

## DIN EN 1998-2



ICS 91.120.25; 93.040

**Entwurf**Einsprüche bis 2023-01-18  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN 1998-2:2011-12**Eurocode 8 –  
Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben –  
Teil 2: Brücken;  
Deutsche und Englische Fassung prEN 1998-2:2022**Eurocode 8 –  
Design of structures for earthquake resistance –  
Part 2: Bridges;  
German and English version prEN 1998-2:2022Eurocode 8 –  
Calcul des structures pour leur résistance aux séismes –  
Partie 2: Ponts;  
Version allemande et anglaise prEN 1998-2:2022**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-11-18 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter [www.din.de/go/entwuerfe](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nabau@din.de](mailto:nabau@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 183 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1998-2:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-57-05 AA „Auslegung von Brücken gegen Erdbeben (SpA zu EN 1998-2)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 80000 (alle Teile)     siehe     DIN EN ISO 80000 (alle Teile)

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 1998-2:2011-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) redaktionelle und technische Überarbeitung.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 80000, *Größen und Einheiten*

|                  |                                                                                          |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Titel de:</i> | Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 2: Brücken                    |
| <i>Titel en:</i> | Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 2:<br>Bridges         |
| <i>Titel fr:</i> | Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes –<br>Partie 2: Ponts |

## Inhalt

|                                                                                                                     | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                                                          | 5     |
| Einleitung .....                                                                                                    | 6     |
| 0.1 Einführung in die Eurocodes .....                                                                               | 6     |
| 0.2 Einführung in EN 1998 Eurocode 8 .....                                                                          | 6     |
| 0.3 Einführung in EN 1998-2 .....                                                                                   | 7     |
| 0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen .....                                                                    | 7     |
| 0.5 Nationale Anhänge für EN 1998-2 .....                                                                           | 7     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                           | 9     |
| 1.1 Anwendungsbereich von EN 1998-2 .....                                                                           | 9     |
| 1.2 Annahmen .....                                                                                                  | 9     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                      | 10    |
| 3 Begriffe und Symbole .....                                                                                        | 10    |
| 3.1 Begriffe .....                                                                                                  | 10    |
| 3.2 Symbole und Abkürzungen .....                                                                                   | 11    |
| 3.2.1 Allgemeines .....                                                                                             | 11    |
| 3.2.2 Symbole .....                                                                                                 | 12    |
| 3.2.3 Abkürzungen .....                                                                                             | 20    |
| 3.3 SI-Einheiten .....                                                                                              | 21    |
| 4 Auslegungsgrundlagen .....                                                                                        | 21    |
| 4.1 Grundlegende Anforderungen .....                                                                                | 21    |
| 4.2 Erdbebeneinwirkung .....                                                                                        | 21    |
| 4.2.1 Allgemeines .....                                                                                             | 21    |
| 4.2.2 Räumliche Veränderlichkeit der Erdbebeneinwirkung .....                                                       | 23    |
| 4.3 Eigenschaften erdbebenfester Brücken .....                                                                      | 23    |
| 4.3.1 Entwurfsplanung .....                                                                                         | 23    |
| 4.3.2 Primäre und sekundäre seismische Bauteile .....                                                               | 24    |
| 4.3.3 Widerstand und Duktilitätsbedingungen – Regeln für die Kapazitätsbemessung .....                              | 25    |
| 4.3.4 Anschlüsse .....                                                                                              | 26    |
| 4.3.5 Kontrolle von Verschiebungen – Ausarbeitung von Nebenelementen .....                                          | 26    |
| 4.3.6 Wahl der Duktilitätsklasse – Grenzwerte der Erdbebeneinwirkung für die Gestaltung nach DC1, DC2 und DC3 ..... | 27    |
| 4.3.7 Vereinfachte Kriterien .....                                                                                  | 28    |
| 5 Modellierung und statische Berechnung .....                                                                       | 28    |
| 5.1 Modellierung .....                                                                                              | 28    |
| 5.1.1 Allgemeines .....                                                                                             | 28    |
| 5.1.2 Torsionsauswirkungen um eine vertikale Achse .....                                                            | 30    |
| 5.1.3 Auswirkungen zweiter Ordnung .....                                                                            | 32    |
| 5.2 Berechnungsverfahren .....                                                                                      | 33    |
| 5.2.1 Allgemeines .....                                                                                             | 33    |
| 5.2.2 Kraftbasierter Ansatz .....                                                                                   | 33    |
| 5.2.3 Verschiebungsbasierter Ansatz .....                                                                           | 39    |
| 5.3 Analyseverfahren unter Berücksichtigung der räumlichen Veränderlichkeit der Bodenbewegung .....                 | 40    |
| 5.3.1 Allgemeines .....                                                                                             | 40    |
| 5.3.2 Lange Brücken auf gleichförmigem Boden .....                                                                  | 42    |

|       |                                                                                                     |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3.3 | Brücke mit kurzer bis mittlerer Länge auf nicht-gleichförmigem Boden .....                          | 43 |
| 5.3.4 | Lange Brücken auf nicht-gleichförmigem Boden .....                                                  | 43 |
| 5.4   | Kombination der seismischen Einwirkung mit anderen Einwirkungen .....                               | 45 |
| 6     | Verifizierungen der tragenden Bauteile im Grenzzustand .....                                        | 45 |
| 6.1   | Allgemeines .....                                                                                   | 45 |
| 6.2   | Materialanforderungen .....                                                                         | 45 |
| 6.2.1 | Allgemeines .....                                                                                   | 45 |
| 6.2.2 | Gestaltung für DC2 und DC3 .....                                                                    | 46 |
| 6.3   | Verifizierung des Grenzzustands des signifikanten Schadens (SD) .....                               | 46 |
| 6.3.1 | Allgemeines .....                                                                                   | 46 |
| 6.3.2 | Kapazitätsbemessungs-Auswirkungen .....                                                             | 46 |
| 6.3.3 | Betonbauteile .....                                                                                 | 48 |
| 6.3.4 | Stahl- und Stahlbeton-Verbundbauteile .....                                                         | 52 |
| 6.3.5 | Gründungen .....                                                                                    | 53 |
| 6.3.6 | Verbindungen .....                                                                                  | 54 |
| 6.3.7 | Beton-Widerlager .....                                                                              | 54 |
| 6.3.8 | Verifizierung für den verschiebungsbasierten Ansatz .....                                           | 54 |
| 6.4   | Verifizierung anderer Grenzzustände .....                                                           | 55 |
| 6.4.1 | Verifizierung des Grenzzustands des Beinahe-Zusammenbruchs (NC) .....                               | 55 |
| 6.4.2 | Verifizierung des Grenzzustands der Schadensbegrenzung (DL) .....                                   | 55 |
| 6.4.3 | Verifizierung des Grenzzustands der Betriebsfähigkeit (OP) .....                                    | 55 |
| 7     | Ausarbeitung für die Duktilität .....                                                               | 55 |
| 7.1   | Allgemeines .....                                                                                   | 55 |
| 7.2   | Betonpfeiler .....                                                                                  | 55 |
| 7.2.1 | Allgemeines .....                                                                                   | 55 |
| 7.2.2 | Bewehrung in Längsrichtung .....                                                                    | 55 |
| 7.2.3 | Kritischer Bereich .....                                                                            | 56 |
| 7.2.4 | Umschnürung .....                                                                                   | 56 |
| 7.2.5 | Ausknicken der Druckbewehrung in Längsrichtung .....                                                | 59 |
| 7.2.6 | Sonstige Regeln .....                                                                               | 60 |
| 7.2.7 | Hohle Pfeiler .....                                                                                 | 61 |
| 7.2.8 | Knoten in der Nähe von kritischen Bereichen .....                                                   | 61 |
| 7.3   | Stahlpfeiler .....                                                                                  | 63 |
| 7.4   | Gründungen .....                                                                                    | 63 |
| 7.4.1 | Flächengründungen .....                                                                             | 63 |
| 7.4.2 | Pfahlgründungen .....                                                                               | 63 |
| 8     | Besondere Regeln für mit antiseismischen Vorrichtungen ausgestattete Brücken .....                  | 63 |
| 8.1   | Allgemeines .....                                                                                   | 63 |
| 8.2   | Seismische Einwirkung, grundlegende Anforderungen und Konformitätskriterien .....                   | 63 |
| 8.3   | Allgemeine Bestimmungen für antiseismische Vorrichtungen .....                                      | 64 |
| 8.4   | Analyseverfahren .....                                                                              | 64 |
| 8.4.1 | Allgemeines .....                                                                                   | 64 |
| 8.4.2 | Äquivalentes lineares Seitenkraftverfahren .....                                                    | 64 |
| 8.4.3 | Äquivalentes lineares Antwortspektrumsverfahren .....                                               | 66 |
| 8.4.4 | Antwortverlaufsanalyse .....                                                                        | 66 |
| 8.5   | Mindestüberlappungslänge an Verbindungen .....                                                      | 66 |
| 9     | Besondere Regeln für Schrägseilbrücken und Brücken mit konzentrischen Innen- und Außenflächen ..... | 68 |
| 9.1   | Allgemeines .....                                                                                   | 68 |
| 9.2   | Auslegungsgrundlagen .....                                                                          | 68 |
| 9.3   | Modellierung und statische Berechnung .....                                                         | 68 |
| 9.4   | Verifizierungen .....                                                                               | 69 |
| 9.4.1 | Allgemeines .....                                                                                   | 69 |

|                                                                                                 |                                                                      |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 9.4.2                                                                                           | Vermeidung von Sprödbrüchen besonderer nicht-duktiler Bauteile ..... | 69 |
| 9.5                                                                                             | Beschreibung.....                                                    | 69 |
| 10                                                                                              | Besondere Regeln für Brücken mit fugenlosem Widerlager .....         | 70 |
| 10.1                                                                                            | Allgemeines .....                                                    | 70 |
| 10.2                                                                                            | Auslegungsgrundlagen .....                                           | 70 |
| 10.3                                                                                            | Modellierung und statische Berechnung.....                           | 71 |
| 10.3.1                                                                                          | Allgemeines .....                                                    | 71 |
| 10.3.2                                                                                          | Kraftbasierter Ansatz.....                                           | 71 |
| 10.3.3                                                                                          | Verschiebungsbasierter Ansatz .....                                  | 74 |
| 10.3.4                                                                                          | Raumkästen.....                                                      | 75 |
| 10.4                                                                                            | Verifizierungen.....                                                 | 75 |
| 10.4.1                                                                                          | Verifizierung des Grenzzustands des signifikanten Schadens.....      | 75 |
| 10.4.2                                                                                          | Verifizierung anderer Grenzzustände .....                            | 75 |
| Anhang A (informativ) Eigenschaften erdbebenfester Brücken.....                                 |                                                                      | 76 |
| A.1                                                                                             | Verwendung dieses Anhangs.....                                       | 76 |
| A.2                                                                                             | Zweck und Anwendungsbereich .....                                    | 76 |
| A.3                                                                                             | Überbau.....                                                         | 76 |
| A.4                                                                                             | Schräge Brücken .....                                                | 76 |
| A.5                                                                                             | Wahl der Erdbebeneinwirkung widerstehenden tragenden Bauteile .....  | 77 |
| A.6                                                                                             | Wahl der Duktilitätsklasse.....                                      | 78 |
| Anhang B (informativ) Zusätzliche Masse des mitbewegten Wassers bei eingetauchten Pfeilern..... |                                                                      | 79 |
| B.1                                                                                             | Verwendung dieses Anhangs.....                                       | 79 |
| B.2                                                                                             | Zweck und Anwendungsbereich .....                                    | 79 |
| B.3                                                                                             | Effektive Masse eines eingetauchten Pfeilers .....                   | 79 |
| Anhang C (informativ) Zusätzliche Informationen zu Holzbrücken.....                             |                                                                      | 81 |
| C.1                                                                                             | Verwendung dieses Anhangs.....                                       | 81 |
| C.2                                                                                             | Zweck und Anwendungsbereich .....                                    | 81 |
| C.3                                                                                             | Auslegungsgrundlagen .....                                           | 83 |
| C.4                                                                                             | Modellierung .....                                                   | 84 |
| C.5                                                                                             | Kraftbasierter Ansatz.....                                           | 84 |
| Anhang D (informativ) Verschiebungsbasierter Ansatz für Brücken mit fugenlosem Widerlager ..... |                                                                      | 86 |
| D.1                                                                                             | Verwendung dieses Anhangs.....                                       | 86 |
| D.2                                                                                             | Zweck und Anwendungsbereich .....                                    | 86 |
| D.3                                                                                             | Modellierung für die nichtlineare Analyse .....                      | 86 |
| D.4                                                                                             | Nichtlineare statische Analyse.....                                  | 88 |
| D.5                                                                                             | Nicht-lineare Antwortverlaufsanalyse .....                           | 90 |
| Literaturhinweise.....                                                                          |                                                                      | 92 |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1998-2:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig und trägt die Verantwortung sowohl für die Entwurfs- und Bemessungsregeln für Bauwerke als auch für die Regeln für Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik.

Dieses Dokument wird EN 1998-2:2005 ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument gehört zur zweiten Generation der Eurocodes, die im Rahmen eines Mandats M/515 erarbeitet wurden, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden zur Verwendung in Verbindungen mit den relevanten Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen und zur Ermittlung der Anforderungen für Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfungen erarbeitet, die den Eurocodes zugrunde liegen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit jedes Mitgliedsstaates an und schützen deren Recht zur Festlegung sicherheitsbezogener Werte auf nationaler Ebene durch die Anwendung Nationaler Anhänge.

## Einleitung

### 0.1 Einführung in die Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die im Allgemeinen aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung;
- EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke;
- EN 1992, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken;
- EN 1993, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten;
- EN 1994, Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton;
- EN 1995, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten;
- EN 1996, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten;
- EN 1997, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik;
- EN 1998, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben;
- EN 1999, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken;
- Neue Teile befinden sich in Entwicklung, wie etwa der Eurocode für Bauglas

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Konstrukteure, Auftraggeber, Hersteller, Bauausführende, zuständige Behörden (in der Ausübung ihrer Pflichten entsprechend nationalen oder internationalen Vorschriften), Ausbildende, Softwareentwickler und Komitees, die Normen für verwandte Produkte sowie Prüf- und Ausführungsnormen entwerfen, vorgesehen.

**ANMERKUNG** Einige Aspekte der Gestaltung werden am besten durch zuständige Behörden festgelegt oder können, wo dies nicht der Fall ist, auf projektspezifischer Basis zwischen den relevanten Parteien wie etwa Konstrukteuren und Auftraggebern vereinbart werden. Die Eurocodes identifizieren solche Aspekte und verweisen dabei ausdrücklich auf relevante Behörden und relevante Parteien.

### 0.2 Einführung in EN 1998 Eurocode 8

EN 1998 legt die Regeln für die Auslegung neuer Bauwerke und technischer Bauten gegen Erdbeben und die Beurteilung und Nachrüstung bestehender Bauwerke und Bauten einschließlich geotechnischer Aspekte sowie temporärer Bauwerke fest.

**ANMERKUNG** Diese Norm behandelt darüber hinaus die Überprüfung von Bauwerken in Erdbebensituationen während des Baus, falls erforderlich.

Es ist zu beachten, dass für die Auslegung von Bauten in Erdbebenregionen die Bestimmungen von EN 1998 zusätzlich zu den relevanten Bestimmungen von EN 1990 bis EN 1997 und EN 1999 angewendet werden sollten. Insbesondere sollte EN 1998 auf Strukturen der Versagensfolgeklassen CC1, CC2 und CC3 nach prEN 1990:2021, 4.3 angewendet werden. Bauten der Versagensfolgeklasse CC4 sind nicht vollständig durch die Eurocodes abgedeckt, können aber der Einhaltung von EN 1998 oder Teilen derselben durch zuständige Behörden unterliegen.

Ein perfekter Schutz (kein Erdbebenrisiko) gegen Erdbeben ist von Natur aus in der Praxis nicht möglich, insbesondere, weil die Kenntnisse der Gefährdung selbst von erheblicher Unsicherheit geprägt sind. Aus diesem Grund werden in Eurocode 8 Erdbebeneinwirkungen einer konventionellen Form proportional zur Amplitude, mit der Erdbeben wahrscheinlich an einem gegebenen Ort auftreten, und repräsentativ für ihren Frequenzgehalt dargestellt. Diese Darstellung ist nicht die Vorhersage einer bestimmten seismischen Bewegung und eine solche Bewegung könnte zu schwerwiegenden Wirkungen als der betrachteten seismischen Wirkung führen und größere Schäden anrichten, als durch die in dieser Norm vorgeschriebenen Grenzzustände beschrieben.

Nicht nur kann die Erdbebeneinwirkung nicht vorhergesagt werden, sondern es sollte auch anerkannt werden, dass die technischen Verfahren auch hinsichtlich der Auswirkungen dieser spezifischen Einwirkung, unter der angenommen wird, dass Bauten in nicht-linearer Weise reagieren, keine absolut genauen Vorhersagen treffen können. Solche Unsicherheiten werden entsprechend dem allgemeinen Rahmenwerk von EN 1990 mit einem Restrisiko der Unterschätzung dieser Auswirkungen berücksichtigt.

### 0.3 Einführung in EN 1998-2

EN 1998-2 enthält allgemeine Anforderungen an die Auslegung neuer Brücken gegen Erdbeben. Sofern nicht anders in diesem Teil festgelegt, entsprechen die Erdbebeneinwirkungen den Festlegungen in prEN 1998-1-1:2022, 5. Der Anwendungsbereich dieses Teils von EN 1998 ist in 1.1 festgelegt.

Da die Erdbebeneinwirkung hauptsächlich Pfeiler betrifft und letztere üblicherweise aus Stahlbeton bestehen, wurde solchen Pfeilern größere Aufmerksamkeit gewidmet. Darüber hinaus sind Auflager in vielen Fällen wichtige Teile des erdbebenfesten Systems einer Brücke und werden daher entsprechend behandelt. Das Gleiche gilt für Erdbebenisolationsvorrichtungen.

EN 1998-2 ist in zehn Abschnitte unterteilt und enthält vier Anhänge, von denen die Anhänge A bis C informativ sind und der Anhang D normativ ist.

### 0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ drückt eine Anforderung aus, die strikt einzuhalten ist und bei der keine Abweichung erlaubt ist, um den Eurocodes zu entsprechen.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine dringend empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. Vorbehaltlich der nationalen gesetzlichen Vorschriften und/oder gegebenenfalls relevanten vertraglichen Bestimmungen könnten alternative Ansätze angewendet/eingeführt werden, soweit dies technisch gerechtfertigt ist.

Das Verb „darf“ wird verwendet, wenn eine Vorgehensweise innerhalb der Grenzen der Eurocodes erlaubt ist.

Das Verb „kann“ drückt eine Möglichkeit und Fähigkeit aus; es wird zur Angabe von Fakten und Klarstellung von Konzepten verwendet.

### 0.5 Nationale Anhänge für EN 1998-2

Nationale Auswahlen sind in diesem Dokument erlaubt, wo dies ausdrücklich in den Anmerkungen angegeben wird. Die nationale Auswahl beinhaltet die Auswahl von Werten für national festzulegende Parameter (NDP) (en: nationally determined parameters).

Die nationale Norm, die EN 1998-2 implementiert, kann einen nationalen Anhang haben, der alle nationalen Auswahlen enthält, die bei der Gestaltung neuer Brücken in dem betreffenden Land zu verwenden sind.

Wenn keine nationale Auswahl gegeben ist, müssen die in diesem Dokument enthaltenen Standardauswahlen verwendet werden.

Wenn keine nationale Auswahl getroffen wird und kein Standard in diesem Dokument angegeben ist, kann die Auswahl durch eine relevante Behörde festgelegt oder, sofern dies nicht der Fall ist, für ein spezifisches Projekt durch die entsprechenden Parteien vereinbart werden.

Die nationale Auswahl ist in EN 1998-2 durch Anmerkungen zu Folgendem erlaubt:

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| 4.1(4)   | 4.2.1(1) | 4.3.5(8) | 4.3.7(1) |
| 6.3.2(2) |          |          |          |

Die nationale Auswahl ist in EN 1998-2 bezüglich der Anwendung folgender informativer Anhänge erlaubt:

|          |          |          |
|----------|----------|----------|
| Anhang A | Anhang B | Anhang C |
|----------|----------|----------|

Der Nationale Anhang kann direkt oder durch Verweisung nicht widersprüchliche ergänzende Informationen enthalten, sofern diese die Bestimmungen der Eurocodes nicht verändern.

## 1 Anwendungsbereich

### 1.1 Anwendungsbereich von EN 1998-2

(1) Dieses Dokument ist für die Gestaltung und Verifizierung neuer Brücken in Erdbebenregionen anwendbar. Es enthält allgemeine Regeln für die Gestaltung und Verifizierung von Brücken der Versagensfolgekassen CC1, CC2 und CC3 nach prEN 1990:2021, A.2.

ANMERKUNG 1 EN 1998-2 behandelt die Gestaltung von Stahlbeton-, Stahl- und Verbund-Stahlbeton-Brücken mit Ausnahme vorgespannter Pfeiler. Der informative Anhang C enthält Anleitungen für die Gestaltung von Holzbrücken.

ANMERKUNG 2 Die Beurteilung bestehender Brücken wird in EN 1998-3 behandelt.

(2) Sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, sind prEN 1998-1-1:2022 und prEN 1998-5:2022 anzuwenden.

(3) EN 1998-2 ist ergänzend zu den anderen relevanten Eurocodes anzuwenden.

ANMERKUNG 3 EN 1998-2 enthält nur die Bestimmungen, die zusätzlich zu den Bestimmungen der anderen relevanten Eurocodes für die Gestaltung neuer Brücken in Erdbebenregionen angewendet werden. EN 1998-2 ergänzt in dieser Hinsicht die anderen Eurocodes.

(4) EN 1998-2 bietet grundlegende Leistungsanforderungen und Konformitätskriterien für neue Brücken in Erdbebenregionen.

(5) EN 1998-2 ist für die Auslegung von Brücken gegen Erdbeben unter Nutzung der Duktilität in tragenden Bauteilen oder den Einsatz antiseismischer Vorrichtungen anwendbar.

(6) EN 1998-2 enthält ausführliche Regeln für die Duktilität tragender Bauteile in Brücken, die gestaltet sind, um Duktilität als Mittel des Erdbebenschutzes zu nutzen. Wo Duktilität genutzt wird, behandelt EN 1998-2 hauptsächlich Brücken, bei denen die horizontalen Erdbebeneinwirkungen im Wesentlichen durch Biegung der Pfeiler oder an den Widerlagern aufgenommen werden, d. h. von Brücken, die aus lotrechten oder fast lotrechten Pfeilern bestehen, die den Verkehrszwecken dienenden Fahrbahnüberbau tragen.

(7) EN 1998-2 enthält spezifische Regeln für mit antiseismischen Vorrichtungen ausgestattete Brücken, Schrägseilbrücken und Brücken mit konzentrischen Innen- und Außenflächen sowie Brücken mit fugenlosen Widerlagern.

(8) EN 1998-2 ist auch auf die seismische Auslegung von Bogenbrücken anwendbar, es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass seine Regeln diese Fälle vollständig abdecken.

ANMERKUNG Der Anwendungsbereich dieses Teils erstreckt sich nicht auf Hängebrücken, Brücken aus Mauerwerk, bewegliche Brücken und Schwimmbrücken.

### 1.2 Annahmen

(1) Es wird angenommen, dass die Annahmen in prEN 1998-1-1:2022, 1.2, angewendet werden.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG Für eine Liste der anderen in Bezug genommenen Dokumente, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich der als Empfehlungen (d. h. in „sollte“-Abschnitten), Erlaubnissen („darf“-Abschnitte), Möglichkeiten („kann“-Abschnitte) und Anmerkungen in Bezug genommenen Dokumente siehe Literaturhinweise.

prEN 1998-1-1:2022, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1-1: Grundlagen und Erdbebeneinwirkung*

prEN 1998-5:2022, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte*

ISO 80000 (all parts), *Quantities and units*

## 3 Begriffe und Symbole

### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990 und prEN 1998-1-1:2022, 3.1, und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

#### 3.1.1

##### **feste Verbindung mit Spiel**

durch seismische Verbinder realisierte Kopplung

#### 3.1.2

##### **räumliche Veränderlichkeit (der Erdbebeneinwirkung)**

Situation, in der die Bodenbewegung an verschiedenen Auflagern der Brücke unterschiedlich ist und die Erdbebeneinwirkung deshalb nicht durch die Bewegung eines einzigen Punkts beschrieben werden kann

#### 3.1.3

##### **Längs- und Querrichtungen der Brücke**

Längsrichtung  $x$  ist durch die Linie, die die Mitten der beiden Endquerschnitte des Überbaus verbindet, festgelegt. Die Querrichtung  $y$  wird rechtwinklig zur Längsrichtung angenommen

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei schiefen Brücken stimmen die oben festgelegten horizontalen Richtungen grundsätzlich nicht mit den Hauptträgheitsachsen der Auflager überein, was zu einer Unterschätzung der Erdbebeneinwirkung führen kann, wenn die beiden Richtungen unabhängig betrachtet werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Schiefe in dem numerischen Modell angemessen berücksichtigt wird und die beiden horizontalen Richtungen der Erdbebeneinwirkung korrekt kombiniert werden.

#### 3.1.4

##### **seismische Verbinder**

Haltevorrichtungen, durch welche die seismische Einwirkung teilweise oder zur Gänze hindurchgeleitet werden kann. Sie werden in Kombination mit Auflagern verwendet und können ein geeignetes Spiel aufweisen, so dass sie nur dann wirksam werden, wenn die Bemessungs-Erdbebenverschiebung überschritten wird

#### 3.1.5

##### **Mindest-Überlappungslänge**

Sicherheitsmaßnahme in Form eines Mindestabstands zwischen der inneren Kante des unterstützten und der äußeren Kante des unterstützenden Bauteils. Die Mindest-Überlappungslänge wird vorgesehen, um sicherzustellen, dass die Gebrauchstüchtigkeit des Auflagers auch unter extremen seismischen Verschiebungen gewährleistet ist

#### 3.1.6

##### **Bemessungserdbebenverschiebung**

durch die Bemessungserdbebeneinwirkung hervorgerufene Verschiebung

#### 3.1.7

##### **Gesamt-Bemessungsverschiebung in der Erdbeben-Bemessungssituation**

Verschiebung, die dazu dient, um ausreichend große lichte Abstände zum Schutz kritischer oder wichtiger Bauteile zu bestimmen. Sie enthält die Bemessungserdbebenverschiebung, die Verschiebung infolge von Langzeiteffekten der ständigen und quasiständigen Einwirkungen und einen angemessenen Bruchteil der Verschiebung infolge Temperaturbewegungen

#### 3.1.8

##### **kritischer Bereich, kritische Zone**

Bereich/Zone eines primären seismischen Bauteils, an dem die ungünstigste Kombination aus Auswirkungen von Einwirkungen (M, N, V, T) auftritt und wo sich Fließgelenke bilden können

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Betonbrückenpfeilern sind kritische Bereiche üblicherweise potenziell dissipative Bereiche wie in prEN 1998-1-1:2022, 3.1.10 festgelegt. Die Länge der kritischen Bereiche ist in 7.2.1 festgelegt.

#### 3.1.9

##### **schiefe Brücke**

Brücken, deren Spannweite nicht rechtwinklig zur Achse der Auflager verläuft, mit einem Schräglaufwinkel (3.2.2.2) größer als 20°

#### 3.1.10

##### **gekrümmte Brücke**

Brücke mit einem Winkel zwischen der Anfangs- und Endtangente zu der gekrümmten Längsachse von mehr als 25°. Alle anderen Brücken werden als gerade angesehen

#### 3.1.11

##### **duktils Bauteil**

primäres seismisches Bauteil, an dem sich ein Fließgelenk bilden kann

## **3.2 Symbole und Abkürzungen**

### **3.2.1 Allgemeines**

Es gelten die in prEN 1990:2021, 3.2 und in prEN 1998-1-1:2022, 3.2 aufgeführten Symbole und Abkürzungen.

Für die Symbole in Verbindung mit Materialien sowie Symbole, die nicht spezifisch mit der Erdbebensituation verbunden sind, sollten die Bestimmungen der relevanten Eurocodes angewendet werden.

Weitere Symbole und Abkürzungen, die im Zusammenhang mit den Erdbebeneinwirkungen verwendet werden, werden der Einfachheit halber in der vorliegenden Norm, in der sie vorkommen, festgelegt. Darüber hinaus sind jedoch die am häufigsten auftretenden Symbole, die in EN 1998-2 verwendet werden, aufgeführt und in 3.2.2 festgelegt und zusätzliche Abkürzungen sind in 3.2.3 angegeben.

### 3.2.2 Symbole

#### 3.2.2.1 In 4 verwendete Symbole

##### 3.2.2.1.1 Klein geschriebene lateinische Symbole

|            |                                                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $d_E$      | Bemessungs-Erdbebenverschiebung (infolge Bemessungs-Erdbebeneinwirkung allein)  |
| $d_{Ed}$   | Gesamt-Bemessungsverschiebung in der Erdbeben-Bemessungssituation               |
| $d_G$      | relative Langzeitverschiebung infolge ständiger und quasiständiger Einwirkungen |
| $d_T$      | Verschiebung infolge von Temperaturbewegungen                                   |
| $k_u, k_d$ | Steifheit von Holz-Befestigern oder Verbindungsteilen                           |

##### 3.2.2.1.2 Klein geschriebene griechische Symbole

|          |                                                                          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|
| $\eta_k$ | normalisierte Achsenkräfte                                               |
| $\psi_2$ | Kombinationsbeiwert für den quasiständigen Wert der Temperatureinwirkung |

#### 3.2.2.2 In 5 verwendete Symbole

##### 3.2.2.2.1 Groß geschriebene lateinische Symbole

|             |                                                                                                |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_c$       | Betonfläche des Querschnitts                                                                   |
| $B$         | Breite des Überbaus                                                                            |
| $E_d$       | Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung                                                            |
| $E_{di}$    | in der Komponente $i$ durch die Erdbebeneinwirkung induzierte Verformungsenergie               |
| $E_d^S$     | quasistatischer Teil der Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung                                   |
| $E_d^D$     | dynamischer Teil der Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung                                       |
| $E_{dk}^S$  | Beitrag des $k$ -ten statischen Modus unter der Spitzenbodenverschiebung an dem Auflager $k$ . |
| $E_{d,i}$   | Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung aufgrund höherer quasi-antisymmetrische Modi               |
| $E_{d,u}$   | Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung aufgrund gleichförmiger Erregung                           |
| $E_{di}^D$  | Beitrag des $i$ -ten Modus unter der Bemessungserdbebenwirkung                                 |
| $E_{dik}^D$ | Reaktion des $i$ -ten Modus auf den seismischen Beitrag (Antwortspektrum) am $k$ -ten Auflager |
| $F$         | horizontale Kraft                                                                              |
| $F_i$       | statische Kraft am Pfeiler $i$ im Seitenkraftverfahren                                         |

|                   |                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F_i$             | statische Kräfte aufgrund des Beitrags höherer quasiantisymmetrischer Modi                                                                                                                                    |
| $F_b$             | seismische Grundscherkraft                                                                                                                                                                                    |
| $L$               | Gesamtlänge der durchlaufenden Fahrbahnplatte                                                                                                                                                                 |
| $L_{lim}$         | Gesamtlänge der Brücke                                                                                                                                                                                        |
| $M$               | Gesamtmasse der Brücke oberhalb der Gründungen                                                                                                                                                                |
| $M_1$             | äquivalente modale Masse                                                                                                                                                                                      |
| $M_{Ed,i}$        | Höchstwert des Bemessungsmoments an der Stelle des vorgesehenen Fließgelenks des duktilen Bauteils $i$ , wie aus der Analyse für die seismische Bemessungssituation abgeleitet                                |
| $M_{Rd,i}$        | Bemessungsbiegegewiderstand desselben Abschnitts mit seiner tatsächlichen Bewehrung unter der gleichzeitigen Auswirkung nichtseismischer Auswirkungen von Einwirkungen in der seismischen Bemessungssituation |
| $M_t$             | äquivalentes statisches Moment                                                                                                                                                                                |
| $N_{Ed}$          | Axialkraft an dem Fließgelenk bei seismischer Bemessungssituation                                                                                                                                             |
| $N_S, N_D$        | Anzahl der statischen und dynamischen Modi, die in der Analyse langer Brücken auf nichtgleichförmigem Boden verwendet werden                                                                                  |
| $P_{tot}$         | gesamte vertikale Kraft, die auf die Oberseite des Pfeilers einwirkt                                                                                                                                          |
| $Q_{k,i}$         | variable Schwerkraftlasten, die in der seismischen Bemessungssituation auftreten                                                                                                                              |
| $\overline{SF}_i$ | modaler Verstärkungsfaktor                                                                                                                                                                                    |
| $T_1$             | Grundschwingungsdauer in der betrachteten Richtung                                                                                                                                                            |
| $T_i$             | Grundschwingungsdauer des $i$ -ten Pfeilers oder $i$ -te modale Periode aus der modalen Analyse                                                                                                               |
| $V_p$             | auf den Pfeiler in der seismischen Bemessungssituation einwirkende Scherkraft                                                                                                                                 |

### 3.2.2.2.2 Klein geschriebene lateinische Symbole

|           |                                                                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_s$     | Scher-Spannweiten-Verhältnis ( $=L_v/h$ )                                                                                           |
| $d_{E,p}$ | Bemessungsverschiebung der Oberseite des Pfeilers in der seismischen Bemessungssituation                                            |
| $d_m$     | Mittelwert der Verschiebungen der Oberseite der Pfeiler bei gleichförmig verteilter Querlast auf dem Überbau                        |
| $e$       | gesamte Exzentrizität ( $e_a + e_d$ )                                                                                               |
| $e_o$     | theoretische Exzentrizität zwischen der Mitte der Steifheit der tragenden Bauteile und dem Masseschwerpunkt des Überbaus            |
| $e_a$     | zufällige Exzentrizität der Masse                                                                                                   |
| $e_d$     | zusätzliche Exzentrizität zur Berücksichtigung der dynamischen Auswirkung von gleichzeitigen Translations- und Torsionsschwingungen |
| $f_{ck}$  | Charakteristische Festigkeit von Beton                                                                                              |
| $h$       | Tiefe des Beckens oder Höhe des Pfeilers                                                                                            |

|             |                                                                                                                                   |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $q'$        | reduzierter Wert des q-Faktors                                                                                                    |
| $q_{D,N}$   | reduzierter Wert der duktilitätsbezogenen q-Faktor-Komponente aufgrund der Axialkraft                                             |
| $q_{D,SSI}$ | reduzierter Wert der duktilitätsbezogenen q-Faktor-Komponente aufgrund der Wechselwirkung zwischen dem Boden und dem Bauwerk      |
| $m_i$       | Masse über dem $i$ -ten Auflager                                                                                                  |
| $r_i$       | Parameter festgelegt als $r_i = q \frac{M_{Ed,i}}{M_{Rd,i}}$                                                                      |
| $r_{ij}$    | Korrelationskoeffizient zwischen dynamischen Modi                                                                                 |
| $r_k$       | Vektor, der den $k$ -ten statischen Modus erfasst                                                                                 |
| $r_{\min}$  | Mindestwert $r_i$ aller duktilen Bauteile $i$                                                                                     |
| $r_{\max}$  | Höchstwert von $r_i$ aller duktilen Bauteile $i$                                                                                  |
| $s_i$       | Verschiebung über das $i$ -te Auflager in horizontaler Richtung, wenn die Beschleunigung der Schwerkraft auf das Bauwerk einwirkt |

### 3.2.2.2.3 Groß geschriebene griechische Symbole

|            |                                                                                                                                                  |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Gamma_i$ | $i$ -ter modaler Beteiligungsfaktor aufgrund räumlich variabler Erregung                                                                         |
| $\Delta d$ | maximale Differenz der Verschiebung zwischen zwei beliebigen Oberseiten von Pfeilern unter einer gleichmäßig verteilten Querlast auf dem Überbau |

### 3.2.2.2.4 Klein geschriebene griechische Symbole

|                    |                                                                                                                                                                                              |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\eta$             | Dämpfungs Korrekturfaktor für das elastische Antwortspektrum                                                                                                                                 |
| $\eta_k$           | normalisierte Achsenkräfte                                                                                                                                                                   |
| $\theta$           | Empfindlichkeitskoeffizient für die Verschiebung der Oberseite des Pfeilers                                                                                                                  |
| $\lambda$          | Faktor für die Berechnung des Verhaltensbeiwerts $q$                                                                                                                                         |
| $\xi$              | äquivalenter viskoser Dämpfungsgrad                                                                                                                                                          |
| $\xi_i$            | äquivalenter viskoser Dämpfungsgrad des Bauteils $i$                                                                                                                                         |
| $\xi_{\text{eff}}$ | effektive viskose Dämpfung des Bauwerks                                                                                                                                                      |
| $\rho, \rho_o$     | Parameter für das reguläre seismische Verhalten                                                                                                                                              |
| $\rho_{kl}$        | Korrelationskoeffizient zwischen der seismischen Eingangsbewegung an den verschiedenen Auflagern                                                                                             |
| $\varphi$          | Parameter für die Berechnung von $\psi_{Ei}$ oder des Schräglaufwinkels (Winkel zwischen der Längsachse der Brücke und einer Linie senkrecht zur Ausrichtung der Zwischen- oder Endauflager) |
| $\varphi_i$        | $i$ -te Modalform aus der Modalanalyse                                                                                                                                                       |
| $\psi_{E,i}$       | Kombinationskoeffizienten                                                                                                                                                                    |

### 3.2.2.3 In 6 verwendete Symbole

#### 3.2.2.3.1 Groß geschriebene lateinische Symbole

|               |                                                                                                                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{Ed}$      | Auswirkungen der Bemessungseinwirkung in der Erdbeben-Bemessungssituation                                                                       |
| $A_{j,eff}$   | effektive Fläche des Knotens                                                                                                                    |
| $M_{Ed}$      | Bemessungsmoment in der Erdbeben-Bemessungssituation                                                                                            |
| $M_o$         | Überfestigkeitsmoment                                                                                                                           |
| $M_{Rd}$      | Bemessungswert für den Widerstand des Abschnitts gegen Durchbiegung                                                                             |
| $N_{cG}$      | Axialkraft des Pfeilers unter den nicht-seismischen Einwirkungen in der Erdbeben-Bemessungssituation                                            |
| $N_{Ed}$      | Axialkraft in der Erdbeben-Bemessungssituation                                                                                                  |
| $N_{jz}$      | vertikale axiale Gelenkkraft                                                                                                                    |
| $N_{jx}$      | horizontale axiale Gelenkkraft                                                                                                                  |
| $N_{jy}$      | horizontale axiale Gelenkkraft in Querrichtung                                                                                                  |
| $T_{Rc}$      | Resultierende Kraft der Zugverstärkung des Pfeilers entsprechend der Bemessungs-Biegefestigkeit $Mrd_{Rd}$ des Fließgelenks                     |
| $V_{b1C}$     | Scherkraft der Horizontalstrebe, die an die Zugfläche des Pfeilers angrenzt, entsprechend den Bemessungskapazitätseinwirkungen des Fließgelenks |
| $V_{Rdj,min}$ | Mindestscherwiderstand des Knotens                                                                                                              |
| $V_{jx}$      | horizontale Bemessungsscherkraft des Knotens                                                                                                    |
| $V_{jz}$      | vertikale Bemessungsscherkraft des Knotens                                                                                                      |

#### 3.2.2.3.2 Klein geschriebene lateinische Symbole

|            |                                                                         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|
| $b_c$      | Breite des Querschnitts des Überbaus                                    |
| $b_j$      | effektive Breite des Knotens                                            |
| $b_w$      | Breite des Querschnitts des Innenstegs des Überbaus                     |
| $d_c$      | Durchmesser eines runden Pfeilers                                       |
| $f_{ctd}$  | Bemessungswert der Betonzugfestigkeit                                   |
| $f_{yd,h}$ | Bemessungswert der Zugfestigkeit der horizontalen Bewehrung des Knotens |
| $h_b$      | Tiefe des Querschnitts des „Balkens“ (z. B. Überbau)                    |
| $h_c$      | Tiefe des Querschnitts des Pfeilers                                     |
| $l_{cr}$   | Länge des kritischen Bereichs                                           |

### 3.2.2.3.3 Klein geschriebene griechische Symbole

|                 |                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| $n_x, n_y, n_z$ | Axialspannung des Knotens                                       |
| $v_x, v_y, v_z$ | Scherspannung des Knotens                                       |
| $z_c, z_b$      | innere Hebelarme der Pfeiler und des Überbaus                   |
| $\beta$         | Winkel zwischen der Vertikalen und der Horizontalen des Knotens |
| $\gamma_{Rd}$   | Überfestigkeitsbeiwert                                          |
| $\eta_k$        | normalisierte Achsenkräfte                                      |
| $\theta$        | Gurtrotation                                                    |
| $\sigma_{sh}$   | Spannung in der horizontalen Bewehrung des Knotens              |
| $\omega_{rm}$   | Zufälligkeitsfaktor des Materials                               |
| $\omega_{sh}$   | Dehnungshärtungsfaktor                                          |

### 3.2.2.4 Weitere in 7 verwendete Symbole

#### 3.2.2.4.1 Groß geschriebene lateinische Symbole

|          |                                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_c$    | Fläche des Bruttobetonquerschnitts                                                  |
| $A_{cc}$ | Beton(kern)fläche des Querschnitts bis zur Bügelmittellinie                         |
| $A_{sp}$ | Fläche der Wendel- oder Ringbewehrung                                               |
| $A_{sx}$ | Fläche der horizontalen Knotenbewehrung                                             |
| $A_{sz}$ | Fläche der vertikalen Knotenbewehrung                                               |
| $A_{sw}$ | Gesamtquerschnittsfläche der Bügel oder Querhaken in der einen Umschnürungsrichtung |
| $A_t$    | Fläche eines Querhakenschenkels                                                     |
| $D_{sp}$ | Durchmesser der Wendel- oder Ringbewehrung                                          |
| $D_i$    | Innendurchmesser hohler kreisförmiger Pfeiler                                       |
| $N_{Ed}$ | Axialkraft in der Erdbeben-Bemessungssituation                                      |

#### 3.2.2.4.2 Klein geschriebene lateinische Symbole

|           |                                                                                                                             |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $b$       | Abmessung des Betonkerns senkrecht zur betrachteten Richtung der Umschnürung, gemessen bis zur Außenseite des Umfangsbügels |
| $b_{min}$ | kleinste Abmessung des Betonkerns                                                                                           |
| $d_{bL}$  | Durchmesser des Längsbewehrungsstabes                                                                                       |
| $f_{ck}$  | Charakteristische Festigkeit von Beton                                                                                      |
| $f_{sy}$  | Bemessungswert der Streckgrenze der Knotenbewehrung                                                                         |
| $f_{ys}$  | Streckgrenze der Längsbewehrung                                                                                             |

|          |                                                                  |
|----------|------------------------------------------------------------------|
| $f_{yt}$ | Streckgrenze des Querhakens                                      |
| $h$      | Dicke der Wände, die den Querschnitt von Hohlkernpfeilern bilden |
| $l_{cr}$ | Länge des kritischen Bereichs                                    |
| $s_L$    | Abstand der Bügel oder Querhaken in Längsrichtung                |
| $s_T$    | Querabstand zwischen Bügelschenkeln oder zusätzlichen Querhaken  |

#### 3.2.2.4.3 Groß geschriebene griechische Symbole

|                 |                                                                                |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta A_{sx}$ | Fläche der horizontalen Knotenbewehrung, die außerhalb des Knotenkörpers liegt |
| $\Delta A_{sz}$ | Fläche der vertikalen Knotenbewehrung, die außerhalb des Knotenkörpers liegt   |

#### 3.2.2.4.4 Klein geschriebene griechische Symbole

|                     |                                                                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\varepsilon_{cu2}$ | maximale Stauchung im Beton                                                                                |
| $\eta_k$            | normalisierte Achsenkräfte                                                                                 |
| $\rho_l$            | Bewehrungsgrad in Längsrichtung                                                                            |
| $\rho_{lz}$         | vertikaler Bügelbewehrungsgrad                                                                             |
| $\rho_{min}$        | minimaler Knotenbewehrungsgrad                                                                             |
| $\rho_x$            | horizontaler Bewehrungsgrad im Knoten                                                                      |
| $\rho_y$            | Bewehrungsgrad der geschlossenen Bügel in Querrichtung des Knotenfelds (senkrecht zur Beanspruchungsebene) |
| $\rho_w$            | volumetrischer Bewehrungsgrad in Querrichtung                                                              |
| $\rho_z$            | vertikaler Bewehrungsgrad im Knoten                                                                        |
| $\phi_y, \phi_u$    | Krümmung bei Streckung und Grenzzustand                                                                    |
| $\omega_{wd}$       | mechanischer Bewehrungsgrad der Umschnürungsbewehrung                                                      |
| $\omega_{w,req}$    | mechanisches Verhältnis der minimalen Umschnürung                                                          |

#### 3.2.2.5 In 8 verwendete Symbole

##### 3.2.2.5.1 Groß geschriebene lateinische Symbole

|             |                                                                                            |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| $H_i$       | Höhe des Pfeilers $i$                                                                      |
| $K_{bi}$    | effektive Steifigkeit der Isolationsvorrichtung $i$ des Pfeilers                           |
| $K_{eff}$   | effektive Steifigkeit des Isolationssystems in der betrachteten horizontalen Hauptrichtung |
| $K_{eff,i}$ | Verbundsteifigkeit der Isolationsvorrichtungen und des entsprechenden Pfeilers $i$         |
| $K_{fi}$    | Rotationssteifigkeit des Fundaments des Pfeilers $i$                                       |

|                  |                                                                                                     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $K_{si}$         | Verschiebungssteifigkeit des Pfeilers $i$                                                           |
| $K_{ti}$         | Gleitende Steifigkeit des Fundaments des Pfeilers $i$                                               |
| $K_{xi}, K_{yi}$ | effektive Verbundsteifigkeit der Isolationseinheit und des Pfeilers $i$ in $x$ - bzw. $y$ -Richtung |
| $L_{eff}$        | effektive Länge des Überbaus                                                                        |
| $L_g$            | Abstandsparameter                                                                                   |
| $M_d$            | Masse der Überbauung (Überbau)                                                                      |

#### 3.2.2.5.2 Klein geschriebene lateinische Symbole

|            |                                                                                                          |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_{cd}$   | Verschiebung des Masseschwerpunkts der Überbauung (Überbau)                                              |
| $d_{eg}$   | effektive Verschiebung infolge der räumlichen Veränderlichkeit der erdbebeninduzierten Bodenverschiebung |
| $d_g$      | erwartete Bodenverschiebung unter Bemessungs-Erdbebeneinwirkung                                          |
| $d_{Ed}$   | gesamte Bemessungserdbebenverschiebung                                                                   |
| $d_{es}$   | effektive Erdbebenverschiebung des Auflagers infolge Bauwerksverformung                                  |
| $d_{id}$   | Verschiebung der Überbauung über dem Pfeiler $i$                                                         |
| $e_x$      | Exzentrizität in Längsrichtung                                                                           |
| $l_m$      | Mindestlänge des Auflagers                                                                               |
| $l_{ov}$   | Mindestüberlappungslänge                                                                                 |
| $r$        | Trägheitsradius der Masse der Fahrbahn um die Vertikalachse durch ihren Massenmittelpunkt                |
| $s$        | Schlupf des seismischen Verbinders                                                                       |
| $x_i, y_i$ | Koordinaten des Brückenpfeilers $i$ relativ zu den effektiven Steifigkeitszentren                        |

#### 3.2.2.5.3 Klein geschriebene griechische Symbole

|             |                                                                             |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $\delta_i$  | Verstärkungsfaktor für die Verschiebung der Überbauung über dem Pfeiler $i$ |
| $\xi_{eff}$ | effektive Dämpfung des Isolationssystems                                    |

#### 3.2.2.6 In 10 verwendete Symbole

##### 3.2.2.6.1 Groß geschriebene lateinische Symbole

|              |                                                                                            |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_d$        | auf das Widerlager in der Erdbebenbemessungssituation einwirkender gesamter Erddruck       |
| $K_o$        | Druckkoeffizient im Ruhezustand                                                            |
| $K_{PE}$     | passiver Druckkoeffizient in der Erdbebenbemessungssituation                               |
| $K_{PE,mob}$ | mobilisierter passiver Druckkoeffizient in der Tiefe $z$ von der Oberseite des Widerlagers |

#### 3.2.2.6.2 Klein geschriebene lateinische Symbole

|                  |                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $i_u$            | Funktion, die den Druckkoeffizienten zwischen dem Ruhezustand und passiven Werten interpoliert |
| $u$              | Verschiebung des Widerlagers in der Tiefe $z$ von der Oberseite des Widerlagers                |
| $a$              | dimensionsloser bodenabhängiger Parameter                                                      |
| $d_{\text{lim}}$ | Grenzwert der Bemessungserdbebenverschiebung                                                   |

#### 3.2.2.6.3 Klein geschriebene griechische Symbole

|                         |                                                                                 |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $\gamma$                | Gewichtsdichte des Bodens oder Hinterfüllmaterials hinter dem Widerlager        |
| $\sigma_{p,\text{mob}}$ | mobilisierter passiver Druck in der Tiefe $z$ von der Oberseite des Widerlagers |

#### 3.2.2.7 In Anhang B verwendete Symbole

##### 3.2.2.7.1 Groß geschriebene lateinische Symbole

|     |                                                               |
|-----|---------------------------------------------------------------|
| $R$ | Radius des eingetauchten Pfeilers (kreisförmiger Querschnitt) |
|-----|---------------------------------------------------------------|

##### 3.2.2.7.2 Klein geschriebene lateinische Symbole

|            |                                                                                     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $k$        | Massenkoeffizient des rechteckigen eingetauchten Pfeilers                           |
| $m_a$      | gesamte effektive Masse in einer horizontalen Richtung zum eingetauchten Pfeiler    |
| $a_x, a_y$ | Abmessungen des eingetauchten Pfeilers (elliptischer oder rechteckiger Querschnitt) |

##### 3.2.2.7.3 Klein geschriebene griechische Symbole

|          |                                            |
|----------|--------------------------------------------|
| $\theta$ | Winkel der horizontalen Erdbebeneinwirkung |
| $\rho$   | Wasserdichte                               |

#### 3.2.2.8 In Anhang C verwendete Symbole

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| $l$ | Grenzwert der Brückenspannweite |
|-----|---------------------------------|

### 3.2.2.9 In Anhang D verwendete Symbole

#### 3.2.2.9.1 Groß geschriebene lateinische Symbole

|             |                                                                                               |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{co}(z)$ | Kontaktfläche zwischen dem Bauwerk und dem Boden oder dem Hinterfüllmaterial in der Tiefe $z$ |
| $E_s$       | Young-Modul des Bodens                                                                        |
| $G_{emb}$   | Schermodul des Erddammmaterials                                                               |
| $H_{ab}$    | Höhe des Widerlagers                                                                          |
| $H_{emb}$   | Höhe des Erddamms                                                                             |
| $L$         | horizontale charakteristische Länge                                                           |
| $L_a$       | horizontale charakteristische Länge für den aktiven Zustand                                   |
| $L_p$       | horizontale charakteristische Länge für den passiven Zustand                                  |
| $PGV_e$     | Bemessungsspitzenwert der horizontalen Bodengeschwindigkeit                                   |
| $S_{De}$    | Spektralverschiebung bei der Grundswingungsdauer des Erddamms in Längsrichtung der Brücke     |
| $T_{emb}$   | Grundswingungsdauer der Schwingung des Erddamms in Längsrichtung der Brücke                   |

#### 3.2.2.9.2 Klein geschriebene lateinische Symbole

|       |                                                                       |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|
| $k_a$ | Steifigkeit für die Verschiebung in Richtung des aktiven Grenzdrucks  |
| $k_p$ | Steifigkeit für die Verschiebung in Richtung des passiven Grenzdrucks |

#### 3.2.2.9.3 Klein geschriebene griechische Symbole

|              |                                                                          |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $\rho_{emb}$ | Massendichte des Erddammmaterials                                        |
| $\sigma_o$   | Anfangsdruck                                                             |
| $\sigma_a$   | aktiver Druckwiderstandsgrenzwert                                        |
| $\sigma_p$   | passiver Druckwiderstandsgrenzwert                                       |
| $\phi$       | Form des Erddamms in Längsrichtung der Brücke im ersten Modus            |
| $\psi_2$     | Kombinationsbeiwert für den quasiständigen Wert der Temperatureinwirkung |

### 3.2.3 Abkürzungen

|      |                                                                                            |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| MSRS | Antwortspektrum für multiple Auflager (en: multiple support response spectrum)             |
| UBDP | obere Grenzwerte der Bemessungseigenschaften (en: upper bound design properties of device) |
| LBDP | untere Grenzwerte der Bemessungseigenschaften (en: lower bound design of device)           |

### 3.3 SI-Einheiten

SI-Einheiten nach ISO 80000 müssen verwendet werden.

Für Berechnungen sollten die folgenden Einheiten verwendet werden, sofern zutreffend:

- Masse: kg, t
- Massendichte:  $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{t/m}^3$
- Kräfte und Lasten: kN,  $\text{kN/m}$ ,  $\text{kN/m}^2$
- Gewichtsichte:  $\text{kN/m}^3$
- Spannungen und Festigkeiten: Pa ( $= \text{N/m}^2$ ), kPa ( $= \text{kN/m}^2$ ), MPa ( $= \text{MN/m}^2$ )
- Momente (Biegung usw.): kNm
- Beschleunigung:  $\text{m/s}^2$

## 4 Auslegungsgrundlagen

### 4.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Die Versagensfolgeklasse CC3 sollte in CC3a und CC3b nach prEN 1998-1-1:2022, 4.2(3), unterteilt werden.

ANMERKUNG Die Festlegung der Versagensfolgeklassen für Brücken ist in prEN 1990:2021, Tabelle A.2.1(NDP) angegeben.

(2) Für die Anwendung von prEN 1998-1-1:2022, 4.1(4), sollten die  $\delta$ -Werte bestimmt werden.

ANMERKUNG Die für Brücken anwendbaren Werte von  $\delta$  sind die Werte in Tabelle 4.1 (NDP), sofern die zuständigen Behörden oder der nationale Anhang keine anderen Werte für die Verwendung in einem Land angeben.

**Tabelle 4.1 — (NDP) —  $\delta$  Werte für Brücken**

|          | Versagensfolgeklasse |     |      |      |
|----------|----------------------|-----|------|------|
|          | CC1                  | CC2 | CC3a | CC3b |
| $\delta$ | 0,6                  | 1,0 | 1,25 | 1,6  |

### 4.2 Erdbebeneinwirkung

#### 4.2.1 Allgemeines

(1) prEN 1998-1-1:2022, 4.3, sollte angewendet werden.

ANMERKUNG Die Werte der Wiederholungsperiode  $T_{LS,CC}$  oder des Leistungsfaktors  $\gamma_{LS,CC}$  sind in Tabelle 4.2(NDP) bzw. Tabelle 4.3(NDP) angegeben, sofern nicht die zuständigen Behörden oder nationalen Anhänge andere Werte für die Verwendung in einem Land angeben.

**Tabelle 4.2 — (NDP) — Werte der Wiederholungsperiode  $T_{LS,CC}$  in Jahren für Brücken**

| Grenz-<br>zustand | Versagensfolgeklasse |      |      |      |
|-------------------|----------------------|------|------|------|
|                   | CC1                  | CC2  | CC3a | CC3b |
| NC                | 800                  | 1600 | 2500 | 5000 |
| SD                | 250                  | 475  | 800  | 1600 |
| DL                | 50                   | 60   | 100  | 200  |

**Tabelle 4.3 — (NDP) — Leistungsfaktorwerte  $\gamma_{LS,CC}$  für Brücken**

| Grenz-<br>zustand | Versagensfolgeklasse |     |      |      |
|-------------------|----------------------|-----|------|------|
|                   | CC1                  | CC2 | CC3a | CC3b |
| NC                | 1,2                  | 1,5 | 1,8  | 2,2  |
| SD                | 0,8                  | 1,0 | 1,25 | 1,5  |
| DL                | 0,5                  | 0,5 | 0,6  | 0,7  |

ANMERKUNG Die Werte des Leistungsfaktors in Tabelle 4.3 entsprechen den Verhältnissen zwischen den durch die Wiederholungsperioden in Tabelle 4.2 charakterisierten Intensitäten und den durch die Referenzwiederholungsperiode für CC2 und SD von 475 Jahren charakterisierten Intensitäten, berechnet mit einem Wert des Gefährdungsanstiegs  $k = 3$ , der für die Seismizität entsprechend der moderaten Erdbebeneinwirkungsklasse geeignet ist, unter Verwendung des

Ausdrucks  $\gamma_{LS,CC} = \left( \frac{T_{LS,CC}}{T_{SD,2}} \right)^{\frac{1}{k}}$ . Siehe auch prEN 1998-1-1:2022, 5.2.1(2).

(2) Die Erdbebeneinwirkung sollte wie in prEN 1998-1-1:2022, 5.2, angegeben, genommen werden.

(3) Die vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung sollte für die Überprüfung der tragenden Bauteile in a) bis d) verwendet werden:

- a) Spannbeton-Überbauten;
- b) Schrägseilbrücken;
- c) antiseismische Vorrichtungen;
- d) Pfeiler, im Fall hoher Erdbebeneinwirkungsklassen, falls diese einer Biegespannung durch die permanente vertikale Einwirkung auf den Überbau unterliegen oder die Brücke in einem Umkreis von 5 km um eine aktive seismisch-tektonische Verwerfung steht.

ANMERKUNG Fall d) bezieht sich auf geneigte Pfeiler oder vertikale Pfeiler mit einer monolithischen Verbindung zum Überbau.

(4) Die Auswirkungen der vertikalen Komponente können bei Pfeilern in Fällen geringer bis moderater Erdbebeneinwirkungsklassen außer Acht gelassen werden.

(5) Sofern sie als relevant erwartet werden, sollten dauerhafte Bodenverschiebungen durch spezifische Studien bewertet werden. Ihre Folgen sollten durch geeignete Maßnahmen, wie die Wahl eines passenden statischen Systems, minimiert werden.

ANMERKUNG 1 Dauerhafte Bodenverschiebungen sind in der Nähe aktiver Verwerfungen in geringer Tiefe erwartungsgemäß bedeutend.

ANMERKUNG 2 Die Erdbebeneinwirkung nach prEN 1998-1-1:2022, 5.2, berücksichtigt nur Bodenerschütterungen oder transiente Verschiebungen und keine dauerhaften Verschiebungen. Letztere, die durch Bruchzustände des Bodens oder Verwerfungsbrüche entstehen, können zu auferlegten Verformungen mit schwerwiegenden Folgen für Brücken führen.

(6) Sofern in dem Modell enthalten, sollte die Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk (SSI) prEN 1998-5:2022, 8 entsprechen.

ANMERKUNG Die Anwendung der Erdbebeneinwirkung hängt von dem angewendeten SSI-Modell ab.

#### 4.2.2 Räumliche Veränderlichkeit der Erdbebeneinwirkung

(1) Die räumliche Veränderlichkeit der Erdbebenbodenbewegung sollte entsprechend Tabelle 5.3 berücksichtigt werden, wenn eine der Bedingungen in a) bis c) anwendbar ist:

- a) Die maximalen und minimalen Werte der mittleren Scherwellengeschwindigkeit  $V_{s,H}$ , berechnet für die Bodenprofile unter jedem Brückenaufleger (Pfeiler und Widerlager), weichen um mehr als 200 m/s ab.
- b) Die Gesamtlänge der Brücke überschreitet  $L_{lim}$ , entsprechend dem kleinsten charakteristischen Längenwert  $L_g$  unter allen Brückenauflägern nach prEN 1998-1-1:2022, 5.2.3.2(3).
- c) Die maximale Feldlänge zwischen zwei aufeinander folgenden Auflagern beträgt mehr als 50 m (für Brücken mit zwei oder mehr Feldern).

ANMERKUNG An Widerlagern beinhaltet die Bewertung von  $V_{s,H}$  nur den Gründungsboden und nicht den Erddamm oder die Hinterfüllung.

(2) Wenn die räumliche Veränderlichkeit der Erdbebenbodenbewegung nicht berücksichtigt wird, das Auflager jedoch auf Boden ruht, der in verschiedene Standortkategorien fällt, sollte die Erdbebeneinwirkung für die anspruchsvollste Kategorie verwendet werden.

ANMERKUNG Kurze bis mittellange Brücken mit unterschiedlicher Spannweite von nicht mehr als 50 m können moderat veränderlichen Boden mit einer Differenz von  $V_{s,H}$  an verschiedenen Auflagern von weniger als 200 m/s, die jedoch zu einer anderen Standortklassifizierung führen, überspannen.

### 4.3 Eigenschaften erdbebenfester Brücken

#### 4.3.1 Entwurfsplanung

(1) Ein Brückenbauwerk muss in der Lage sein, der Erdbebeneinwirkung in jeder Richtung zu widerstehen.

(2) Das Erdbebenverhalten einer Brücke sollte ab der frühen Phase der Entwurfsplanung berücksichtigt werden, um ein strukturelles System zu erhalten, das bei akzeptablen Kosten die Leistungsanforderungen nach prEN 1998-1-1:2022, 4.1, erfüllt.

ANMERKUNG 1 (2) ist für alle Erdbebeneinwirkungsklassen anwendbar.

ANMERKUNG 2 Eine Anleitung zu anerkannten Praktiken ist im informativen Anhang A enthalten.

(3) Die Erfüllung der Leistungsanforderungen in der Bemessungssituation unter Erdbeben sollte durch die Mittel in a), b) oder eine Kombination derselben erreicht werden:

- a) Widerstand durch tragende Bauteile, möglicherweise einschließlich durch Energieableitung in klar identifizierte kritische Bereiche (Auslegung für die Duktilitätsklassen DC1, DC2 oder DC3);
- b) Verwendung von antiseismischen Vorrichtungen.

(4) Die Erdbebenleistung tragender Bauteile sollte nach 6 verifiziert werden.

**ANMERKUNG** Spezifische Regeln für „mit antiseismischen Vorrichtungen ausgestattete Brücken“, „Schrägseil-Brücken und Brücken mit konzentrischen Innen- und Außenflächen“ und „Brücken mit fugenlosen Widerlagern“ sind in 8, 9 bzw. 10 angegeben.

(5) Der Torsionswiderstand eines Brückenbauwerks um die vertikale Achse sollte nicht auf der Torsionssteifigkeit eines einzelnen Pfeilers beruhen.

(6) Bei Einfeldbrücken sollten die Auflager so bemessen werden, dass sie den Torsionswirkungen standhalten.

(7) Wenn eine Brücke potenziell aktive tektonische Verwerfungen überspannt, sollte die Unstetigkeit der Bodenverschiebung entweder durch angemessene Flexibilität des Bauwerks oder durch die Anordnung von geeigneten Bewegungsfugen aufgenommen werden.

**ANMERKUNG** Die gesamte Verschiebungsdifferenz an einer überspannten Verwerfung besteht aus der Summe der Verschiebungsdifferenz in der Bemessungssituation unter Erdbeben, die entsprechend der Wiederholungsperiode der Bemessungserdbebeneinwirkung berechnet werden sollte, und einer quasistatischen Verschiebungsdifferenz aufgrund der langsamen Bewegung an der Verwerfung, die sich über die Bemessungslebensdauer der Brücke entwickelt hat. Informationen zum seismischen Teil der Verschiebungsdifferenz an der überspannten Verwerfung können prEN 1998-4, Anhang E, entnommen werden. Diese Norm enthält keine Informationen zur quasistatischen Komponente der Differenzialverschiebung.

(8) Die Anstiegsstabilität sollte verifiziert und die Auswirkung der potenziellen Instabilität auf die Brücke nach prEN 1998-5:2022, 7.2, beurteilt werden.

(9) Das Verflüssigungspotenzial des Baugrundes sollte nach prEN 1998-5:2022, 7.3, untersucht werden.

(10) Brückengründungen sollten nicht gezielt als Möglichkeit der hysteretischen Energiedissipation benutzt werden und sollten daher, soweit möglich, so bemessen werden, dass sie unter der Erdbeben-Bemessungseinwirkung linear-elastisch bleiben.

#### 4.3.2 Primäre und sekundäre seismische Bauteile

(1) Tragende Bauteile (Pfeiler und Widerlager), die seismischen Kräften in Längs- und Querrichtung widerstehen, sollten als primäre Bauteile gestaltet werden. Die Anzahl der primären Bauteile darf geringer sein als die Gesamtzahl der tragenden Bauteile, indem gleitende oder flexible Lager zwischen dem Überbau und einigen Pfeilern verwendet werden. Tragende Bauteile, die keine primären Bauteile sind, sollten als sekundäre Bauteile gestaltet werden.

**ANMERKUNG** Die Trennung in Längsrichtung kann beispielsweise genutzt werden, um die Spannungen aufgrund auferlegter Verformungen des Überbaus durch thermische Einwirkungen, Schrumpfen und andere nicht-seismische Einwirkungen zu reduzieren. Die Trennung in Querrichtung kann zu einer besseren Verteilung der Kräfte zwischen den tragenden Bauteilen führen, wie in A.5 gezeigt.

(2) Alle primären tragenden Bauteile sollten in einer statischen Berechnung gegen Erdbeben nach 5 bis 10 modelliert, gestaltet und ausgearbeitet werden.

(3) Zusätzlich zu der Erfüllung ihrer eigenen Anforderungen an die erdbebensichere Gestaltung sollten die sekundären tragenden Bauteile und ihre Verbindungen so gestaltet und ausgearbeitet werden, dass sie die Unterstützung nicht-seismischer Einwirkungen in der Bemessungssituation unter Erdbeben unter der Auswirkung von Verschiebungen durch den ungünstigsten Erdbebenbemessungszustand aufrechterhalten.

ANMERKUNG Zusätzlich zu den Regeln in EN 1992, EN 1993, EN 1994, EN 1995, EN 1996 und EN 1999 enthalten die Abschnitte 5 bis 10 Regeln für die Analyse, die Gestaltung und die Ausarbeitung von sekundären seismischen Bauteilen.

(4) Wenn eine Verbindung zwischen Widerlager und Überbau steif ist, weil sie entweder monolithisch ist oder aus festen Lagern oder seismischen Verbindern besteht, und das entsprechende Widerlager wesentlich zu dem Erdbebenwiderstand in Längs- und Querrichtung beiträgt, sollte sie als primäres Bauteil gestaltet werden. Eine steife Verbindung kann insbesondere bei Brücken mit kürzerer und mittlerer Länge für den Erdbebenwiderstand genutzt werden (siehe besondere Bestimmungen in 10).

ANMERKUNG 1 Raumkästen sind ein Sonderfall dieser Schutzstrategie.

ANMERKUNG 2 Die Vermeidung von Knoten reduziert Instandhaltungskosten und erhöht die Dauerhaftigkeit.

### 4.3.3 Widerstand und Duktilitätsbedingungen – Regeln für die Kapazitätsbemessung

(1) Die Lage der kritischen Bereiche sollte so gewählt werden, dass die Zugänglichkeit für Inspektionen und Reparaturen sichergestellt ist. Solche Stellen sollten in den zugehörigen Planungsunterlagen deutlich vermerkt werden.

(2) Die Lage der Bereiche mit möglichen oder erwarteten Schäden durch Erdbeben sollte zusätzlich zu den kritischen Bereichen kenntlich gemacht und der Schwierigkeitsgrad zur Durchführung von Reparaturen möglichst klein gehalten werden.

ANMERKUNG Die Rückwände der Widerlager können solche Stellen darstellen, wenn sie als Opferelemente gestaltet werden.

(3) Für DC2- und DC3-Strukturen (siehe 4.3.6) sollte sich ein zuverlässig stabiler teilweiser oder vollständiger Mechanismus in der Struktur durch die Bildung biegefähiger Fließgelenke entwickeln.

ANMERKUNG 1 Diese Gelenke entstehen üblicherweise in den Pfeilern und wirken als die hauptsächlichen Energiedissipationsmechanismen.

ANMERKUNG 2 Biegefähige Fließgelenke entstehen nicht notwendigerweise in allen Pfeilern nach 4.3.2(1) (teilweiser plastischer Mechanismus).

(4) Eine entsprechende Hierarchie des Widerstands sollte innerhalb der verschiedenen tragenden Bauteile bestehen. Dies sollte erreicht werden, indem alle Bauteile gegen alle Versprödungsausfallarten ausgelegt werden und vorgesehen wird, dass alle Teile der Bauteile unter den „Kapazitätsbemessungsauswirkungen“ nach 6.3.2 elastisch bleiben.

ANMERKUNG (4) dient dazu, sicherzustellen, dass die vorgesehene Konfiguration der Fließgelenke nach (3) entsteht und dass Versprödungsausfallarten vermieden werden.

(5) Fließgelenke sollten nicht in Stahlbetonbauteilen entstehen, wenn die normalisierte Achsenkraft  $\eta_k$  nach Gleichung (5.7) 0,6 übersteigt.

(6) Der Überbau der Brücke sollte unter der Bemessungserdbebeneinwirkung im elastischen Bereich bleiben, außer wie in 5.1.1(8) angegeben.

(7) Fließgelenke (in Biegung um die Querachse) können sich in durchgehenden Platten bilden.

ANMERKUNG Durchgehende Platten sind Platten aus Ortbeton, die häufig verwendet werden, um eine Durchgängigkeit der oberen Platte zwischen angrenzenden einfach gestützten Feldern aus vorgefertigten Betonträgern, ergänzt durch eine obere Stahlbetonplatte, zu erreichen.

(8) Vorgespannte Bauteile sollten daher vor der Bildung von Fließgelenken unter Bemessungserdbebeneinwirkung geschützt werden.

ANMERKUNG 1 Diese Norm enthält keine Regeln für die Duktilität solcher Bauteile.

ANMERKUNG 2 Diese Norm enthält keine Regeln für die Nachspannung von Pfeilern, die als Erdbebenschutzvorrichtung verwendet werden (Nachspannung, um einen auf der Gründung schaukelnden Pfeiler aus Ortbeton oder vorgefertigten Pfeiler mit einer Rezentrierungskraft auszustatten).

#### 4.3.4 Anschlüsse

(1) Verbindungen zwischen stützenden und gestützten Bauteilen müssen so bemessen sein, dass die Standsicherheit sichergestellt ist und ein Herunterfallen von den Lagern unter Bemessungserdbebenverschiebungen mit erhöhter Zuverlässigkeit verhindert wird.

(2) 1) sollte durch die Auslegung der verwendeten Verbindungen für die Sicherstellung der strukturellen Integrität nach 8 sichergestellt werden.

(3) Angemessene Überlappungslängen sollten zwischen tragenden und getragenen Bauteilen durch bewegliche Verbindungen vorgesehen werden, um das Herunterfallen von den Lagern zu vermeiden (siehe 6.3.6 und 8.5).

#### 4.3.5 Kontrolle von Verschiebungen – Ausarbeitung von Nebenelementen

(1) Die Ausarbeitung von tragenden Bauteilen und Nebenelementen muss vorgesehen werden, um Verschiebungen in der Bemessungssituation unter Erdbeben aufzufangen.

(2) Zwischen angrenzenden Bauteilen sollten Freiräume für den Schutz der Extremitäten des Überbaus vorgesehen werden. Solche Freiräume sollten den gesamten Bemessungswert der relativen Verschiebung in der Bemessungssituation unter Erdbeben,  $d_{Ed}$ , bestimmt durch die Gleichung (4.1), aufnehmen.

$$d_{Ed} = d_G "+" d_E "+" \psi_2 d_T \quad (4.1)$$

Dabei ist

$d_G$  der maßgebliche Wert zwischen den Kurzzeit- (Öffnung) und Langzeit-Werten (Ende der Bemessungslebensdauer) der relativen Verschiebung aufgrund permanenter und quasipermanenter Einwirkungen (z. B. Nachspannung, Schrumpfen und Kriechen bei Beton-Überbauten);

$d_E$  die relative seismische Bemessungsverschiebung;

$d_T$  die Verschiebung aufgrund der Temperaturbewegungen;

$\psi_2$  der Kombinationsbeiwert für die quasipermanenten Werte der thermischen Einwirkung nach prEN 1990:2021, Tabelle A.2.7(NDP);

"+" bedeutet kombiniert mit dem + oder – Zeichen zur Erreichung der ungünstigsten Auswirkung.

(3) Wenn Verschiebungen des Widerlagers in Richtung des Überbaus größer als die oder gleich der kleineren der Verschiebungen in (2) sind, sollten sie zu  $d_E$  in Gleichung (4.1) hinzugefügt werden.

ANMERKUNG Hohe bewehrte Erdwiderlager können größere Verschiebungen aufweisen als bewehrte Betonwiderlager.

(4) Auswirkungen zweiter Ordnung nach 5.1.3 sollten bei der Berechnung des Gesamtbemessungswerts der Verschiebung in der Bemessungssituation unter Erdbeben berücksichtigt werden.

(5) Die relative Bemessungs-Erdbebenverschiebung,  $d_E$ , zwischen zwei unabhängigen Abschnitten einer Brücke nach (2) kann als Wurzel der Summe der Quadrate der für jeden Abschnitt berechneten Bemessungs-Erdbebenverschiebungswerte bestimmt werden.

(6) Große Stoßkräfte, ausgelöst durch unvorhersehbare Stöße zwischen Extremitäten des Überbaus, die auf empfindliche Komponenten wie etwa Vorspannungsanker einwirken, sollten mittels duktiler/federnder Bauteile oder durch spezielle energieabsorbierende Vorrichtungen (Puffer) unterbunden werden. Solche Bauteile sollten mindestens einen Schlupf aufweisen, der gleich dem gesamten Bemessungswert der relativen Verschiebung,  $d_{Ed}$ , in der Erdbeben-Bemessungssituation ist.

(7) Nebenelemente mit Bedeutung für das Krisenmanagement (z. B. Brückenausstattungen wie getragene Wasserleitungen, Stromleitungen oder Gasleitungen), die erwartungsgemäß in der Bemessungssituation unter Erdbeben im SD-Grenzzustand nicht beschädigt werden sollen, sollten entsprechend gestaltet und ausgearbeitet werden.

ANMERKUNG Solche Nebenelemente werden durch die zuständigen Behörden festgelegt. Die Unterbrechungsfreiheit der Versorgung mit wesentlichen Betriebsmitteln wie Wasser und Strom ist wesentlich für eine schnelle Wiederherstellung nach einem Erdbeben.

(8) Die Ausarbeitung der nicht in (7) behandelten Nebenelemente (Bewegung der Knoten des Überbaus, Brückenausstattungen wie etwa Haltvorrichtungen, Lärmschutzwände, Lichtmasten, Richtungsportalrahmen und die Rückwände von Widerlagern) sollten einem vorhersehbaren Schadensmodus vorgreifen, Risiken für Personen bei einem Ausfall minimieren und Möglichkeiten der Instandsetzung vorsehen. Freiräume sollten die Bemessungserdbebenverschiebung im DL-Grenzzustand und die Bewegung aufgrund von Temperatur, Kriechen und Schrumpfen aufnehmen.

ANMERKUNG An Knoten von Eisenbahnbrücken kann unter Umständen eine Relativverschiebung in Querrichtung entweder ganz vermieden oder auf geeignete Werte zur Verhinderung von Entgleisungen begrenzt werden. Grenzwerte können dem nationalen Anhang entnommen werden oder mit dem Eisenbahnunternehmen vereinbart werden.

(9) Die Verankerung von Nebenelementen an tragenden Bauteilen sollte nach prEN 1998-1-1:2022, Anhang F, gestaltet werden.

#### **4.3.6 Wahl der Duktilitätsklasse – Grenzwerte der Erdbebeneinwirkung für die Gestaltung nach DC1, DC2 und DC3**

(1) 4.3.6 sollte auf Stahlbeton-, Stahl- und Verbund-Stahlbetonbrücken mit einem oder mehreren Auflagern (Pfeiler oder Widerlager), die starr mit dem Überbau verbunden sind (entweder monolithisch oder durch feste Lager oder Verbindungen) und Duktilität als Erdbebenschutz nutzen, angewendet werden.

ANMERKUNG Mit antiseismischen Vorrichtungen ausgestattete Brücken, Schrägseilbrücken und Brücken mit konzentrischen Innen- und Außenflächen, Brücken mit fugenlosen Widerlagern und Holzbrücken werden in 8, 9, 10 und Anhang C behandelt.

(2) Das Hauptbauwerk sollte einer Duktilitätsklasse nach prEN 1998-1-1:2022, 4.4.2(3) zugewiesen werden.

ANMERKUNG Brückenaufleger können als primäre seismische Bauteile in einer lokalen Richtung und sekundäre seismische Bauteile in einer orthogonalen Richtung je nach verwendeter Art der Lager klassifiziert werden (z. B. ermöglichen Gleitlager in eine Richtung eine relative Verschiebung mit minimaler Reibung in Längsrichtung, während sie gleichzeitig die Bewegung in Querrichtung beschränken).

(3) Die Duktilitätsklasse sollte für die Brücke eindeutig und in alle Richtungen gleich sein.

(4) In hohen Erdbebeneinwirkungsklassen sollten Brücken für DC3 gestaltet werden.

(5) Die erdbebensichere Gestaltung für DC1 sollte nicht bei moderaten bis hohen Erdbebeneinwirkungsklassen angewendet werden.

#### 4.3.7 Vereinfachte Kriterien

(1) Rahmenlose Raumkästen, d. h. Rohrraumkästen und Raumkästen mit einer oder mehreren Zellen dürfen nach prEN 1998-1-1:2022, 4.1(7) und entsprechend den weiteren in 10.3.4(3) angegebenen Bestimmungen gestaltet werden.

(2) Im Fall niedriger Erdbebeneinwirkungsklassen dürfen für bestimmte Arten von Brücken vereinfachte Gestaltungskriterien festgelegt werden.

ANMERKUNG 1 Die Auswahl der Kategorien von Brücken und Bodentypen, auf die die vereinfachten Kriterien anwendbar sind, und die entsprechenden Regeln können den nationalen Anhängen für die Verwendung in einem Land entnommen werden.

ANMERKUNG 2 In einigen Ländern werden diese Auswahl und die damit verbundenen Regeln von den relevanten Behörden festgelegt.

## 5 Modellierung und statische Berechnung

### 5.1 Modellierung

#### 5.1.1 Allgemeines

(1) Das Modell der Brücke sollte prEN 1998-1-1:2022, 6.2, entsprechen.

(2) Die Werte des Kombinationskoeffizienten  $\psi_{E,i}$  nach prEN 1998-1-1:2022, 6.2.1(3), Gleichung (6.1), für die Massen in Verbindung mit variablen Einwirkungen sollten den Schweregrad der Verkehrsbedingungen berücksichtigen. In Abwesenheit genauerer Werte auf der Grundlage von Verkehrsanalysen dürfen Werte für  $\psi_{E,i}$  Tabelle 5.1 entnommen werden.

ANMERKUNG 1 Als Straßenbrücken mit schwerem Verkehr können Brücken für Autobahnen und für Straßen von nationaler Bedeutung angesehen werden. Eisenbahnbrücken mit schwerem Verkehr können als Brücken für Inter-City- und Schnellzug-Strecken angesehen werden.

ANMERKUNG 2 In Anwendung von prEN 1998-1-1:2022, 6.2.1(3), Gleichung (6.1),  $Q_{k,i}$  ist das UDL-System des Lastmodells LM1 für Straßenbrücken und des Lastmodells LM71 für Eisenbahnbrücken.

**Tabelle 5.1 — Werte von  $\psi_{E,i}$**

| Art der variablen Einwirkung                                         | $\psi_{E,i}$ |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| Variable Verkehrseinwirkung (übliche Verkehrs- und Fußgängerbrücken) | 0,0          |
| Einwirkung durch Straßenverkehr (schwere Verkehrsbedingungen)        | 0,2          |
| Einwirkung durch Eisenbahnverkehr (schwere Verkehrsbedingungen)      | 0,3          |
| Andere variable Einwirkungen                                         | 0,0          |

(3) Wenn die Pfeiler im Wasser stehen und wenn keine genauere Abschätzung der hydrodynamischen Wechselwirkung vorliegt, kann dieser Effekt abgeschätzt werden, indem eine zusätzliche, verbreitete mitgeführte Wassermasse berücksichtigt wird, die horizontal je Längeneinheit des unter Wasser stehenden Pfeilers wirkt. Der hydrodynamische Einfluss auf die vertikale seismische Einwirkung kann vernachlässigt werden.

ANMERKUNG Im informativen Anhang B steht ein Verfahren zur Berechnung der zusätzlichen mitgeführten Wassermasse in horizontaler Richtung für im Wasser stehende Pfeiler.

(4) In Anwendung von prEN 1998-1-1:2022, 6.2.2(1), sollte die elastische Steifigkeit jedes Bauteils ihrer effektiven Sekantensteifigkeit an der elastischen Grenze entsprechen.

(5) Bei Stahlbeton-Bauteilen kann die effektive Sekantensteifigkeit nach a) und b) geschätzt werden:

- a) die Steifigkeit des gerissenen Abschnitts am Anfang der Streckung der Bewehrung für Pfeiler;
- b) die Steifigkeit des ungerissenen Abschnitts für vorgespannte oder Stahlbeton-Überbauten, außer wie in (8) angegeben.

(6) Sofern keine genauere Analyse der gerissenen Bauteile nach (5)a) durchgeführt wird, können für den kraftbasierten Ansatz die elastischen Biege- und Schersteifigkeitseigenschaften von Pfeilern, die ausgelegt sind, Fließgelenke zu entwickeln, als 50 % der entsprechenden Steifigkeit ungerissener Bauteile entsprechend angenommen werden.

(7) Für den kraftbasierten Ansatz darf die elastische Biegesteifigkeit von für DC1 ausgelegten Bauteilen als dem ungerissenen Abschnitt entsprechend für die Berechnung der Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung im Hinblick auf allgemeine Beanspruchungen angenommen werden. (6) sollte für die Berechnung der Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung im Hinblick auf allgemeine Verformungen einschließlich der Bewertung der Auswirkungen zweiter Ordnung nach 5.1.3 angewendet werden.

ANMERKUNG DC1-Bauteile erreichen keinen Streckwiderstand in der Bemessungssituation unter Erdbeben. Das Rissmoment jedoch kann auch bei Berücksichtigung seines erhöhten Werts aufgrund der Axialkräfte in Pfeilern erreicht und übertroffen werden und zu Rissbildung führen. Aus diesem Grund ist es nicht konservativ, eine ungerissene Steifigkeit für Verschiebungsberechnungen anzunehmen. Eine Ausnahme ist der Fall vertikal vorgespannter Pfeiler (nicht in dieser Norm behandelt, siehe Anmerkung 1 zu 1.1(1)).

(8) Bei Betonüberbauten, die aus vorgefertigten Betonbalken und Ort betonplatten bestehen, sollten Anschlussplatten (siehe 4.3.3(7)) in das Modell für die seismische Berechnung mit aufgenommen werden, wobei ihre Exzentrizität bezüglich der Fahrbahnachse und ein abgeminderter Wert ihrer Biegesteifigkeit berücksichtigt werden sollten. Sofern diese Steifigkeit auf der Basis der Rotation der entsprechenden plastischen Gelenke ermittelt wird, kann ein Wert von 25 % der Biegesteifigkeit des ungerissenen Brutto-Betonquerschnitts für durchgehende Platten verwendet werden.

(9) Wenn der Überbau als einzelner Balken oder äquivalentes Gittermodell für die Zwecke der Auslegung gegen Erdbeben modelliert wird, sollte die erhebliche Reduzierung der Torsionssteifigkeit der Betonbauteile im Verhältnis zu der ungerissenen Torsionssteifigkeit berücksichtigt werden. Wenn keine genauere Berechnung durchgeführt wird, können die Anteile der Torsionssteifigkeit des ungerissenen Bruttoquerschnitts wie in a) bis c) angegeben verwendet werden:

- a) bei offenen Querschnitten oder Platten darf die Torsionssteifigkeit vernachlässigt werden;
- b) 50 % der Torsionssteifigkeit des ungerissenen Bruttoquerschnitts bei vorgespannten Kastenquerschnitten;
- c) 30 % der Torsionssteifigkeit des ungerissenen Bruttoquerschnitts bei Stahlbeton-Kastenquerschnitten.

(10) Wenn eine elastische Antwortspektrumsanalyse oder Antwortverlaufsanalyse verwendet wird, können folgende Werte für den äquivalenten viskosen Dämpfungsgrad  $\xi$  als Funktion des Werkstoffs des Bauteils, in dem der größere Teil der Verformungsenergie während der seismischen Antwort dissipiert wird, für die Bewertung von  $\eta$  nach prEN 1998-1-1:2022, 5.2.2.2(12) angenommen werden.

- Geschweißter Stahl 0,02
- Genieteteter/geschraubter Stahl 0,04
- Stahlbeton 0,05
- Spannbeton 0,02
- Holz 0,03

ANMERKUNG 1 Der größere Teil der Verformungsenergie wird grundsätzlich in Pfeilern abgeleitet.

ANMERKUNG 2 Wenn der  $q$ -Faktor-Ansatz verwendet wird, erfolgt keine Korrektur der Dämpfung in dem reduzierten Spektrum nach prEN 1998-1-1:2022, 6.4.1.

(11) Wenn das Bauwerk aus verschiedenen Komponenten  $i$  mit verschiedenen viskosen Dämpfungsgraden  $\xi_i$  besteht, kann die effektive viskose Dämpfung des Bauwerks  $\xi_{\text{eff}}$  anhand der Gleichung (5.1) geschätzt werden.

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{\sum \xi_i E_{\text{di}}}{\sum E_{\text{di}}} \quad (5.1)$$

Dabei ist  $E_{\text{di}}$  die Verformungsenergie, die durch die seismische Einwirkung in der Komponente  $i$  hervorgerufen wird. Effektive Dämpfungsgrade können zweckmäßigerweise getrennt für jede Eigenform auf der Grundlage des entsprechenden Werts von  $E_{\text{di}}$  bestimmt werden.

(12) Für nichtlineare Analysen (siehe 5.2.3 und 5.2.3.2) sollte das Modell prEN 1998-1-1:2022, 6.2.3, entsprechen.

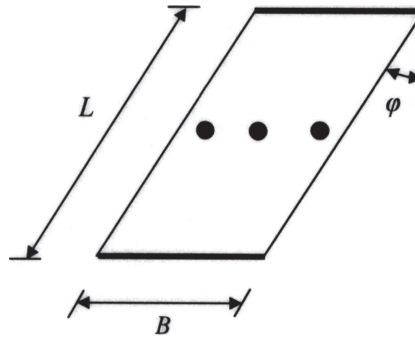
(13) Auswirkungen der Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk sollten nach prEN 1998-5:2022, 8.1(5) und (6) unter Anwendung geeigneter numerischer Modelle in Abhängigkeit von dem Analyseverfahren berücksichtigt werden, wie in prEN 1998-5:2022, 8, vorgeschrieben.

(14) In Fällen, in denen es schwierig ist, die mechanischen Eigenschaften des Bodens zuverlässig abzuschätzen, sollte die Berechnung mit den geschätzten oberen und unteren Grenzwerten durchgeführt werden. Hohe Annahmen für die Bodensteifigkeit sollten für die Berechnung der Schnittkräfte, niedrige Annahmen für die Berechnung der Verformungen angesetzt werden.

### 5.1.2 Torsionsauswirkungen um eine vertikale Achse

(1) Torsionsbewegungen der Brücke um eine vertikale Achse sollten in der Analyse schräger Brücken (Schräglaufwinkel  $\varphi > 20^\circ$ ) oder Brücken mit einem Verhältnis  $B/L > 0,5$  (Bild 5.1) verwendet werden.

ANMERKUNG Solche Brücken neigen dazu, um die vertikale Achse zu rotieren, selbst wenn der Masseschwerpunkt theoretisch mit dem Steifigkeitszentrum übereinstimmt.



### Legende

- $L$  Gesamtlänge des durchgehenden Überbaus  
 $B$  Breite des Überbaus  
 $\varphi$  Schräglaufwinkel

**Bild 5.1 — Schräge Brücke**

(2) Bei Anwendung des Seitenkraftverfahrens (siehe 5.2.2.2) für die Gestaltung schräger Brücken sollte angenommen werden, dass das durch Gleichung (5.2) gegebene äquivalente statische Moment um die vertikale Achse am Schwerpunkt des Überbaus wirkt:

$$M_t = \pm F_b e \quad (5.2)$$

Dabei ist

$F_b$  die nach Gleichung (5.14) bestimmte horizontale Kraft;

$e = e_a + e_d$ ;

$e_a = 0,03L$  oder  $0,03B$  die zufällige Exzentrizität der Masse;

$e_d = 0,1 L \sin\varphi$  oder  $0,1 B \sin\varphi$ , eine zusätzliche Exzentrizität, die die dynamische Auswirkung von gleichzeitigen Translations- und Torsionsschwingungen widerspiegelt.

(3) Für die Berechnung von  $e_a$  und  $e_d$  in (2) sollten die Längen  $L$  oder  $B$  quer zur Anregungsrichtung verwendet werden.

(4) Bei Verwendung eines dynamischen Verfahrens (Antwortspektrumsverfahren oder Antwortverlaufsanalyse) darf der dynamische Teil der Torsionserregung durch a) oder b) berücksichtigt werden:

- a) Verschiebung des Massezentrums durch die zufällige Exzentrizität  $e_a$  in der ungünstigsten Richtung und im ungünstigsten Sinn;
- b) unter Verwendung des statischen Torsionsmoments nach Gleichung (5.2).

(5) Für Brücken mit einem großen Schräglaufwinkel ( $\varphi > 45^\circ$ ), die durch Lager auf den Widerlagern gestützt werden, sollte die Abhängigkeit der horizontalen Steifigkeit der Lager von der Axialkraft genau und unter Berücksichtigung der vertikalen Reaktionen nahe der stumpfen Winkel genau modelliert werden.

**ANMERKUNG** Die ungleiche Verteilung der vertikalen Reaktionen auf die Lager bei schrägen Brücken kann nicht mit einem einzelnen Balkenmodell erfasst werden. Siehe Anmerkung zu 3.1.4.

### 5.1.3 Auswirkungen zweiter Ordnung

(1) Auswirkungen zweiter Ordnung ( $P-\Delta$  Auswirkungen) können vernachlässigt werden, wenn die durch die Gleichung (5.3) gegebene Bedingung an allen Pfeilern erfüllt wird.

$$\theta \leq 0,1 \quad (5.3)$$

Dabei ist  $\theta$  der Empfindlichkeitskoeffizient für die Verschiebung der Oberseite des Pfeilers, gegeben durch Gleichung (5.4) für den kraftbasierten Ansatz bzw. Gleichung (5.5) für den verschiebungsbasierten Ansatz.

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} d_{E,p}}{q_R q_S V_p h} \quad (5.4)$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} d_{E,p}}{V_p h} \quad (5.5)$$

Dabei ist/sind

$P_{\text{tot}}$  die gesamte auf die Oberseite des Pfeilers aufgrund der in der seismischen Analyse des Bauwerks nach 5.4 und prEN 1998-1-1:2022, 6.2.1(3) berücksichtigten Massen (einschließlich des Eigengewichts der oberen Hälfte des Pfeilers) einwirkende vertikale Kraft;

$d_{E,p}$  die Bemessungsverschiebung der Oberseite des Pfeilers in der seismischen Bemessungssituation, berechnet nach prEN 1998-1-1:2022, Gleichung (6.9) für den kraftbasierten Ansatz und entsprechend der Zielverschiebung des Einmassenschwingers, berechnet nach prEN 1998-1-1:2022, Gleichung (6.28) oder (6.29), für den verschiebungsbasierten Ansatz;

$V_p$  die auf den Pfeiler in der seismischen Bemessungssituation einwirkende Scherkraft, wie in der Analyse ermittelt;

$h$  die Höhe des Pfeilers;

$q_S$  und  $q_R$  die Komponenten des Verhaltensbeiwerts nach prEN 1998-1-1:2022, 6.4.1(1), festgelegt in 5.2.2.1.

**ANMERKUNG** Die Scherkraft  $V_p$  für den verschiebungsbasierten Ansatz beinhaltet die Auswirkung der Überfestigkeit und Umverteilung aufgrund von Redundanz, der durch  $q_S$  und  $q_R$  in dem kraftbasierten Ansatz berücksichtigt wird.

(2) Falls  $0,1 < \theta \leq 0,2$ , dürfen die Auswirkungen zweiter Ordnung ungefähr durch Multiplikation der relevanten Erdbebeneinwirkungen mit einem Faktor  $1/(1 - \theta)$  berücksichtigt werden.

(3) Falls an irgendeinem Pfeiler  $\theta > 0,2$ , sollten die Auswirkungen zweiter Ordnung direkt durch die Verwendung festgelegter Verfahren der Analyse zweiter Ordnung, die die geometrische Nichtlinearität berücksichtigen, d. h. die Beharrungszustände in dem verformten Bauwerk in Betracht ziehen, berücksichtigt werden.

(4) Der Wert von  $\theta$  sollte nicht mehr als 0,3 betragen.

**ANMERKUNG** Maßgebliche Auswirkungen zweiter Ordnung können bei Brücken mit schlanken Pfeilern und bei besonderen Brücken wie Bogen- und Schrägseilbrücken auftreten.

## 5.2 Berechnungsverfahren

### 5.2.1 Allgemeines

(1) Je nach gewähltem Verfahren sollten die entsprechenden Bestimmungen von prEN 1998-1-1:2022, 6.4 bis 6.6 angewendet werden.

(2) Die Auswirkungen der vertikalen Komponente der Erdbebeneinwirkung sollten nach 4.2.1(3) berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Fälle, in denen diese Auswirkungen vernachlässigt werden können, sind in 4.2.1(4) angegeben.

### 5.2.2 Kraftbasierter Ansatz

#### 5.2.2.1 Verhaltensbeiwerte

(1) Für DC1 darf ein Verhaltensbeiwert  $q$  gleich 1,5 für horizontale Erdbebeneinwirkungen ungeachtet des Bauwerks angewendet werden.

(2) Für DC2 und DC3 dürfen Werte für die Verhaltensbeiwert-Komponenten  $q_R$  und  $q_D$  und den Verhaltensbeiwert  $q$  für horizontale Erdbebeneinwirkungen, die nicht größer sind als in Tabelle 5.2 festgelegt, in Abhängigkeit von der Art des Bauwerks und der Duktilitätsklasse angewendet werden. Der endgültige Höchstwert von  $q$  sollte ungeachtet aller Reduzierungen in (3), (7) und (9) nicht geringer als  $q_s = 1,5$  sein.

ANMERKUNG 1 Die Verwendung von Verhaltensbeiwert-Komponenten kleiner als die maximal erlaubten in Tabelle 5.2 werden zu reduzierten Duktilitätslasten führen, was eine Reduzierung des Schadens in der Bemessungssituation unter Erdbeben impliziert. Eine solche Verwendung kann von den relevanten Dateien für ein spezifisches Projekt beschlossen werden.

ANMERKUNG 2 Die Werte von  $q$  in Tabelle 5.2 werden als Produkt der Standardwerte  $q_s$ ,  $q_R$  und  $q_D$  ermittelt, dabei wird  $q_s$  gleich 1,5 angenommen.

ANMERKUNG 3 Fließgelenke in durchgehenden Platten nach 4.3.3(7) stellen keine zuverlässige Quelle der Energieableitung dar und entsprechen nicht dem Wert von  $q_D$ .

ANMERKUNG 4 Bögen beinhalten Brücken, bei denen im Wesentlichen der Bogen der Erdbebeneinwirkung widersteht, was zu einer hohen gesamten (Schwerkraft und seismische Einwirkungen) Stauchung führt, die die Duktilität einschränkt (aufgrund der hohen Betonstauchung in Stahlbetonbögen oder Beulen in Stahlrohrbögen).

**Tabelle 5.2 — Höchstwerte des Verhaltensbeiwerts  $q$  für horizontale Erdbebeneinwirkungen (für DC2 und DC3)**

| Typ des duktilen Bauteils                                                                                                                                        | $q_R$ | $q_D$             |                   | $q = q_s q_R q_D$ |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                  |       | DC2               | DC3               | DC2               | DC3               |
| <b>Stahlbetonpfeiler:</b>                                                                                                                                        |       |                   |                   |                   |                   |
| Mehrere doppelt biegende vertikale Pfeiler<br>(d. h. mehr als ein monolithisch verbundener Pfeiler in Längsrichtung oder Mehrfachsäulen-Pfeiler in Querrichtung) | 1,2   | $1,3\lambda(a_s)$ | $2,0\lambda(a_s)$ | $2,3\lambda(a_s)$ | $3,6\lambda(a_s)$ |
| Mehrere einfach biegende vertikale Pfeiler<br>(d. h. mehr als ein durch Bolzen verbundener Pfeiler in Längsrichtung oder Einfachsäulen-Pfeiler in Querrichtung)  | 1,0   | $1,3\lambda(a_s)$ | $2,0\lambda(a_s)$ | $2,0\lambda(a_s)$ | $3,0\lambda(a_s)$ |
| Geneigte Streben bei Biegung                                                                                                                                     | 1,1   | $1,0\lambda(a_s)$ | $1,3\lambda(a_s)$ | $1,6\lambda(a_s)$ | $2,1\lambda(a_s)$ |

| Typ des duktilen Bauteils                         | $q_R$ | $q_D$ |     | $q = q_S q_R q_D$ |     |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-----|-------------------|-----|
|                                                   |       | DC2   | DC3 | DC2               | DC3 |
| <b>Stahlpfeiler:</b>                              |       |       |     |                   |     |
| Vertikale Pfeiler bei Biegung                     | 1,1   | 1,3   | 2,2 | 2,1               | 3,6 |
| Geneigte Streben bei Biegung                      | 1,1   | 1,0   | 1,2 | 1,6               | 2,0 |
| Pfeiler mit normalen Verbänden                    | 1,1   | 1,1   | 1,5 | 1,8               | 2,5 |
| Pfeiler mit exzentrischen Verbänden               | 1,3   | 1,3   | 2,2 | 2,1               | 3,6 |
| <b>Am Überbau eingespannte Widerlager:</b>        |       |       |     |                   |     |
| Im Allgemeinen                                    | 1,1   | 1,0   | 1,1 | 1,6               | 1,8 |
| Brücken mit integriertem Widerlager<br>(siehe 10) | 1,0   | 1,0   | 1,0 | 1,5               | 1,5 |
| <b>Bögen</b>                                      | 1,1   | 1,0   | 1,2 | 1,6               | 2,0 |

(3) Der Faktor  $\lambda(a_s)$  in Tabelle 5.2 sollte der Festlegung durch Gleichung (5.6) entsprechen.

$$\lambda(a_s) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{3}} & \text{if } a_s < 1 \\ \sqrt{\frac{a_s}{3}} & \text{if } 3 > a_s \geq 1 \\ 1 & \text{if } a_s \geq 3 \end{cases} \quad (5.6)$$

Dabei ist  $a_s = L_v/h$  das Scher-Stützweiten-Verhältnis, das Verhältnis zwischen dem Abstand zwischen dem Fließgelenk und dem Punkt des Nullmoments und der Querschnittshöhe in der Verformungsebene.

(4) In DC2 und DC3 sollten die Mindestwerte von  $a_s$  für Stahlbetonpfeiler mit rechteckigem Querschnitt genutzt werden, wenn die Stauchungszone eine dreieckige Form unter der Erdbebeneinwirkung in der betrachteten globalen Richtung hat.

**ANMERKUNG** Die Stauchungszone hat eine dreieckige Form in rechteckigen Querschnitten, wenn z. B. die Achsen des Pfeilers im Verhältnis zur betrachteten Richtung gedreht werden, wie etwa bei schrägen oder gekrümmten Brücken.

(5) Während die Duktilitätsklasse für die Brücke eindeutig ist, können nach 4.3.6(3) bei geraden Brücken (weder gekrümmt noch schräg) verschiedene Werte des Verhaltensbeiwerts  $q$  in jeder der beiden horizontalen Richtungen angewendet werden.

**ANMERKUNG 1** 4.3.6(2) impliziert, dass der niedrigere Wert von  $q$  der primären Bauteile für die DC im allgemeinen Fall einer gekrümmten oder schrägen Brücke maßgeblich ist, wenn unterschiedliche Duktilität in verschiedene Richtungen für jeden Stützpfiler vorhanden ist. Wenn die Brücke gerade ist, kann eine Ausnahme gemacht und der höhere Wert von  $q$  in Richtung der höheren verfügbaren Duktilität und der geringere Wert von  $q$  in der orthogonalen, weniger duktilen Richtung angewendet werden.

**ANMERKUNG 2** Dies kann bei Stahlbeton-Wandpfeilern oder einigen Arten von Holzpfeilern der Fall sein, die ein deutlich anderes Verhalten und eine andere Duktilität in zwei Richtungen aufweisen.

(6) Falls eine Brücke verschiedene Arten duktiler Bauteile aufweist, sollte der Verhaltensbeiwert  $q$  entsprechend der Typgruppe (d. h. Gruppe) mit dem größten Beitrag zur horizontalen Scherung des Sockels verwendet werden.

(7) Wenn die Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk nach 5.1.1(13) berücksichtigt wird, sollte ein Wert  $q_{D,SSI}$  nach prEN 1998-1-1:2022, 6.4.1(5) berechnet werden.

ANMERKUNG Die Verformung des Boden-Fundament-Systems absorbiert einen Teil der gesamten Verformung und reduziert so den unelastischen Teil des Bauwerks und somit die abgeleitete Energie nach  $q_D$ .

(8) Für Stahlbeton-Bauteile sollten die in Tabelle 5.2 angegebenen Höchstwerte der  $q$ -Faktoren nur angewendet werden, wenn die normalisierte Axialkraft  $\eta_k$  nach Gleichung (5.7) nicht mehr als 0,30 beträgt.

$$\eta_k = N_{Ed} / (A_c f_{ck}) \quad (5.7)$$

Dabei ist/sind

$N_{Ed}$  der Wert der Axialkraft in der Erdbeben-Bemessungssituation für die Fließgelenke, positiv bei Druck;

$A_c$  die Betonfläche des Querschnitts;

$f_{ck}$  die charakteristische Betonfestigkeit.

(9) Falls auch bei einem einzelnen duktilen Bauteil  $0,30 < \eta_k \leq 0,60$ , ist, sollte der Wert von  $q_D$  reduziert werden auf:

$$q_{D,N} = q_D - \frac{\eta_k - 0,3}{0,3} (q_D - 1) \quad (5.8)$$

Dabei ist  $\eta_k$  der größte Wert der normalisierten Axialkraft unter den primären seismischen Bauteilen.

(10) Für Brücken, bei denen das die seismische Kraft aufnehmende System Bauteile mit  $\eta_k > 0,6$  enthält, sollte ein Wert für  $q_{D,N} = 1,0$  (elastisches Verhalten) verwendet werden.

(11) Reduzierungen von  $q_D$  aufgrund der Axialkraft nach (9) oder der Flexibilität der Gründung nach (7) sollten kumuliert werden, wenn beide erforderlich sind. In diesem Fall sollte der reduzierte Wert  $q'_D$  als Produkt aus  $q_D$  und den Verhältnissen  $q_{D,SSI}/q_D$  und  $q_{D,N}/q_D$ , die unabhängig nach (7) und (9) berechnet werden, ermittelt werden.

(12) Die Höchstwerte des  $q$ -Faktors für DC2 und DC3 aus Tabelle 5.2 können nur verwendet werden, wenn die Stellen aller relevanten Fließgelenke für Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten zugänglich sind. Andernfalls sollten die Werte wie durch Gleichung (5.9) gegeben reduziert werden.

$$q' = 0,6q \geq q_s \quad (5.9)$$

ANMERKUNG Der Begriff „zugänglich“, wie im obigen Absatz verwendet, bedeutet „zugänglich auch unter zumutbaren Schwierigkeiten“. Der Fuß eines Brückenpfeilers in einer Hinterfüllung wird als „zugänglich“ betrachtet, auch bei einer erheblichen Tiefe. Im Gegensatz dazu werden der Fuß eines Brückenpfeilers in tiefem Wasser oder Pfahlköpfe unterhalb einer großen Pfahlkopfplatte nicht als „zugänglich“ angesehen.

(13) Brücken, bei denen der Hauptteil der Bemessungserdbebeneinwirkung durch Elastomerlager aufgenommen wird, sollten nach Abschnitt 8 gestaltet werden.

ANMERKUNG Generell werden keine plastischen Gelenke in Pfeilern entstehen, die in der vorgesehenen Richtung biegsam mit dem Überbau verbunden sind. Eine ähnliche Situation entsteht bei einzelnen Pfeilern mit sehr geringer Steifigkeit im Verhältnis zu den anderen Pfeilern (siehe 4.3.2(1)). Solche Bauteile leisten einen vernachlässigbaren Beitrag zum Widerstand gegen die Erdbebeneinwirkung und beeinflussen daher nicht den Wert des  $q$ -Faktors (siehe (6)).

(14) Der Verhaltensbeiwert für die Analyse in vertikaler Richtung sollte nach prEN 1998-1-1:2022, 6.4.1(6) und (7) festgelegt werden.

(15) Für die Anwendung des kraftbasierten Ansatzes sollte angenommen werden, dass eine Brücke ein reguläres seismisches Verhalten in der betrachteten horizontalen Richtung aufweist, wenn die durch die Gleichung (5.10) gegebene Bedingung erfüllt ist.

$$\rho = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} \leq \rho_o \quad (5.10)$$

Dabei ist

$\rho_o = 2,0$  ein Grenzwert, der so gewählt wird, dass gesichert ist, dass das sequenzielle Fließen der duktilen Bauteile keine inakzeptabel hohe Duktilitätslast für ein einzelnes Bauteil verursacht;

$r_{\min}$  der Höchstwert von  $r_i$  unter allen duktilen Bauteilen  $i$ ;

$r_{\max}$  der Höchstwert von  $r_i$  unter allen duktilen Bauteilen  $i$ ;

$r_i$  durch die Gleichung (5.11) gegeben.

$$r_i = q \frac{M_{\text{Ed},i}}{M_{\text{Rd},i}} \quad (5.11)$$

Dabei ist

$M_{\text{Ed},i}$  der Höchstwert des Bemessungsmoments an der Stelle des vorgesehenen Fließgelenks des duktilen Bauteils  $i$ , wie aus der Analyse für die seismische Bemessungssituation abgeleitet

$M_{\text{Rd},i}$  der Bemessungsbiegezugwiderstand desselben Abschnitts mit seiner tatsächlichen Bewehrung unter der gleichzeitigen Axiallast in der seismischen Bemessungssituation.

ANMERKUNG 1 Da  $M_{\text{Ed},i} \leq M_{\text{Rd},i}$ , folgt, dass  $r_i \leq q$ .

ANMERKUNG 2 Wenn bei einer regulären Brücke der Maximalwert  $r_i$  von allen duktilen Bauteilen,  $r_i$ , erheblich kleiner ist als  $q$ , kann die Bemessung die erlaubten maximalen  $q$ -Werte nicht völlig ausnutzen. Wenn  $r_{\max} = 1,0$  ist, reagiert die Brücke elastisch zum betrachteten Bemessungserdbeben.

(16) Ein oder mehrere duktile Bauteile (Pfeiler) können von der Berechnung von  $r_{\min}$  und  $r_{\max}$  nach (15) ausgenommen werden, wenn ihr Schubbeitrag 20 % des gesamten seismischen Schubs in der betrachteten horizontalen Richtung nicht übersteigt.

(17) Brücken, die der Gleichung (5.10) nicht entsprechen, sollten in der betreffenden horizontalen Richtung als Brücken mit irregulärem seismischem Verhalten betrachtet werden. Solche Brücken sollten entweder mit einem reduzierten  $q$ -Wert aus der Gleichung (5.12) oder auf der Grundlage der Ergebnisse einer nichtlinearen Analyse nach 5.2.3.2 oder, sofern zutreffend, 5.2.3 gestaltet werden.

$$q' = q \frac{\rho_o}{\rho} \geq q_s \quad (5.12)$$

ANMERKUNG Bei Brücken mit irregulärem seismischem Verhalten kann das sequenzielle Fließen der duktilen Bauteile (Pfeiler) wesentliche Abweichungen der Ergebnisse der für den kraftbasierten Ansatz durchgeführten linearen Analyse mit einem reduzierten Spektrum gegenüber den Spektren der nichtlinearen Antwort des Brückenbauwerks verursachen. Die Abweichungen sind hauptsächlich geschuldet: a) den Fließgelenken, die zuerst entstehen und üblicherweise maximale postelastische Dehnungen verursachen, die zu einer Konzentration inakzeptabel hoher Duktilitätslasten in diesen Gelenken führen können, b) der Tatsache, dass nach der Bildung der ersten Fließgelenke (üblicherweise in steiferen Bauteilen) sich die Verteilung der Steifigkeit und somit der Kräfte gegenüber Vorhersage der linearen Analyse ändern können. Dies kann zu einer wesentlichen Veränderung des angenommenen Verteilungsmusters der plastischen Gelenke führen.

### 5.2.2.2 Seitenkraftverfahren

(1) Das Verfahren, das aus der Anwendung eines Systems statischer Kräfte in Längs- und Querrichtung besteht, darf auf Brücken angewendet werden, deren Antwort nicht wesentlich von den Beiträgen aus höheren Schwingungsmodi als den Grundschrwingungen in jeder betrachteten Richtung beeinflusst wird. Diese Bedingung kann in den Fällen a) bis d) als erfüllt angesehen werden:

- a) In Längsrichtung von Brücken mit durchgehendem geradem Überbau, wenn die seismischen Kräfte von Pfeilern aufgenommen werden, deren Gesamtmasse weniger als 20 % der Überbaumasse beträgt.
- b) In Querrichtung von Fall (a), wenn die theoretische Exzentrizität  $e_o$  zwischen dem Steifigkeitsmittelpunkt der stützenden Bauteile und dem Massenmittelpunkt des Überbaus 5 % der Überbaulänge ( $L$ ) nicht übersteigt.
- c) Im Fall von Pfeilern, die Einfeldbalken tragen, falls keine bedeutsame Interaktion zwischen den Pfeilern erwartet wird und die Gesamtmasse jedes Pfeilers weniger als 20 % der anteiligen Überbaumasse beträgt.
- d) Wenn die anhand der Gleichung (5.13) bestimmte äquivalente modale Masse  $M_1$  mehr als 70 % der gesamten Brückenmasse über den Gründungen beträgt.

$$M_1 = \frac{(\sum m_i s_i)^2}{\sum m_i s_i^2} \geq 0,7M \quad (5.13)$$

Dabei ist

$m_i$  die Masse über dem  $i$ -ten Auflager (einschließlich der Hälfte der Masse des Pfeilers);

$s_i$  die Verschiebung in Metern über dem  $i$ -ten Auflager in der betrachteten Richtung, wenn eine horizontale Kraft entsprechend der Schwerkraftbeschleunigung von  $9,81 \text{ m/s}^2$  in diese Richtung auf das Bauwerk einwirkt;

$M$  die Gesamtmasse der Brücke oberhalb der Gründungen.

ANMERKUNG Überbauten, die nicht nach 3.1.11 gekrümmt sind, gelten als gerade.

(2) Die seismische Grundscherkraft  $F_b$  für jede horizontale Richtung sollte durch die Gleichung (5.14) bestimmt werden.

$$F_b = \sum m_i S_r(T_1) \quad (5.14)$$

Dabei ist

$S_r(T_1)$  die Ordinate des reduzierten Spektrums (prEN 1998-1-1:2022, 6.4.1) bei der Periode  $T_1$ ;

$T_1$  die Grundschrwingungsdauer in der betrachteten Richtung.

(3) Sofern keine genauere Berechnung durchgeführt wird, kann die Grundschrwingungsdauer des Bauwerks in horizontaler Richtung durch den Rayleigh-Quotienten unter Verwendung eines generalisierten Einmassenschwinger-Systems nach Gleichung (5.15) bestimmt werden.

$$T_1 = 2 \sqrt{\frac{\sum m_i s_i^2}{\sum m_i s_i}} \quad (5.15)$$

(4) Die Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung sollten durch Anwendung der anhand der Gleichung (5.16) berechneten horizontalen Kräfte  $F_i$  in jede Richtung bestimmt werden.

$$F_i = F_b \frac{m_i s_i}{\sum_j m_j s_j} \quad (5.16)$$

(5) Die Verformung des Überbaus in einer horizontalen Ebene ist in der Bemessungssituation unter Erdbeben in Querrichtung im Vergleich zu den horizontalen Verschiebungen der Oberseiten der Pfeiler vernachlässigbar, d. h. es kann angenommen werden, dass der Überbau starr ist, wenn entweder a) oder b) gilt:

- a)  $L/B \leq 4,0$ ;
- b)  $\Delta d/d_m < 0,2$ .

Dabei ist

$\Delta d$  =  $\max(d_i - d_j)$  die maximale Differenz der Verschiebung zwischen zwei beliebigen Oberseiten von Pfeilern unter einer gleichmäßig verteilten Querlast auf dem Überbau;

$d_m$  die mittlere Verschiebung der Oberseite des Pfeilers unter derselben Last.

ANMERKUNG Die Bedingung des starren Überbaus ist für die Längsrichtung bei annähernd geraden Brücken mit durchgehendem Überbau immer erfüllt.

(6) Wenn ein starrer Überbau nach (5) angenommen wird, darf die Grundswingungsdauer  $T_1$  in jede Richtung anhand der Gleichung (5.17) berechnet werden.

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_i m_i}{\sum_i k_i}} \quad (5.17)$$

Dabei ist  $k_i$  die Steifigkeit des  $i$ -ten Auflagers.

(7) Wenn ein starrer Überbau nach (5) angenommen werden darf, darf die gesamte Grundscherkraft  $F_b$  proportional zur Verteilung der Massen nach Gleichung (5.18) entlang des Überbaus verteilt sein.

$$F_i = F_b \frac{m_i}{\sum_j m_j} \quad (5.18)$$

(8) Wenn Torsionsauswirkungen in Querrichtung (Rotation um die vertikale Achse) nach 5.1.2 enthalten sind, dürfen sie durch Anwendung eines statischen Torsionsmoments  $M_t$  nach Gleichung (5.2), das auf die tragenden Bauteile verteilt werden darf, als wäre der Überbau steif, geschätzt werden, egal ob der Überbau starr ist oder nicht.

(9) Die auf den  $i$ -ten Pfeiler einwirkenden Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung dürfen durch Anwendung einer statischen Kraft nach Gleichung (5.19) berechnet werden, sofern Gleichung (5.20) für alle angrenzenden Pfeiler  $i$  und  $i+1$  erfüllt wird.

$$F_i = m_i S_r(T_i) \quad (5.19)$$

$$0,9 \leq \frac{T_i}{T_{i+1}} \leq 1,1 \quad (5.20)$$

dabei ist  $T_i$  die Grundswingungsdauer des  $i$ -ten Pfeilers, unabhängig von dem Rest der Brücke betrachtet und durch die Gleichung (5.21) gegeben.

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{m_i}{k_i}} \quad (5.21)$$

(10) Durch eine reduzierte Erdbebeneinwirkung induzierte Verschiebungen, die zur Berechnung der statischen Kräfte verwendet werden, sollten nach prEN 1998-1-1:2022, 6.4.2, berechnet.

(11) Die Kombination der Komponenten der Erdbebeneinwirkung sollte prEN 1998-1-1:2022, 6.4.4, entsprechen.

### 5.2.2.3 Antwortspektrumsverfahren

(1) Die Antwortspektrumsanalyse sollte prEN 1998-1-1:2022, 6.4.3, entsprechen.

### 5.2.3 Verschiebungsbasierter Ansatz

#### 5.2.3.1 Nichtlineare statische Analyse

(1) Die nichtlineare statische Analyse sollte nach prEN 1998-1-1:2022, 6.5, durchgeführt werden.

(2) Außer wie in (3) angegeben, sollte die nichtlineare statische Analyse nicht in den in a) und b) gegebenen Fällen angewendet werden:

- a) wenn der Grundswingungsmodus in der betrachteten Richtung eine effektive modale Masse von weniger als 60 % hat;
- b) für gekrümmte Brücken entsprechend 5.2.2.2(1).

**ANMERKUNG** Die nichtlineare statische (Pushover) Einzelmodusanalyse führt zu realistischen Ergebnissen, wenn die Antwort der Struktur auf horizontale Erdbebeneinwirkung angemessen durch ein allgemeines Einmassenschwinger-System geschätzt werden kann. Wenn man annimmt, dass die Auswirkung der Pfeilmassen von untergeordneter Bedeutung ist, gilt obige Bedingung immer für die Längsrichtung von annähernd geraden Brücken. Die Bedingung gilt auch in Querrichtung, wenn die Steifigkeitsverteilung der Pfeiler entlang der Brücke eine annähernd gleichförmige Abstützung eines relativ starren Überbaus bewirkt. Das ist der häufigste Fall bei Brücken, bei denen die Höhe der Pfeiler in Richtung der Widerlager abnimmt oder sich nicht stark ändert. Wenn jedoch die Brücke einen steiferen und unnachgiebigen Pfeiler hat, der sich zwischen Gruppen regulärer Pfeiler befindet, kann das System in Querrichtung nicht durch einen Einmassenschwinger modelliert werden und die Pushover-Berechnung könnte zu unrealistischen Ergebnissen führen. Eine ähnliche Ausnahme gilt für lange Brücken, wenn sehr steife Pfeiler zwischen Gruppen von regulären Pfeilern stehen, oder bei Brücken, bei denen die Masse von einigen Pfeilern eine erhebliche Auswirkung auf das dynamische Verhalten in eine der beiden Richtungen hat. Soweit möglich und förderlich, können solche irregulären Anordnungen vermieden werden, z. B. indem eine Gleitverbindung zwischen dem Überbau und den Pfeilern, die die Irregularität verursachen, vorgesehen wird.

(3) Alternativ zu (2) dürfen nichtlineare statische Analyseverfahren, die die Antwort höherer Modi berücksichtigen, verwendet werden.

**ANMERKUNG** Modale Pushover-Verfahren bestehen aus einer Wiederholung von Mustern höherer Ordnung der standardmäßigen nichtlinearen statischen Analyse in prEN 1998-1-1:2022, 6.5. Diese Verfahren werden nicht in dieser Norm behandelt.

(4) Die nichtlineare statische Analyse sollte in Längs- und Querrichtung der Brücke durchgeführt werden.

(5) Der Kontrollknoten (Bezugspunkt) sollte als der Knoten mit der maximalen modalen Ordinate für den betrachteten Modus nach prEN 1998-1-1:2022, 6.5.2(4), gewählt werden (d. h. der Knoten mit der größten effektiven modalen Masse in der betrachteten Richtung).

#### 5.2.3.2 Antwortverlaufsanalyse

(1) Die Wahl der Anzahl und Art der Eingangsbewegungen sowie die Berechnung der Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung sollten prEN 1998-1-1:2022, 6.6, entsprechen.

(2) Die Komponenten der Bewegung sollten gleichzeitig nach prEN 1998-1-1:2022, 6.3(1), angewendet werden.

(3) Die Modellierung sollte 5.1 (insbesondere 5.1.1(12)) entsprechen.

ANMERKUNG 1 Zusätzliche Modellierungsregeln für Schrägseilbrücken und Brücken mit konzentrischen Innen- und Außenflächen und Brücken mit fugenlosen Widerlagern sind in 9.3 bzw. Anhang D enthalten.

ANMERKUNG 2 Die Antwortverlaufsanalyse kann außerdem an einem linearen Modell ausgeführt werden, um Brücken zu gestalten, die dafür vorgesehen sind, im elastischen Bereich zu reagieren.

### 5.3 Analyseverfahren unter Berücksichtigung der räumlichen Veränderlichkeit der Bodenbewegung

#### 5.3.1 Allgemeines

(1) Die Analyse sollte die räumliche Veränderlichkeit der Bodenbewegung unter Erdbeben nach Tabelle 5.3 berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Die räumliche Veränderlichkeit der Bodenbewegung ist a) Schwankungen der bodenmechanischen Eigenschaften entlang der Brücke, die zu unterschiedlichen Standortauswirkungen führen, die die Amplitude, Phase, und den Frequenzgehalt zwischen verschiedenen Auflagern einschließlich Widerlagern verändern, und b) den Ausbreitungseigenschaften der seismischen Wellen (Wellendurchgang) sowie dem progressiven Verlust der Korrelation zwischen Bewegungen an verschiedenen Standorten aufgrund der zufälligen Inhomogenität des Bodens einschließlich komplexer Reflexionen, Refraktionen und Überlagerungen seismischer Wellen geschuldet.

ANMERKUNG 2 Wenn die Brücke und die Spannweiten kurz sind, sind der Wellendurchgang und der Kohärenzverlust in relativer Hinsicht weniger bedeutend. Wenn der Boden gleichförmig ist, ist die räumliche Veränderlichkeit nicht signifikant, andernfalls ist sie hauptsächlich unterschiedlichen Standortauswirkungen geschuldet. Bei längeren Brücken und Spannweiten sind der Wellendurchgang und der Kohärenzverlust bedeutend und die Verstärkung der lokalen Strukturantwort tritt in einer insgesamt vorteilhaften Reduzierung der mittleren Antwort aufgrund der Erregung von andernfalls nicht erregten höheren Modi auf.

**Tabelle 5.3 — Analysetyp für die Erregung mehrerer Auflager**

| Bodenbedingungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Brücke und Spannlänge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Kurze bis mittlere Länge ( $L \leq L_{lim}$ ) und maximale Spannlänge zwischen angrenzenden Pfeilern $L_{kl} < 50$ m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Lange Brücke ( $L > L_{lim}$ ) oder maximale Stützweite zwischen zwei aufeinander folgenden Pfeilern $L_{kl} > 50$ m (für Brücken mit zwei oder mehr Stützweiten)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Die maximale und minimale mittlere Scherwellengeschwindigkeit $V_{s,H}$ der Bodenprofile unter den Brückenauflagern (Pfeiler und Widerlager) weichen nicht um mehr als 200 m/s ab                                                                                                                                                     | Die räumliche Veränderlichkeit muss nicht berücksichtigt werden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Vereinfachtes Erregungsverfahren im höheren Modus (5.3.1)<br><br>Alternativ kann das vereinfachte Analyseverfahren der Erregung im höheren Modus ausgelassen werden, wenn eine Erhöhung von 20 % auf alle Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung <sup>a</sup> aus einer regulären gleichförmigen Erregungsanalyse angewendet werden (z. B. Antwortspektrums-Verfahren)                                                                                                                |
| Die maximale und minimale Scherwellengeschwindigkeit $V_{s,H}$ der Bodenprofile unter den Auflagern (Pfeiler und Widerlager) weichen um mehr als 200 m/s ab und die Taltiefe entlang der Brücke $h < 100$ m.                                                                                                                          | Vereinfachte Antwortverlaufsanalyse für mehrere Auflager mit Bestimmung der Bodenbewegungen an den Auflagern durch einen gemeinsamen Beitrag am Felsen und separaten 1D-Standortantwortanalysen an jedem Auflager (5.3.2)<br><br>Alternativ kann die 1D-Standortantwortanalyse ausgelassen werden, wenn eine Erhöhung von 20 % auf alle Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung <sup>a</sup> aus einer regulären gleichförmigen Erregungsanalyse angewendet wird (z. B. Antwortspektrums-Verfahren) | Antwortverlaufsanalyse für mehrere Auflager mit Bodenbewegungen, die dem Modell der räumlichen Veränderlichkeit (5.3.3(1)) entsprechen oder<br><br>Antwortspektrum für mehrere Auflager (5.3.3(2))<br><br>Alternativ kann die Antwortanalyse für mehrere Auflager ausgelassen werden, wenn eine Erhöhung von 30 % auf alle Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung <sup>a</sup> aus einer regulären gleichförmigen Erregungsanalyse angewendet wird (z. B. Antwortspektrums-Verfahren) |
| Die maximale und minimale Scherwellengeschwindigkeit $V_{s,H}$ der Bodenprofile unter den Auflagern (Pfeiler und Widerlager) weichen um mehr als 200 m/s ab und die Taltiefe entlang der Brücke $h \geq 100$ m                                                                                                                        | Antwortverlaufsanalyse mit räumlich veränderlichen Bodenbewegungen mithilfe der 2D/3D-Standortantwortanalyse oder<br><br>Alternativ kann die 2D/3D-Standortantwortanalyse bei Anwendung einer 1D-Standortantwortanalyse je Auflager ausgelassen werden, wenn eine Erhöhung von 30 % auf alle Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung <sup>a</sup> aus einer regulären gleichförmigen Erregungsanalyse angewendet wird (z. B. Antwortspektrums-Verfahren)                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <sup>a</sup> Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung beinhalten allgemeine Beanspruchungen sowie allgemeine Verformungen. Letztere beinhalten relative Verschiebungen an den Knoten des Überbaus und Auflagern, die erhöht werden sollten, um ein Herunterfallen vom Auflager durch räumlich veränderliche Bodenbewegungen zu verhindern. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**ANMERKUNG** Es ist jederzeit möglich, eine Analyse unter Anwendung einer gleichförmigen Erregung durchzuführen und die Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung je nach erwartetem Schweregrad der lokalen Erhöhung aufgrund der räumlichen Veränderlichkeit der Bodenbewegung zu erhöhen.

### 5.3.2 Lange Brücken auf gleichförmigem Boden

(1) Für lange Brücken auf gleichförmigem Boden nach Tabelle 5.3 darf ein vereinfachtes Erregungsverfahren in einem höheren Modus angewendet werden.

ANMERKUNG Das Verfahren berücksichtigt die Hauptauswirkung der räumlichen Veränderlichkeit auf die Antwort langer Brücken auf gleichförmigem Boden, d. h. die Erregung höherer Modi mit einer ungeraden Anzahl von Inflektionspunkten in dem Überbau (quasi-antisymmetrisch), die zu einer lokalen Erhöhung der Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung in einigen Auflagern aufgrund des Wellendurchgangs und des Kohärenzverlusts führt. Modi mit einer ungeraden Anzahl an Inflektionspunkten im Überbau sind durch eine reduzierte Beteiligung unter gleichförmiger Erregung charakterisiert, da sie ungefähr gleiche Mengen an Masse in entgegengesetzte Richtungen bewegen. Sie werden durch räumlich veränderliche Bodenbewegungen erregt. Diese Modi wären nur in einer idealen, perfekt symmetrischen Brücke antisymmetrisch.

(2) Wenn ein vereinfachtes Erregungsverfahren in einem höheren Modus verwendet wird, sollten die Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung anhand der Gleichung (5.22) als SRSS-Kombination des durch das Antwortspektrumsverfahrens (5.2.2.3) oder die Antwortverlaufsanalyse (5.2.3.2) mit gleichförmiger Erregung (entsprechend des gleichförmigen Standortbedingung unter den Auflagern) ermittelten Beitrags aufgrund der gleichförmigen Erregung  $E_{d,u}$  und des Beitrags der höheren quasi-antisymmetrischen Modi  $E_{d,i}$  berechnet werden.

$$E_d = \sqrt{E_{d,u}^2 + \sum_i E_{d,i}^2} \quad (5.22)$$

(3) Der Beitrag der höheren quasi-antisymmetrischen Modi  $E_{d,i}$  sollte durch Anwendung statischer Kräfte nach Gleichung (5.23) für die ersten und zweiten quasi-antisymmetrischen Modi ( $i = 1, 2$ ) berechnet werden.

$$F_i = (\overline{SF}_i - 1) \Gamma_i S_e(T_i) M \phi_i \quad (5.23)$$

Dabei ist

$F_i$  der Vektor der statischen Kräfte für den  $i$ -ten quasi-antisymmetrischen Modus;

$T_i$  die  $i$ -te modale Periode aus der modalen Analyse;

$M$  die Massenmatrix;

$\phi_i$  die  $i$ -te Modalform aus der Modalanalyse;

$\Gamma_i = \sum_{k=1}^{N_s} \Gamma_{ik}$  der  $i$ -te modale Beteiligungsfaktor aufgrund räumlich veränderlicher Erregung in  $N_s$  statischen Modi, berechnet als Summe der Beteiligungsfaktoren des  $i$ -ten Modus aufgrund jedes einzelnen statischen Modus nach (4);

$\overline{SF}_i$  Ein Modusverstärkungsfaktor, der als 4,0 und 2,0 für den ersten bzw. zweiten quasi-antisymmetrischen Modus angenommen wird.

ANMERKUNG Das Produkt  $\Gamma_i S_e(T_i) M \phi_i$  stellt die modalen Kräfte aufgrund des  $i$ -ten Modus dar. Sie stimmen nicht mit den aus einer gleichförmigen Erregung resultierenden Kräften überein, was dem unterschiedlichen Wert des Beteiligungsfaktors  $\Gamma_i$  geschuldet ist.

(4) Der  $i$ -te Beteiligungsfaktor in dem  $k$ -ten statischen Modus darf anhand der Gleichung (5.24) bewertet werden.

$$\Gamma_{ik} = \frac{\phi_i^T M r_k}{\phi_i^T M \phi_i} \quad (5.24)$$

Dabei ist  $r_k$  der Säulenvektor, der den  $k$ -ten statischen Modus, d. h. die Verschiebungen, die durch eine statische Analyse unter einer Einheitsverschiebung entlang der betrachteten Richtung an dem  $k$ -ten von  $N_s$  Brückenauflägern berechnet werden, erfasst.

**ANMERKUNG** Der Vektor  $r_k$  hat die gleiche Dimension der Modusformen  $\phi_i$ . Bei Modellen mit vielen Freiheitsgraden (z. B. aufgrund einer verfeinerten Beschreibung des Überbaus) empfiehlt es sich, zum Zweck der Berechnung von  $\Gamma_{ik}$   $r_k$  unter Bezugnahme nur auf  $N_s$  uneingeschränkte Freiheitsgrade, identifiziert auf dem Überbau, einschließlich einem Freiheitsgrad je Auflager und anderen charakteristischen Orten, die zur Beschreibung der verformten Form des Überbaus erforderlich sind, zu bewerten und einen Teilvektor von  $\phi_i$  an denselben  $N_s$  Standorten zu berücksichtigen.

### **5.3.3 Brücke mit kurzer bis mittlerer Länge auf nicht-gleichförmigem Boden**

(1) Für Brücken mit kurzer bis mittlerer Länge auf nicht-gleichförmigem Boden nach Tabelle 5.3 darf ein vereinfachtes Antwortverlaufsverfahren angewendet werden, wenn seismische Eingangsbewegungen an Auflagern aus der Antwort der entsprechenden Bodenprofile auf einen gemeinsamen Beitrag bei  $H_{800}$  nach prEN 1998-1-1:2022, 5.1.2 abgeleitet werden.

**ANMERKUNG** Aus praktischer Sicht kann eine Anwendung verschiedener Bewegungen an den Auflagern nicht wie im Fall der gleichförmigen Erregung erfolgen, was eine Beschleunigungszeitreihe an dem Sockel in jeder Richtung vorschreibt. Die Bewegung an jedem Auflager wird stattdessen als Verschiebungszeitreihe in jeder Richtung auferlegt (wie eine zeitlich variierende Setzung). Die Verschiebungsantwort ist daher eine absolute und keine relative Antwort (auf das Auflager).

(2) Die Auswahl der Bodenbewegung am Fels sollte prEN 1998-1-1 :2022 unter Annahme der Bodenklasse A entsprechen.

### **5.3.4 Lange Brücken auf nicht-gleichförmigem Boden**

(1) Für lange Brücken auf nicht-gleichförmigem Boden nach Tabelle 5.3 sollte eine vollständige Antwortverlaufsanalyse mit räumlich veränderlichen Bodenbewegungszeitreihen angewendet werden.

**ANMERKUNG 1** Dieses Verfahren wird nicht in dieser Norm behandelt.

**ANMERKUNG 2** Aus betrieblicher Sicht unterscheidet sich dieses Verfahren nicht von dem in 5.3.2 beschriebenen vereinfachten Antwortverfahren. Die Eingangs-Bodenbewegungszeitreihen sind jedoch anders, da sie die Veränderung der Bewegung aufgrund unterschiedlicher Bodenprofile durch die Auswirkungen des Wellendurchgangs und des Kohärenzverlusts widerspiegeln müssen. Bewegungen dieser Art können z. B. a) durch die Auswahl aufgezeichneter Bodenbewegungen an einem Auflager (z. B. einem Widerlager) nach prEN 1998-1-1:2022, Anhang C, und anschließender Modifizierung, um Eingangsbewegungen an den anderen Auflagern zu erhalten, die mit dem lokalen Frequenzgehalt an jedem Auflager und unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Wellendurchgangs und des Kohärenzverlusts oder b) durch die Erzeugung eines Zufallsvektor-Prozessmodells erzielt werden. Die Modifikation echter Bewegungen oder die Erzeugung künstlicher Bewegungen wird in dieser Norm nicht behandelt.

(2) Alternativ darf das Antwortspektrumsverfahren für mehrere Auflager (MSRS) nach (3) bis (6) verwendet werden.

(3) Wenn das MSRS-Verfahren angewendet wird, sollten die Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung als geeignete Kombination aus ihrem quasi-statischen Teil  $E_d^S$  und dem dynamischen Teil  $E_d^D$  nach Gleichung (5.25) ermittelt werden.

$$E_d = \sqrt{(E_d^S)^2 + (E_d^D)^2} \quad (5.25)$$

(4) Der quasi-statische Teil der Auswirkung der Erdbebeneinwirkung kann anhand der Gleichung (5.26) berechnet werden.

$$E_d^S = \sqrt{\sum_{k=1}^{N_S} \sum_{l=1}^{N_S} \rho_{kl} E_{dk}^S E_{dl}^S} \quad (5.26)$$

Dabei ist

$E_{dk}^S$  der Beitrag des  $k$ -ten statischen Modus nach 5.3.1(4) unter der Spitzenverschiebung am Auflager  $k$ ;

$\rho_{kl}$  die in prEN 1998-1-1:2022, 5.2.3.2(3) gegebene Korrelation;

$N_S$  die Anzahl der statischen Modi, die mit der Anzahl der Auflager übereinstimmt.

(5) Der dynamische Teil der Auswirkung der Erdbebeneinwirkung darf anhand der Gleichung (5.27) berechnet werden.

$$E_d^D = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_D} \sum_{j=1}^{N_D} r_{ij} E_{di}^D E_{dj}^D} \quad (5.27)$$

Dabei ist

$E_{di}^D$  der Beitrag des  $i$ -ten Modus unter Bemessungserdbebeeinwirkung;

$r_{ij}$  der in prEN 1998-1-1:2022, 6.4.3.2, gegebene modale Korrelationskoeffizient;

$N_D$  die Anzahl der betrachteten dynamischen Modi.

(6) Der Wert  $E_{di}^D$  darf mit der Gleichung (5.28) berechnet werden.

$$E_{di}^D = \sqrt{\sum_{k=1}^{N_S} \sum_{l=1}^{N_S} \rho_{kl} E_{dik}^D E_{dil}^D} \quad (5.28)$$

Dabei ist

$E_{dik}^D$  die  $i$ -te Modusantwort auf den seismischen Beitrag (Antwortspektrum) an dem  $k$ -ten Auflager, berechnet nach 5.2.2.3, jedoch unter Austausch des herkömmlichen modalen Beteiligungsfaktors gegen den durch die Gleichung (5.24) gegebenen Faktor;

$\rho_{kl}$  der in prEN 1998-1-1:2022, 5.2.3.2(3), gegebene Korrelationskoeffizient.

## 5.4 Kombination der seismischen Einwirkung mit anderen Einwirkungen

(1) Der Bemessungswert  $E_d$  der Auswirkungen von Einwirkungen in der Bemessungssituation unter Erdbeben sollte nach prEN 1990:2021, 8.3.4.4 bestimmt werden.

ANMERKUNG Für schräge Brücken siehe Anmerkung zu 3.1.3.

(2) Im Fall von Brücken, bei denen die Erdbebeneinwirkung durch elastomerbeschichtete Lager aufgenommen wird, sollten die Auswirkungen der Einwirkung aufgrund auferlegter Verformungen (durch Temperatur, Schrumpfung, Setzung der Auflager, Restbodenbewegungen aufgrund seismischer Verwerfungen) berücksichtigt werden.

ANMERKUNG In diesem Fall bewirkt die Verformung infolge Kriechen üblicherweise keine weiteren Spannungen im System und kann daher vernachlässigt werden. Kriechen reduziert auch die effektiven Spannungen in der Struktur infolge erzwungener Langzeitverformungen (z. B. durch Schwinden).

(3) In allen anderen Fällen können die Auswirkungen von Einwirkungen aufgrund auferlegter Verformungen vernachlässigt werden.

## 6 Verifizierungen der tragenden Bauteile im Grenzzustand

### 6.1 Allgemeines

(1) Abschnitt 6 sollte auf erdbebenfeste Systeme von Brücken, die für DC1, DC2 oder DC3 ausgelegt sind (siehe 4.3.6), angewendet werden. Für mit antiseismischen Vorrichtungen ausgestattete Brücken, Schrägseilbrücken, Brücken mit konzentrischen Innen- und Außenflächen und Brücken mit fugenlosen Widerlagern sollte 8, 9 bzw. 10 angewendet werden.

(2) Es sollte durch Verifizierung sichergestellt werden, dass der Widerstand, die Stabilität und die Duktilität prEN 1998-1-1:2022, 6.7.1, entsprechen.

(3) Abschnitt 6 sollte auf die Gestaltung tragender Bauteile und für die Ausarbeitung der kritischen Bereiche jeder Bauteilart angewendet werden. Außerhalb der kritischen Bereiche sollte die Ausarbeitung der tragenden Bauteile den relevanten Bestimmungen von prEN 1992-1-1, prEN 1993-2<sup>1</sup> und prEN 1994-2<sup>2</sup> entsprechen.

### 6.2 Materialanforderungen

#### 6.2.1 Allgemeines

(1) Beton einer Klasse unterhalb von C25 sollte nicht für primäre seismische Bauteile verwendet werden.

(2) Betonrippenstahl sollte als Bewehrungsstahl in allen Bereichen primärer oder sekundärer seismischer Bauteile angewendet werden.

(3) Außer wie in 6.2.2(1) angegeben, sollte in primären seismischen Bauteilen (siehe 3.1.9) Bewehrungsstahl der Duktilitätsklasse B oder C nach prEN 1992-1-1:2021, Tabelle 5.5, angewendet werden.

---

<sup>1</sup> In Entwicklung.

<sup>2</sup> In Entwicklung.

(4) Die Stahlkategorien für das Ausgangsmaterial und die Schweißungen in Stahl- und Stahlbeton-Verbundbrücken sollten wie in prEN 1993-1-10<sup>2</sup> für einen Spannungswert  $\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(T)$  und den quasi-permanenten Wert der Betriebstemperatur genommen werden.

ANMERKUNG 1 (4) legt Stahl mit einer für die gestreckten Abschnitte geeigneten Härte und Dicke fest.

ANMERKUNG 2 Der quasi-permanente Wert der Betriebstemperatur ist in prEN 1990:2021, A.1.5.3, festgelegt.

(5) Die erforderliche Härte von Stahl und Schweißungen und die niedrigste in Kombination mit der Erdbebeneinwirkung angewendete Betriebstemperatur sollten festgelegt werden.

(6) Bei Schraubverbindungen primärer seismischer Bauteile sollten hochfeste vorgespannte Schrauben der Sorte 8.8 oder 10.9 mit kontrolliertem Anzug nach prEN 1993-1-8 angewendet werden.

### 6.2.2 Gestaltung für DC2 und DC3

(1) In kritischen Bereichen primärer seismischer Bauteile (siehe 3.1.9), die für DC3 ausgelegt sind, sollte Bewehrungsstahl der Duktilitätsklasse C nach prEN 1992-1-1:2021, Tabelle 5.5, angewendet werden.

(2) Die Materialeigenschaften wie etwa Streckgrenze und Härte und die dissipativen Bereiche von Stahl- und Stahlbeton-Verbundbrücken müssen so sein, dass plastische Verformungen dort auftreten, wo sie in der Gestaltung vorgesehen sind.

(3) Bei Kapazitätsbemessungsverifizierungen von Stahl- und Stahlbeton-Verbundbrücken sollte die Möglichkeit, dass die tatsächliche Streckgrenze von Stahl größer ist als die Nennstreckgrenze, durch den Zufälligkeits-Materialfaktor  $\omega_{rm}$ , d. h. dem Verhältnis zwischen der erwarteten (d. h. mittleren) Streckgrenze  $f_{y,mean}$  und der Nennstreckgrenze  $f_y$  an der Stelle des Fließgelenks berücksichtigt werden und hängt von der Stahlsorte nach prEN 1998-1-1:2022, Tabelle 7.1, ab. Aus diesem Grund sollte der Streckwiderstand dissipativer Bauteile unter Berücksichtigung des Zufälligkeits-Materialfaktors berechnet werden.

(4) Für dissipative Bereiche sollte die zu verwendende Stahlsorte festgelegt und in den Zeichnungen angegeben werden. Eine höhere Sorte sollte für diese Bereiche nicht geliefert werden (siehe prEN 1998-1-2<sup>2</sup>, 11.19(3)).

## 6.3 Verifizierung des Grenzzustands des signifikanten Schadens (SD)

### 6.3.1 Allgemeines

(1) Verifizierungen entsprechend dem kraftbasierten Ansatz sollten im Hinblick auf die lokalen Widerstände durchgeführt werden, die nach 6.3.3 bis 6.3.7 berechnet werden. Die Beanspruchung nichtduktiler Bauteile sollte als Kapazitätsbemessungs-Auswirkungen nach 6.3.2 ermittelt werden.

(2) Verifizierungen entsprechend dem verschiebungsbasierten Ansatz sollten nach 6.3.8 durchgeführt werden.

### 6.3.2 Kapazitätsbemessungs-Auswirkungen

(1) In Übereinstimmung mit 4.3.3(4) sollten Versprödungs- und andere unerwünschte Ausfallmechanismen vermieden werden, indem Auswirkungen von Bemessungseinwirkungen ausgewählter Bereiche aus Beharrungszuständen abgeleitet werden, indem angenommen wird, dass Fließgelenke mit ihrer möglichen Überfestigkeit in ihren angrenzenden Bereichen entstanden sind. Diese Kapazitätsbemessungs-Auswirkungen sollten als dem Mindestwert der in der Bemessungssituation unter Erdbeben mit  $q = 1$  berechneten Werte und den unter der Annahme, dass alle Fließgelenke unter den vorgesehenen plastischen Mechanismen Biegemomente entsprechend einem oberen Fraktile ihres Biegebiegewiderstands, dem sogenannten Überfestigkeitsmoment  $M_o$  entwickelt haben, berechneten Werten entsprechend angenommen werden.

(2) Das Überfestigkeitsmoment in einem Abschnitt sollte in jeder betrachteten Richtung anhand der Gleichung (6.1) berechnet werden.

$$M_o = \gamma_{Rd} \omega_{rm} \omega_{sh} M_{Rd} \quad (6.1)$$

Dabei ist

$\gamma_{Rd}$  der Überfestigkeits-Teilbeiwert, der die verschiedenen Größen der Ausfallarten wiedergibt.

$\omega_{rm}$  der Materialzufälligkeitfaktor, genommen als 1,15 für Bewehrungsstahl in Stahlbetonbauteilen wie in prEN 1998-1-1:2022, 7.3, Tabelle 7.1, für Baustahl- und Verbundbauteile angegeben;

$\omega_{sh}$  der Dehnungshärtungsfaktor, genommen als 1,05 für Bewehrungsstahl in Stahlbeton wie in prEN 1998-1-2<sup>2</sup>, 11.8.6, Tabelle 11.8, für Baustahl- und Verbundbauteile angegeben;

$M_{Rd}$  der Bemessungsbiegezugwiderstand des Abschnitts nach prEN 1992-1-1:2021, 8.1, in der ausgewählten Richtung und Zeichen, berechnet für die gleichzeitige axiale Last aufgrund aller Einwirkungen in der Bemessungssituation unter Erdbeben.

**ANMERKUNG** Der Überfestigkeitsteilbeiwert  $\gamma_{Rd}$  (NDP) beträgt 1,1, wenn  $M_o$  verwendet wird, um Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung auf den Schermechanismus zu berechnen, und andernfalls 1,0, sofern nicht eine zuständige Behörde oder der nationale Anhang andere Werte für die Verwendung in einem Land angeben.

(3) Im Fall von Stahlbetonabschnitten mit besonderen Umschnürungsbewehrungen nach 7.2.4.1 und sofern der durch die Gleichung (5.7) gegebene Wert der normalisierten Axialkraft  $\eta_k$  nicht weniger als 0,1 beträgt, sollte der Wert der Überfestigkeit mit  $1+2(\eta_k - 0,1)^2$  multipliziert werden.

(4) Nach (1) sollte das Kapazitätsbemessungsmoment  $M_{Ed}$  innerhalb der Länge der Bauteile, die Fließgelenke entwickeln, als der Mindestwert zwischen dem in der Bemessungssituation unter Erdbeben berechneten Beigemoment mit  $q = 1$  und dem Biegemoment aus der Analyse  $M'_{Ed}$  verstärkt aufgrund der Entwicklung des Überfestigkeitsmoments in den Gelenken genommen werden. In diesem Fall sollte das Überfestigkeitsmoment  $M_o$  ohne  $\omega_{rm}$  und  $\gamma_{Rd}$  berechnet werden. Das Kapazitätsbemessungs-Biegemoment  $M_{Ed}$  sollte nicht größer als der relevante Bemessungsbiegezugwiderstand  $M_{Rd}$  des nächstgelegenen Gelenks, berechnet nach 6.3.3.2(1) für die gesamte Länge des kritischen Bereichs  $l_{cr}$  (siehe 7.2.3) sein.

**ANMERKUNG** Es wird angenommen, dass die Längsbewehrung entlang des Teils des Pfeilers, der den kritischen Bereich und die Zone daneben umschließt, aus derselben Stahlproduktion stammt.

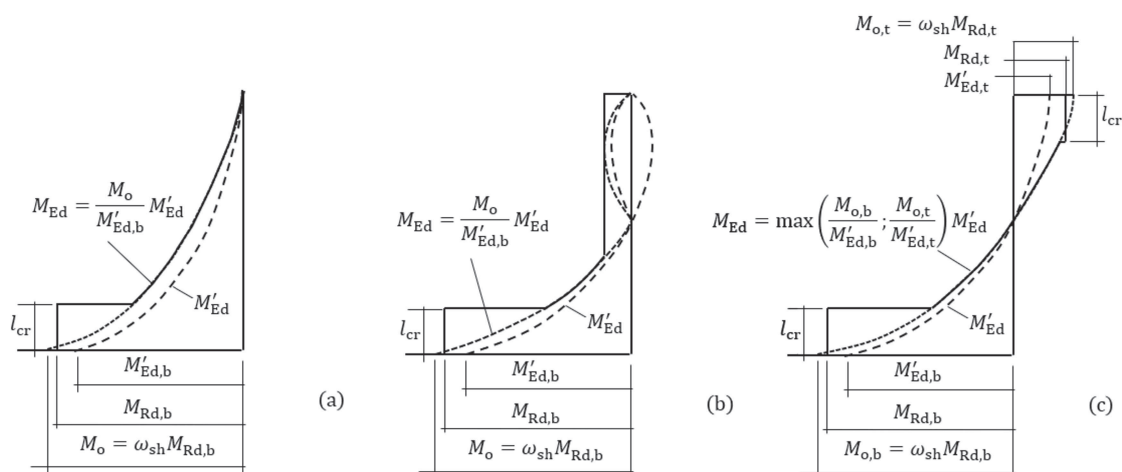


**Bild 6.1 — Kapazitätsbemessungsbiegemoment innerhalb der Länge eines Bauteils, das Fließgelenke entwickelt, mit: (A) Winkelstützpfiler; (b) Winkelstützpfiler mit Auswirkung signifikant höherer Modi; (c) Pfeiler, der in den Überbau reicht und ausgelegt ist, um Fließgelenke an beiden Enden zu bilden (Begleitzeichen „b“ und „t“ stehen für „Unterseite“ bzw. „Oberseite“)**

(5) Für die Anwendung der Gleichung (6.1) für Holzbrücken sollte das Überfestigkeitsmoment ausgehend von dem Biegezugwiderstand der dissipativen Verbindungen berechnet werden. Es sollte angenommen werden, dass der Überfestigkeitsteilbeiwert  $\gamma_{Rd}$  dem Wert in prEN 1998-1-2<sup>2</sup>, 13.4.3, Tabelle 13.4, geteilt durch den Festigkeitsreduzierungsfaktor  $k_{deg} = 0,8$  nach prEN 1998-1-2<sup>2</sup>, 13.3.1(1) entspricht, während für  $\omega_{rm}$  und  $\omega_{sh}$  der Wert 1,0 verwendet werden darf.

ANMERKUNG Der resultierende Wert des Überfestigkeitsteilbeiwerts für dissipative Verbindungen in Holzkonstruktionen berücksichtigt die Materialzufälligkeit, die Dehnungshärtung und die Festigkeitsreduzierung aufgrund von Wechselbeanspruchung.

### 6.3.3 Betonbauteile

#### 6.3.3.1 Allgemeines

(1) Wenn der Widerstand eines Abschnitts von Auswirkungen von Einwirkungen mit mehreren Komponenten (z. B. einaxiales oder zweiachiales Biegemoment und Axialkraft) abhängt, können die Bedingungen für den SD-Grenzzustand 6.3.3.2 und 6.3.3.3 erfüllt werden, indem die Größtwerte (Maximum oder Minimum) jeder Komponente der Zustandsgröße getrennt mit den gleichzeitig wirkenden Werten von allen anderen Komponenten der Auswirkungen von Einwirkungen betrachtet werden.

(2) Für den Biegezugwiderstand von Abschnitten in kritischen Bereichen sollte die durch die Gleichung (6.2) gegebene Bedingung erfüllt sein:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (6.2)$$

Dabei ist

$M_{Ed}$  die Bemessungsauswirkung der Einwirkung, abgeleitet aus der Analyse für die Bemessungssituation unter Erdbeben, einschließlich Auswirkungen zweiter Ordnung, falls erforderlich;

$M_{Rd}$  der Bemessungsbiegezugwiderstand des Abschnitts nach prEN 1992-1-1:2021, 8.1.

#### 6.3.3.2 Bauwerke der DC1

(1) 6.3.3.1(2) sollte angewendet werden.

(2) Verifizierungen des Scherwiderstands von Betonbauteilen sollten nach prEN 1998-1-1:2022, 7.2.3 (indem Brückenpfeiler mit Säulen gleichgesetzt werden), mit der zusätzlichen Bestimmung durchgeführt werden, dass die Bemessungsauswirkungen von Einwirkungen nach 5.4(1) berechnet sollten und der Auswirkung der Erdbebeneinwirkung  $A_{Ed}$  mit dem in der linearen Analyse verwendeten Verhaltensbeiwert  $q$  multipliziert werden sollten.

#### 6.3.3.3 Bauwerke der DC2 und DC3

##### 6.3.3.3.1 Verifizierung der Biegebeanspruchung und des Scherens

(1) 6.3.3.1(2) sollte angewendet werden.

(2)  $M_{Rd}$  sollte über die Länge  $l_{cr}$  des kritischen Bereichs (festgelegt in 7.2.3) konstant sein wie in 6.3.2(4) angegeben und in Bild 6.1 gezeigt. Für die Biegezugfestigkeit von Abschnitten außerhalb kritischer Bereiche sollte die durch die Gleichung (6.3) gegebene Bedingung erfüllt sein.

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (6.3)$$