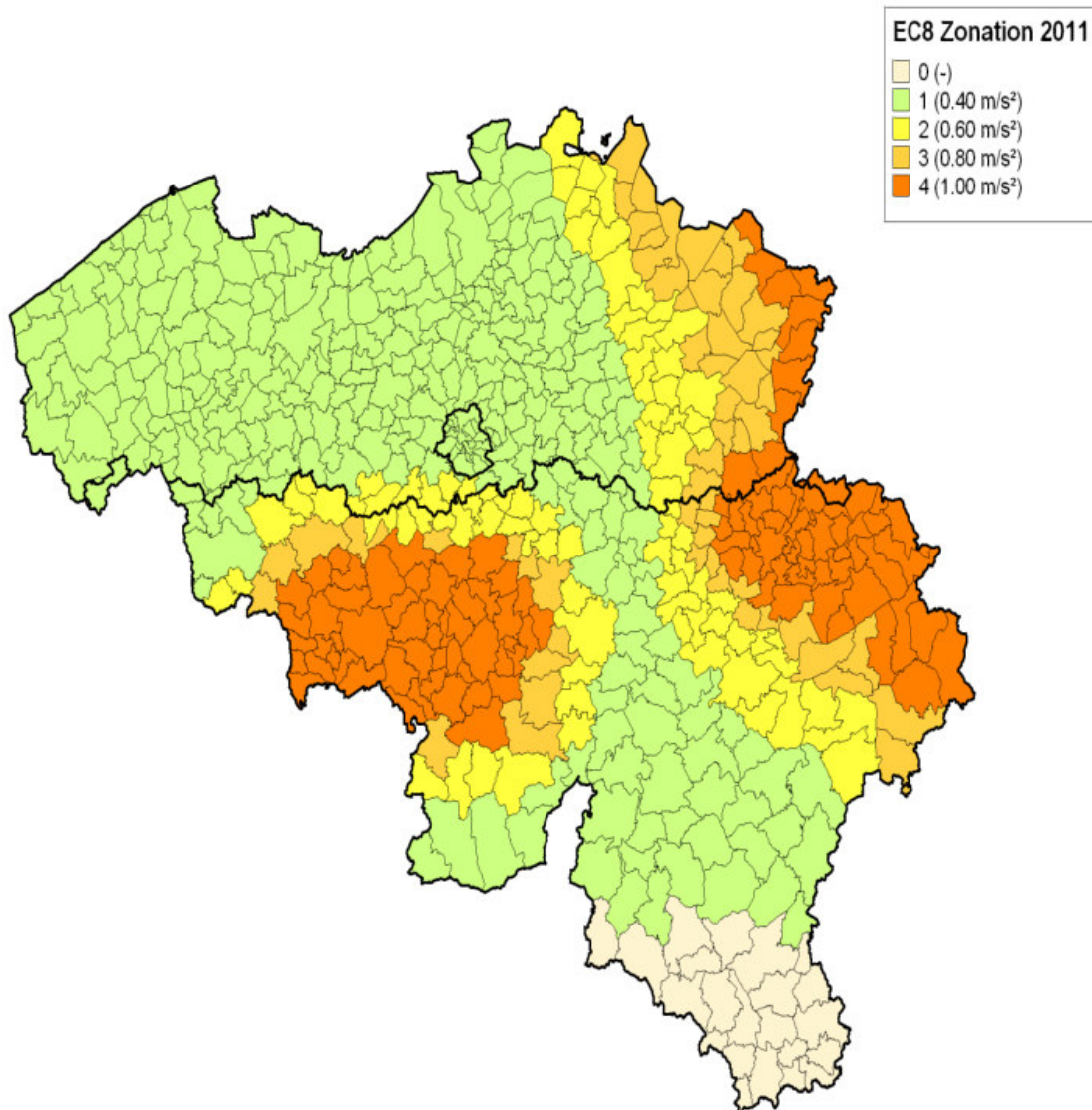


Abbildung 6-1: Erdbebenkarte für Belgien [17]

### 6.1.2 Frankreich

In Frankreich ist das Nationale Anwendungsdokument NF EN 1998-1/NA [21] zur DIN EN 1998-1 [3] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. Zusätzlich sind die Einföhrungserlasse [22], [23], [24] und [25] zu berücksichtigen. Abbildung 6-2 zeigt die Erdbebenkarte für Frankreich mit einer maximalen Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $a_{gR} = 1,6 \text{ m/s}^2$  in den Grenzgebieten zu Deutschland.



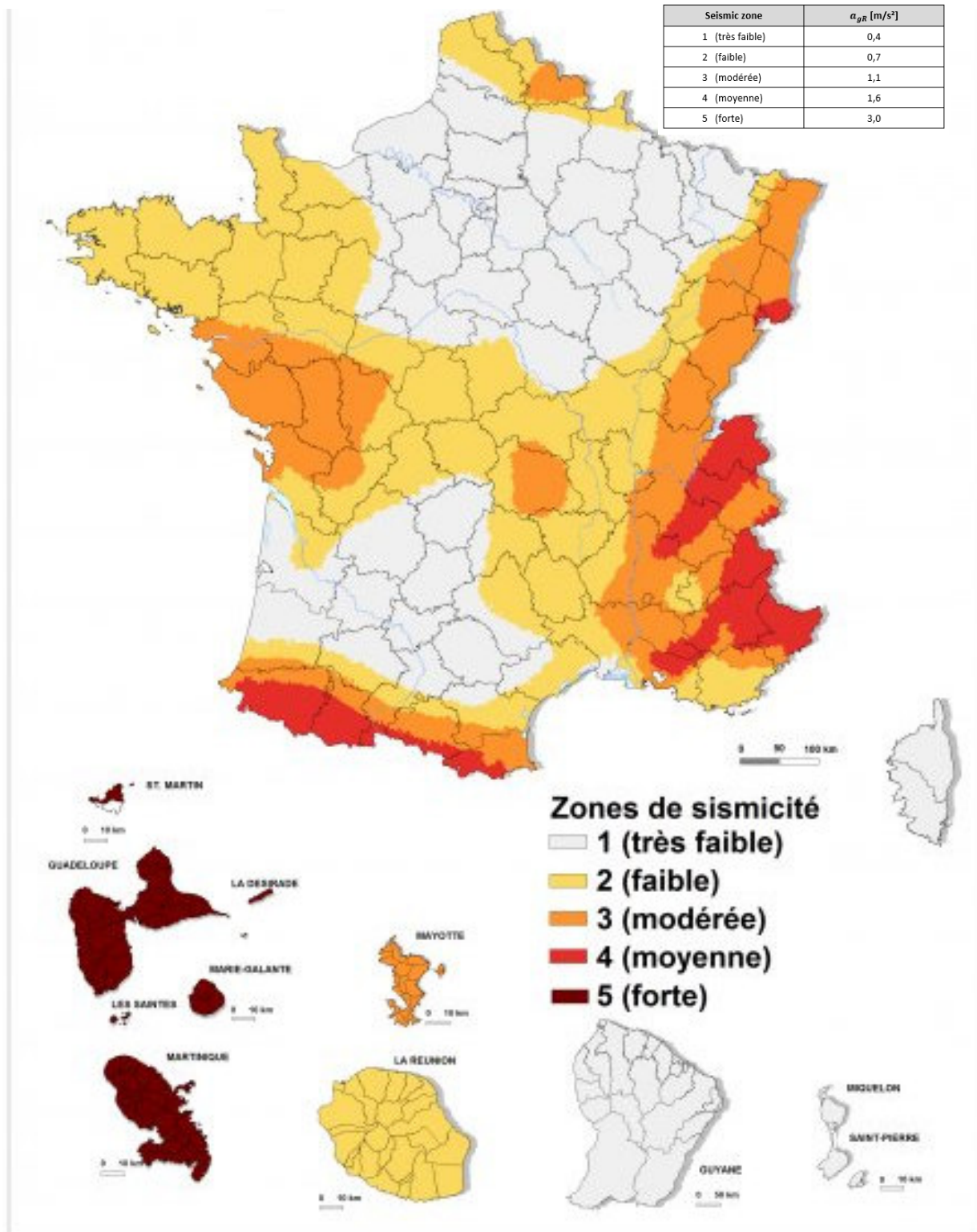
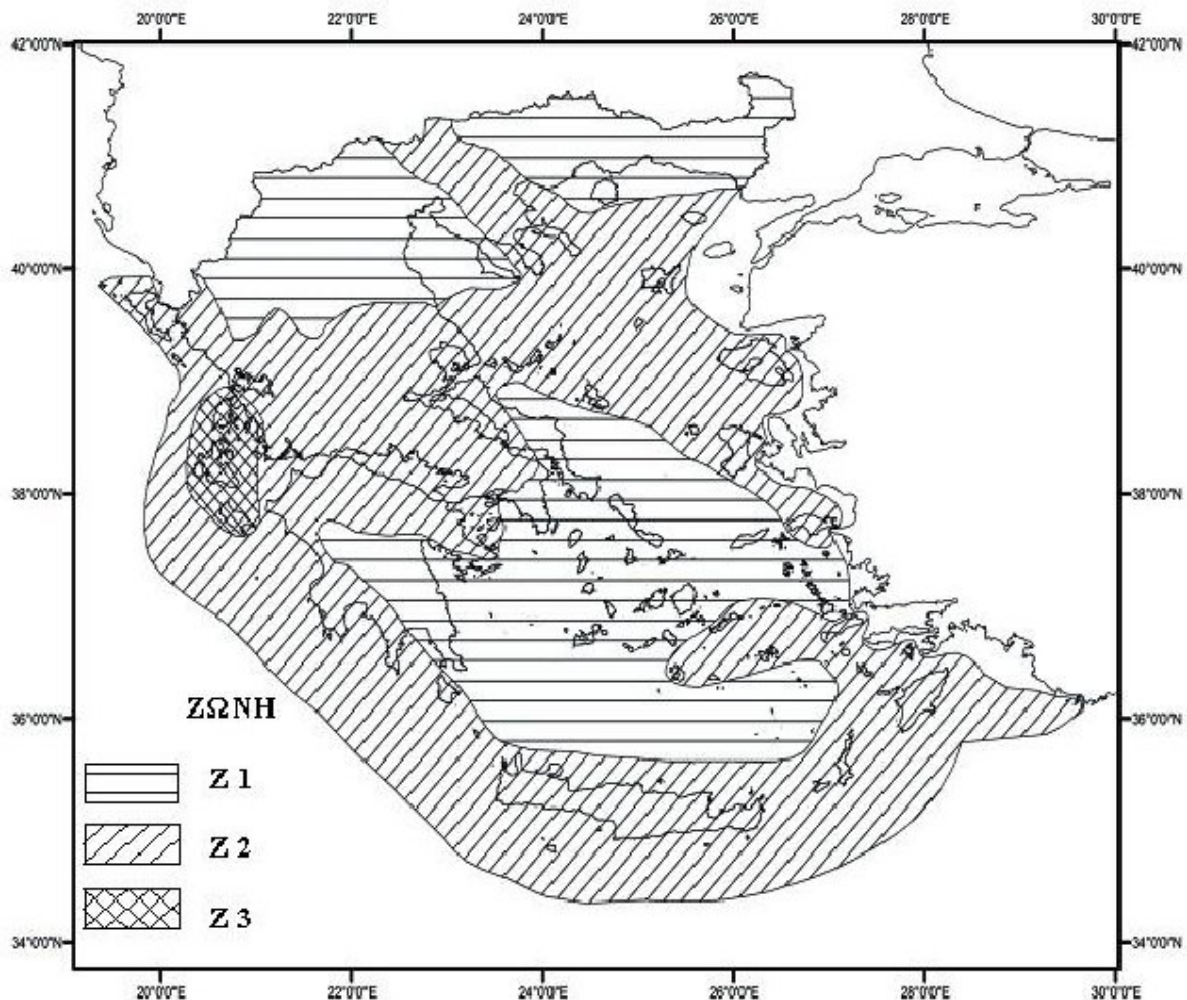


Abbildung 6-2: Erdbebenkarte für Frankreich [21]

### 6.1.3 Griechenland

In Griechenland ist das Nationale Anwendungsdokument EN 1998-1/NA-2020-Greece [31] zur DIN EN 1998-1 [3] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. Abbildung 6-3 zeigt die Erdbebenkarte für Griechenland mit einer maximalen Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $a_{gR} = 3,6 \text{ m/s}^2$ .



Seismic Zone 1:  $a_{g,R} := 0.16 g$

Seismic Zone 2:  $a_{g,R} := 0.24 g$

Seismic Zone 3:  $a_{g,R} = 0.36 g$

Abbildung 6-3: Erdbebenkarte für Griechenland [31]

### 6.1.4 Italien

In Italien ist die Norm NTC 2018 [30] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. Abbildung 6-4 zeigt die Erdbebenkarte für Italien mit einer maximalen Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $a_{gR} = 2,71 \text{ m/s}^2$ .

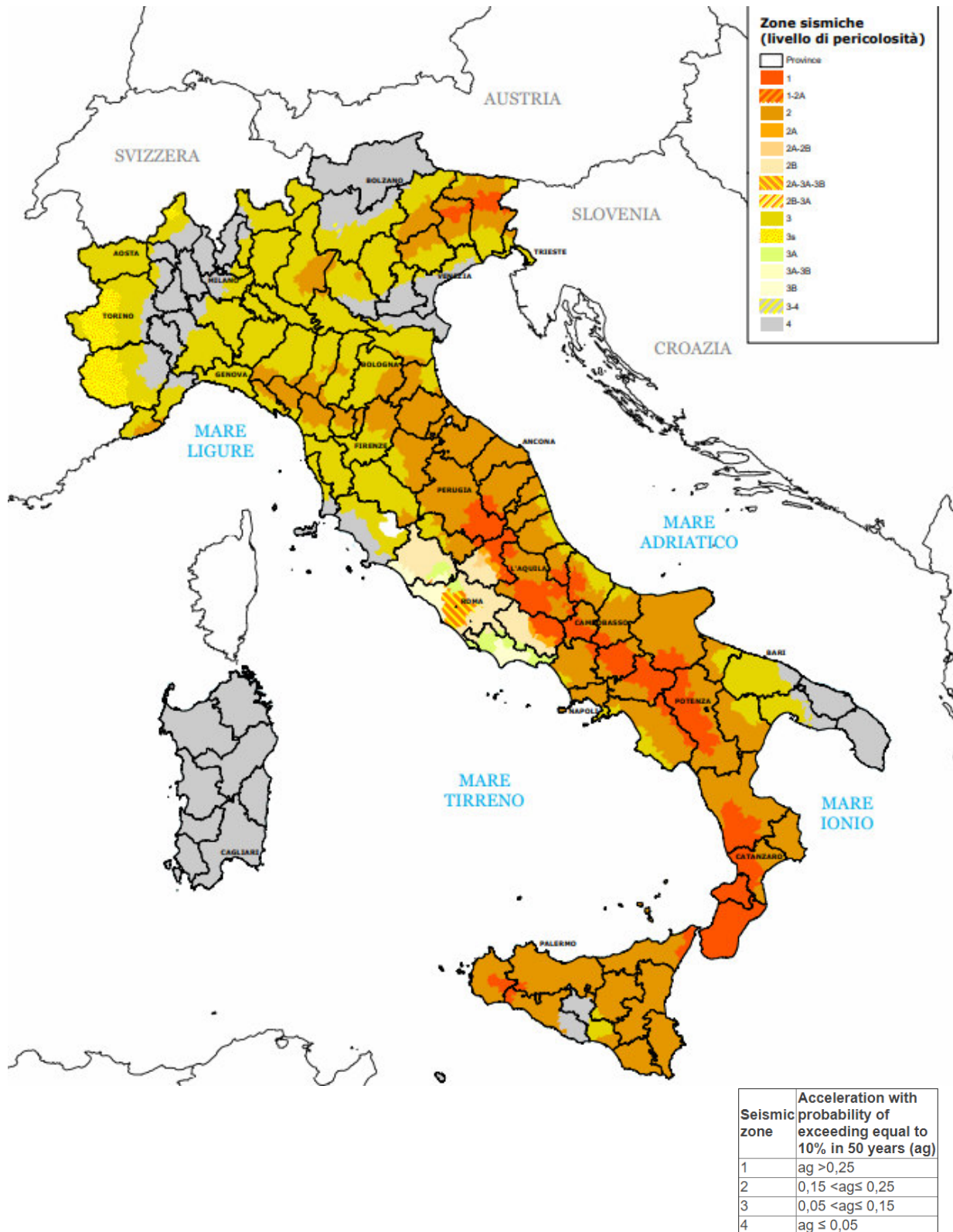


Abbildung 6-4: Erdbebenkarte für Italien [30]

### 6.1.5 Luxemburg

In Luxemburg ist das Nationale Anwendungsdokument EN 1998-1:2004/AN-2011-LU [20] zur DIN EN 1998-1 [3] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. In dem Dokument ist angegeben, dass die Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung mit von  $a_{gR} = 0,39 \text{ m/s}^2$  anzusetzen ist. Eine Erdbebenkarte steht in dem Dokument nicht zur Verfügung. Deshalb ist in Abbildung 6-5 ein Ausschnitt der GEM-Karte für Luxemburg dargestellt. Der Ausschnitt bestätigt den anzusetzenden normativen Beschleunigungswert.

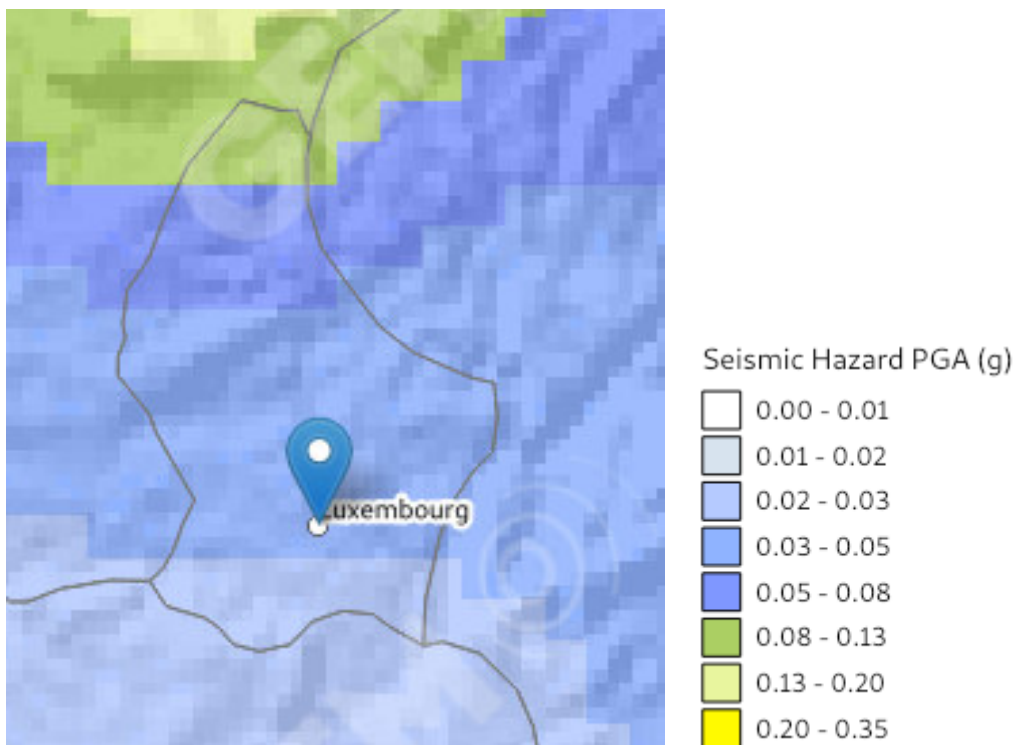
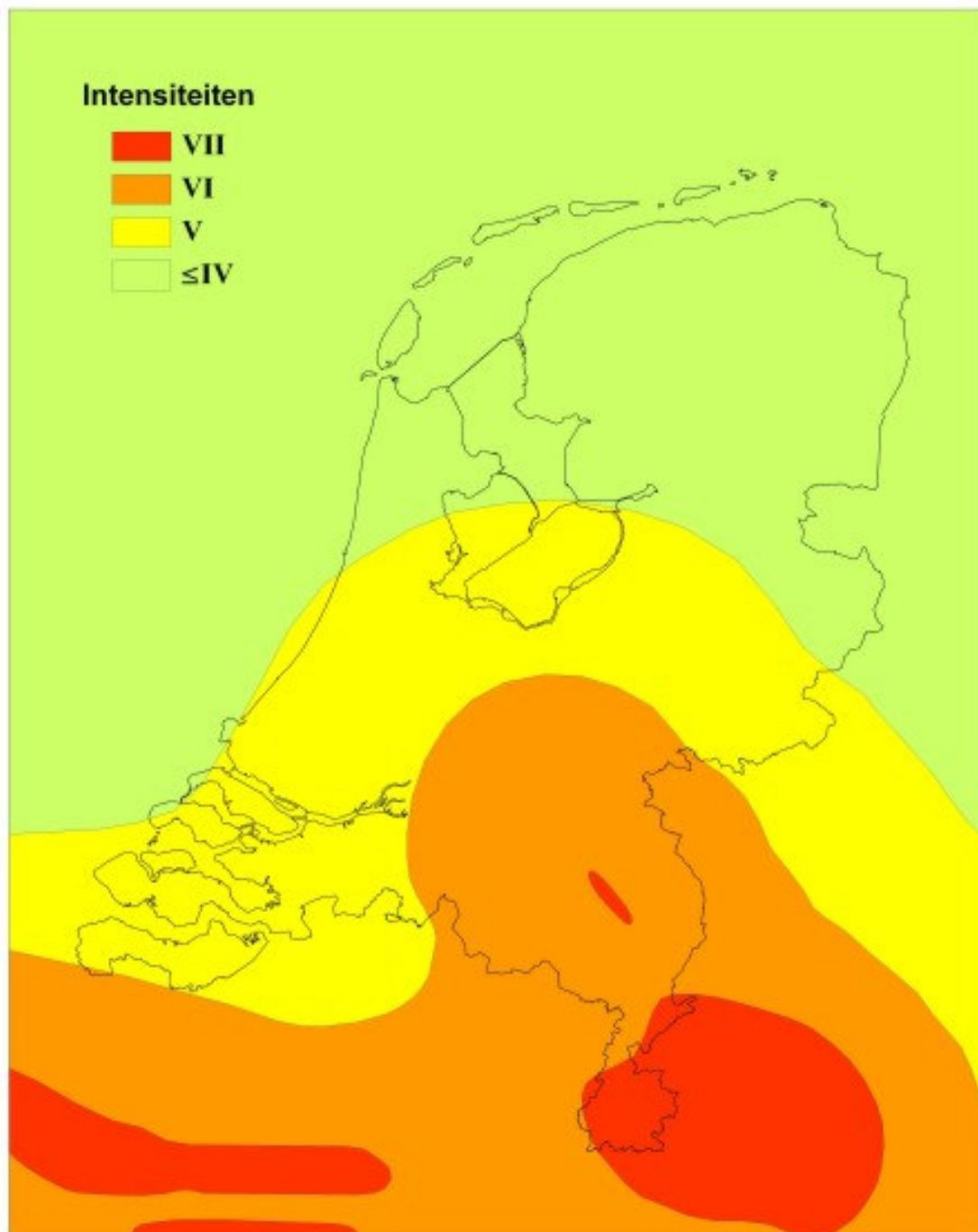


Abbildung 6-5: Erdbebenkarte für Luxemburg [37]

### 6.1.6 Niederlande

In den Niederlanden existieren detaillierte Karten für künstlich indizierte Erdbeben durch die Gasgewinnung im Raum Groningen. Weitere Informationen dazu finden sich in dem Dokument NPR 9998:2018 [19]. Jedoch existiert bislang kein Nationales Anwendungsdokument für natürliche Seismizität. Deshalb wird auf Grundlage einer Intensitätskarte aus der Publikation von De Crook vom Royal Netherlands Meteorological Institute [9] in Kombination mit der Zuordnung der Intensitäten zu maximalen Bodenbeschleunigungen in dem Normdokument NEN 6702 [18] der Eingangswert der Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung  $a_{gR}$  nach DIN EN 1998-1 [3] bestimmt. Die Intensitätskarte mit den zugehörigen Bodenbeschleunigungen ist in Abbildung 6-6 dargestellt. Die noch ältere Intensitätskarte von Ahorner et al. [10] wird hingegen nicht verwendet. Zum Vergleich zeigt Abbildung 6-7 die Karte aus dem GEM-Modell, die vergleichbare Werte und Konturen liefert [37].



Intensität VIII:  $a_{gR} = 2,0 \text{ m/s}^2$

Intensität VII:  $a_{gR} = 1,0 \text{ m/s}^2$

Intensität VI:  $a_{gR} = 0,5 \text{ m/s}^2$

Intensität V:  $a_{gR} = 0,2 \text{ m/s}^2$

**Abbildung 6-6: Erdbebenkarte für die Niederlanden [11]**

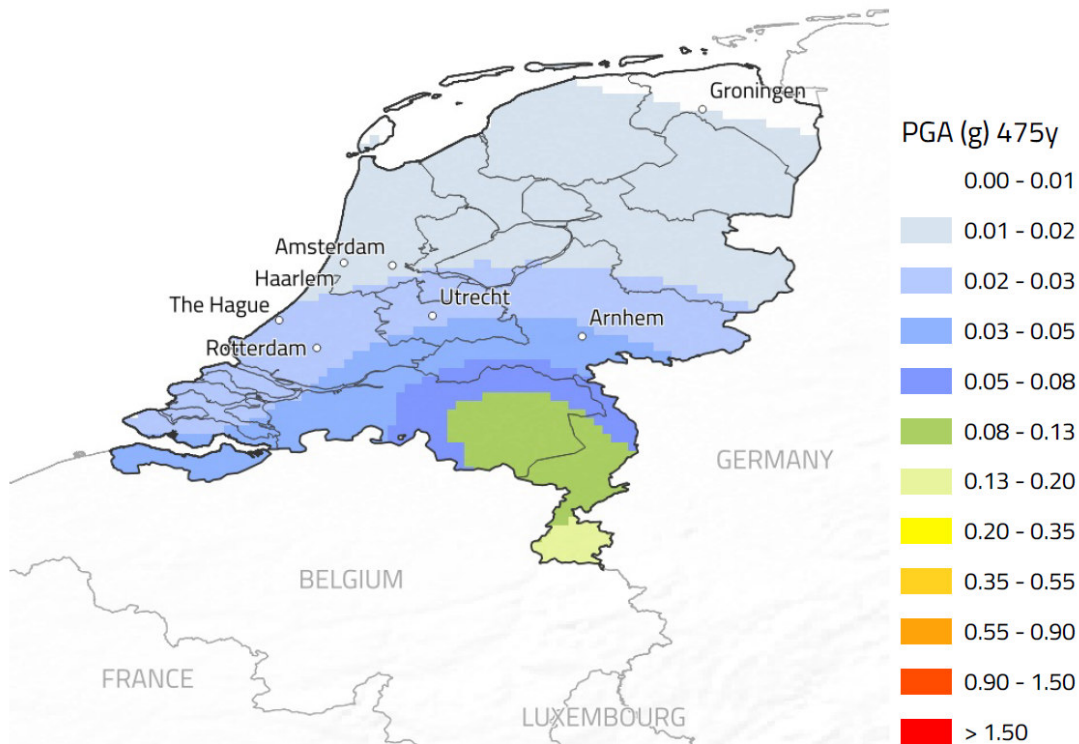


Abbildung 6-7: Erdbebenkarte für die Niederlande aus GEM [37]

### 6.1.7 Österreich

In Österreich ist das Nationale Anwendungsdokument ÖNORM B 1998-1: 2017-07-01 [27] zur DIN EN 1998-1 [3] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. Abbildung 6-8 zeigt die Erdbebenkarte für Österreich mit einer maximalen Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $a_{gR} = 1,34 \text{ m/s}^2$ .

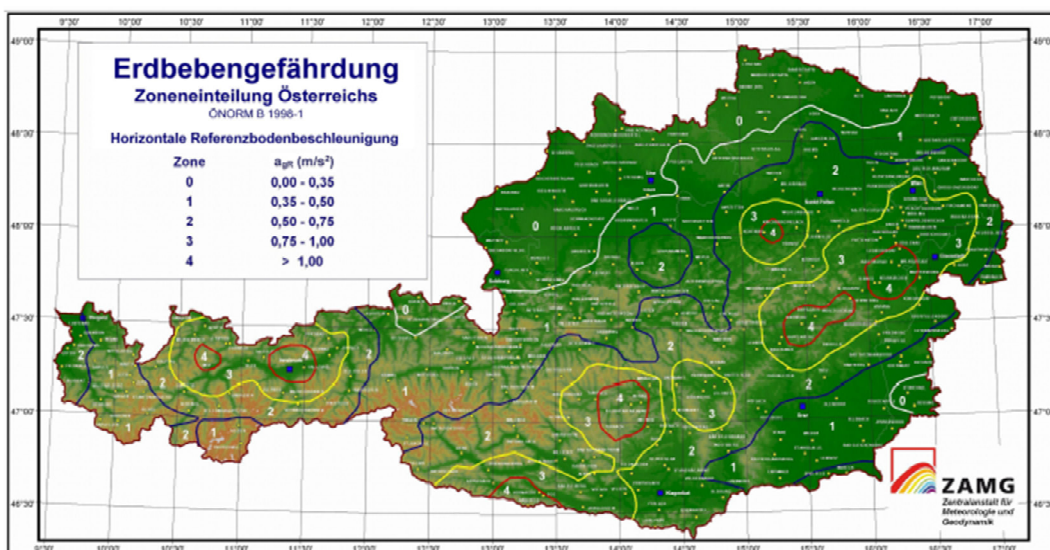


Abbildung 6-8: Erdbebenkarte für Österreich [27]

### 6.1.8 Polen

In Polen ist kein Nationales Anwendungsdokument zur DIN EN 1998-1 [3] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken vorhanden. Abbildung 6-9 zeigt deshalb die Erdbebenkarte für Polen aus dem GEM-Modell [37] mit einer maximalen Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $a_{GR} = 0,78 - 1,28 \text{ m/s}^2$  im Süden. Da der Grenzbereich zu Deutschland keine bzw. vernachlässigbare Referenz-Spitzenbodenbeschleunigungen aufweist und auch auf den deutschen Karten keine bemessungsrelevanten Beschleunigungen angegeben sind, wird Polen im Rahmen des Ländervergleichs nicht weiter berücksichtigt.

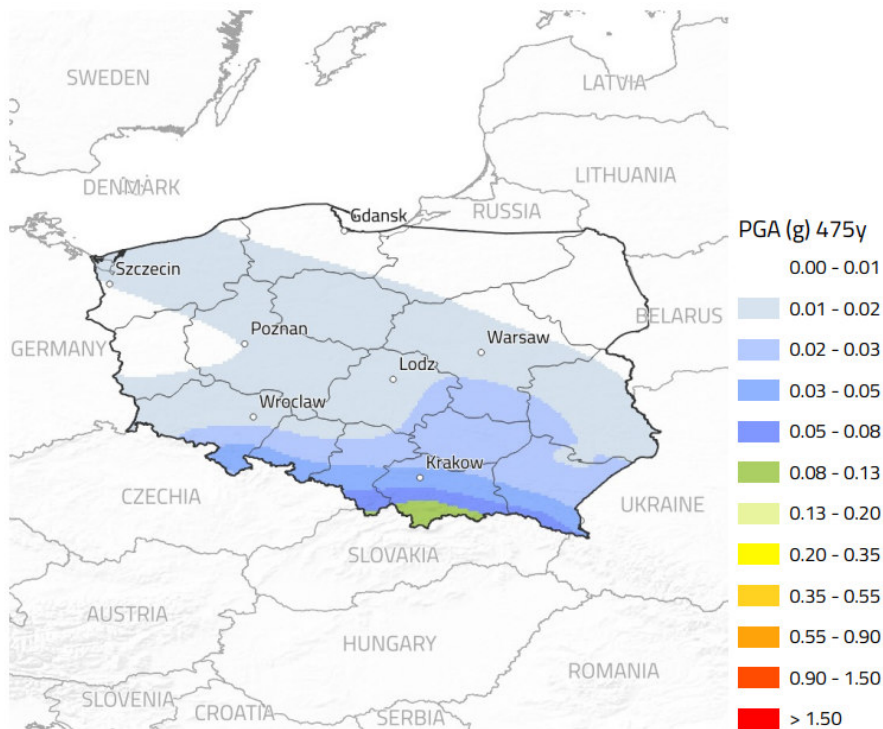


Abbildung 6-9: Erdbebenkarte für Polen [37]

### 6.1.9 Portugal

In Portugal ist das Nationale Anwendungsdokument NP EN 1998-1 2010 NA [32] zur DIN EN 1998-1 [3] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. Abbildung 6-8 zeigt die Erdbebenkarten für Portugal, die nach der Verwendung von Spektrentyp 1 und 2 differenziert sind. Die maximale Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung beträgt  $a_{GR} = 1,5 \text{ m/s}^2$  für den Spektrentyp 1 und  $a_{GR} = 1,7 \text{ m/s}^2$  für den Spektrentyp 2.

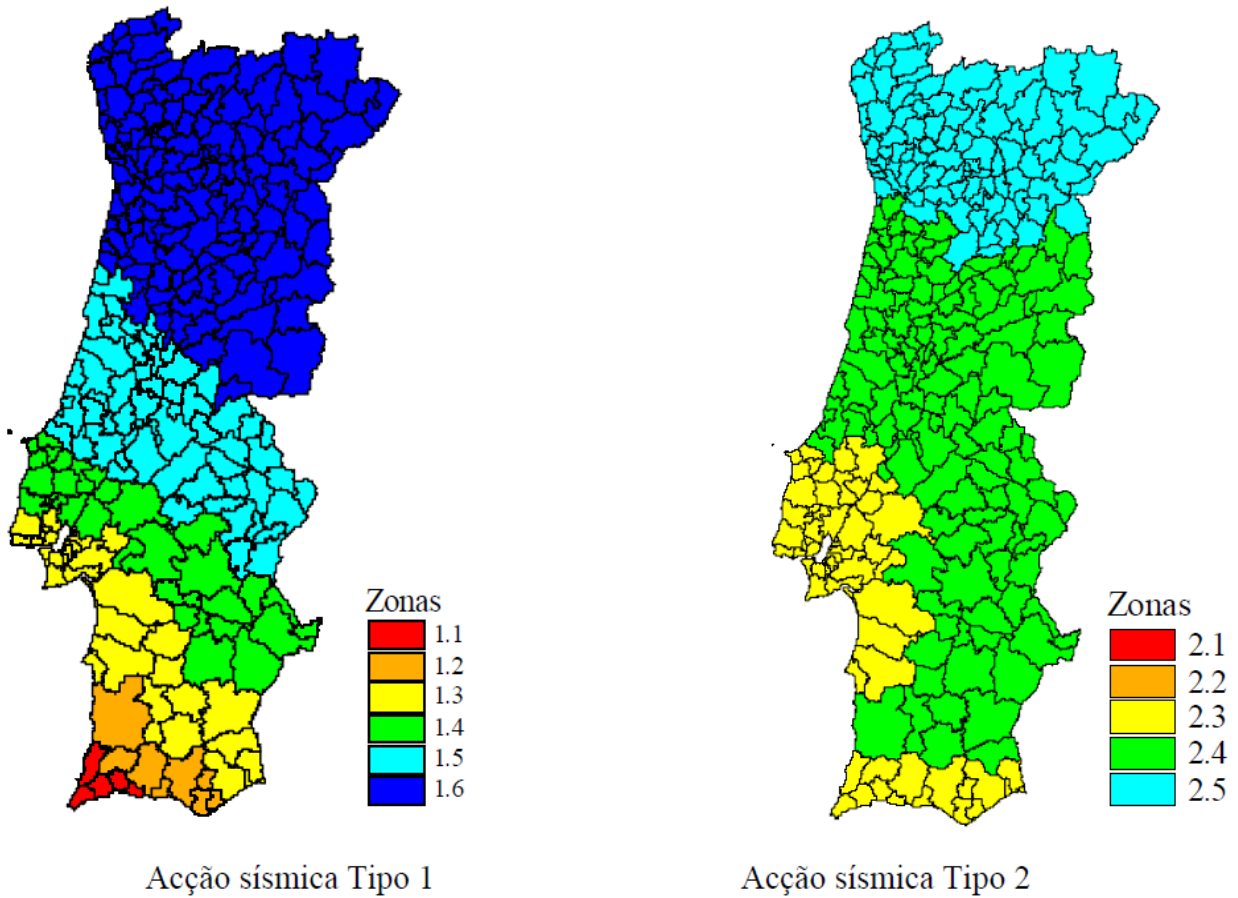


Figura NA.I – Zonamento sísmico em Portugal Continental

**Abbildung 6-10: Erdbebenkarte für Portugal [32]**

**6.1.10 Schweiz**

In der Schweiz ist die SIA-Norm 261 [26] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. Abbildung 6-11 zeigt die Erdbebengefährdungskarte und Abbildung 6-12: Erdbebenzonenkarte für die Schweiz [39] die Erdbebenzonenkarte für die Schweiz mit einer maximalen Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $a_{gR} = 1,6 \text{ m/s}^2$ .



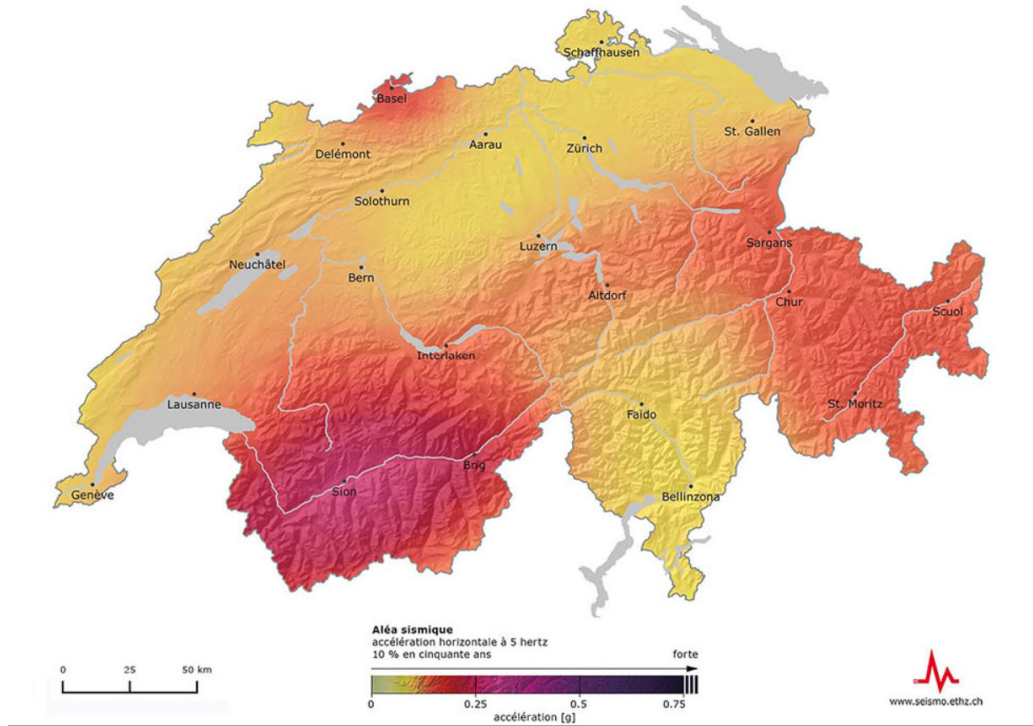


Abbildung 6-11: Seismische Gefährdungskarte für die Schweiz [26]

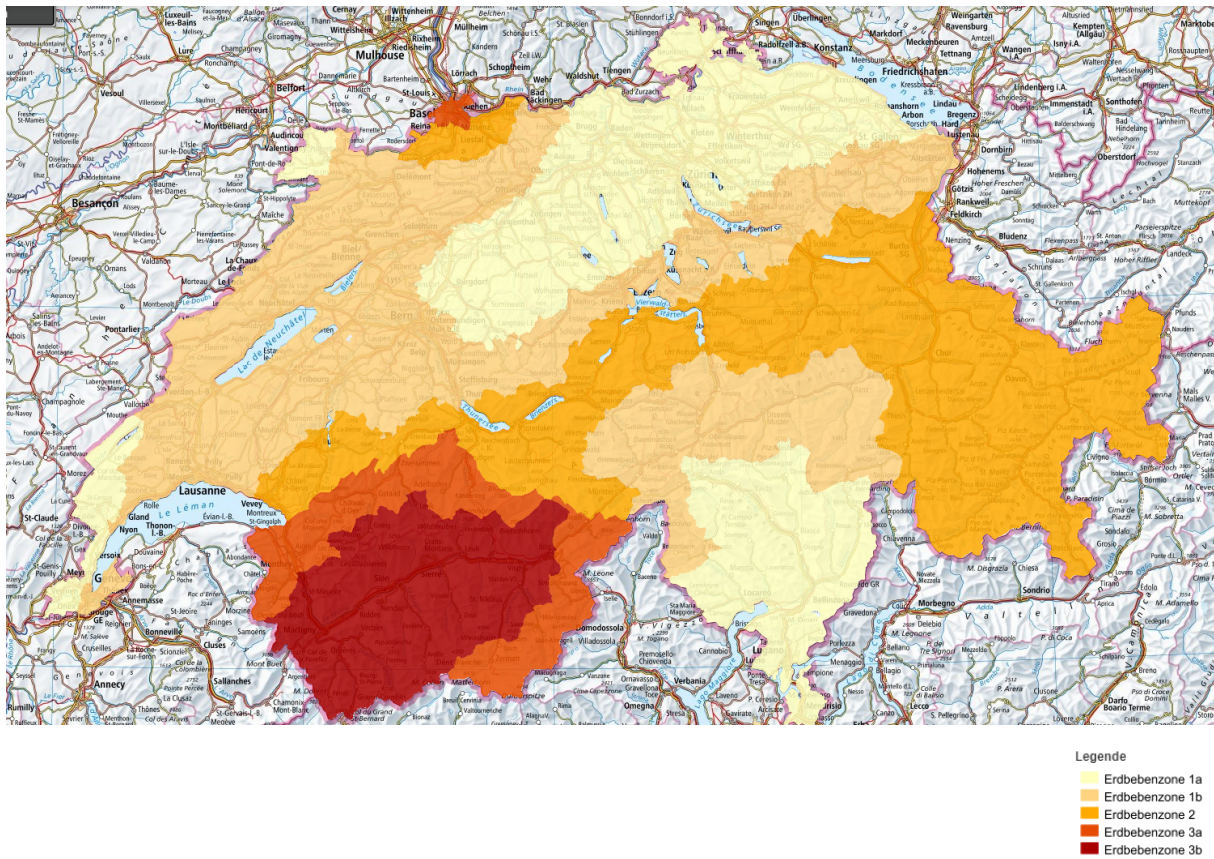


Abbildung 6-12: Erdbebenzonenkarte für die Schweiz [39]

### 6.1.11 Tschechien

In Tschechien ist das Nationale Anwendungsdokument CSN EN 1998-1:2011/NA [29] zur DIN EN 1998-1 [3] für die seismische Auslegung und den Nachweis von Bauwerken anzuwenden. zeigt die Erdbebenkarte für Tschechien mit einer maximalen Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $a_{gR} = 0,69 \text{ m/s}^2$ .

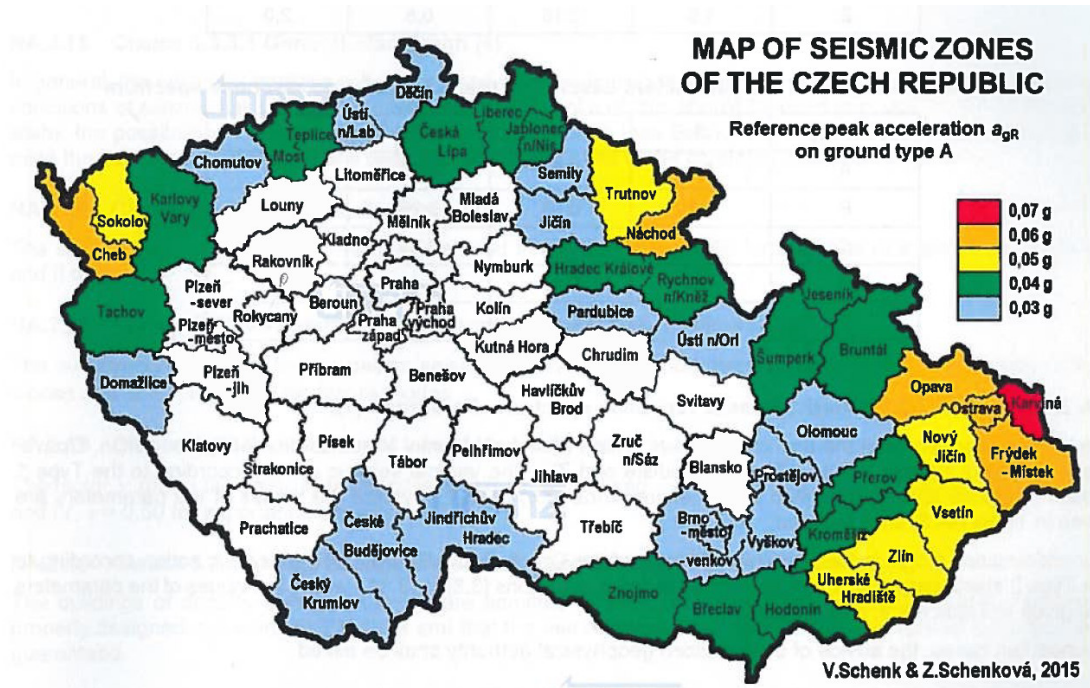


Abbildung 6-13: Erdbebenkarte für Tschechien [29]

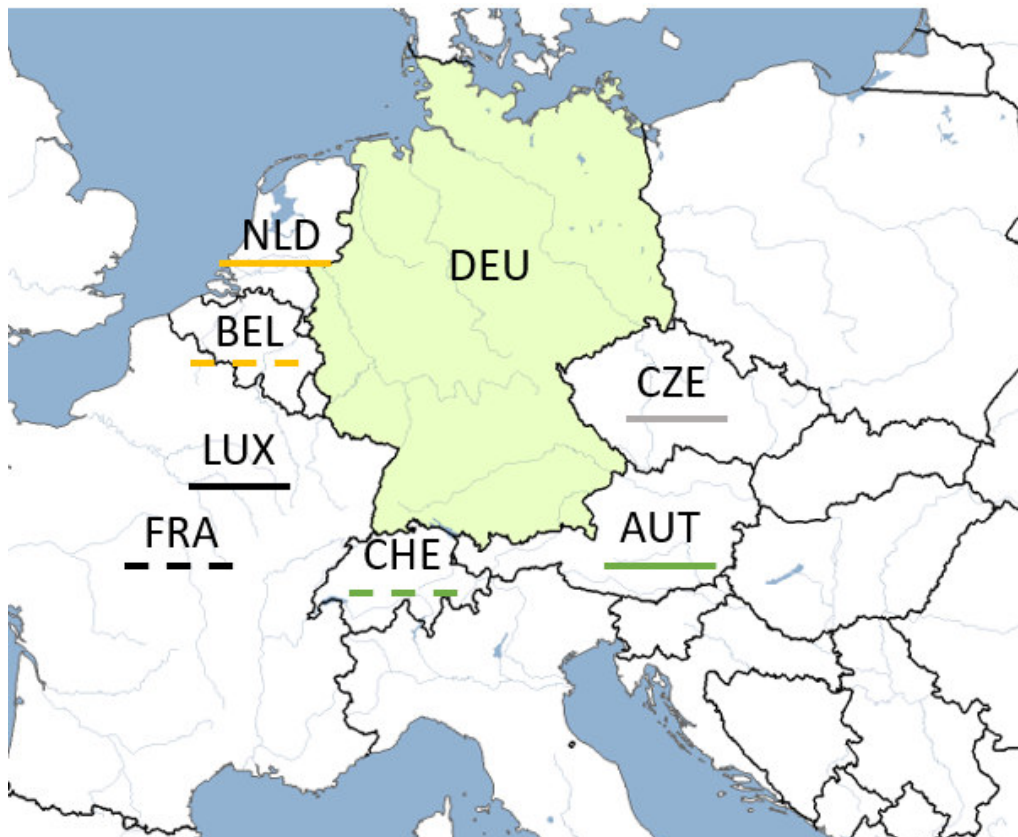
## 6.2 Vergleich der Antwortspektren der einzelnen Länder

Im Folgenden erfolgt der Vergleich der Antwortspektren für Deutschland mit denen der Anrainerstaaten und weiteren Ländern für verschiedene Untergrundkombinationen und zwei Einwirkungs-niveaus der Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung  $a_{gR}$ . (Tabelle 6-2). Die zwei Einwirkungs-niveaus wurden gewählt, um den Einfluss der Höhe der spektralen Beschleunigungen auf die Bodenfaktoren in der neuen Normfassung DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] zu erfassen. Der Vergleich liefert Aussagen über die Spektrenformen und die Amplifikationsfaktoren in den Normen der Länder bei variierenden Untergrundverhältnissen.

**Tabelle 6-2: Angesetzte Beschleunigungswerte und Bedeutungsfaktoren für den Vergleich**

	$a_{gR} [m/s^2]$	$S_{ap,R} [m/s^2]$	$\gamma_I [-]$
Wert 1 (Zone 1)	0,4	1,0	1,0
Wert 3 (Zone >3)	1,2	3,0	1,0

Zur besseren Nachvollziehbarkeit des Vergleichs der Antwortspektren, werden die Anrainerstaaten von Deutschland mit den Farben und Abkürzungen nach Abbildung 6-14 in den Diagrammen kenntlich gemacht. Polen wird im Rahmen des Vergleichs, wie in Abschnitt 6.1.8 erläutert, nicht berücksichtigt. Zusätzlich zu den Anrainerstaaten werden auch Griechenland (GRC), Italien (ITA) und Portugal (PRT) in dem Vergleich berücksichtigt.



**Abbildung 6-14: Berücksichtigte Anrainerstaaten für den Vergleich der Antwortspektren**

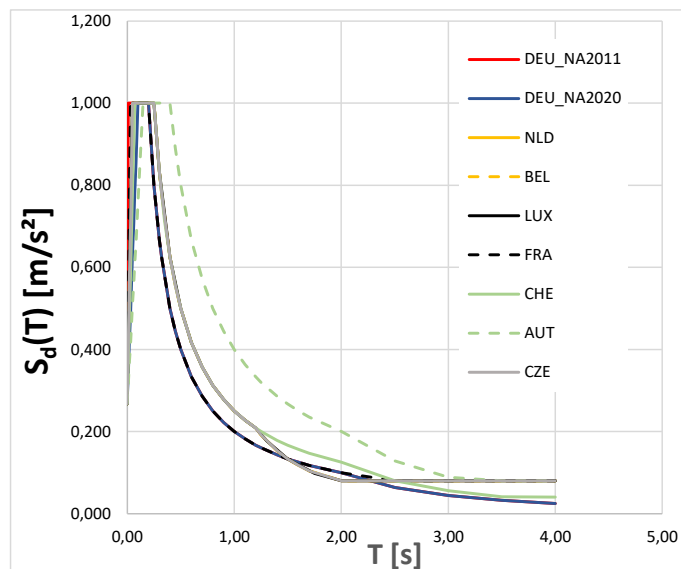
### 6.2.1 Vergleich der Antwortspektren für Bodenklasse A

Abbildung 6-15 zeigt den Vergleich der Antwortspektren für die Anrainerstaaten für die Bodenklasse A. Der Vergleich zeigt für alle Länder einen identischen Plateauwert. Die Breite des Plateaus, die über die Kontrollperioden festgelegt wird, ist für Deutschland relativ schmal. Die Spektren der Schweiz und Österreich weisen höhere Kontrollperioden im Plateaubereich auf, was zu fülligeren Spektren führt.

Abbildung 6-16 zeigt den Vergleich der Antwortspektren für die Anrainerstaaten inklusive der Länder Griechenland, Italien und Portugal für die Bodenklasse A. Der Vergleich zeigt, dass diese Länder einen breiteren Plateaubereich haben, was wiederum zu völligeren Spektren führt.

Insgesamt verdeutlicht der Vergleich im Hinblick auf die seismische Bemessung, dass die Spektrenverläufe für Deutschland auf Grund des schmalen Plateaus im unteren Bereich liegen und zu den geringsten Spektralbeschleunigungen im abfallenden Ast der Spektren führen.

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

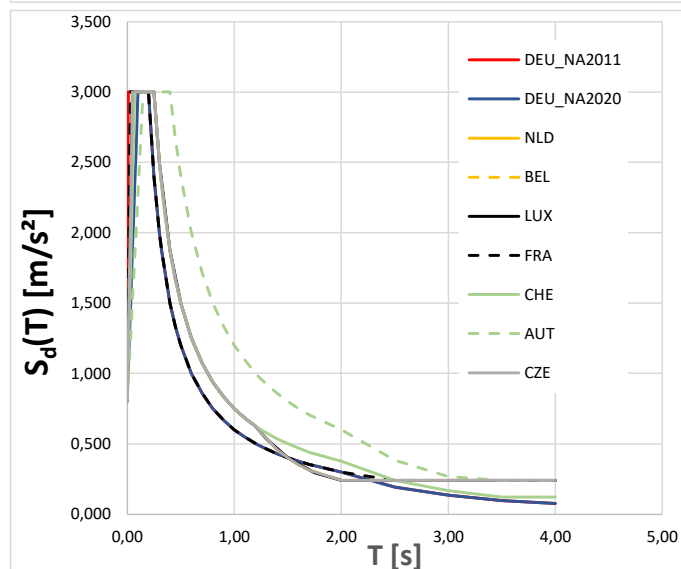
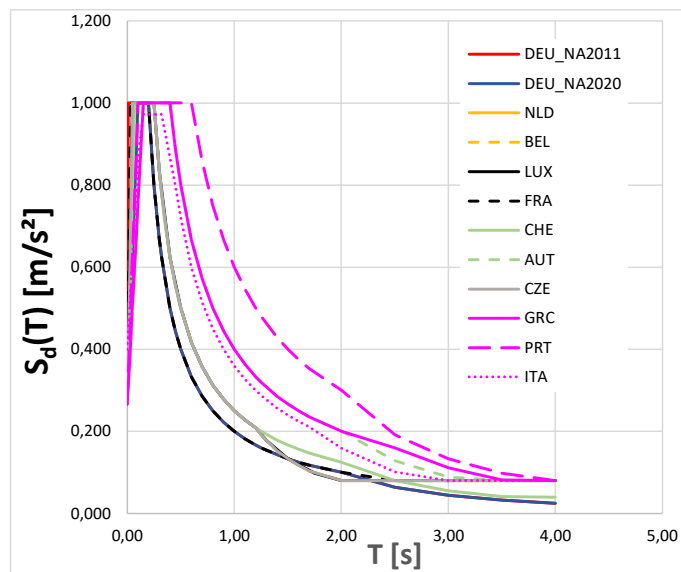


Abbildung 6-15: Vergleich horizontaler Antwortspektren für Deutschland und Anrainerstaaten für die Bodenklasse A

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

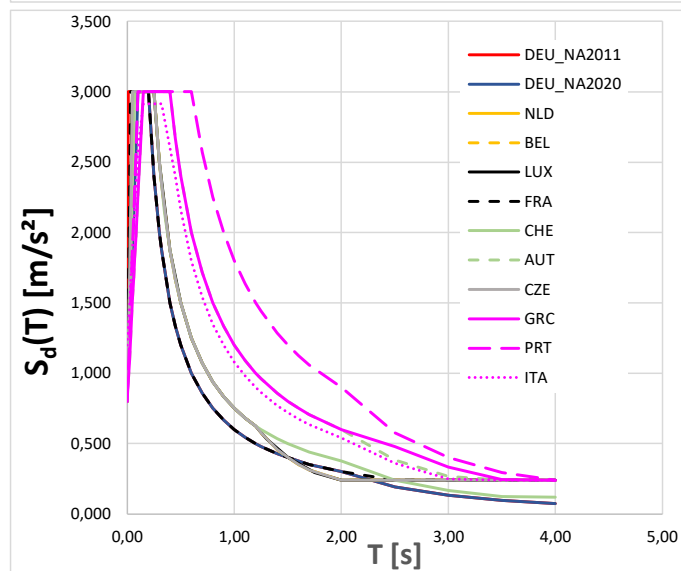


Abbildung 6-16: Vergleich horizontaler Antwortspektren für Deutschland, Anrainerstaaten sowie Griechenland, Italien und Portugal für die Bodenklasse A

### 6.2.2 Vergleich der Antwortspektren für Bodenklasse B

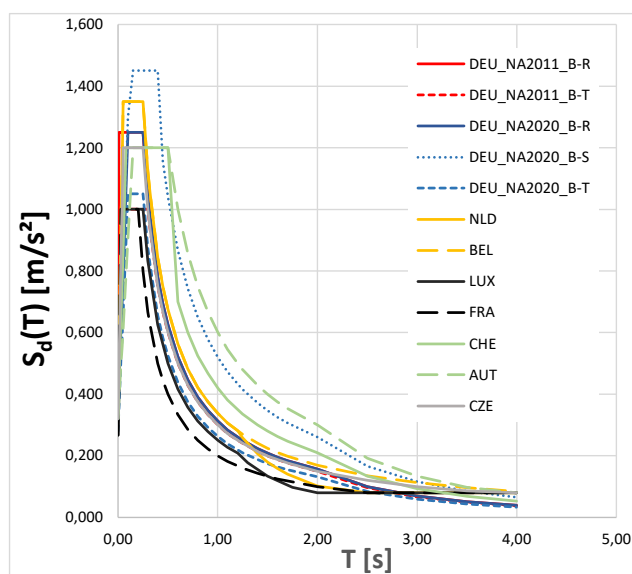
Abbildung 6-17 zeigt den Vergleich der Antwortspektren von Deutschland mit den Anrainerstaaten für die Bodenklasse B. Der Vergleich zeigt, dass die Plateauwerte der deutschen Spektren bei dem niedrigeren Einwirkungslevel von  $a_{gR} = 0,4 \text{ m/s}^2$  für die Untergrundkombinationen B-T und B-R im Bereich der anderen Landesspektren liegen, wobei die Untergrundverhältnisse B-S zu dem größten Plateauwert und zu einem völligen Spektrum führen.

Bei dem höheren Belastungslevel von  $a_{gR} = 1,2 \text{ m/s}^2$  fällt auf, dass die Plateauwerte nach DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] für die Untergrundkombinationen B-T und B-S im unteren Bereich des Landesvergleichs liegen und die Untergrundkombination B-S nun im mittleren Bereich liegt. Weiterhin sind die neuen Werte deutlich kleiner als nach DIN 4149 [4], was auf die niedrigeren Bodenfaktoren bei höheren Belastungslevels zurückzuführen ist. Dieser Unterschied wurde bereits in Abschnitt 4.3 näher erläutert.

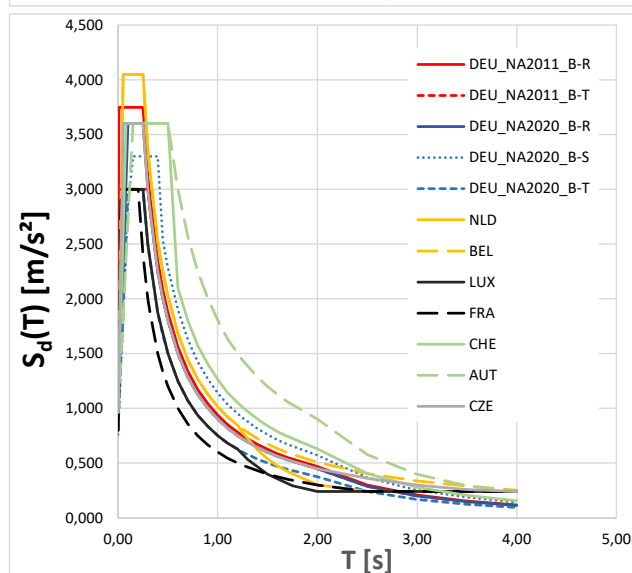
Abbildung 6-18 zeigt den Vergleich der Antwortspektren für die Anrainerstaaten inklusive der Länder Griechenland, Italien und Portugal für die Bodenklasse B. Der Vergleich zeigt, dass diese Länder höhere Plateauwerte und einen breiteren Plateaubereich aufweisen. Zudem sind die Spektren völliger. Dies gilt grundsätzlich für beide betrachteten Einwirkungs-niveaus.

Insgesamt zeigt der Vergleich der Antwortspektren im Hinblick auf die seismische Bemessung, dass die Spektrenverläufe für Deutschland für die Untergrundkombinationen mit der Bodenklasse B sowohl hinsichtlich der maximalen Spektralbeschleunigungen als auch hinsichtlich der Völligkeit der Spektren bei steigenden Referenz-Spitzenbodenbeschleunigungen im unteren bis mittleren Bereich des Ländervergleichs liegen. Für niedrige Niveaus der Referenz-Spitzenbodenbeschleunigungen ergibt sich aber für die Untergrundkombination B-S der größte Spektralwert.

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

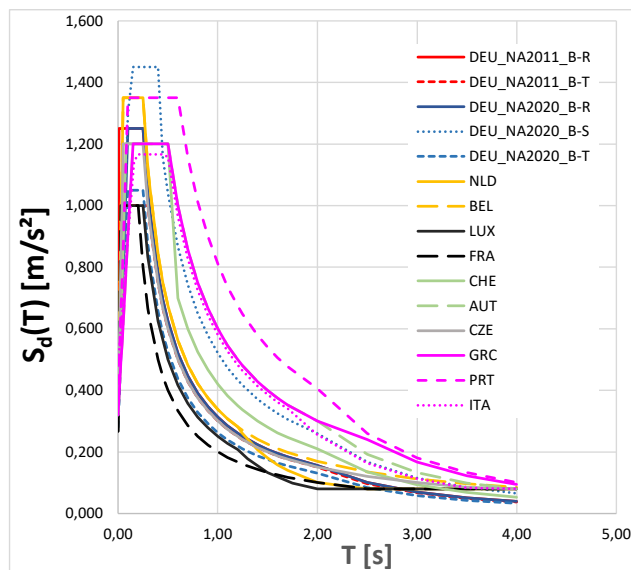


$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



**Abbildung 6-17: Vergleich horizontaler Antwortspektren für Deutschland und Anrainerstaaten für die Bodenklasse B**

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

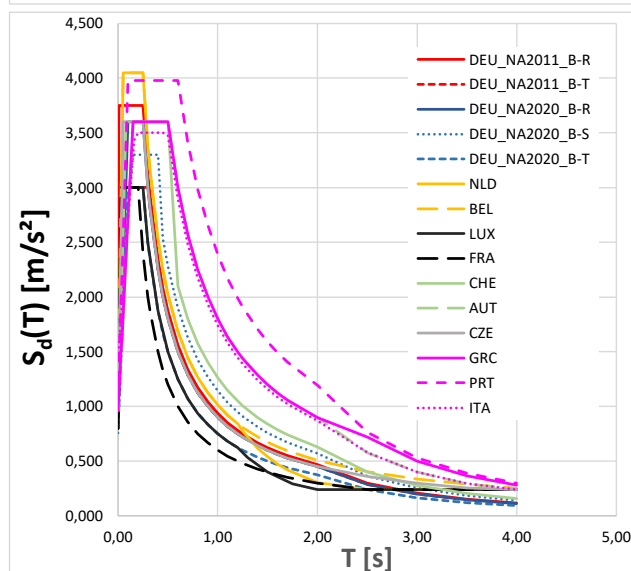


Abbildung 6-18: Vergleich horizontaler Antwortspektren für Deutschland, Anrainerstaaten sowie Griechenland, Italien und Portugal für die Bodenklasse B

### 6.2.3 Vergleich der Antwortspektren für Bodenklasse C

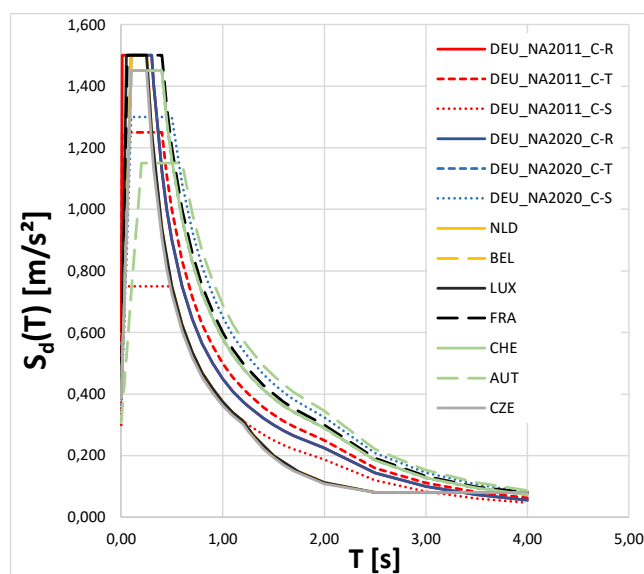
Abbildung 6-19 zeigt den Vergleich der Antwortspektren für Deutschland mit den Anrainerstaaten für die Bodenklasse C. Der Vergleich zeigt, dass die Plateauwerte der deutschen Spektren bei dem niedrigeren Einwirkungslevel von  $a_{gR} = 0,4 \text{ m/s}^2$  und den Untergrundverhältnissen C-S und C-T im unteren bis mittleren Bereich der Plateauwerte liegen. Für die Untergrundkombination C-R hingegen ergibt sich die maximale Plateaubeschleunigung. Die Volligkeit der Spektren ist vergleichbar.

Bei dem höheren Belastungslevel von  $a_{gR} = 1,2 \text{ m/s}^2$  fällt auf, dass die Plateauwerte nach DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] für alle Untergrundkombinationen (C-S, C-T und C-R) im unteren Bereich des Landesvergleichs liegen. Weiterhin sind die neuen Werte kleiner als nach DIN 4149 [4], was auf die niedrigeren Bodenfaktoren bei höheren Belastungslevelaus zurückzuführen ist. Dieser Unterschied wurde bereits in Abschnitt 4.3 näher erläutert.

Abbildung 6-20 zeigt den Vergleich der Antwortspektren für die Anrainerstaaten inklusive der Länder Griechenland, Italien und Portugal für die Bodenklasse C. Der Vergleich zeigt, dass diese Länder tendenziell einen breiteren Plateaubereich und völligeren Spektren aufweisen. Zudem weisen die Spektren für Italien und Portugal höhere Plateauwerte auf. Der Plateauwert für Griechenland liegt auf Grund der kleineren Bodenfaktors auf dem Niveau von Deutschland und den Anrainerstaaten.

Insgesamt zeigt der Vergleich im Hinblick auf die seismische Bemessung, dass die Spektrenverläufe für Deutschland bei niedrigeren Einwirkungs niveaus vergleichbar mit den weiteren Landesspektren sind. Auffällig ist jedoch, dass die Untergrundkombinationen mit der Bodenklasse C bei steigenden Einwirkungs niveaus geringere Spektralbeschleunigungen als in den übrigen Ländern liefern.

$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

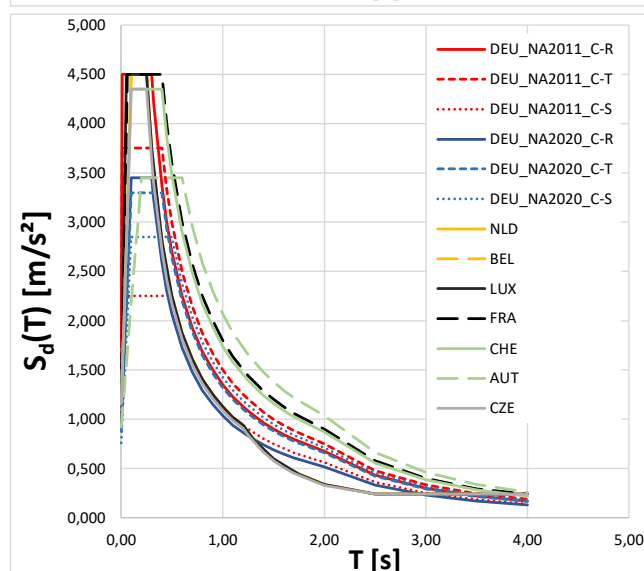
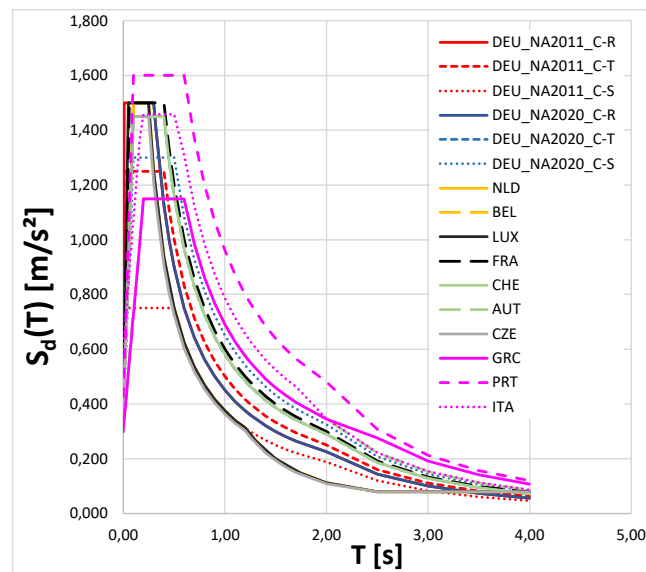


Abbildung 6-19: Vergleich horizontaler Antwortspektren für Deutschland und Anrainerstaaten für die Bodenklasse C



$$a_{gR} = 0,4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



$$a_{gR} = 1,2 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

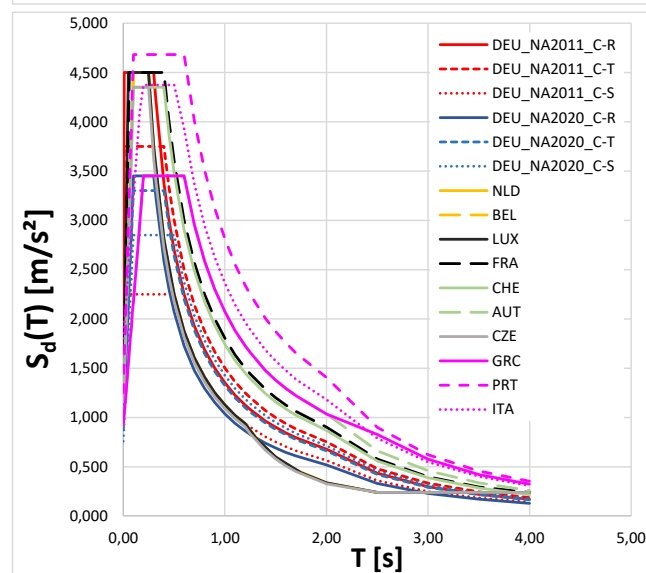


Abbildung 6-20: Vergleich horizontaler Antwortspektren für Deutschland, Anrainerstaaten sowie Griechenland, Italien und Portugal für die Bodenklasse C

**Fazit:** Der Vergleich der Antwortspektren unter Ansatz der maximalen Bodenbeschleunigungen von  $0,4 \text{ m/s}^2$  und  $1,2 \text{ m/s}^2$  für unterschiedliche Bodenverhältnisse ergab für Deutschland und die Anrainerstaaten bei dem niedrigen Einwirkungsniveau von  $0,4 \text{ m/s}^2$  vergleichbare Spektralformen und Plateauwerte. Die Spektren für die weiteren Länder Griechenland, Italien und Portugal liefern völligerere Spektren. Die Normen für Italien und Portugal liefern zudem höhere Plateauwerte, wohingegen die in der griechischen Erdbebennorm zugrunde gelegten Bodenfaktoren zu Spektren mit Plateaubeschleunigungen im Bereich von Deutschland und den Anrainerstaaten führen. Grundsätzlich ergeben sich bei den Untergrundkombinationen mit den Baugrundklassen B und C nach dem neuen Anwendungsdokument DIN EN 1998-1-2020 [1] bei dem höheren Einwirkungsniveau von  $1,2 \text{ m/s}^2$  auf Grund der neu definierten Bodenfaktoren geringere maximale Spektralwerte als in den Anrainerstaaten und weiteren Ländern. Der Grund ist die Berücksichtigung der höheren Dämpfung des Bodens bei größeren Bodenbewegungen.

## 6.3 Vergleich von Standorten entlang der Landesgrenzen

Nachfolgend werden die Antwortspektren für konkrete Standorte entlang der Grenzen von Deutschland zu den Anrainerstaaten aufgestellt. Die Aufstellung erfolgt nach dem Nationalen Anwendungsdokument DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] für Deutschland und den Landesnormen der Anrainerstaaten. In diesem Vergleich gehen somit sowohl die Definition der Spektren als auch die in den Landesnormen festgelegten seismischen Einwirkungen ein. Für den Vergleich werden der Bedeutungsfaktor und der Verhaltensbeiwert mit 1,0 angesetzt.

### 6.3.1 Vergleich zwischen Deutschland und Niederlande

Abbildung 6-21 zeigt den gewählten Standort im Vaalserquartier nahe Aachen und die seismische Einwirkung am Standort auf der Gefährdungskarte für die Niederlande. Abbildung 6-22 zeigt den Vergleich für die Untergrundkombination A-R und Abbildung 6-23 für die Untergrundkombination C-R. Es wird deutlich, dass die Spektren der Niederlande für den Baugrund C konservativer als für Deutschland sind. Für die Baugrundklasse A weisen die Spektren keine wesentlichen Unterschiede auf.

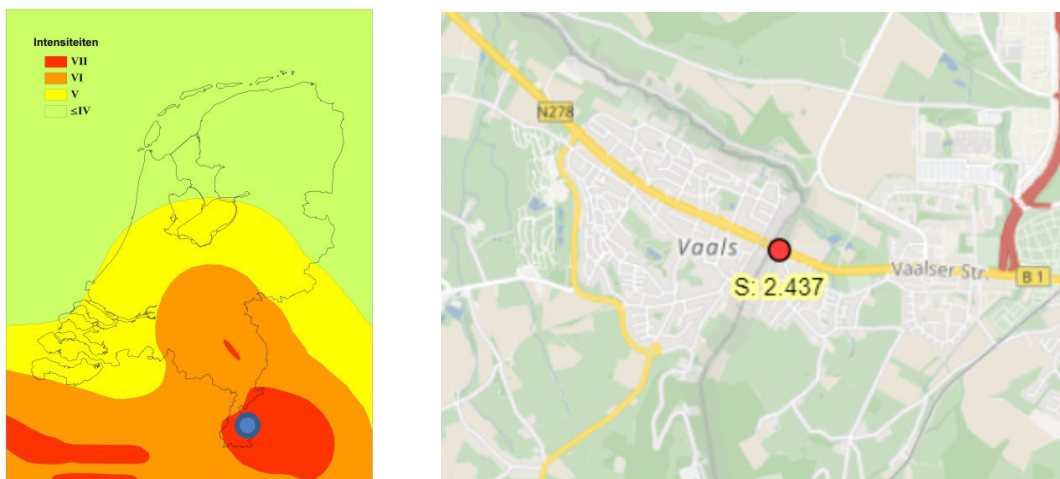


Abbildung 6-21: Erbebengefährdungskarte Niederlande (links) und Standort Vaalserquartier (BG 50.7707706, LG 6.0256217) (rechts)

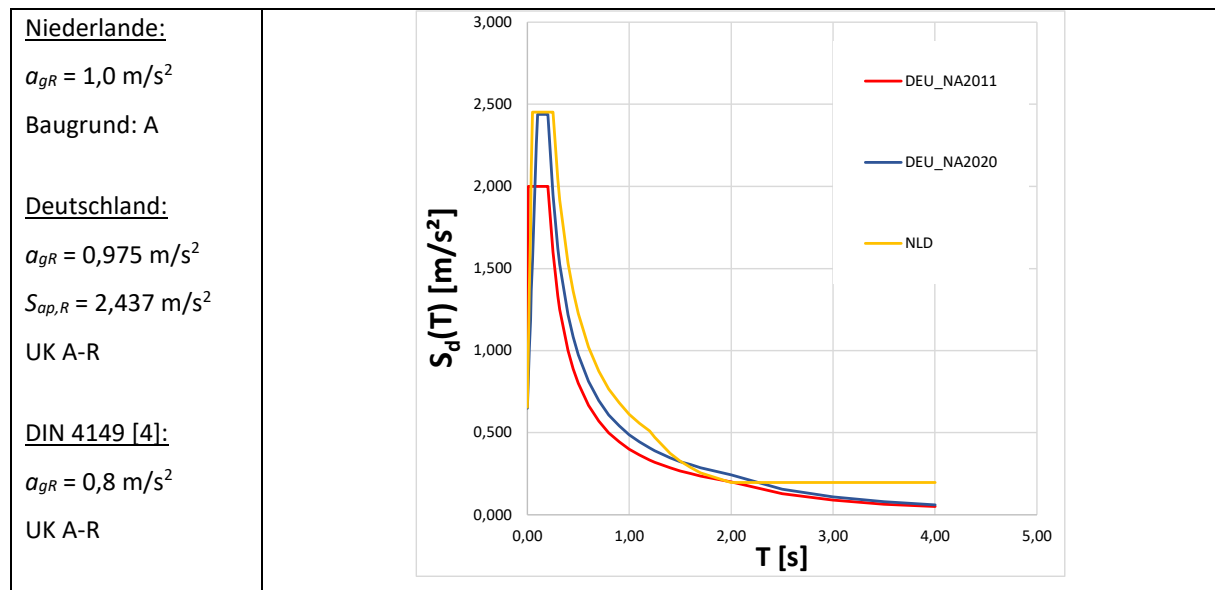


Abbildung 6-22: Vergleich: Deutschland – Niederlande, UK A-R

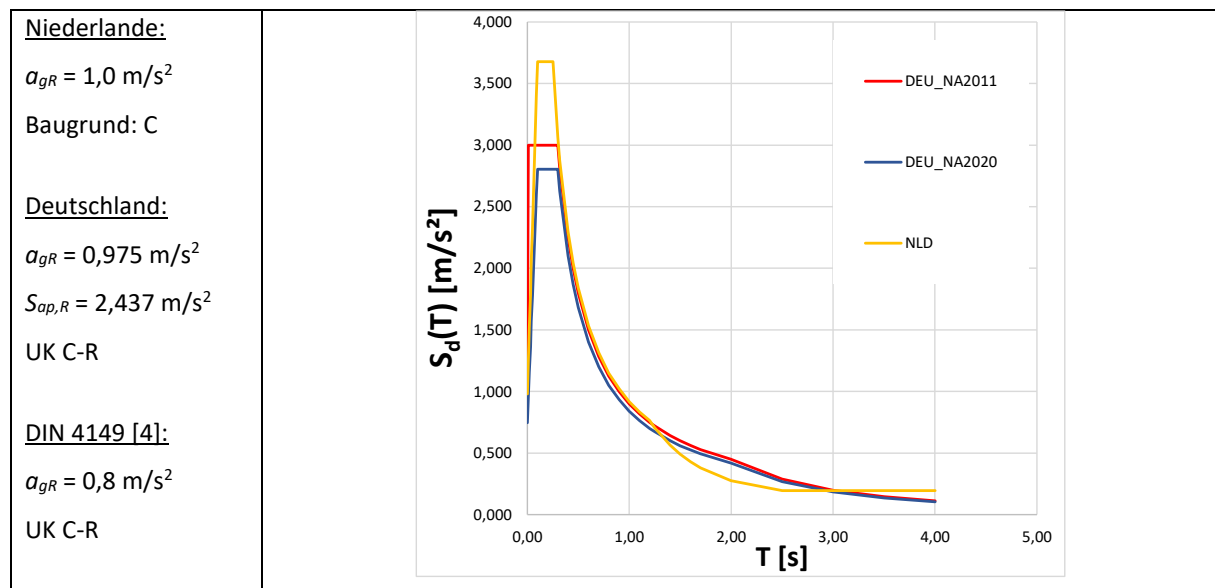


Abbildung 6-23: Vergleich: Deutschland – Niederlande, UK C-R

### 6.3.2 Vergleich zwischen Deutschland und Belgien

Abbildung 6-24 zeigt den gewählten Standort in Bildchen nahe Aachen und die seismische Einwirkung am Standort auf der Gefährdungskarte für Belgien. Abbildung 6-25 zeigt den Vergleich für die Untergrundkombination A-R und Abbildung 6-26 für die Untergrundkombination C-R. Es wird deutlich, dass die Spektren für Belgien für beide Baugrundklassen A als auch C konservativer als für Deutschland sind.

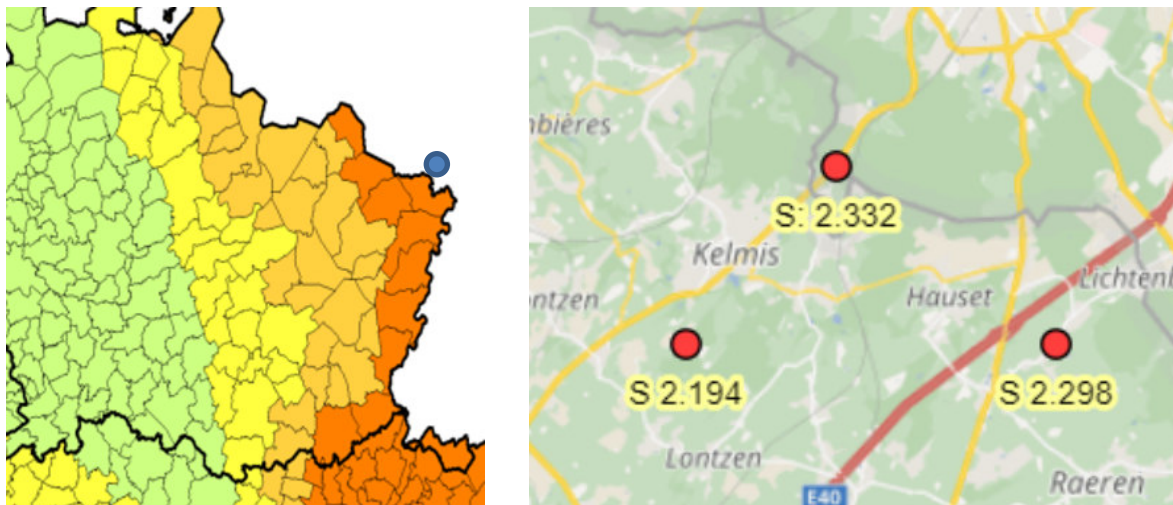


Abbildung 6-24: Erbebengefährdungskarte Belgien (links) und Standort Aachen - Bildchen (BG 50.7303769, LG 6.0406459) (rechts)

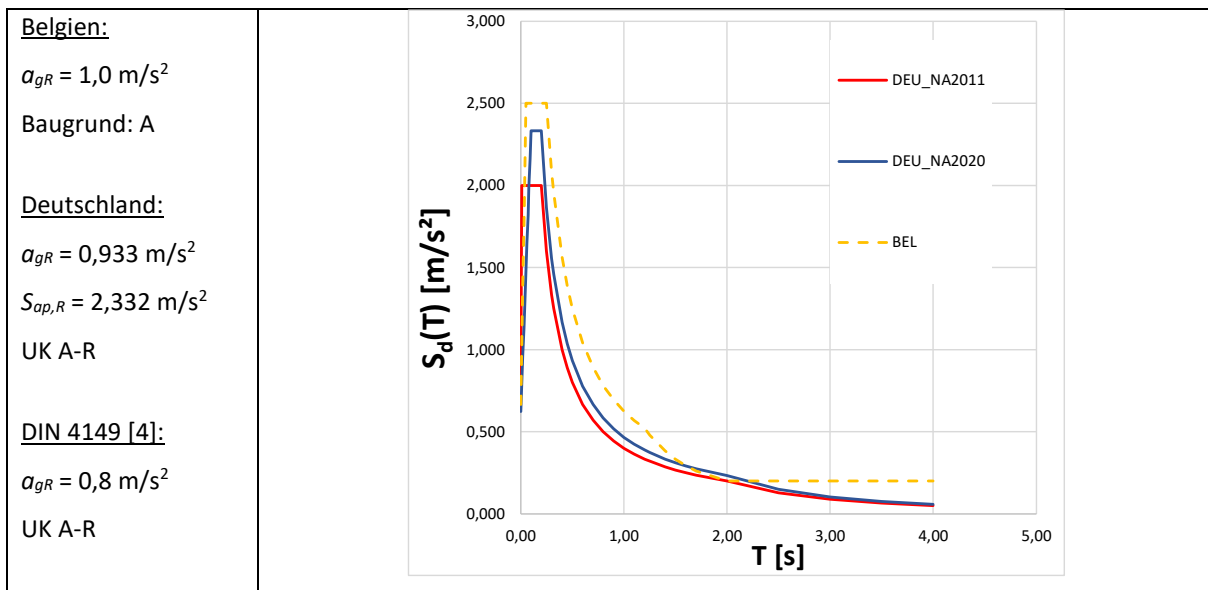


Abbildung 6-25: Vergleich: Deutschland – Belgien, UK A-R

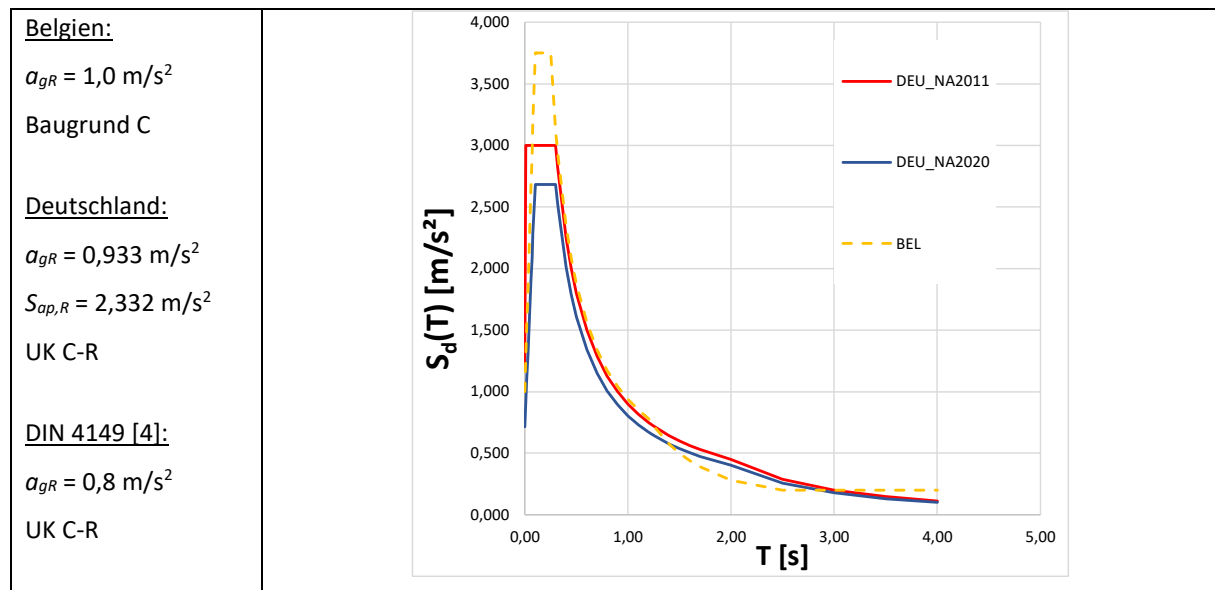


Abbildung 6-26: Vergleich: Deutschland – Belgien, UK C-R

### 6.3.3 Vergleich zwischen Deutschland und Luxemburg

Abbildung 6-27 zeigt den gewählten Standort Dasburg direkt an der Grenze zu Luxemburg mit dem zugehörigen spektralen Beschleunigungswert  $S_{ap,R} = 0,566 \text{ m/s}^2$ . In Luxemburg gibt es keine Zonierung und es gilt einheitlich eine Referenz-Spitzenbodenbeschleunigung von  $\alpha_{gR} = 0,39 \text{ m/s}^2$ . Abbildung 6-28 und Abbildung 6-29 zeigen die Antwortspektren für die Baugrundklassen A und C. In beiden Fällen liegen die Spektren des neuen Nationalen Anwendungsdokuments DIN EN 19981-/NA-2020 [1] deutlich unter der DIN 4149 [4] und der Landesnorm von Luxemburg.

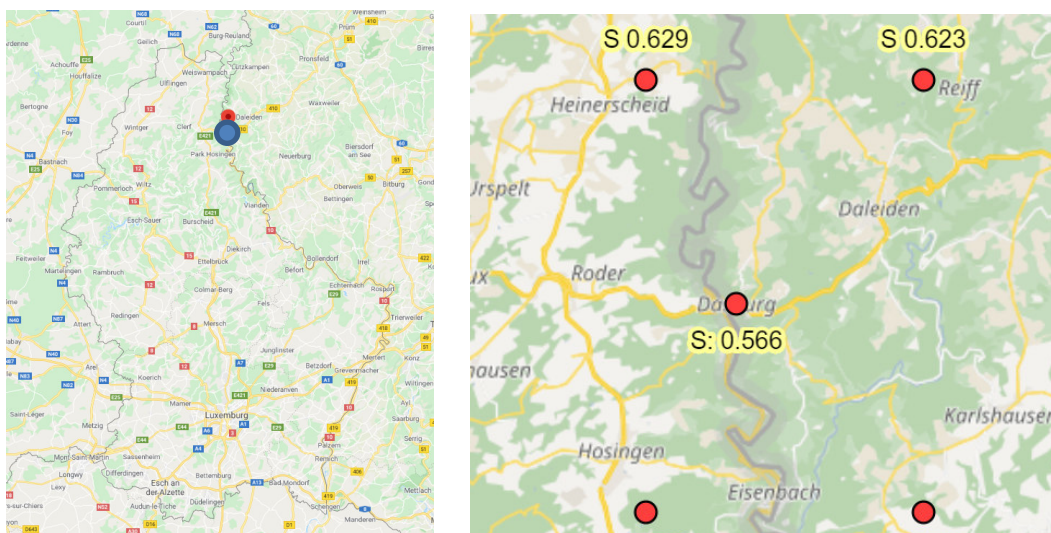


Abbildung 6-27: Standort: Dasburg (BG 50.048301, LG 6.1326288)

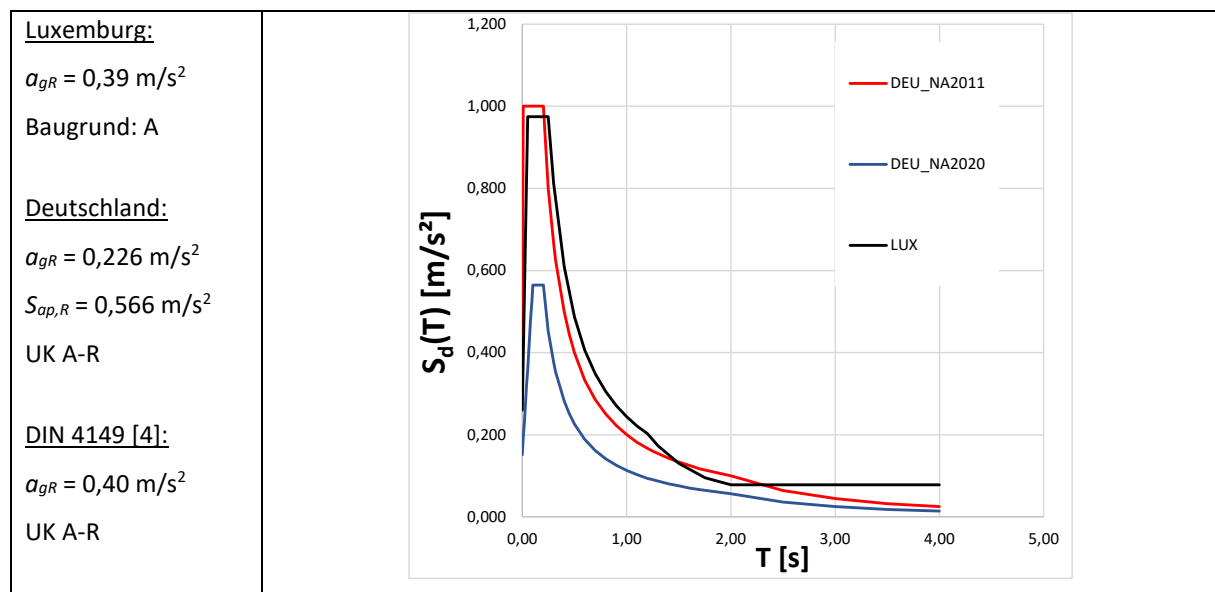


Abbildung 6-28: Vergleich: Deutschland – Luxemburg, UK A-R

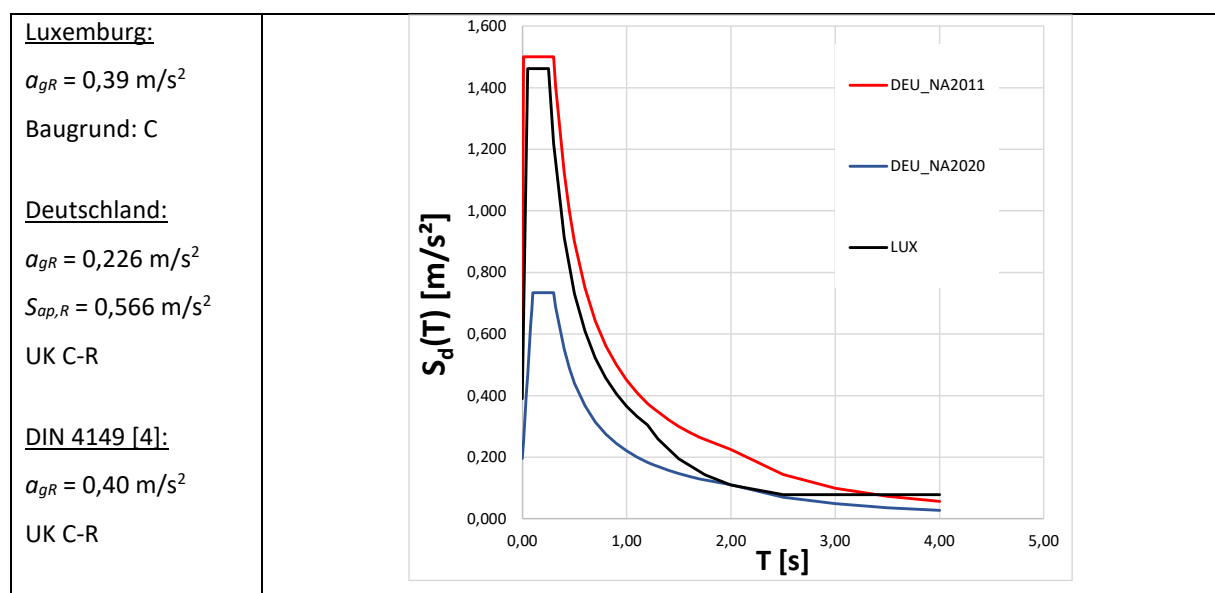


Abbildung 6-29: Vergleich: Deutschland – Luxemburg, UK C-R

### 6.3.4 Vergleich zwischen Deutschland und Frankreich

Abbildung 6-30 zeigt den gewählten Standort Kehl direkt an der Grenze zu Frankreich mit dem zugehörigen spektralen Beschleunigungswert  $S_{ap,R} = 1,783 \text{ m/s}^2$  und die seismische Einwirkung am Standort auf der Gefährdungskarte für Frankreich. Auf der französischen Seite ist die Erdbebenzone 3 mit einer Beschleunigung von  $\alpha_{gR} = 1,12 \text{ m/s}^2$  anzusetzen.

Abbildung 6-31, Abbildung 6-32 und Abbildung 6-33 zeigen die Antwortspektren der beiden Länder für die Baugrundklassen A und C. Nach der Karte des geologischen Untergrunds ist für den Standort Kehl die Klasse S anzusetzen. Das Spektrum für die Klasse R ist als weiterer Vergleich in Abbildung 6-32 dargestellt. In allen Fällen liegen die Spektren des neuen Nationalen Anwendungsdokuments DIN EN 19981-/NA-2020 [1] deutlich unter den Spektren

der Landesnorm von Frankreich, wobei zu beachten ist, dass die Diskrepanz zur DIN 4149 [4] noch größer war. Bei Ansatz der korrekten Untergrundkombination (C-S) ist das Antwortspektrum nach der deutschen Norm im Plateau um den Faktor 2 kleiner.

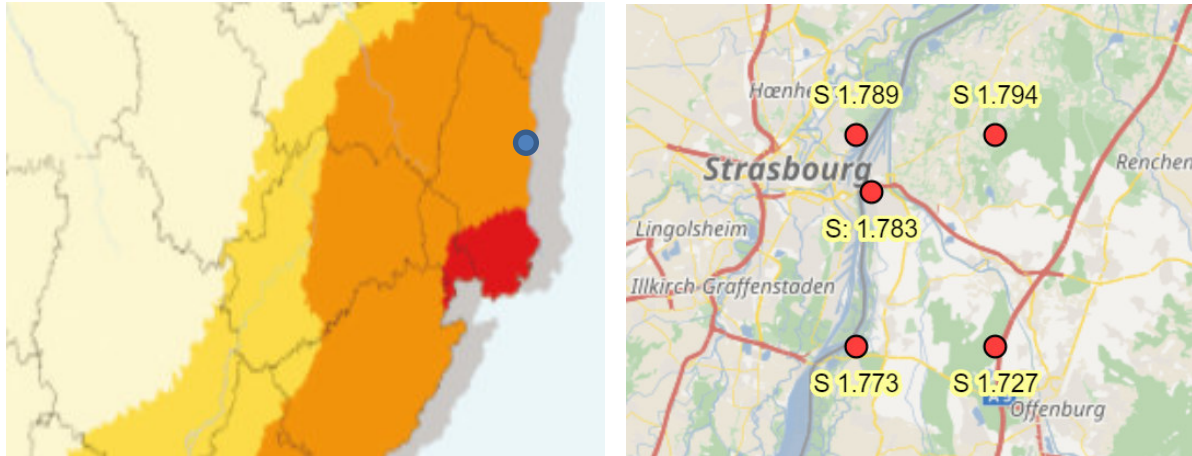


Abbildung 6-30: Ausschnitt Erbebengefährdungskarte Frankreich (links) und Standort Kehl (BG 48.5728929, LG 7.8109768) (rechts)

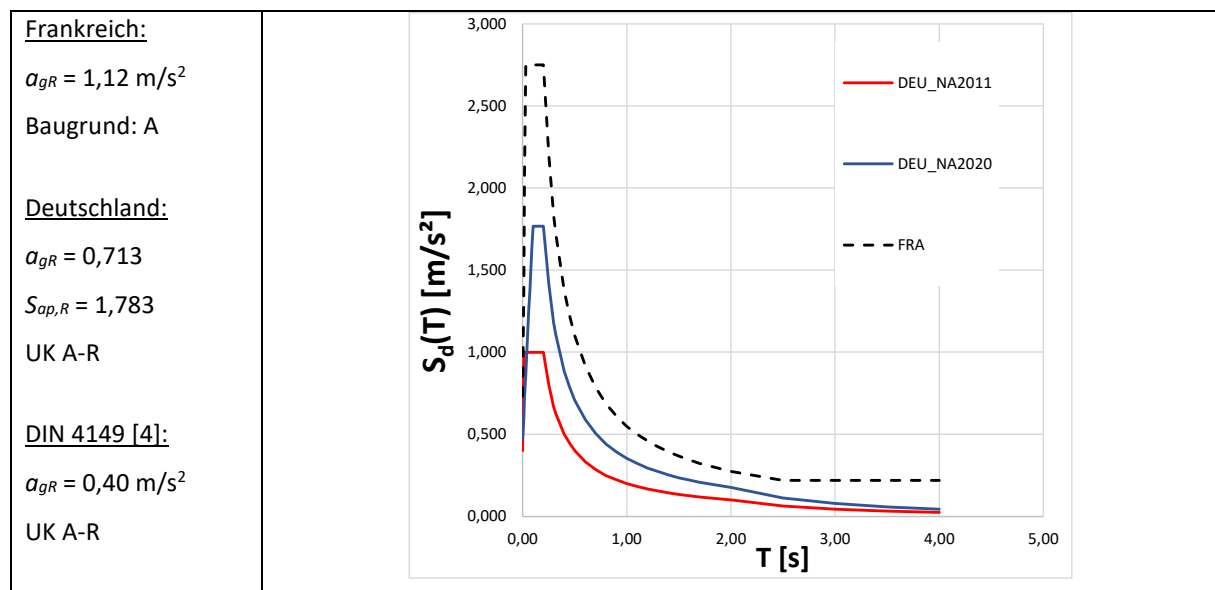


Abbildung 6-31: Vergleich: Deutschland – Frankreich, UK A-R

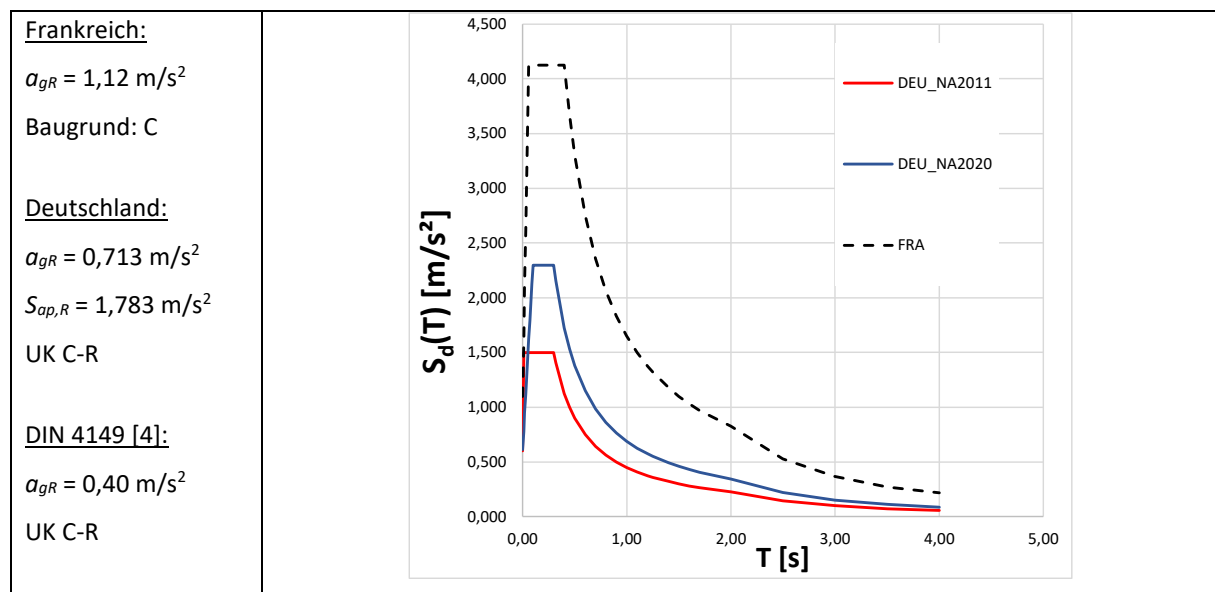


Abbildung 6-32: Vergleich: Deutschland – Frankreich, UK C-R

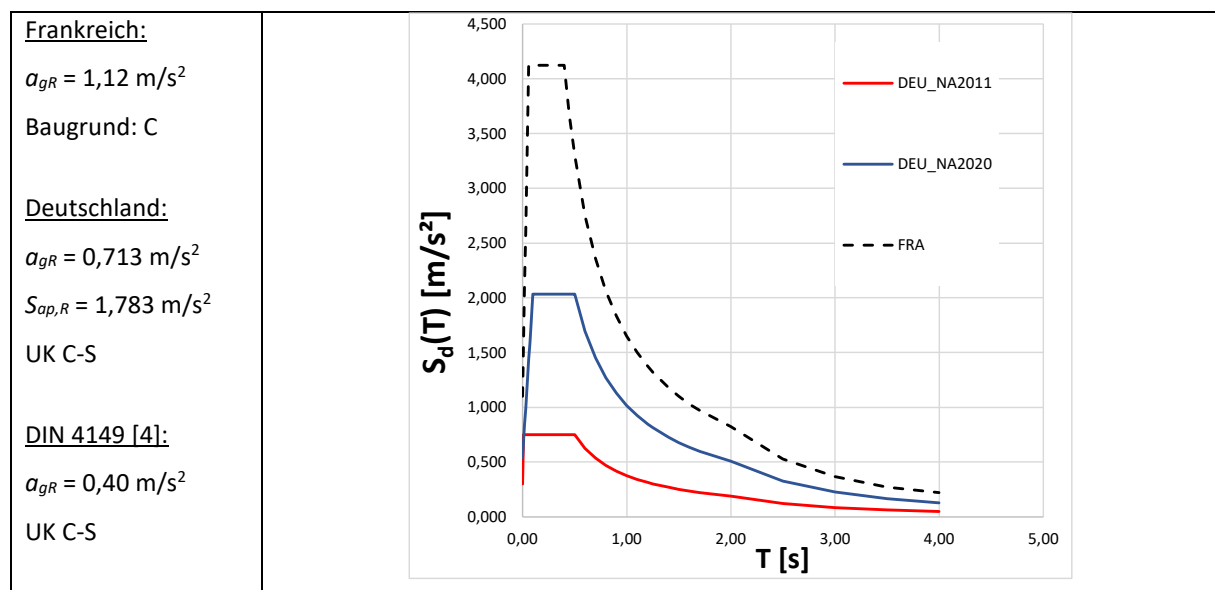


Abbildung 6-33: Vergleich: Deutschland – Frankreich, UK C-S

### 6.3.5 Vergleich zwischen Deutschland und der Schweiz

Abbildung 6-34 zeigt den gewählten Standort Lörrach direkt an der Grenze zur Schweiz mit dem zugehörigen spektralen Beschleunigungswert  $S_{ap,R} = 2,743 \text{ m/s}^2$  und die seismische Einwirkung am Standort auf der Gefährdungskarte der Schweiz. Auf der Seite der Schweiz ist die Erdbebenzone 3a mit einer Beschleunigung von  $\alpha_{gR} = 1,3 \text{ m/s}^2$  anzusetzen.

Abbildung 6-35 und Abbildung 6-36 zeigen die Antwortspektren der beiden Länder für die Baugrundklassen A und C. In beiden Fällen liegen die Spektren des neuen Nationalen Anwendungsdokuments DIN EN 19981-/NA-2020 [1] deutlich unter der Landesnorm der Schweiz, wobei zu beachten ist, dass die Diskrepanz zur DIN 4149 [4] noch größer war.



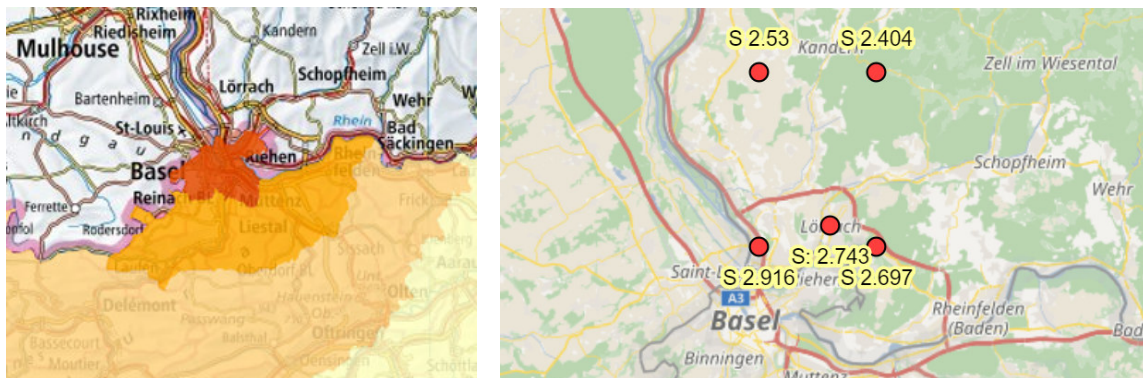


Abbildung 6-34: Ausschnitt Erdbebengefährdungskarte Schweiz (links) und Standort Lörrach (BG 47.6120896, LG 7.6607218) (rechts)

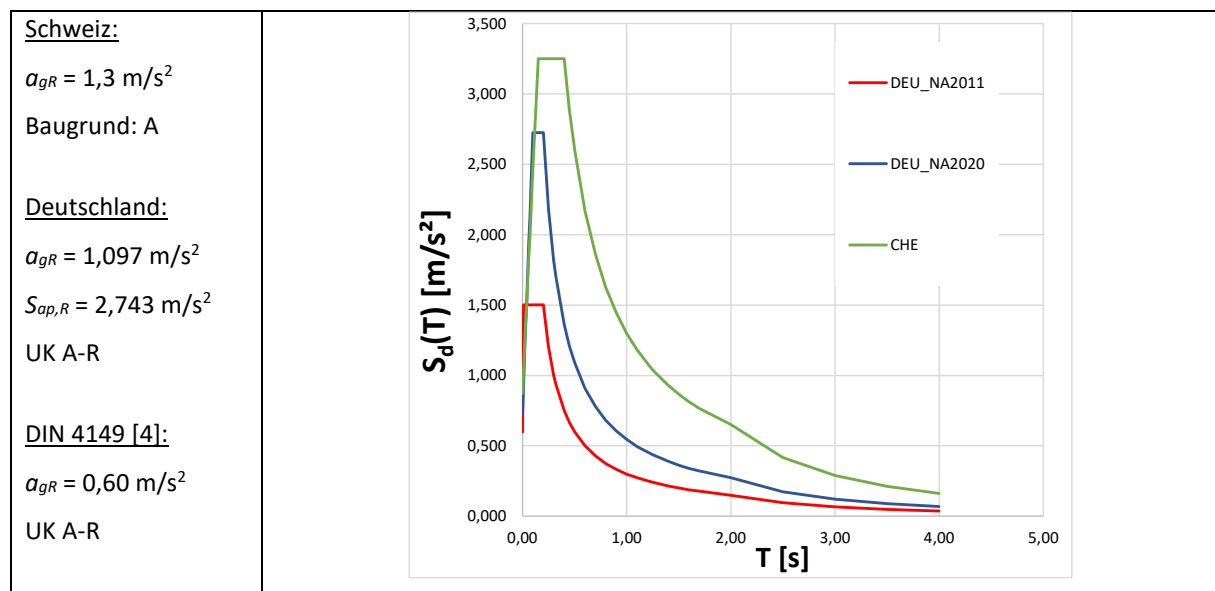


Abbildung 6-35: Vergleich: Deutschland – Schweiz, UK A-R

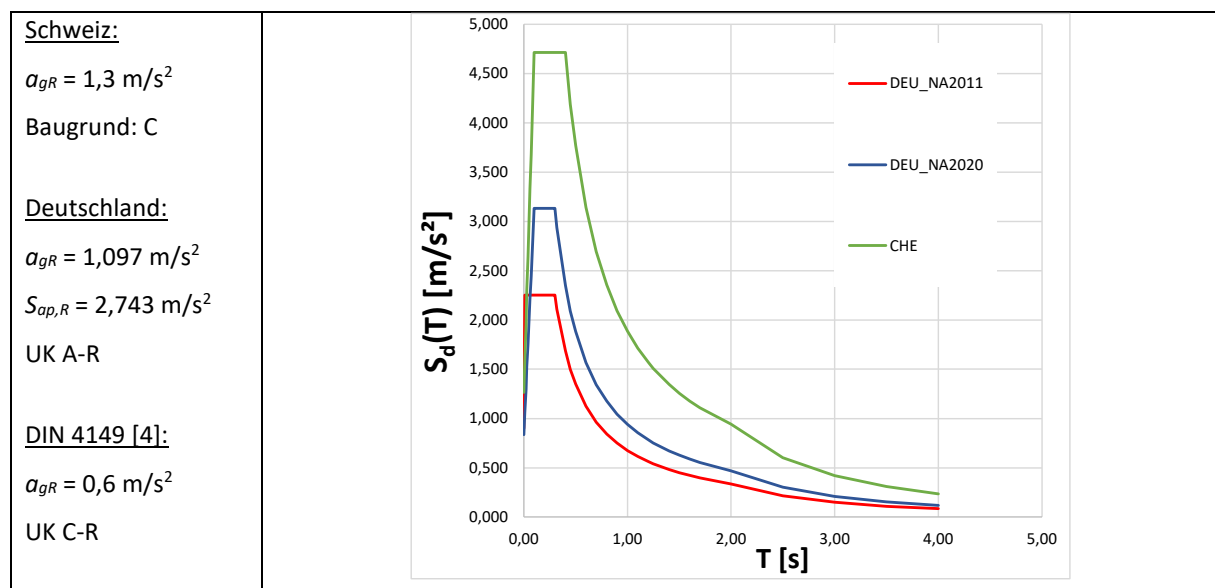


Abbildung 6-36: Vergleich: Deutschland – Schweiz, UK C-R

### 6.3.6 Vergleich zwischen Deutschland und Österreich

#### 6.3.6.1 Standort Freilassing

Abbildung 6-37 zeigt den gewählten Standort Freilassing direkt an der Grenze zu Österreich mit dem zugehörigen spektralen Beschleunigungswert  $S_{ap,R} = 0,877 \text{ m/s}^2$  und die seismische Einwirkung am Standort auf der Gefährdungskarte für Österreich. Auf der österreichischen Seite ist für die Erdbebenzone 3 mit einer Beschleunigung von  $a_{gR} = 0,31 \text{ m/s}^2$  anzusetzen.

Abbildung 6-38, Abbildung 6-39 und Abbildung 6-40 zeigen die Antwortspektren der beiden Länder für die Baugrundklassen A und C. Nach der Karte des geologischen Untergrunds ist für Freilassing die geologische Untergrundklasse S anzusetzen. Das Spektrum für die Klasse R ist als weiterer Vergleich in Abbildung 6-39 dargestellt. In allen Fällen liegen die Spektren des neuen Nationalen Anwendungsdokuments DIN EN 19981-/NA-2020 [1] deutlich über der Landesnorm von Österreich, wobei zu beachten ist, dass nach DIN 4149 [4] keine Erdbebeneinwirkung anzusetzen war.

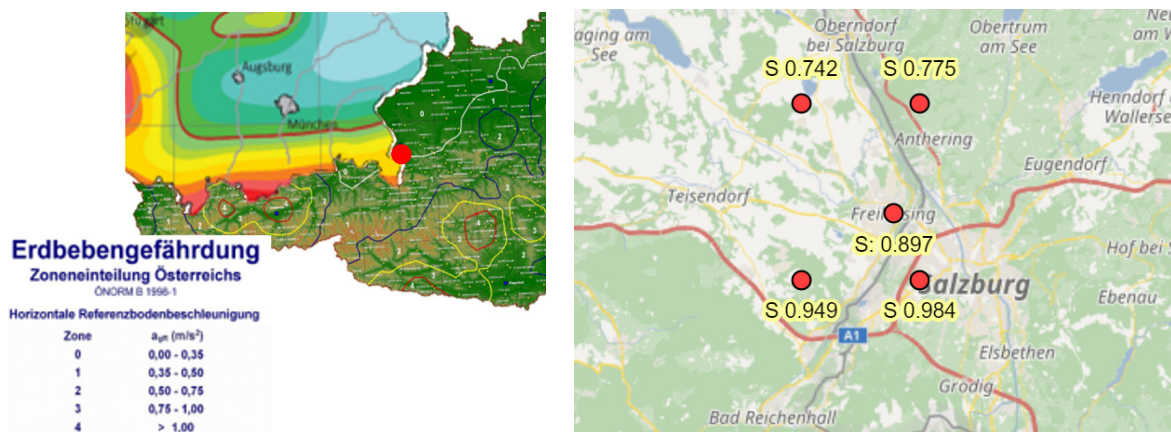


Abbildung 6-37: Ausschnitt Erdbebengefährdungskarte Österreich (links) und Standort Freilassing (BG 47.8378039, LG 12.9781408) (rechts)

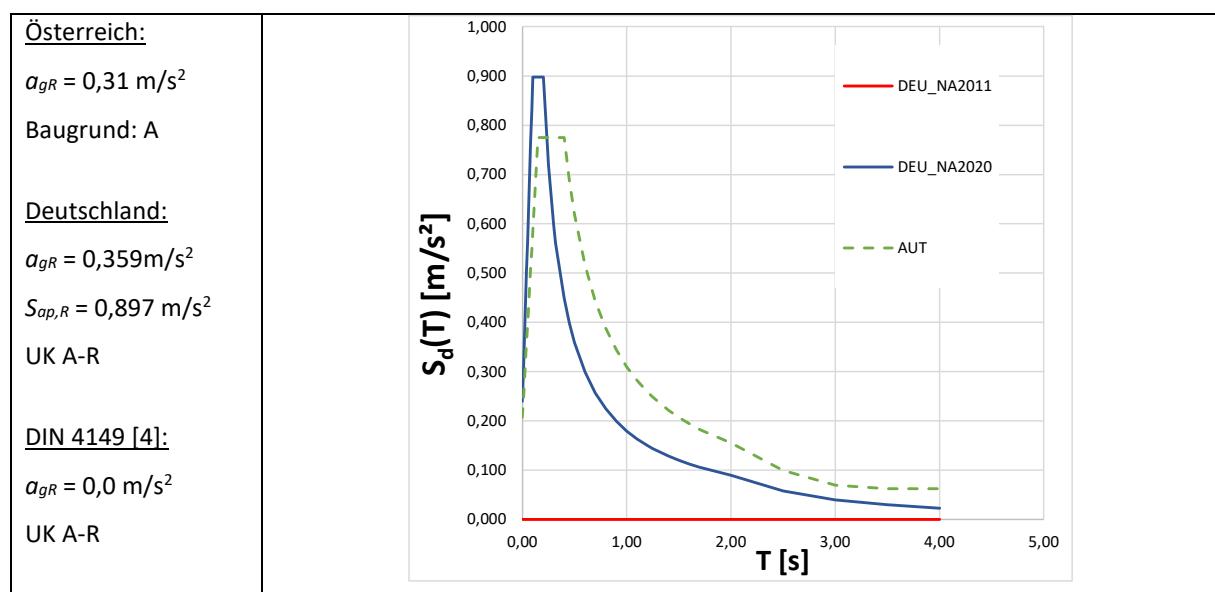


Abbildung 6-38: Vergleich: Deutschland – Österreich - Freilassing, UK A-R

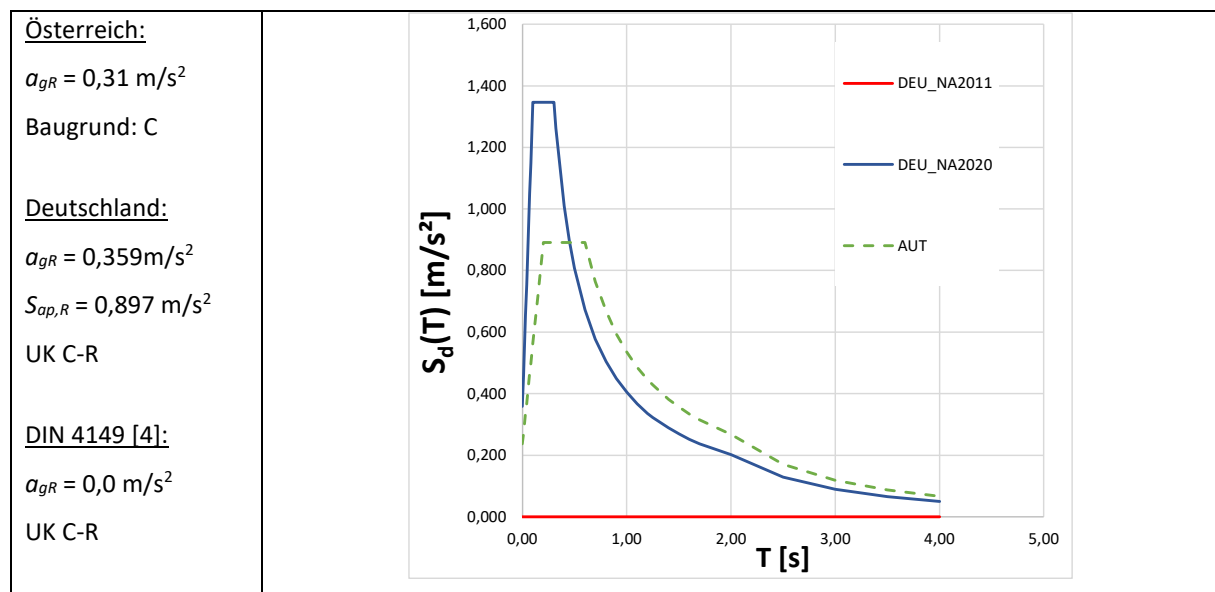


Abbildung 6-39: Vergleich: Deutschland – Österreich - Freilassing, UK C-R

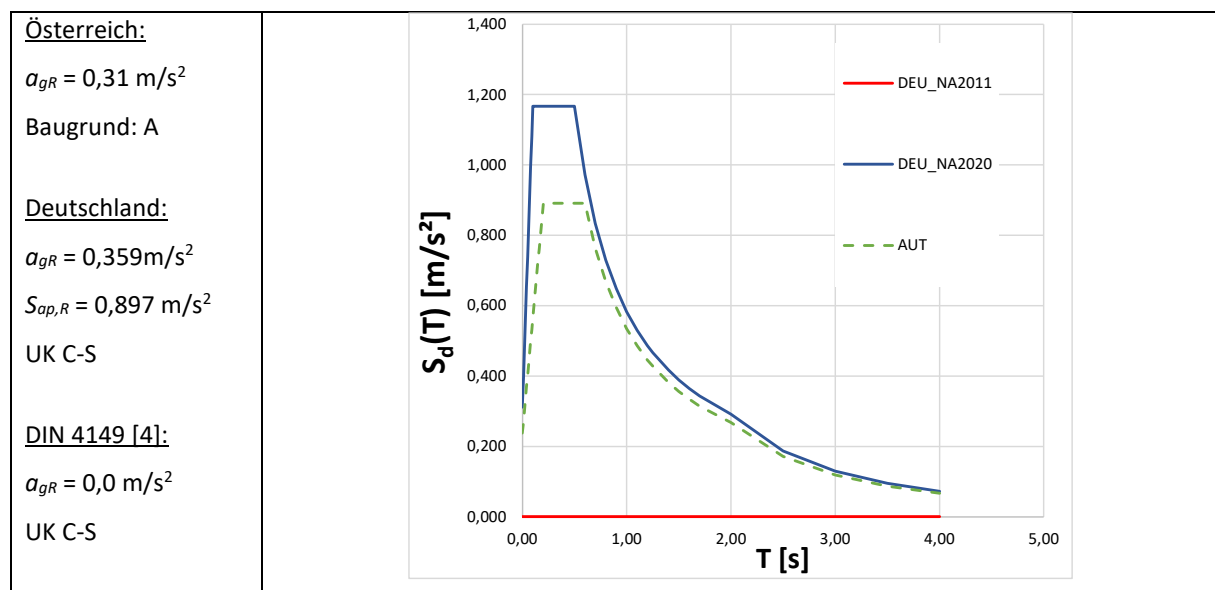


Abbildung 6-40: Vergleich: Deutschland – Österreich - Freilassing, UK C-S

### 6.3.6.2 Standort Mittenwald

Abbildung 6-41 zeigt den gewählten Standort Mittenwald direkt an der Grenze zu Österreich mit dem zugehörigen spektralen Beschleunigungswert  $S_{ap,R} = 2,21 \text{ m/s}^2$  und die seismische Einwirkung am Standort auf der Gefährdungskarte für Österreich. Auf der österreichischen Seite ist für die Erdbebenzone 3 mit einer Beschleunigung von  $\alpha_{gR} = 0,91 \text{ m/s}^2$  anzusetzen.

Abbildung 6-42, Abbildung 6-43 und Abbildung 6-44 zeigen die Antwortspektren der beiden Länder für die Baugrundklassen A und C. Nach der Karte des geologischen Untergrunds ist für Mittenwald die geologische Untergrundklasse R anzusetzen. Das Spektrum für die Klasse S ist als weiterer Vergleich in Abbildung 6-44 dargestellt. In allen Fällen liegen die Spektren des

neuen Nationalen Anwendungsdokuments DIN EN 19981-/NA-2020 [1] im Bereich oder unter denen der Landesnorm von Österreich, wobei zu beachten ist, dass nach DIN 4149 [4] keine Erdbebeneinwirkung anzusetzen war. Die Übereinstimmung ist relativ gut.

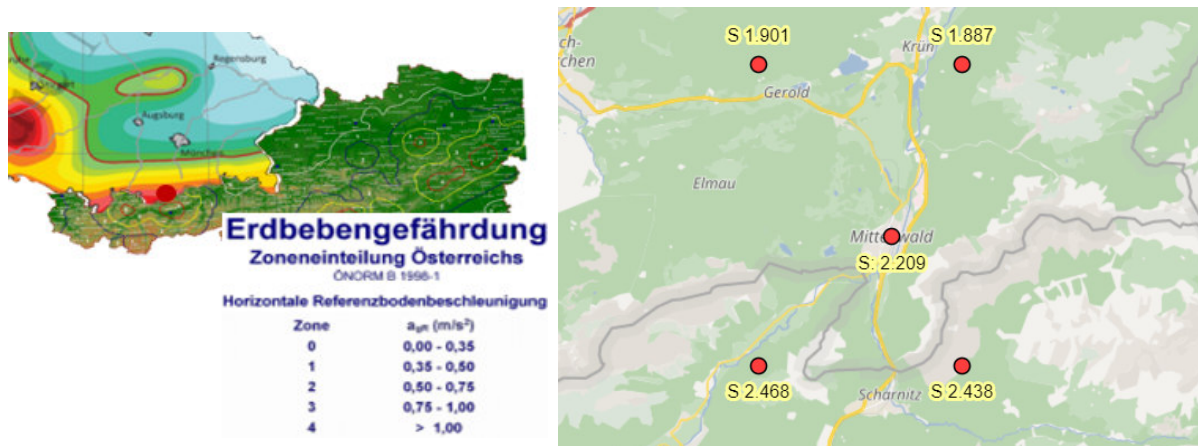


Abbildung 6-41 Ausschnitt Erdbebengefährdungskarte Österreich (links) und Standort Mittenwald (BG 47.4429543, LG 11.2655684) (rechts)

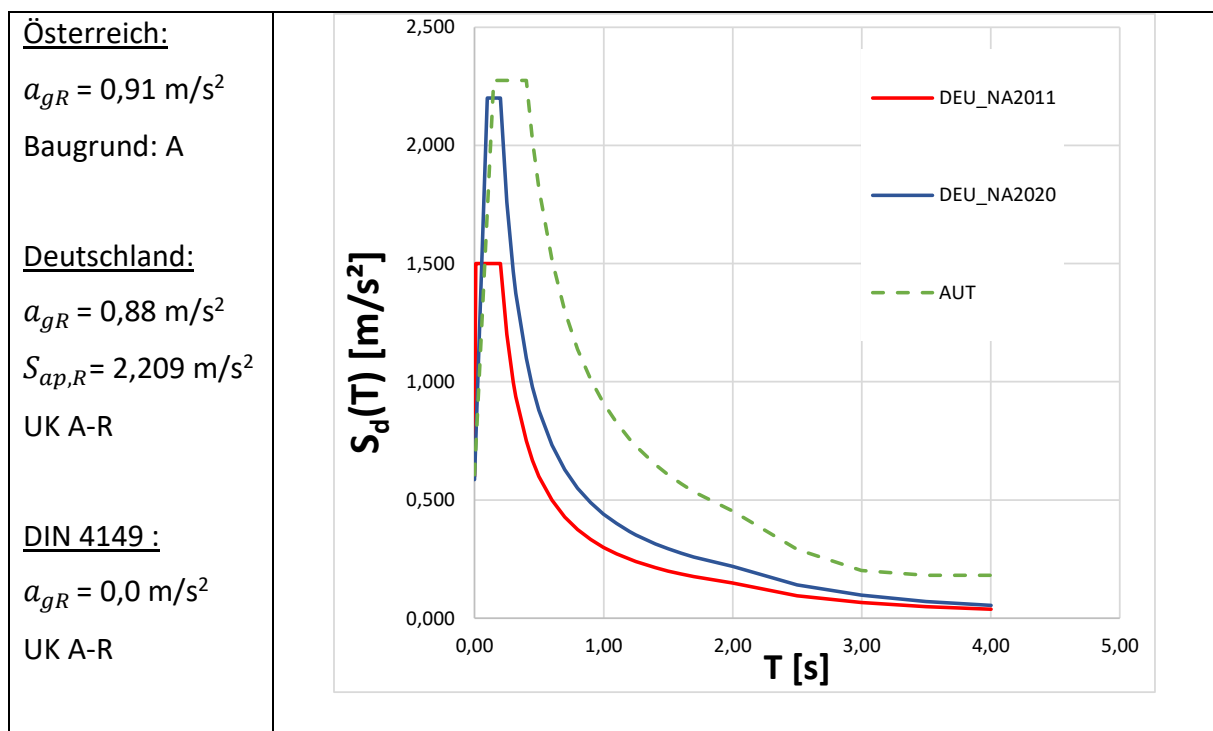


Abbildung 6-42: Vergleich: Deutschland – Österreich - Mittenwald, UK A-R

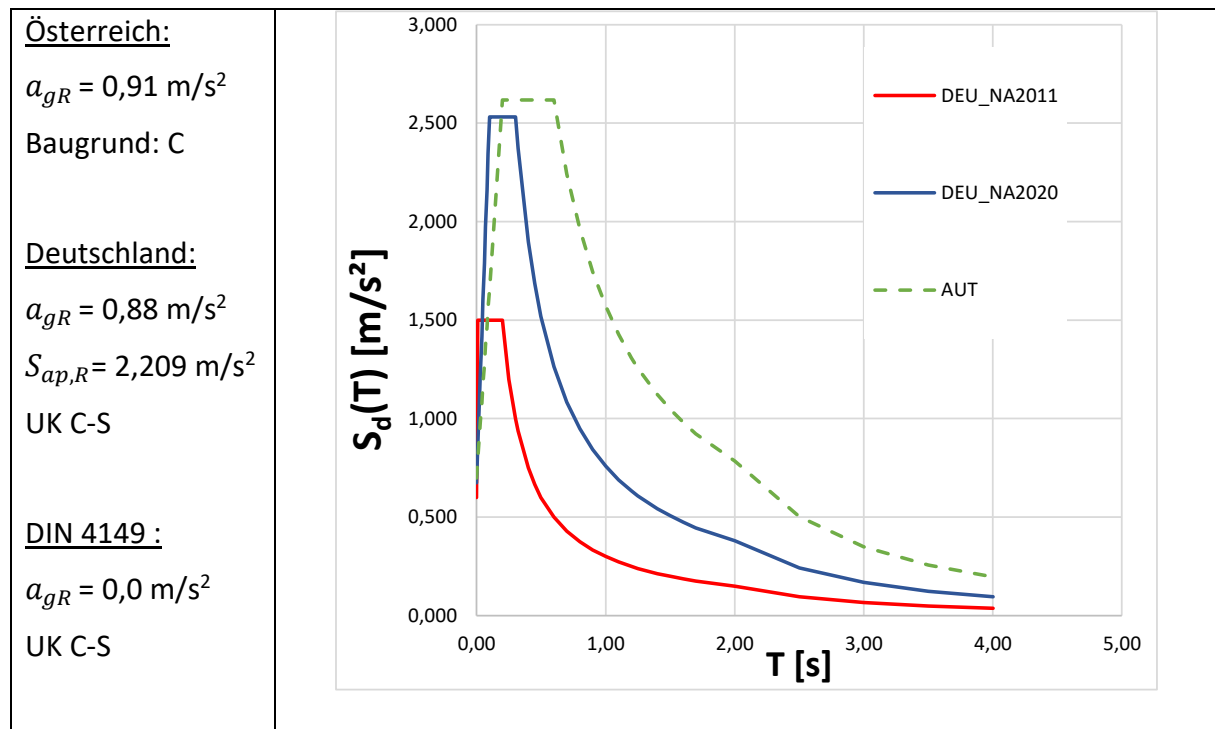


Abbildung 6-43: Vergleich: Deutschland - Österreich - Mittenwald, UK C-R

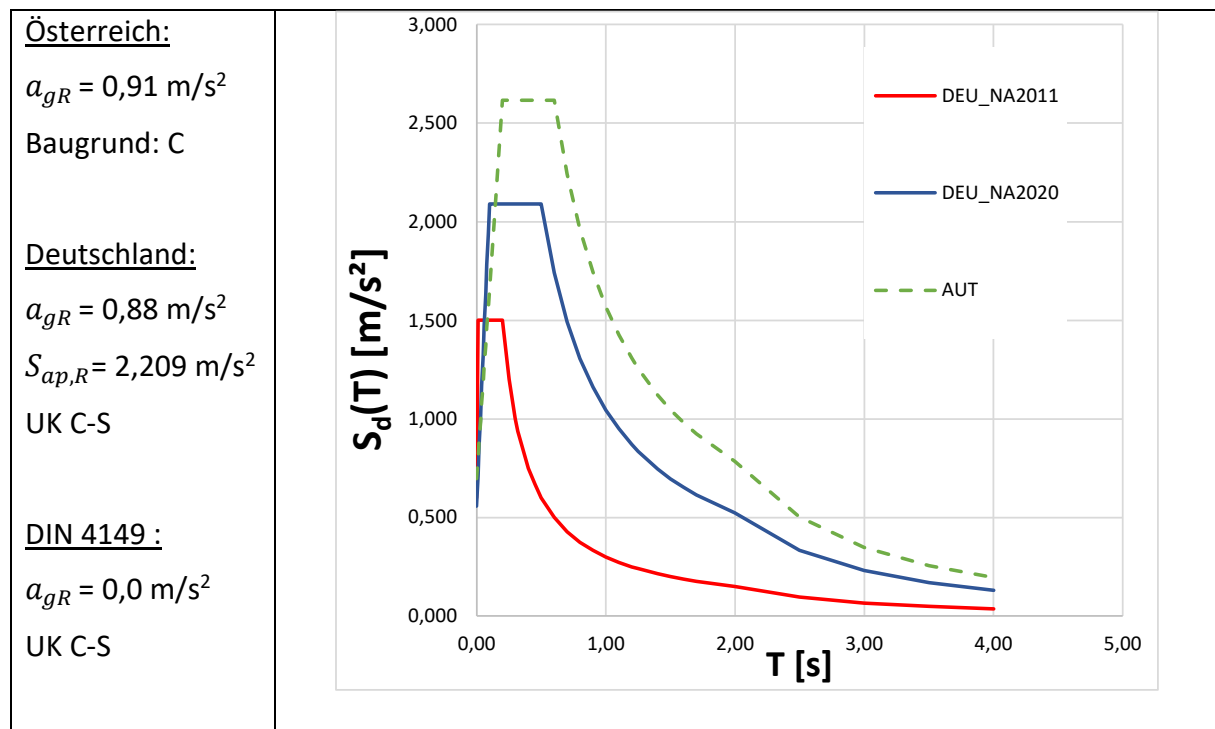


Abbildung 6-44: Vergleich: Deutschland - Österreich - Mittenwald, UK C-S

### 6.3.7 Vergleich zwischen Deutschland und Tschechien

Abbildung 6-45 zeigt den gewählten Standort Buchwald direkt an der Grenze zu Tschechien mit dem zugehörigen spektralen Beschleunigungswert  $S_{ap,R} = 0,889 \text{ m/s}^2$  und die seismische Einwirkung am Standort auf der Gefährdungskarte für Tschechien. Auf der tschechischen Seite ist die Erdbebenzone 3 mit einer Beschleunigung von  $a_{gR} = 0,589 \text{ m/s}^2$  anzusetzen.

Abbildung 6-46 und Abbildung 6-47 zeigen die Antwortspektren der beiden Länder für die Baugrundklassen A und C. In allen Fällen liegen die Spektren des neuen Nationalen Anwendungsdokuments DIN EN 19981-/NA-2020 [1] deutlich unter denen der Landesnorm von Tschechien, wobei zu beachten ist, dass nach DIN 4149 [4] keine Erdbebeneinwirkung anzusetzen war.

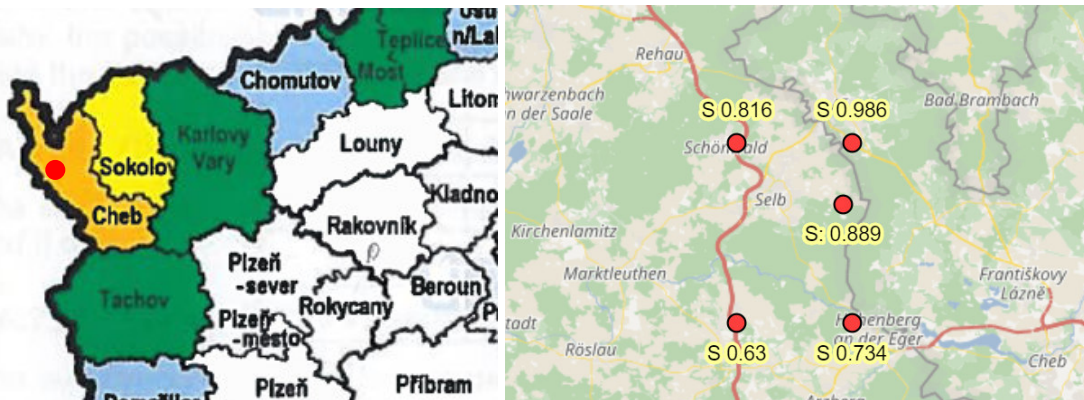


Abbildung 6-45: Ausschnitt Erbebengefährdungskarte Tschechien (links) und Standort Buchwald (BG 50.1661184, LG 12.1921836) (rechts)

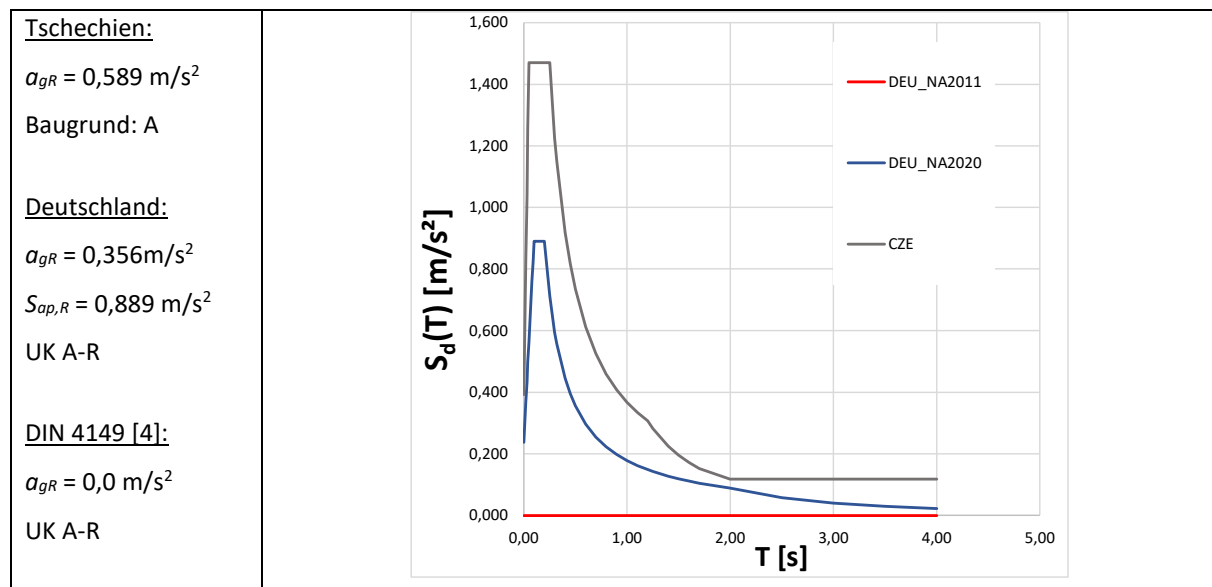


Abbildung 6-46: Vergleich: Deutschland – Tschechien, UK A-R

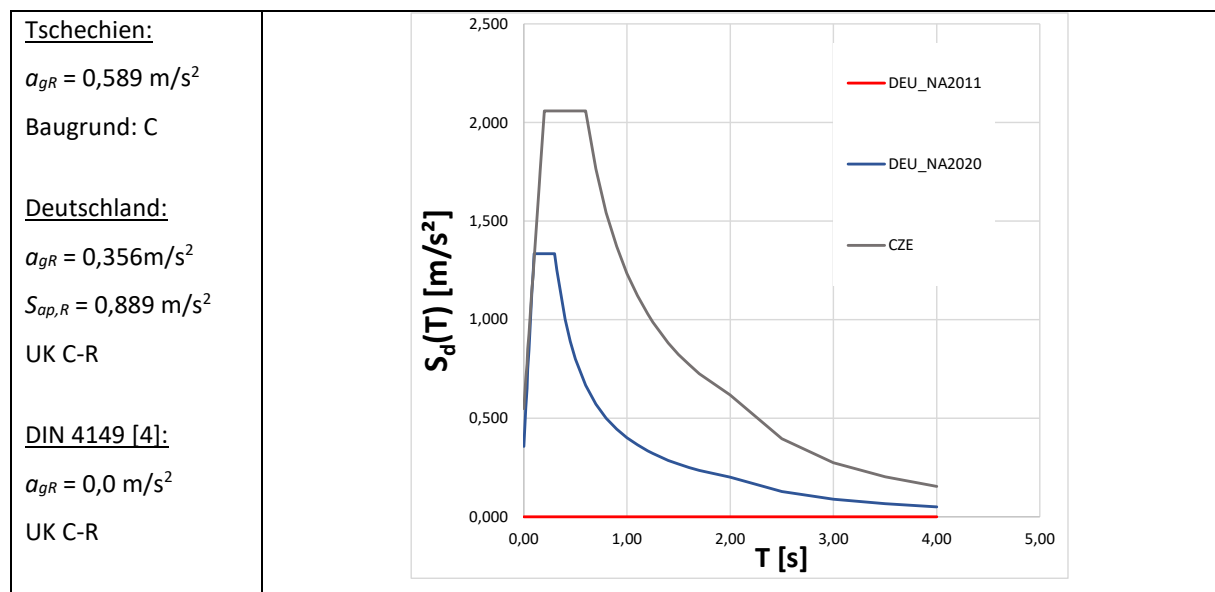


Abbildung 6-47: Vergleich: Deutschland – Tschechien, UK C-R

**Fazit:** Der Vergleich der Antwortspektren mit den Anrainerstaaten für 8 frei gewählte Standorte entlang der Landesgrenzen zeigt, dass die Antwortspektren nach dem neuen nationalen Anwendungsdokument für Deutschland für die gewählten Standorte in der Tendenz unter denen der Spektren der Nachbarländer liegen. Ausnahme bildet der Vergleich mit Österreich für den Ort Freilassing. Hier liefert das deutsche Anwendungsdokument zum einen eine um 16% höhere maximale Bodenbeschleunigung. Zum anderen sind die Bodenparameter für die Untergrundkombinationen C-R und C-S größer als im nationalen Anwendungsdokument für Österreich für den Bodentyp C, wodurch sich um den Faktor 1,3 bis 1,5 höhere Plateaubeschleunigungen ergeben. Weiterhin ist festzustellen, dass die amplitudenabhängigen Bodenparameter des neuen Anwendungsdokuments bei höheren Spektralbeschleunigungen im Vergleich zu geringeren Werten führt.

## 7. Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erfolgte zunächst ein detaillierter Vergleich der Bemessungsantwortspektren nach DIN 4149 [4] und DIN EN 1998-1/NA-2020 [1], die als Grundlage für die Definition der seismischen Einwirkungen in der Tragwerksbemessung dienen. Weiterhin wurden die Änderungen der Ausdehnung der Erdbebengebiete und der anzusetzenden Spektralbeschleunigungen in dem neuen nationalen Anwendungsdokument untersucht und bewertet. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Veränderung der Erdbebengebiete wurde auf Grundlage des Vergleichs der neuen probabilistischen Erdbebenkarte in DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] mit der Erdbebenzonenkarte nach DIN 4149 [4] auf Grundlage der maximalen Bodenbeschleunigung  $a_g$  auf Fels beurteilt. Hierfür wurden die spektralen Antwortbeschleunigungen auf Fels in maximale Bodenbeschleunigungen umgerechnet. Der Vergleich zeigte eine Veränderung der Ausdehnung und Verteilung der Erdbebengebiete in Deutschland. Einerseits sind Gebiete der ehemaligen Zone 1 im Südwesten, des nördlichen Oberrheingrabens und im Raum Tübingen in der neuen Karte nun der Zone 0 mit Beschleunigungen von  $0,24 - 0,39 \text{ m/s}^2$  zugeordnet. Auf der anderen Seite ergibt sich eine Ausdehnung der Erdbebengebiete rund um Aachen und Köln sowie im bayrischen Raum. Weiterhin ist festzustellen, dass die neue Erdbebenkarte beispielsweise im Südwesten entlang der Grenze zu Frankreich und in Bayern höhere Beschleunigungswerte ausweist. Zudem kommt es auch zu einem Anstieg der maximalen Bodenbeschleunigungen. So lagen die Werte in der höchsten Erdbebenzone 3 in DIN 4149 [4] bisher bei  $0,8 \text{ m/s}^2$  und liegen nun im neuen nationalen Anwendungsdokument zwischen  $0,80$  und  $1,56 \text{ m/s}^2$ . Ein wesentlicher Grund für den Anstieg der Beschleunigungswerte ist, dass die Referenz-Spitzenwerte der Bodenbeschleunigungen  $a_{gR}$  in DIN 4149 [4] bzw. DIN EN 1998-1/NA-2011 [2] für die unteren Grenzen der Intensitätsintervalle ermittelt wurden. Mit den neuen Erdbebenkarten ergeben sich entlang der Landesgrenzen zufriedenstellende Übereinstimmungen.
- Unabhängig von den Ergebnissen der probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse wurde in DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] die Grenze für sehr geringe Seismizität entsprechend des Basisdokuments DIN EN 1998-1 [3] festgelegt. Als Fälle geringer Seismizität gelten solche, bei denen das Produkt  $a_g \cdot S$  nicht größer als  $0,5 \text{ m/s}^2$  ist. In DIN 4149 [4] lag die Nachweisgrenze durch die Erdbebenzonierung bei  $a_{gR} = 0,4 \text{ m/s}^2$  für alle Untergrundkombinationen und Bedeutungskategorien. Dies führte dazu, dass Bauwerke in der Zone 0 mit ungünstigen Untergrundverhältnissen oder höheren Bedeutungsbeiwerten trotz höherer seismischer Einwirkungen als in der Zone 1 nicht nachweispflichtig sind. Allerdings wurde bei der Anwendung der DIN 4149 [4] empfohlen, die konstruktiven Regelungen der Zone 1 auch in der Zone 0 anzuwenden. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die neue Nachweisgrenze konform zum



Basisdokument DIN EN 1998-1 [3] ist und in den meisten Fällen eine schärfere Grenze für eine Nachweispflicht im Vergleich zur DIN 4149 [4] darstellt.

- Bei Ansatz gleicher Referenz-Spitzenbeschleunigungen ergeben sich zwischen den Antwortspektren der beiden Normen deutliche Unterschiede für die Untergrundkombination C-S, da die Bodenfaktoren in DIN 4149 [4] zu klein waren und auf Grundlage von bodendynamischen Berechnungen korrigiert wurden. Weiterhin ist festzustellen, dass die einwirkungsabhängigen Bodenfaktoren nach DIN EN 1998-1/NA-2020 [1] zu geringeren maximalen Spektralbeschleunigungen für die Untergrundkombinationen C-R und C-T bei steigenden seismischen Einwirkungen führen. Der Grund hierfür liegt in der höheren Dämpfung des Bodens bei größeren Bodenbewegungen.

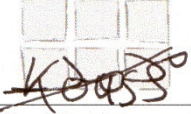
Darauf aufbauend erfolgte ein Vergleich der seismischen Einwirkungen in deutschen Erdbebengebieten mit den Einwirkungsniveaus in den Anrainerstaaten Niederlande, Belgien, Luxemburg, Polen, Tschechien, Österreich, Schweiz, Frankreich, und Italien. Zusätzlich wurden auch Portugal, Italien und Griechenland hinzugezogen, obwohl diese Länder nicht direkt an Deutschland grenzen. Für jedes der genannten Länder erfolgt eine Auswertung der aktuellen normativen Dokumente für die Definition der Antwortspektren. Anschließend erfolgte die Gegenüberstellung der Erdbebeneinwirkungen in den Grenzbereichen zwischen Deutschland und den Anrainerstaaten sowie ein Vergleich der Antwortspektren im Hinblick auf die Spektralform und die Amplifikationsfaktoren. Aus dem Vergleich lassen sich folgende wesentliche Ergebnisse ableiten:

- Ein von Grünthal [38] durchgeführter Vergleich der PGA-Werte entlang der Landesgrenzen der Schweiz, Deutschlands, Österreichs und Frankreichs auf Grundlage der Erdbebengefährdungskarten der nationalen Regelungen der Länder zeigte eine gute Übereinstimmung der Werte und Verteilung entlang der Grenzen. Dies ist eine Bestätigung der für Deutschland neu erstellten probabilistischen Erdbebenkarten.
- Der standortunabhängige Vergleich der Antwortspektren unter Ansatz der maximalen Bodenbeschleunigungen von  $0,4 \text{ m/s}^2$  und  $1,2 \text{ m/s}^2$  für unterschiedliche Bodenverhältnisse ergab für Deutschland und die Anrainerstaaten für das niedrigere Einwirkungsniveau von  $0,4 \text{ m/s}^2$  vergleichbare Spektralformen und Plateauwerte. Die Spektren für die weiteren Länder Griechenland, Italien und Portugal lieferten auf Grund der stark unterschiedlichen Bebencharakteristik deutlich völligere Spektren. Die Normen für Italien und Portugal lieferten zudem höhere Plateauwerte, wohingegen die in der griechischen Erdbebennorm zugrunde gelegten Bodenfaktoren zu Spektren mit Plateaubeschleunigungen im Bereich von Deutschland und den Anrainerstaaten führten. Grundsätzlich ergaben sich bei den Untergrundkombinationen mit den Baugrundklassen B und C nach DIN EN 1998-1-2020 [1] bei höheren Einwirkungsniveaus auf Grund der neu definierten amplitudenabhängigen Bodenfaktoren geringere maximale Spektralwerte als in den Anrainerstaaten und den

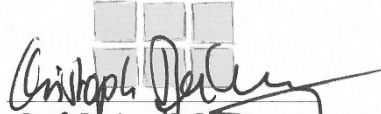
weiteren Ländern. Der Grund liegt in der Berücksichtigung der höheren Dämpfung des Bodens bei höheren seismischen Einwirkungs niveaus.

- Der Vergleich der Antwortspektren mit den Anrainerstaaten für frei gewählte Standorte entlang der Landesgrenzen zeigte, dass die Antwortspektren nach dem neuen nationalen Anwendungsdokument für Deutschland für die betrachteten Standorte in der Tendenz unter denen der Spektren der Nachbarländer liegen. Eine Ausnahme bildete der Vergleich für einen Standort an der Grenze zu Österreich, für den das neue Anwendungsdokument größere Werte lieferte. Weiterhin zeigte der standortspezifische Vergleich, dass die amplitudenabhängigen Bodenparameter des neuen Anwendungsdokuments bei höheren Spektralbeschleunigungen im Vergleich mit den weiteren Ländern zu geringeren spektralen Beschleunigungen führen. Basierend auf den durchgeführten Vergleichen kann festgehalten werden, dass das neue deutsche nationale Anwendungsdokument [1] für die betrachteten Standorte im Vergleich entlang der Landesgrenzen tendenziell niedrigere seismische Einwirkungen lieferte.

Herzogenrath, 23.03.2021



MSc. M. Al Koussini



Prof. Dr.-Ing. C. Bütenweg