

DIN EN 1998-2



ICS 91.120.25; 93.040

Ersatz für
DIN EN 1998-2:2006-06**Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben –
Teil 2: Brücken;
Deutsche Fassung EN 1998-2:2005 + A1:2009 + AC:2010**

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance –
Part 2: Bridges;
German version EN 1998-2:2005 + A1:2009 + AC:2010

Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance aux séismes –
Partie 2: Ponts;
Version allemande EN 1998-2:2005 + A1:2009 + AC:2010

Gesamtumfang 141 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1998-2:2005 + A1:2009 + AC:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Auf nationaler Ebene ist im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. der NABau-Arbeitsausschuss NA 005-51-06 AA „Erdbeben; Sonderfragen (Sp CEN/TC 250/SC 8)“ zuständig.

Dieses Dokument enthält die Europäische Änderung EN 1998-2:2005/A1:2009, welche vom CEN am 2009-03 angenommen wurde. Dieses Dokument enthält weiterhin die Europäische Berichtigung EN 1998-2:2005/AC:2010, welche vom CEN am 2010-02 angenommen wurde.

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch das Leitpapier L der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, indem Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedsstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen sind im Vorwort dieser Norm angegeben.

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anfang und Ende der durch die Änderung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch die Änderungsmarken **A1** **A1**, der durch die Berichtigung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch die Änderungsmarken **AC** **AC** angegeben.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1998-2:1998-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Vornormcharakter wurde aufgehoben;
- b) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet und der Text vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN 1998-2:2006-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vorgänger-Norm mit der Änderung 1 und der Berichtigung 1 konsolidiert;
- b) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 1998-2: 1998-07

DIN EN 1998-2: 2006-06

Deutsche Fassung

Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 2: Brücken

Eurocode 8: Design of structures for
earthquake resistance —
Part 2: Bridges

Eurocode 8: Calcul des structures pour
leur résistance aux séismes —
Partie 2: Ponts

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. Juli 2005 angenommen.

Die Änderung A1 modifiziert die Europäische Norm EN 1998-2:2005 und wurde vom CEN am 12. Februar 2009 angenommen.

Die Berichtigung AC tritt am 10. Februar 2010 in Kraft und wurde in EN 1998-2:2005 eingearbeitet.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	6
Vorwort zur Änderung 1	6
Hintergrund des Eurocode-Programms	7
Status und Anwendungsgebiet der Eurocodes	8
Nationale Fassungen der Eurocodes	8
Verbindungen zwischen den Eurocodes und den harmonisierten technischen Spezifikationen (EN und ETA) für Produkte	9
Zusatzinformationen zu EN 1998-2	9
Nationaler Anhang für EN 1998-2	9
1 Einführung	12
1.1 Anwendungsbereich	12
1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1998-2	12
1.1.2 Weitere Teile von EN 1998	13
1.2 Normative Verweisungen	13
1.2.1 Verwendung	13
1.2.2 Allgemeine Bezugsnormen	13
1.2.3 Bezugsnormen und Richtlinien	13
1.2.4 Zusätzliche allgemeine und andere Bezugsnormen für Brücken	13
1.3 Annahmen	14
1.4 Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsfällen	14
1.5 Definitionen	14
1.5.1 Allgemeines	14
1.5.2 Allen Eurocodes gemeinsame Begriffe	14
1.5.3 Weitere in EN 1998-2 verwendete Begriffe	14
1.6 Formelzeichen	15
1.6.1 Allgemeines	15
1.6.2 Weitere, in den Abschnitten 2 und 3 von EN 1998-2 verwendete Formelzeichen	15
1.6.3 Weitere Formelzeichen, die im Abschnitt 4 von EN 1998-2 verwendet werden	16
1.6.4 Weitere Formelzeichen, die im Abschnitt 5 von EN 1998-2 verwendet werden	17
1.6.5 Weitere Formelzeichen, die in Abschnitt 6 von EN 1998-2 verwendet werden	19
1.6.6 Weitere, im Abschnitt 7 und in den Anhängen J, JJ und K von EN 1998-2 verwendete Formelzeichen	20
2 Grundlegende Anforderungen und Übereinstimmungskriterien	22
2.1 Bemessungs-Erdbebeneinwirkung	22
2.2 Grundlegende Anforderungen	24
2.2.1 Allgemeines	24
2.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)	24
2.2.3 Schadensbegrenzung (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, SLS)	24
2.3 Übereinstimmungskriterien	24
2.3.1 Allgemeines	24
2.3.2 Beabsichtigtes seismisches Verhalten	25
2.3.3 Beanspruchbarkeitsnachweise	27
2.3.4 Kapazitätsbemessung	27
2.3.5 Vorschriften für die Duktilität	27
2.3.6 Anschlüsse — Kontrolle von Verschiebungen — Bauliche Durchbildung	29
2.3.7 Vereinfachte Kriterien	33
2.4 Konzeptioneller Entwurf	33
3 Erdbebeneinwirkung	34
3.1 Definition der Erdbebeneinwirkung	34
3.1.1 Allgemeines	34

3.1.2	Aufbringung der Bodenbewegungskomponenten	34
3.2	Quantifizierung der Komponenten	35
3.2.1	Allgemeines	35
3.2.2	Standortabhängiges elastisches Antwortspektrum	35
3.2.3	Zeitbereichsdarstellung	35
3.2.4	Standortabhängiges Bemessungsspektrum für lineare Berechnungen	36
3.3	Räumliche Veränderlichkeit der Erdbebeneinwirkung	37
4	Berechnungsverfahren	39
4.1	Modellierung	39
4.1.1	Dynamische Freiheitsgrade	39
4.1.2	Massen	40
4.1.3	Bauwerksdämpfung und Bauteilsteifigkeit	40
4.1.4	Modellierung des Bodens	41
4.1.5	Torsionseffekte	41
4.1.6	Verhaltensbeiwert für lineare Berechnungen	42
4.1.7	Vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung	45
4.1.8	Reguläres und irreguläres seismisches Verhalten duktiler Brücken	45
4.1.9	Nicht-lineare Berechnung irregulärer Brücken	46
4.2	Berechnungsmethoden	46
4.2.1	Lineare dynamische Berechnung – Antwortspektrumsmethode	46
4.2.2	Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren	48
4.2.3	Alternative lineare Methoden	51
4.2.4	Nicht-lineare dynamische Zeitverlaufsrechnung	51
4.2.5	Statische nicht-lineare Berechnung (Pushover-Berechnung)	53
5	Festigkeitsnachweis	54
5.1	Allgemeines	54
5.2	Werkstoffe und Bemessungsfestigkeit	54
5.2.1	Werkstoffe	54
5.2.2	Bemessungsfestigkeit	54
5.3	Kapazitätsbemessung	54
5.4	Effekte nach Theorie 2. Ordnung	56
5.5	Kombination der seismischen Einwirkung mit anderen Einwirkungen	57
5.6	Tragfähigkeitsnachweis von Betonquerschnitten	58
5.6.1	Bemessungstragfähigkeit	58
5.6.2	Bauwerke mit beschränkt duktilem Verhalten	58
5.6.3	Bauwerke mit duktilem Verhalten	58
5.7	Tragfähigkeitsnachweis von Stahl- und Verbundbauteilen	66
5.7.1	Stahlpfeiler	66
5.7.2	Stahl- oder Verbund-Überbau	67
5.8	Gründungen	67
5.8.1	Allgemeines	67
5.8.2	Bemessungszustandsgrößen	67
5.8.3	Tragfähigkeitsnachweis	68
6	Bauliche Durchbildung	68
6.1	Allgemeines	68
6.2	Betonpfeiler	68
6.2.1	Umschnürung	68
6.2.2	Ausknicken der Druckbewehrung in Längsrichtung	72
6.2.3	Weitere Regeln	73
6.2.4	Hohle Pfeiler	73
6.3	Stahlpfeiler	74
6.4	Gründungen	74
6.4.1	Flächengründungen	74
6.4.2	Pfahlgründungen	74
6.5	Bauwerke mit beschränkt duktilem Verhalten	75
6.5.1	Nachweis der Duktilität kritischer Querschnitte	75

6.5.2	Vermeidung von Sprödbrüchen besonderer nicht-duktiler Bauteile	75
6.6	Lager und seismische Verbinder	75
6.6.1	Allgemeine Anforderungen	75
6.6.2	Lager	76
6.6.3	Seismische Verbinder, Festhaltevorrichtungen, Vorrichtungen zur Stoßübertragung	77
6.6.4	Mindestüberlappungslängen	79
6.7	Betonwiderlager und Stützwände	80
6.7.1	Allgemeine Anforderungen	80
6.7.2	Flexibel an den Überbau angeschlossene Widerlager	81
6.7.3	Starr an den Überbau angeschlossene Widerlager	81
6.7.4	Durchlässe mit großer Überschüttung	82
6.7.5	Stützwände	83
7	Brücken mit seismischer Isolation	84
7.1	Allgemeines	84
7.2	Definitionen	84
7.3	Grundlegende Anforderungen und Konformitätskriterien	85
7.4	Seismische Einwirkung	86
7.4.1	Bemessungsspektren	86
7.4.2	Zeitverlaufsdarstellung	86
7.5	Berechnungsverfahren und Modellierung	86
7.5.1	Allgemeines	86
7.5.2	Bemessungseigenschaften des Isolationssystems	86
7.5.3	Voraussetzungen für die Anwendung von Berechnungsmethoden	92
7.5.4	Vereinfachtes Antwortspektrenverfahren	93
7.5.5	Multimodales Antwortspektrenverfahren	96
7.5.6	Zeitverlaufsberechnung	97
7.5.7	Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung	97
7.6	Nachweise	98
7.6.1	Erdbeben-Bemessungssituation	98
7.6.2	Isolationssystem	98
7.6.3	Unter- und Überbau	99
7.7	Besondere Anforderungen für das Isolationssystem	100
7.7.1	Fähigkeit der Rezentrierung (Rückstellung) in Horizontalrichtung	100
7.7.2	Horizontale Festhaltevorrichtungen an der Isolationsebene	105
7.7.3	Inspektionen und Wartung	105
Anhang A (informativ) Wahrscheinlichkeiten, bezogen auf die Referenz-Erdbebeneinwirkung —		
Anleitung zur Auswahl der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung während der Bauphase		106
A.1	Referenz-Erdbebeneinwirkung	106
A.2	Bemessungs-Erdbebeneinwirkung während der Bauphase	106
Anhang B (informativ) Zusammenhang zwischen der Verschiebungsduktilität und der		
Krümmungsduktilität von plastischen Gelenken in Betonpfeilern		107
Anhang C (informativ) Berechnung der effektiven Steifigkeit von duktilen Stahlbetonbauteilen		108
C.1	Allgemeines	108
C.2	Methode 1	108
C.3	Methode 2	108
Anhang D (informativ) Räumliche Veränderlichkeit von Erdbeben-Bodenbewegungen: Modell		
und Berechnungsmethoden		110
D.1	Beschreibung des Modells	110
D.2	Erzeugung von Musterfunktionen	111
D.3	Berechnungsmethoden	111
Literatur		116
Anhang E (informativ) Wahrscheinliche Werkstoffeigenschaften und Verformungskapazität		
plastischer Gelenke für nicht-lineare Berechnungen		117
E.1	Allgemeines	117
E.2	Wahrscheinliche Werkstoffeigenschaften	117

E.3	Rotationskapazität von plastischen Gelenken	120
Anhang F (informativ)	Zusatzmasse des mitbewegten Wassers bei im Wasser stehenden (eingetauchten) Pfeilern	123
Anhang G (normativ)	Berechnung von Zustandsgrößen nach der Kapazitätsbemessung	125
G.1	Generelle Vorgehensweise	125
G.2	Vereinfachte Annahmen	125
Anhang H (informativ)	Statische nicht-lineare Berechnung (Pushover)	127
H.1	Berechnungsrichtungen, Referenzpunkt und Zielverschiebungen	127
H.2	Lastverteilung	127
H.3	Verformungsbedarf	128
H.4	Nachweise für den Überbau	129
H.5	Nachweis nicht-duktiler Versagensformen und des Baugrunds	129
Anhang J (normativ)	Veränderlichkeit der Bemessungseigenschaften seismischer Isolationsvorrichtungen	130
J.1	Faktoren die zu einer Veränderlichkeit der Bemessungseigenschaften führen	130
J.2	Auswertung der Veränderlichkeit	131
Anhang JJ (informativ)	λ-Beiwerte für übliche Isolationstypen	133
JJ.1	$\lambda_{\max}$-Werte für Elastomerlager	133
JJ.2	$\lambda_{\max}$-Werte für gleitende Isolierungseinheiten	134
Anhang K (informativ)	Versuche zur Bestätigung der Bemessungseigenschaften von Isolationsvorrichtungen	136
K.1	Anwendungsgebiet	136
K.2	Prototypversuche	136
K.3	Weitere Versuche	139

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1998-2:2005) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Structural Eurocodes“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1998-2:1994.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Vorwort zur Änderung 1

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Hintergrund des Eurocode-Programms

1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaft ein Aktionsprogramm auf dem Gebiet der Bauindustrie aufzulegen, auf der Basis von Artikel 95 des Staatsvertrags. Ziel des Programms war die Eliminierung von technischen Handelshindernissen und die Harmonisierung von technischen Spezifikationen.

Die Kommission ergriff innerhalb dieses Aktionsprogramms die Initiative, einen Satz harmonisierter technischer Regeln für den Entwurf und die Bemessung von Baukonstruktionen zu erstellen, der in einer ersten Stufe eine Alternative zu den nationalen, in den Mitgliedsstaaten gültigen Regeln darstellen und diese schließlich ersetzen sollte.

Fünfzehn Jahre lang förderte die Kommission mit Hilfe eines Steuerungskomitees aus Vertretern der Mitgliedsstaaten die Entwicklung des Eurocode-Programms, was zu der ersten Generation europäischer Normen in den 80er Jahren führte.

1989 beschlossen die Kommission und die Mitgliedsstaaten der EU und der EFTA auf der Basis einer Vereinbarung¹⁾ zwischen der Kommission und CEN, mittels einer Reihe von Aufträgen die Vorbereitung und die Veröffentlichung der Eurocodes CEN zu übertragen, um diese mit dem zukünftigen Status von Europäischen Normen (EN) zu versehen. Das verbindet *de facto* die Eurocodes mit den Vorschriften aller Ratsdirektiven und/oder den Kommissionsentscheidungen, die Europäische Normen betreffen (z. B. die Ratsdirektive 89/106/EEC — Bauproduktenrichtlinie, CPD — und die Ratsdirektiven 93/37/EEC, 92/50/EEC und 89/440/EEC über öffentliche Bauten und Dienstleitungen und entsprechende EFTA-Direktiven, die mit dem Zweck der Errichtung des internen Handels erstellt wurden).

Das Programm der Eurocodes für den Konstruktiven Ingenieurbau enthält die folgenden Vorschriften, 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 Holzbauwerken*

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 Aluminiumbauten*

In den Eurocode-Vorschriften wird die Verantwortlichkeit der Behörden in allen Mitgliedstaaten anerkannt und ihr Recht bewahrt, behördlich festzulegende Richtwerte im Zusammenhang mit Fragen der Sicherheit auf nationaler Ebene vorzuschreiben, sofern sich diese von Staat zu Staat unterscheiden.

1) Abkommen zwischen der EU-Kommission und dem Europäischen Komitee für Standardisierung (CEN) betreffend die Arbeit an den EUROCODES für die Auslegung von Gebäuden und Baukonstruktionen (BC/CEN/03/89)

Status und Anwendungsgebiet der Eurocodes

Die Mitgliedstaaten von EU und EFTA erkennen an, dass Eurocodes als Referenzdokumente für folgende Zwecke dienen:

- als Mittel um für Hochbauten und Baukonstruktionen die Erfüllung der Anforderungen der Direktive 89/106/EWC, insbesondere der wesentlichen Anforderung Nr. 1 — Mechanische Widerstandsfähigkeit und Standfestigkeit — und der wesentlichen Anforderung Nr. 2 — Sicherheit im Brandfall — sicherzustellen;
- als Basis zur Vertragsformulierung für Baukonstruktionen und damit verwandte Ingenieurdienstleistungen;
- als Rahmen zum Entwurf harmonisierter technischer Bestimmungen für Bauprodukte (EN und ETA)

Insoweit sich Eurocodes auf die Baukonstruktionen selbst beziehen, haben sie einen direkten Bezug zu den erläuternden Dokumenten²⁾ wie in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie (CPD) erwähnt, obwohl sie anderer Natur sind als harmonisierte Produktnormen³⁾. Deshalb müssen technische Aspekte, die sich im Zusammenhang mit der Arbeit an Eurocodes ergeben, bei CEN Technischen Komitees und/oder EOTA Arbeitsgruppen, die sich mit Produktnormen beschäftigen, ausreichend Berücksichtigung finden, mit dem Ziel einer vollen Kompatibilität dieser Technischen Spezifikation mit den Eurocodes.

Die Eurocodes stellen gemeinsame Entwurfs- und Bemessungsregeln zur Verfügung, für den alltäglichen Gebrauch für Bauwerke in ihrer Gesamtheit und für Bauteile von traditioneller als auch innovativer Natur. Unübliche Konstruktionsformen oder Bemessungsumstände sind nicht in jedem Fall darin enthalten und der entwerfende Ingenieur muss in solchen Fällen zusätzlichen Expertenrat einholen.

Nationale Fassungen der Eurocodes

Nationale Normen zur Übernahme von Eurocodes müssen den vollen Text des Eurocodes enthalten (inklusive etwaiger Anhänge), wie er von CEN veröffentlicht wurde. Dieser Text darf mit einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort beginnen und mit einem (informativen) nationalen Anhang enden.

Der nationale Anhang darf nur Angaben zu Parametern enthalten, die im Eurocode zwecks nationaler Wahl offen gehalten wurden, so genannter national definierter Parameter (NDP). Diese sind bei der Auslegung von Hochbauten und Bauwerken, die im betreffenden Land errichtet werden, zu verwenden. Beispiele:

- Werte und/oder Klassen, wenn im Eurocode Alternativen angeboten werden;
- Zu verwendende Werte, wenn im Eurocode nur ein Symbol gegeben ist;
- landesspezifische Daten (geographisch, klimatisch usw.), z. B. Schneekarten;

2) Nach Artikel 3.3 der CPD müssen die essentiellen Anforderungen (ERs) in erläuternden Dokumenten konkret formuliert werden, zum Zweck der Erstellung der notwendigen Verbindungen zwischen den essentiellen Anforderungen und den Mandaten für hENs und ETAGs/ETAs

3) Nach Artikel 12 der CPD müssen die erläuternden Dokumente:

- a) die wesentlichen Anforderungen konkret formulieren durch Harmonisierung der Terminologie und der technischen Grundlagen und, soweit erforderlich, Angabe von Klassen oder Stufen für jede Anforderung;
- b) auf Methoden hinweisen, wie diese Klassen oder Anforderungsstufen mit den technischen Richtlinien, z. B. Berechnungs- und Nachweismethoden, Technische Regeln für Projektentwürfe etc. in Zusammenhang gebracht werden können;
- c) als Bezugsdokumente für die Erstellung harmonisierter Normen und Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen dienen können.

Die Eurocodes spielen, *de facto*, eine ähnliche Rolle im Bereich von ER 1 und eines Teils von ER 2.

- die zu verwendende Vorgehensweise wenn im Eurocode alternative Vorgehensweisen gegeben sind.

Der Nationale Anhang darf auch enthalten

- Entscheidungen hinsichtlich der Verwendung Informativer Anhänge, und
- Hinweise auf zusätzliche Informationen, die nicht im Widerspruch zum Eurocode stehen dürfen, um dem Benutzer bei der Anwendung des Eurocodes zu helfen.

Verbindungen zwischen den Eurocodes und den harmonisierten technischen Spezifikationen (EN und ETA) für Produkte

Es ist wichtig, dass die harmonisierten technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regeln für Bauwerke konsistent sind⁴⁾. Darüber hinaus müssen alle Angaben im Zusammenhang mit dem CE-Zeichen von Bauprodukten, die sich auf Eurocodes beziehen, eindeutige Angaben darüber enthalten, welche national definierten Parameter verwendet wurden.

Zusatzinformationen zu EN 1998-2

Der Anwendungsbereich dieses Teils von EN 1998 wird in **1.1** definiert.

Sofern nicht anders angegeben, sind seismische Einwirkungen wie in EN 1998-1:2004, Abschnitt **3** definiert, anzunehmen.

Wegen der Besonderheiten der Systeme zur Aufnahme von Erdbebenlasten bei Brücken im Vergleich zu denjenigen bei Gebäuden und anderen Tragwerken, stehen alle anderen Teile dieses Abschnitts im Allgemeinen nicht in direktem Bezug zu denjenigen von EN 1998-1:2004. Trotzdem wird auf einige Vorschriften von EN 1998-1:2004 durch direkte Festlegungen zurückgegriffen.

Weil die Erdbebeneinwirkung hauptsächlich durch die Brückenpfeiler aufgenommen wird und diese üblicherweise in Stahlbeton errichtet werden, werden solche Pfeiler besonders hervorgehoben.

Lager stellen in vielen Fällen wichtige Teile des Systems zur Aufnahme der Erdbebenlasten bei Brücken dar und werden deshalb entsprechend behandelt. Gleiches gilt für Vorrichtungen zur Erdbebenisolierung.

Nationaler Anhang für EN 1998-2

Die Norm gibt alternative Vorgehensweisen, Werte und Empfehlungen für die Wahl von Klassen an, wobei durch Anmerkungen die Stellen aufgezeigt werden, wo nationale Festlegungen erfolgen müssen. Deshalb muss die nationale Norm zur Implementierung von EN 1998-2 einen Nationalen Anhang haben, der Werte für alle national festgelegten Parameter enthält, die für die Auslegung von Gebäuden und Ingenieurbauten im betreffenden Land verwendet werden müssen.

4) Siehe Art. 3.3 und Art. 12 der CPD, und auch die Abschnitte 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 von ID 1.

Nationale Festlegungen werden in EN 1998-2:2005 über folgende Absätze gestattet:

Bezugsabschnitt	Gegenstand
1.1.1(8)	☐AC☐ Informative Anhänge A, B, C, D, E, F, H, JJ und K ☐AC☐
2.1(3)P	Referenz-Wiederkehrperiode T_{NCR} der seismischen Einwirkung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit der Brücke (oder gleichwertig, Referenz-Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren, P_{NCR}).
2.1(4)P	Bedeutungsklassen für Brücken
2.1(6)	Bedeutungsbeiwerte für Brücken
2.2.2(5)	Bedingungen, unter welchen die Erdbebeneinwirkung als außergewöhnliche Einwirkung betrachtet und von der Erfüllung der Anforderungen nach 2.2.2(3) und 2.2.2 (4) abgesehen werden kann.
2.3.5.3(1)	Formel für die Länge plastischer Bereiche (Fließgelenke)
2.3.6.3(5)	Anteile der Bemessungsverschiebungen für nichtkritische tragende Bauteile
2.3.7(1)	Fälle niedriger Seismizität
2.3.7(1)	Vereinfachte Kriterien für die Auslegung von Brücken in Fällen niedriger Seismizität
3.2.2.3	Definition aktiver Bruchzonen
3.3(1)P	Länge des durchlaufenden Brückendecks, jenseits welcher die räumliche Veränderlichkeit der Erdbebeneinwirkung unter Umständen berücksichtigt werden muss
3.3(6)	Abstand, jenseits von welchem die Erdbebenbewegungen des Bodens als vollständig unkorreliert betrachtet werden können
3.3(6)	Beiwert zur Berücksichtigung der Größe von Bodenbewegungen, die an benachbarten Auflagern in entgegengesetzter Richtung erfolgen
4.1.2(4)P	ψ_{21} Werte für Verkehrslasten, die gleichzeitig mit der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung vorkommen
4.1.8(2)	Obere Grenze für den Wert auf der linken Seite von Gleichung (4.4) damit das seismische Verhalten einer Brücke als unregelmäßig betrachtet werden kann
5.3(4)	Überfestigkeitsbeiwert γ_0
5.4(1)	Vereinfachte Methoden zur Erfassung von Effekten nach Theorie 2. Ordnung bei linearen Berechnungen
5.6.2(2)P b	Zusätzlicher Sicherheitsbeiwert γ_{Bd1} für die Schubtragfähigkeit
6.2.1.4(1)P	Art der Umschnürungsbewehrung
6.5.1(1)P	Vereinfachte Nachweisregeln für Brücken beschränkter Duktilität in Fällen niedriger Seismizität
6.6.2.3(3)	Erlaubtes Maß für die Schädigung von Elastomerlagern in Brücken, wenn die Erdbebeneinwirkung als außergewöhnliche Einwirkung betrachtet wird, jedoch nicht zur Gänze von den Elastomerlagern aufgenommen wird
6.6.3.2(1)P	Prozentsatz der nach unten als Druck wirkenden Auflagerkraft infolge ständiger Lasten, der durch die gesamte vertikale Auflagerkraft infolge der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung überschritten wird, zur Entscheidung, ob Festhaltekonstruktionen erforderlich sind
6.7.3(7)	Oberer Wert der Bemessungs-Erdbebenverschiebung zur Beschränkung der Schädigung im Boden oder des Damms hinter Widerlagern, die monolithisch mit dem Brückendeck verbunden sind

Bezugsabschnitt	Gegenstand
7.4.1(1)P	Wert der Eckperiode T_D für das Bemessungsspektrum für Brücken mit Erdbebenisolierung
7.6.2(1)P	Wert des Erhöhungsbeiwerts γ_{IS} für die Bemessungsverschiebung von Isolationsvorrichtungen
7.6.2(5)	Wert von γ_m für Elastomerlager
7.7.1(2)	AC Wert des Verhältnisses δ für die Bestimmung der horizontalen Rückstellfähigkeit AC
AC 7.7.1(4)	Wert von γ_{du} zur Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Bestimmung der Bemessungsverschiebungen AC
J.1(2)	Werte der Mindesttemperatur des Isolators in der Erdbeben-Bemessungssituation
J.2(1)	Beiwerte λ für häufig verwendete Isolationsvorrichtungen

1 Einführung

1.1 Anwendungsbereich

1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1998-2

(1) Der Anwendungsbereich von Eurocode 8 ist in EN 1998-1:2004, **1.1.1** definiert, der Anwendungsbereich dieser Norm ist in **1.1.1** definiert. Zusätzliche Teile des Eurocode 8 werden in EN 1998-1:2004, **1.1.3** benannt.

(2) Dieser Teil der Norm enthält die beim Entwurf erdbebenresistenter Brücken anzuwendenden besonderen Funktionsanforderungen, Konformitätskriterien und Anwendungsrichtlinien im Rahmen des in EN 1998-1:2004 beschriebenen Anwendungsbereichs.

(3) Dieser Teil behandelt hauptsächlich die seismische Auslegung von 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. Er ist auch auf die seismische Auslegung von Schrägseilbrücken und Bogenbrücken anwendbar, es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass seine Regeln diese Fälle vollständig abdecken.

(4) Der Anwendungsbereich dieses Teils erstreckt sich nicht auf Hängebrücken, Holzbrücken, Brücken aus Mauerwerk, bewegliche Brücken und Schwimmbrücken.

(5) Dieser Teil enthält nur diejenigen Regeln, die für die Auslegung von Brücken in erdbebengefährdeten Regionen zusätzlich zu denjenigen anderer einschlägiger Eurocodes oder einschlägiger Teile von EN 1998 beachtet werden müssen. Für Fälle niedriger Seismizität können vereinfachte Entwurfskriterien eingeführt werden (siehe 2.3.7(1)).

(6) Folgende Themen werden im Text dieses Teils behandelt:

- Grundlegende Anforderungen und Konformitätskriterien,
- Erdbebeneinwirkung,
- Berechnung,
- Festigkeitsnachweis,
- Bauliche Durchbildung.

Dieser Teil enthält auch einen besonderen Abschnitt über seismische Isolation, mit Richtlinien, welche die Anwendung dieses Verfahrens zum Schutz gegen Erdbeben auf Brücken abdecken.

(7) Anhang G enthält Regeln zur Ermittlung von Kapazitätsbemessungszustandsgrößen.

(8) Anhang J enthält Regeln bezüglich der Veränderlichkeit bemessungsrelevante Eigenschaften von Erdbeben-Isolationsvorrichtungen sowie Regeln diese bei der Bemessung berücksichtigt werden können.

ANMERKUNG 1 Der informative Anhang A liefert Informationen über die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Referenz-Erdbeben und Empfehlungen für die Wahl der Bemessungs-Erdbebeinwirkung während der Bauphase.

ANMERKUNG 2 Der informative Anhang B enthält Informationen über den Zusammenhang zwischen der Verschiebungsduktilität und der Krümmungsduktilität von plastischen Gelenken in Betonpfeilern.

ANMERKUNG 3 Der informative Anhang C enthält Informationen zur Abschätzung der effektiven Steifigkeit von duktilen Stahlbetonbauteilen.

ANMERKUNG 4 Der informative Anhang D enthält Informationen für die Modellierung und rechnerische Erfassung der räumlichen Veränderlichkeit der erdbebeninduzierten Bodenbewegung.

ANMERKUNG 5 Der informative Anhang E enthält Informationen über wahrscheinliche Werkstoffeigenschaften und plastische Verformungskapazitäten von Fließgelenken für nicht-lineare Berechnungen.

ANMERKUNG 6 Der informative Anhang F enthält Informationen und Anleitungen zur zusätzlichen Masse infolge mitgeführten Wassers in eingetauchten Pfeilern.

ANMERKUNG 7 Der informative Anhang H enthält Anleitungen und Informationen für statische nicht-lineare Berechnungen (pushover).

ANMERKUNG 8 Der informative Anhang JJ enthält Informationen über X-Beiwerte für übliche Isolatorotypen.

ANMERKUNG 9 Der informative Anhang K enthält Anforderungen an Versuche zur Überprüfung der Bemessungseigenschaften von seismischen Isolationsvorrichtungen.

1.1.2 Weitere Teile von EN 1998

Siehe EN 1998-1:2004.

1.2 Normative Verweisungen

1.2.1 Verwendung

(1)P Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

1.2.2 Allgemeine Bezugsnormen

Es gilt EN 1998-1:2004, 1.2.1.

1.2.3 Bezugsnormen und Richtlinien

Es gilt EN 1998-1:2004, 1.2.2.

1.2.4 Zusätzliche allgemeine und andere Bezugsnormen für Brücken

EN 1990: Anhang A2, *Grundlagen der konstruktiven Auslegung — Anwendung auf Brücken*

EN 1991-2:2003, *Einwirkungen auf Bauwerke — Verkehrslasten für Brücken*

EN 1992-2:2005, *Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 2: Brücken*

EN 1993-2:2005, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Brücken*

EN 1994-2:2005, *Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 2: Brücken*

EN 1998-1:2004, *Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten*

EN 1998-5:2004, *Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte*

EN 1337-2:2000, *Lager im Bauwesen — Teil 2: Gleitelemente*

EN 1337-3:2005, *Lager im Bauwesen — Teil 3: Elastomerlager*

prEN 15129:200X, *Antiseismische Vorrichtungen*

1.3 Annahmen

(1) Zusätzlich zu den allgemeinen Annahmen von EN 1990:2002, **1.3** gilt folgende Annahme.

(2)P Es wird vorausgesetzt, dass während der Bauphase oder während der anschließenden Lebensdauer des Bauwerks keine baulichen Änderungen stattfinden werden, es sei denn, es bestehen gerechtfertigte Gründe davon abzuweichen und es werden entsprechende geeignete Nachweise geliefert. Wegen der besonderen Art der Reaktion von Tragwerken auf Erdbeben gilt dies sogar für bauliche Änderungen, die zu einer Zunahme der konstruktiven Tragfähigkeit der Tragelemente führen.

1.4 Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsfällen

(1) Es gelten die Regeln von EN 1990:2002, **1.4**.

1.5 Definitionen

1.5.1 Allgemeines

(1) Für die Zwecke dieser Norm gelten folgende Definitionen.

1.5.2 Allen Eurocodes gemeinsame Begriffe

(1) Es gelten die Begriffe von EN 1990:2002, **1.5**.

1.5.3 Weitere in EN 1998-2 verwendete Begriffe

Kapazitätsbemessung

Bemessungsverfahren, das bei der Auslegung von duktil reagierenden Bauwerken angewendet wird, um die Festigkeitshierarchie der verschiedenen tragenden Bauteile sicherzustellen, die notwendig ist, um die vorgesehenen Konfiguration plastischer Gelenke zu erreichen und spröde Versagensformen zu vermeiden

duktiler Bauteile

Bauteile, die in der Lage sind, Energie durch die Ausbildung plastischer Gelenke zu dissipieren

duktiler Tragwerk

Tragwerk, das bei starken Erdbebeneinwirkungen wesentliche Anteile der aufgenommenen Energie durch die Bildung einer dafür vorgesehenen Anordnung plastischer Gelenke oder durch andere Mechanismen dissipieren kann

beschränktes duktiler Verhalten

Verhalten von Brücken bei Erdbeben ohne wesentliche Energiedissipation in plastischen Gelenken unter der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung

feste Verbindung mit Spiel

durch seismische Verbinder realisierte Kopplung

seismische Isolation

Maßnahme bei Brücken mit besondere Isolationsvorrichtung zum Zweck der Reduzierung der Erdbebenantwort (Kräfte und/oder Verschiebungen)

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

seismisches Verhalten

Verhalten der Brücke bei der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung, das in Abhängigkeit von der Art der globalen Kraft-Verformungsbeziehung des Bauwerks duktil oder beschränkt duktil/im Wesentlichen linear-elastisch sein kann

seismische Verbinder

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

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 Lagers auch unter extremen seismischen Verschiebungen gewährleistet ist.

Bemessungserdbebenverschiebung

durch die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung hervorgerufene Verschiebung

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 Bemessungs-Erdbebenverschiebung, die Verschiebung infolge von Langzeiteffekten der ständigen und quasiständigen Einwirkungen und einen angemessenen Bruchteil der Verschiebung infolge Temperaturbewegungen.

1.6 Formelzeichen

1.6.1 Allgemeines

(1) Es gelten die in EN 1990:2002, **1.6** enthaltenen Formelzeichen. Für die materialabhängigen Formelzeichen und auch für die Formelzeichen ohne direkten Bezug zu Erdbeben gelten die Vorschriften der einschlägigen Eurocodes.

(2) Weitere Formelzeichen, die im Zusammenhang mit den Erdbebeneinwirkungen verwendet werden, werden der Einfachheit halber im Textabschnitt, in dem sie vorkommen, definiert. In den folgenden Unterabschnitten werden jedoch zusätzlich die in EN 1998-2 am häufigsten vorkommenden Formelzeichen zusammengestellt und definiert.

1.6.2 Weitere, in den Abschnitten 2 und 3 von EN 1998-2 verwendete Formelzeichen

d_E	Bemessungs-Erdbebenverschiebung (infolge Bemessungs-Erdbebeneinwirkung allein)
d_{Ee}	Erdbebenverschiebung, bestimmt mit Hilfe einer linearen Berechnung
d_G	Langzeitverschiebung infolge ständiger und quasiständiger Einwirkungen
d_g	Bemessungsbodenverschiebung nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.4
d_i	Bodenverschiebung infolge Lastfall B am Auflager i
d_{ri}	Bodenverschiebung am Auflager i bezogen auf das Referenzauflager 0
d_T	Verschiebung infolge von Temperaturbewegungen
d_u	Verschiebung im Grenzzustand der Tragfähigkeit
d_y	Verschiebung an der Streckgrenze
A_{Ed}	Bemessungs-Erdbebeneinwirkung

F_{Rd}	Bemessungswert der Widerstandskraft zur Erdbebeneinwirkung
L_g	Abstand jenseits von dem die Bodenbewegung als vollständig unkorreliert betrachtet werden kann
L_i	Abstand des Auflagers i vom Referenzauflager 0
$L_{i-1,i}$	Abstand zwischen den benachbarten Auflagern $i-1$ und i
R_i	Reaktionskraft am Fuß des Pfeilers i
S_a	Standortbezogenes geglättetes Antwortspektrum
S_i	Standortabhängiges Antwortspektrum
T_{eff}	Effektive Schwingungsdauer der Isolierungsvorrichtung Bedeutungsbeiwert
γ_L	Bedeutungsbeiwert
Δd_i	Bodenverschiebung der Zwischenstütze i bezogen auf die benachbarten Stützen $i-1$ und $i+1$
μ_d	Verschiebungs-Duktilitätsbeiwert, Verschiebungsduktilität
ψ_2	Kombinationsbeiwert für den quasiständigen Wert der Temperatureinwirkung

1.6.3 Weitere Formelzeichen, die im Abschnitt 4 von EN 1998-2 verwendet werden

d_a	Mittelwert der Verschiebungen in Querrichtung aller Pfeilerköpfe infolge der Erdbebeneinwirkung in Querrichtung oder infolge der Einwirkung einer Querbelastrung mit ähnlicher Verteilung
d_i	Verschiebung des Knotens i
d_m	Asymptotischer Wert des Spektrums für die Bodenbewegung m für große Perioden, ausgedrückt als Funktion von Verschiebungen
e	$e_a + e_d$
e_a	Zufällige Massenexzentrizität (= $0,03L$ oder $0,03B$)
e_d	Zusätzliche Exzentrizität zur Berücksichtigung der dynamischen Auswirkung von gleichzeitigen Translations- und Torsionsschwingungen (= $0,05L$ oder $0,05B$)
e_o	Theoretische Exzentrizität
g	Erdbeschleunigung
h	Querschnittshöhe in Biegerichtung des plastischen Gelenks
k_m	Auswirkung der unabhängigen Bodenbewegung Nr. m
r_i	Erforderlicher örtlicher Kraftreduktionsbeiwert am duktilen Bauteil i
r_{min}	Mindestwert von r_i
r_{max}	Größtwert von r_i
A_{Ed}	Bemessungs-Erdbebeneinwirkung
A_{Ex}	Erdbebeneinwirkung in Richtung x
A_{Ey}	Erdbebeneinwirkung in Richtung y
A_{Ez}	Erdbebeneinwirkung in Richtung z
B	Breite des Brückenüberbaus
E	wahrscheinlicher Größtwert einer Beanspruchung

E_i	Antwort in der Modalform i
F	Horizontalkraft, bestimmt nach dem vereinfachten Antwortspektrenverfahren
G	Gesamt-Effektivgewicht des Bauwerks, gleich dem Gewicht des Brückenüberbaus zuzüglich des Gewichts der oberen Pfeilerhälften
G_i	Im Knoten i konzentriertes Gewicht
K	Steifigkeit des Systems
L	Gesamtlänge der durchlaufenden Fahrbahnplatte
L_s	Abstand vom plastischen Gelenk zum Nullpunkt des Momentes
M	Gesamtmasse
$M_{Ed,i}$	Größtwerth des Bemessungsmoments in der Erdbeben-Bemessungssituation am vorgesehenen Ort für das plastische Gelenk des duktilen Bauteils i
$M_{Rd,i}$	Bemessungs-Biegetragfähigkeit des Fließgelenkquerschnitts des duktilen Bauteils i
M_t	Äquivalentes statisches Biegemoment um die Vertikalachse durch den Massenmittelpunkt des Überbaus
$Q_{k,1}$	Charakteristischer Wert der Verkehrslast
R_d	Bemessungswert der Tragfähigkeit (des Widerstands)
$S_d(T)$	Spektralbeschleunigung des Bemessungsspektrums
T	Schwingungsdauer der Grundeigenschwingungsform für die betrachtete Richtung
X	Horizontale Längsachse der Brücke
Y	Horizontale Querachse der Brücke
Z	Vertikalachse
α_s	Schubslankheit des Pfeilers
Δ_d	Größter Unterschied der Verschiebungen aller Pfeilerköpfe in der Querrichtung infolge der Erdbeben-einwirkung in Querrichtung oder infolge der Einwirkung einer Querbelastung ähnlicher Verteilung
η_k	Bezogene Längskraft ($= N_{Ed}/(A_c f_{ck})$)
$\theta_{p,d}$	Bemessungswert der plastischen Rotationskapazität
$\theta_{p,E}$	Nachfragewert für die plastische Gelenkrotation
ξ	Viskoser Dämpfungsgrad (LEHRsches Dämpfungsmaß)
$\psi_{2,i}$	Beiwert für den quasiständigen Wert der veränderlichen Einwirkung i

1.6.4 Weitere Formelzeichen, die im Abschnitt 5 von EN 1998-2 verwendet werden

d_{Ed}	Relative Querverschiebung der Enden des betrachteten duktilen Bauteils
f_{ck}	Charakteristischer Wert der Betonfestigkeit
f_{ctd}	Bemessungswert der Beton-Zugfestigkeit
f_{sd}	Abgeminderte Spannung in der Bewehrung zwecks Rissbeschränkung
f_{sy}	Bemessungswert der Streckgrenze der Bewehrung im Knoten
z_b	Hebelarm der inneren Kräfte in den Endquerschnitten des Trägers
z_c	Hebelarm der inneren Kräfte im Fließgelenkquerschnitt der Stütze

$A_c (V_c, M_c, N_c)$ Zustandsgrößen nach der Kapazitätsbemessung

A_c Fläche des Betonquerschnitts

A_{Ed} Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung (Erdbebeneinwirkung allein)

A_{Sd} Einwirkung in der Erdbeben-Bemessungssituation

A_{sx} Fläche der horizontalen Knotenbewehrung

A_{sz} Fläche der vertikalen Knotenbewehrung

E_d Bemessungswert der Zustandsgrößen in der Erdbeben-Bemessungssituation

G_k Charakteristischer Wert der ständigen Last

M_o Überfestigkeitsmoment

M_{Ed} Bemessungsmoment in der Erdbeben-Bemessungssituation

M_{Rd} Bemessungswert der Biegefestigkeit des Querschnitts

N_{Ed} Längskraft in der Erdbeben-Bemessungssituation

N_{cG} Längskraft in der Stütze infolge der ständigen und quasiständigen Einwirkungen in der Erdbeben-Bemessungssituation

N_{jz} Vertikale Längskraft in einem Knoten

Q_{1k} Charakteristischer Wert der Verkehrslast

Q_2 Quasiständiger Wert lang andauernder Einwirkungen

P_k Charakteristischer Wert der Vorspannung nach Abzug aller Verluste

R_d Bemessungswert für die Tragfähigkeit (Widerstand) des Querschnitts

R_{df} Bemessungsgrößtwert der Reibungskraft des Gleitlagers

T_{Rc} Resultierende Kraft der Stützensugbewehrung

$V_{E,d}$ Bemessungswert der Querkraft

V_{jx} Bemessungswert der horizontalen Querkraft am Knoten

V_{jz} Bemessungswert der vertikalen Querkraft am Knoten

V_{1bC} Querkraft im Träger auf der Zugseite der Stütze

γ_M Werkstoff-Teilsicherheitsbeiwert

γ_o Überfestigkeitsbeiwert

γ_{of} Vergrößerungsbeiwert für die Reibung infolge der Alterung

$\gamma_{Bd}, \gamma_{Bd1}$ Zusätzlicher Sicherheitsbeiwert gegen spröde Versagensformen

ρ_x Bewehrungsgrad der Horizontalbewehrung

ρ_y Bewehrungsgrad der geschlossenen Bügel in Querrichtung des Knotenfelds (senkrecht zur Beanspruchungsebene)

ρ_z Bewehrungsgrad der Vertikalbewehrung

ψ_{21} Kombinationsbeiwert

ΔA_{sx} Fläche der horizontalen Knotenbewehrung, die außerhalb des Knotenkörpers liegt

ΔA_{sz} Fläche der vertikalen Knotenbewehrung, die außerhalb des Knotenkörpers liegt

1.6.5 Weitere Formelzeichen, die in Abschnitt 6 von EN 1998-2 verwendet werden

a_g	Bemessungs-Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A (siehe EN 1998-1:2004, 3.2.2.2).
b	Querschnittsabmessung des Betonkerns senkrecht zur betrachteten Richtung der Umschnürung, gemessen bis zur Mittellinie der Umfangsbügel
$b_{\min}$	Kleinste Abmessung des Betonkerns
d_{bL}	Durchmesser des Längsbewehrungsstabes
d_{eg}	Effektive Verschiebung infolge der räumlichen Veränderlichkeit der erdbebeninduzierten Bodenverschiebung
d_{es}	Effektive Erdbebenverschiebung des Auflagers infolge Bauwerksverformung
d_g	Bemessungs-Spitzenwert der Bodenverschiebung wie in EN 1998-1:2004, 3.2.2.4 festgelegt
f_t	Zugfestigkeit
f_y	Streckgrenze
f_{ys}	Streckgrenze der Längsbewehrung
f_{yt}	Streckgrenze des Querhakens
l_m	Mindestlänge des Auflagers um die sichere Übertragung der Vertikalkraft sicherzustellen.
l_{ov}	Mindestlänge der Überlappung
s	Abstand der Bügelschenkel, von Mitte zu Mitte
s_L	Größtwert des Abstands in Längsrichtung
s_T	Mittiger Abstand zwischen Bügelschenkel oder zusätzliche Querhaken
s_t	Abstand in Querrichtung
v_g	Bemessungswert der Bodengeschwindigkeit
v_s	Scherwellengeschwindigkeit im Boden bei kleinen Schubverzerrungen
A_c	Fläche des Bruttobetonquerschnitts
A_{cc}	Querschnittsfläche des umschnürten Betonkerns des Querschnitts
A_{sp}	Querschnitt der Wendel- oder Ringbewehrung
A_{sw}	Gesamt-Querschnittsfläche der Ringbewehrung oder der Querhaken in Querrichtung der Umschnürung
A_t	Querschnittsfläche eines Schenkels des Querhakens
D_i	Innerer Durchmesser
D_{sp}	Durchmesser der Wendel- oder Ringbewehrung
E_d	Gesamtwert des Erddrucks, der unter Erdbebenbedingungen das Widerlager beansprucht, nach EN 1998-5:2004
F_{Rd}	Bemessungstragfähigkeit (Widerstand)
L_h	Bemessungslänge von plastischen Gelenken
L_{eff}	Effektive Länge der Fahrbahnplatte

Q_d	Gewicht des Teils der Fahrbahnplatte, der mit einem Pfeiler oder Widerlager verbunden ist, oder der kleinere Wert der Gewichte der Fahrbahnabschnitte zu beiden Seiten einer dazwischen liegenden Trennfuge
S	Bodenparameter nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.2
T_c	Eckperiode des elastischen Antwortspektrums wie in EN 1998-1:2004, 3.2.2.2 definiert
α_g	Bemessungs-Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A
η	Bedeutungsbeiwert
γ_s	Freifeld-Erdbebenschubverzerrung des Bodens
δ	Beiwert in Abhängigkeit vom Verhältnis f_t/f_y
μ_Φ	Erforderlicher Krümmungsduktilitätsbeiwert, erforderliche Krümmungsduktilität
ΣA_s	Summe der Querschnittsflächen der Längsbewehrungsstäbe, die durch den Querhaken gehalten werden
ρ_L	Bewehrungsgrad der Längsbewehrung
ρ_w	Bewehrungsgrad der Querbewehrung
ω_{wd}	Mechanischer Bewehrungsgrad der Umschnürungsbewehrung

1.6.6 Weitere, im Abschnitt 7 und in den Anhängen J, JJ und K von EN 1998-2 verwendete Formelzeichen

a_g	Bemessungs-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A
$a_{g,R}$	Bezugs-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A
d	Bemessungswert der Verschiebung
d_b	Verschiebung des Isolators
d_{bd}	Bemessungsverschiebung des Isolators entsprechend der Bemessungsverschiebung des Isolationssystems d_{cd}
d_{bi}	Verschiebung des Isolators i
$d_{bi,a}$	Erhöhte Bemessungsverschiebung des Isolators i
$d_{bi,d}$	Bemessungsverschiebung des Isolators i
d_{cd}	Bemessungsverschiebung des Isolationssystems
d_{cf}	Bemessungsverschiebung des Isolationssystems, ermittelt nach dem vereinfachten Antwortspektrenverfahren
$d_{d,m}$	Berechnete Verschiebung des Steifigkeitszentrums
$\langle A_1 \rangle$	
$d_{m,i}$	maximale Gesamtverschiebung jeder Isolationsvorrichtung i
$d_{G,i}$	Versatz des Isolators i $\langle A_1 \rangle$
d_{id}	Verschiebung des Überbaus am Ort der Stützkonstruktion und des Isolators i
d_m	Verschiebungskapazität des Isolationssystems
d_{max}	Größtwert der Verschiebung

d_n, d_p	Jeweils der Mindestwert der experimentell ermittelten negativen und positiven Verschiebung
d_{rm}	Bleibende Verschiebung (Restverschiebung) des Isolationssystems
d_y	Verschiebung an der Streckgrenze
e_x	Exzentrizität in Längsrichtung der Brücke
r	Trägheitsradius der Masse der Fahrbahn um die Vertikalachse durch ihren Massenmittelpunkt
$sign(\dot{d}_b)$	Vorzeichen des Geschwindigkeitsvektors $\dot{d}_b$
t_e	Gesamtdicke der Elastomerschicht
v	Geschwindigkeit der Bewegung eines viskosen Isolators
v_{max}	Größtwert der Geschwindigkeit eines viskosen Isolators
x_i, y_i	Koordinaten des Pfeilers i im Grundriss
A_b	Effektive Querschnittsfläche des Elastomerlagers
E_D	Pro Zyklus bei der Bemessungsverschiebung des Isolationssystems d_{cd} dissipierte Energie
E_{Di}	Pro Zyklus bei der Bemessungsverschiebung des Isolationssystems d_{cd} dissipierte Energie der Isolierungseinheit i
E_E	Bemessungs-Erdbebenkräfte
E_{EA}	Berechnete Erdbeben-Zustandsgrößen
F_{max}	Größtwert der Kraft entsprechend der Bemessungsverschiebung
F_n, F_p	Experimentelle Mindestwerte der negativen und Größtwerte der positiven Kräfte für Einheiten mit hysteretischem oder Reibungsverhalten, oder experimentelle negative und positive Kräfte entsprechend jeweils d_n und d_p für Einheiten mit viskoelastischem Verhalten
F_y	Kraft an der Streckgrenze unter monotoner Belastung
F_0	Kraft bei der Verschiebung Null unter zyklischer Belastung
G_b	Schubmodul des Elastomerlagers
G_g	Scheinbarer konventioneller Schubmodul des Elastomerlagers nach EN 1337-3:2005
HDRB	Hoch dämpfendes Gummilager
H_i	Höhe des Pfeilers i
K_{bi}	Effektive Steifigkeit der Isolationsvorrichtung i
K_e	Elastische Steifigkeit des bilinearen hysteretischen Isolators unter monotoner Belastung
K_L	Steifigkeit des Bleikerns des Gummilagers mit Bleikern
K_p	Steifigkeit des bilinearen hysteretischen Isolators nach Verlassen des elastischen Bereichs (post-elastische Steifigkeit)
LRB	Gummigleitlager
K_{eff}	Effektive Steifigkeit des Isolationssystems in der betrachteten Haupthorizontalrichtung bei einer Verschiebung gleich der Bemessungsverschiebung d_{cd}
$K_{eff,i}$	Verbundsteifigkeit der Isolationsvorrichtungen und des entsprechenden Pfeilers i
K_{fi}	Steifigkeit des Fundaments des Pfeilers i

K_R	Streifigkeit des Gummis von Gummilagern mit Bleikern
K_{ri}	Rotationssteifigkeit des Fundaments des Pfeilers i
K_{si}	Verschiebungssteifigkeit des Schafts des Pfeilers i
K_{ti}	Translationssteifigkeit des Fundaments von Pfeiler i
K_{xi}, K_{yi}	Effektive Verbundsteifigkeit der Isolationsvorrichtung und des Pfeilers i
M_d	Masse des Überbaus
N_{sd}	Längskraft durch den Isolator
PTFE	Polytetrafluorethen
Q_G	Ständige Längskraft des Isolators
R_b	Radius der sphärischen Gleitfläche
S	Bodenparameter des elastischen Spektrums nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.2
T_C, T_D	Eckperioden des elastischen Spektrums nach 7.4.1(1)P und EN 1998-1:2004, 3.2.2.2
T_{eff}	Effektive Schwingungsdauer des Isolationssystems
$T_{min,b}$	Mindesttemperatur des Lagers für die Erdbebenauslegung
V_d	Größtwert der durch die Isolator-Grenzfläche übertragenen Querkraft
V_f	Größtwert der Querkraft, berechnet mit Hilfe des vereinfachten Antwortspektrenverfahrens
UBDP	Obere Grenzwerte der Bemessungseigenschaften von Isolatoren (Upper bound design properties of isolators)
LBDP	Untere Grenzwerte der Bemessungseigenschaften von Isolatoren (Lower bound design properties of isolators)
α_b	Geschwindigkeitsexponent des viskosen Dämpfers
η	Bedeutungsbeiwert der Brücke
ΔF_{Ed}	Zusätzliche Vertikallasten infolge von seismischen Kippeffekten
ΔF_m	Zuwachs der Kraft zwischen den Verschiebungswerten $d_m/2$ und d_m
μ_d	Dynamischer Reibungskoeffizient
ξ	Äquivalenter viskoser Dämpfungsgrad
ξ_b	Beitrag der Isolatoren zur effektiven Dämpfung
ξ_{eff}	Effektive Dämpfung des Isolationssystems
ψ_{fi}	Kombinationsbeiwert

2 Grundlegende Anforderungen und Übereinstimmungskriterien

2.1 Bemessungs-Erdbebeneinwirkung

(1)P Die Entwurfsphilosophie dieser Norm besteht darin, die Anforderungen des Grenzzustands der Tragfähigkeit aus **2.2.2** und EN 1998-1:2004, **2.1(1)P** für die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung (A_{Ed}) mit ausreichender Zuverlässigkeit zu erfüllen.

(2)P Sofern in diesem Teil nicht anders vorgegeben, ist das elastische Spektrum der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung entsprechend EN 1998-1:2004, **3.2.2.2**, **3.2.2.3** und **3.2.2.4** anzusetzen. Bei der Anwendung der äquivalenten linearen Methode aus **4.1.6** (unter Verwendung des Verhaltensbeiwerts q) muss das Entwurfsspektrum nach EN 1998-1:2004, **3.2.2.5** angenommen werden.

(3)P Die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung, A_{Ed} , wird ausgedrückt mit Hilfe von:

- a) der Referenz-Erdbebeneinwirkung, A_{Ek} , verbunden mit einer Referenz-Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren, P_{NCR} , oder einer Referenz-Wiederkehrperiode, T_{NCR} , (siehe EN 1998-1:2004, **2.1(1)P** und **3.2.1(3)**) und
- b) dem Bedeutungsbeiwert (siehe EN 1990: 2002 und EN 1998-1:2004, **2.1(2)P**, **2.1(3)P** und **(4)**), um hinsichtlich der erforderlichen Zuverlässigkeit zu differenzieren.

$$A_{Ed} = \gamma A_{Ek} \quad (2.1)$$

ANMERKUNG 1 Der Wert, welcher der Referenz-Wiederkehrperiode T_{NCR} , entsprechend der zu benutzenden Referenz-Erdbebeneinwirkung, zur Verwendung in einem Land zugewiesen wird, kann in seinem Nationalen Anhang festgelegt sein. Der empfohlene Wert beträgt: $T_{NCR} = 475$ Jahre.

ANMERKUNG 2 Informationen über die Referenz-Erdbebeneinwirkung und die Auswahl der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung während der Bauphase des Bauwerks sind dem informativen Anhang A zu entnehmen.

(4)P Brücken müssen in Bedeutungsklassen eingestuft werden, in Abhängigkeit von den Folgen ihres Versagens auf menschliches Leben, ihrer Wichtigkeit zur Aufrechterhaltung von Verkehrsverbindungen, besonders in der Zeit unmittelbar nach dem Erdbebenereignis, und den wirtschaftlichen Konsequenzen des Zusammenbruchs.

ANMERKUNG Die Definitionen der Bedeutungsklassen für Brücken in einem Land können in seinem nationalen Anhang festgelegt sein. Die empfohlene Einteilung in drei Bedeutungsklassen geschieht wie folgt:

Allgemein werden Autobahnbrücken und Brücken an Bundes(National-)Straßen sowie Eisenbahnbrücken der Bedeutungsklasse II zugeordnet (von durchschnittlicher Bedeutung).

Die Bedeutungsklasse III beinhaltet Brücken von entscheidender Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Verkehrsverbindungen besonders in der Zeit unmittelbar nach dem Erdbebenereignis, Brücken, deren Versagen mit einer großen Anzahl mutmaßlicher Todesopfer einhergeht und größere Brücken, bei denen eine größere als die übliche Auslegungslbensdauer verlangt wird.

Eine Brücke darf der Bedeutungsklasse I (von weniger als durchschnittlicher Bedeutung) zugeordnet werden, wenn beide folgenden Bedingungen erfüllt sind.

- die Brücke ist unkritisch hinsichtlich Verkehrsverbindungen, und
- die Zugrundelegung entweder der Referenz-Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren, P_{NCR} , für die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung, oder der Standard-Auslegungslbensdauer der Brücke von 50 Jahren ist ökonomisch nicht gerechtfertigt.

Die Bedeutungsklassen I, II und III entsprechen jeweils grob den in EN 1990:2002, **B3.1** definierten Auswirkungskategorien CC1, CC2 und CC3.

(5)P Die Bedeutungsklassen werden durch verschiedene Bedeutungsbeiwerte γ , wie in **2.1(3)P** und in EN 1998-1:2004, **2.1(3)P** beschrieben, gekennzeichnet.

(6) Der Bedeutungsbeiwert $\gamma = 1,0$ ist einem Erdbebenereignis mit der Referenz-Wiederkehrperiode nach **2.1(3)P** und EN 1998-1:2004, **3.2.1(3)** zugeordnet.

ANMERKUNG Die γ_1 zugewiesenen Werte zur Verwendung in einem Land können in einem Nationalen Anhang festgelegt sein. Die Werte von γ_1 dürfen für die verschiedenen Erdbebenzonen des Landes, abhängig von der Erdbebengefährdung und von Überlegungen hinsichtlich der öffentlichen Sicherheit (siehe Anmerkung zu EN 1998-1:2004, **2.1(4)**), unterschiedlich sein. Die empfohlenen Werte für γ_1 für die Bedeutungsklassen I, II und III sind jeweils gleich 0,85; 1 und 3.

2.2 Grundlegende Anforderungen

2.2.1 Allgemeines

(1)P Ziel der Bemessung muss die Erfüllung der folgenden zwei grundlegenden Anforderungen sein.

2.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

(1)P Nach dem Eintreten der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung muss die Brücke ihre Standsicherheit und eine ausreichende Resttragfähigkeit behalten, selbst wenn an einigen Teilen der Brücke stärkere Schäden auftreten können.

(2) Ein Fließen bestimmter Querschnitte infolge Biegung (z. B. die Ausbildung von plastischen Gelenken) darf in den Pfeilern auftreten. Wenn keine seismische Isolation vorgesehen ist, sind solche plastischen Verformungen im Allgemeinen in Gebieten starker Seismizität erforderlich, um die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung auf ein Niveau abzusenken, das im Vergleich zu einer nicht für Erdbeben ausgelegten Brücke zu einem vertretbaren Mehraufwand bei den Baukosten führt.

(3) Allgemein sollte der Brückenüberbau so ausgelegt sein, dass Schäden vermieden werden. Ausgenommen davon sind lokale Schäden von untergeordneten Komponenten, wie Dehnungsfugen, Anschlussplatten (siehe **2.3.2.2(4)**) oder Brüstungen.

(4) Wenn die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung eine hohe Überschreitungswahrscheinlichkeit innerhalb der Bemessungslebensdauer der Brücke aufweist, sollte die Bemessung auf eine schadenstolerante Struktur abzielen. Teile der Brücke, die durch ihren Beitrag zur Energiedissipation unter der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung schadensanfällig sind, sollten so ausgelegt sein, dass sie im Anschluss an das Auftreten der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung eine Nutzung durch den Notverkehr ermöglichen und einfach repariert werden können.

(5) Wenn die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit innerhalb der Bemessungslebensdauer der Brücke aufweist, kann die seismische Einwirkung entsprechend EN 1990:2002, **1.5.3.5** und **4.1.1(2)** als zufällige Einwirkung angesehen werden. In so einem Fall können die Anforderungen aus (3) und (4) gelockert werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Bedingungen zur Anwendung von (5) sowie den Umfang der entsprechenden Lockerungen von (3) und (4) festlegen. Es wird empfohlen, dass (3) und (4) anzuwenden sind, wenn die Referenz-Wiederkehrperiode T_{NCR} näherungsweise gleich 475 Jahre ist.

2.2.3 Schadensbegrenzung (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, SLS)

(1)P Eine Erdbebeneinwirkung mit hoher Auftretenswahrscheinlichkeit darf lediglich geringen Schaden an den untergeordneten Komponenten und an den für die Energiedissipation vorgesehenen Teilen der Brücke verursachen. Alle anderen Teile der Brücke sollten unbeschädigt bleiben.

2.3 Übereinstimmungskriterien

2.3.1 Allgemeines

(1)P Um den in **2.2** dargelegten grundlegenden Anforderungen zu genügen, muss die Bemessung die in den folgenden Abschnitten umrissenen Kriterien erfüllen. Im Allgemeinen erfüllen die Kriterien, während sie explizit auf die Einhaltung des Grenzzustands der Tragfähigkeit abzielen (**2.2.2**), implizit auch diejenigen des Grenzzustands der Schadensbegrenzung (**2.2.3**).

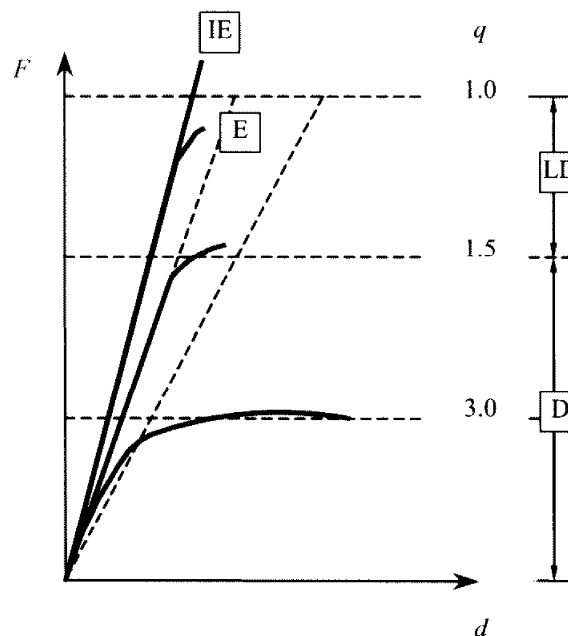
(2) Die Einhaltung der in dieser Norm dargelegten Kriterien wird als ausreichende Erfüllung der grundlegenden Anforderungen aus 2.2 angesehen.

(3)P Die Übereinstimmungskriterien hängen von dem angenommenen Verhalten der Brücke unter der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung ab. Dieses Verhalten darf nach 2.3.2 ausgewählt werden.

2.3.2 Beabsichtigtes seismisches Verhalten

2.3.2.1 Allgemeines

(1)P Die Brücke muss so ausgelegt sein, dass ihr Verhalten unter der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung entweder duktil oder beschränkt duktil/im Wesentlichen linear elastisch ist. Dies hängt von der Seismizität des Gebietes, ob bei der Auslegung eine seismische Isolation angenommen wird oder ob irgendeine weitere Zwangsbedingung vorliegt, ab. Dieses Verhalten (duktil oder beschränkt duktil) wird durch die globale Kraft-Verformungsbeziehung des Bauwerks, wie in Bild 2.1 (siehe auch Tabelle 4.1) schematisch dargestellt, charakterisiert.



Legende

q	Verhaltensbeiwert
IE	ideal elastisch
E	im Wesentlichen elastisch
LD	beschränkt duktil
D	duktil

Bild 2.1 — Seismisches Verhalten

2.3.2.2 Duktiles Verhalten

(1) In Regionen mit mittlerer bis hoher Seismizität ist es sowohl aus ökonomischen als auch aus Sicherheitsgründen üblicherweise empfehlenswert, eine Brücke für duktiles Verhalten zu bemessen, d. h. die Brücke derart auszustatten, dass bei starken Erdbeben ein Großteil der aufgenommenen Energie zuverlässig dissipiert wird. Erreicht wird dies dadurch, dass die Bildung einer geplanten Konfiguration von Biege-Fließgelenken ermöglicht wird, oder durch den Einsatz von Isolationsvorrichtung nach Abschnitt 7. Der folgende Teil dieses Abschnitts bezieht sich auf duktiles Verhalten, welches durch Biege-Fließgelenke realisiert wird.

(2)P Brücken mit duktilem Verhalten müssen so konstruiert werden, dass sich im Bauwerk eine zuverlässig stabile, lokale oder globale kinematische Kette aus Biege-Fließgelenken bilden kann. Diese Gelenke entstehen üblicherweise in den Pfeilern und wirken als die hauptsächlichen Energiedissipationsmechanismen.

(3) Soweit es realisierbar ist, sollten für die Bildung der plastischen Gelenke Orte ausgewählt werden, die für Inspektionen und Reparaturen zugänglich sind.

(4)P Der Brückenüberbau muss im linear-elastischen Bereich bleiben. Dennoch ist die Bildung von plastischen Gelenken (bei Biegung um die Querachse) in den biegeweichen, duktilen Betonplatten zulässig, welche die Durchlaufwirkung zwischen benachbarten, gelenkig gelagerten, vorgefertigten Betonbindern herstellen.

(5)P Plastische Gelenke dürfen nicht in Stahlbetonquerschnitten auftreten, in denen die normierte Axialkraft η_k , definiert in **5.3(4)**, den Wert 0,6 überschreitet.

(6)P Diese Norm enthält keine Regeln für die Duktilität in vorgespannten oder nachträglich vorgespannten Bauteilen. Daher sollte in solche Bauteile die Bildung von plastischen Gelenken infolge der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung vermieden werden.

(7) Biege-Fließgelenke müssen nicht notwendigerweise in allen Pfeilern entstehen. Jedoch wird das optimale postelastische, nicht-lineare seismische Verhalten einer Brücke erreicht, wenn sich plastische Gelenke nahezu gleichzeitig in möglichst vielen Pfeilern bilden.

(8) Die Fähigkeit des Bauwerks, Fließgelenke auszubilden, ist erforderlich, um eine Energiedissipation und somit duktilen Verhalten sicherzustellen (siehe 4.1.6(2)).

ANMERKUNG Die Verformung von Brücken, die ausschließlich auf normale Elastomerlager aufliegen, ist hauptsächlich elastisch und führt somit im Allgemeinen nicht zu duktilem Verhalten (siehe **4.1.6(11)P**).

(9) Die globale Kraft-Verformungsbeziehung sollte ein signifikantes Fließplateau aufweisen und eine hysteretische Energiedissipation über mindestens fünf inelastische Deformationszyklen sicherstellen (siehe Bild 2.1, 2.2 und 2.3).

ANMERKUNG Elastomerlager an einigen Auflagern in Kombination mit monolithischen Auflagern an anderen Pfeilern könnten, nachdem sich Fließgelenke in den anderen stützenden Bauteilen gebildet haben, ein Ansteigen der Widerstandskraft bei zunehmenden Verformungen nach sich ziehen. Jedoch sollte sich die Zuwachsrates der Widerstandskraft nach der Bildung der Fließgelenke deutlich reduzieren.

(10) Stützende Bauteile (Pfeiler oder Widerlager), die durch gleitende oder biegsame Befestigungen (Gleitlager oder biegsame Elastomerlager) mit dem Überbau verbunden sind, sollten im Allgemeinen im linear-elastischen Bereich verbleiben.

2.3.2.3 Beschränkt duktilen Verhalten

(1) Bei Bauwerken mit beschränkt duktilem Verhalten muss eine plastische Zone mit einer wesentlichen Abnahme der Sekantensteifigkeit unter der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung nicht in jedem Fall auftreten. Hinsichtlich der Kraft-Verformungsbeziehung ist die Bildung eines Kraftplateaus nicht erforderlich, so lange die Abweichung vom ideal elastischen Verhalten für eine gewisse hysteretische Energiedissipation sorgt. Einem solchen Verhalten entspricht ein Verhaltensbeiwert von $q \leq 1,5$ und das Verhalten wird in dieser Norm als „beschränkt duktil“ bezeichnet.

ANMERKUNG Werte für q im Bereich zwischen $1 \leq q \leq 1,5$ sind hauptsächlich auf den immer vorhandenen Abstand zwischen der Auslegungs- und der voraussichtlich vorhandenen Festigkeit in der Erdbeben-Bemessungssituation zurückzuführen.

(2) Für Brücken, deren seismisches Verhalten durch Eigenformen höherer Art (z. B. bei Schrägseilbrücken) beherrscht wird, oder bei denen die bauliche Durchbildung der plastischen Gelenke für die Erzeugung eines duktilen Verhaltens nicht zuverlässig gelingt (z. B. aufgrund einer hohen Axialkraft oder einer niedrigen Schubschlankheit), wird ein Verhaltensbeiwert von $q = 1$, entsprechend dem elastischen Verhalten empfohlen.

2.3.3 Beanspruchbarkeitsnachweise

(1)P Bei Brücken, die für duktilen Verhalten ausgelegt sind, muss nachgewiesen werden, dass die Bereiche der plastischen Gelenke angemessene Biegetragfähigkeit als Widerstand gegen die Zustandsgrößen aus der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung, wie in 5.5 beschrieben, aufweisen. Der Schubwiderstand der plastischen Gelenke, sowie der Schub- und Biegewiderstand aller anderen Bereiche, muss so ausgelegt sein, dass sie den „Kapazitätsbemessungszustandsgrößen“, wie in 2.3.4 (siehe auch 5.3) beschrieben, standhalten.

(2) Bei Brücken, die für beschränkt duktilen Verhalten ausgelegt sind, sollte der Nachweis erbracht werden, dass sämtliche Querschnitte eine ausreichende Festigkeit besitzen, um die Zustandsgrößen infolge der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung nach 5.5 aufzunehmen (siehe 5.6.2).

2.3.4 Kapazitätsbemessung

(1)P Bei Brücken mit duktilem Verhalten muss die Kapazitätsbemessung angewendet werden, um sicherzustellen, dass sich eine angemessene Rangordnung der Widerstände innerhalb der verschiedenen Bauteile einstellt. Dadurch wird sichergestellt, dass sich die beabsichtigte Verteilung der plastischen Gelenke ausbildet und dass spröde Versagensformen vermieden werden.

(2)P (1)P wird dadurch erfüllt, dass alle Bauteile, die planmäßig elastisch bleiben sollten, zur Vermeidung spröder Versagensformen für „Schnittkräfte nach der Kapazitätsbemessungsmethode“ ausgelegt werden müssen. Solche Schnittkräfte ergeben sich aus den Gleichgewichtsbedingungen an den vorgesehenen plastischen Bereichen, wenn alle Biege-Fließgelenke einen oberen Fraktilwert ihrer Biegetragfähigkeit (Überfestigkeit), wie in 5.3 beschrieben, entwickelt haben.

(3) Für Brücken mit beschränkt duktilem Verhalten ist die Anwendung der Kapazitätsbemessung nicht erforderlich.

2.3.5 Vorschriften für die Duktilität

2.3.5.1 Allgemeine Anforderungen

(1)P Die vorhergesehenen plastischen Gelenke müssen mit angemessener Duktilität ausgestattet werden, um die erforderliche globale Gesamtduktilität des Bauwerks sicherzustellen.

ANMERKUNG Die Definitionen der globalen und lokalen Duktilitäten, vorgestellt in 2.3.5.2 und 2.3.5.3, schaffen eine theoretische Grundlage für duktilen Verhalten. Im Allgemeinen sind sie für den praktischen Nachweis der Duktilität, welcher nach 2.3.5.4 erfolgt, nicht erforderlich.

2.3.5.2 Globale Duktilität

(1) Mit Bezug auf ein äquivalentes Einmassenschwingersystem mit einer idealisierten elastisch-vollplastischen Kraft-Verformungsbeziehung nach Bild 2.2, wird die Bemessungsduktilität des Bauwerks (die vorhandene Verschiebungsduktilität) als das Verhältnis aus der Verformung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (d_u) und der Fließverformung (d_y) definiert. Beide Verformungen werden am Massenmittelpunkt gemessen, d. h. $\mu_d = d_u/d_y$.

(2) Wenn eine äquivalente lineare Berechnung durchgeführt wird, wird die Fließkraft der globalen elastisch-vollplastischen Kraft-Verformungsbeziehung gleich dem Bemessungswert der Widerstandskraft F_{Rd} angenommen. Die Fließverformung, die den elastischen Zweig definiert, wird so ausgewählt, dass das Bemessungs-Kraft-Verformungsdiagramm für monotone Belastung möglichst gut angenähert wird.

(3) Die Grenzverformung d_u wird als die maximale Verformung definiert, die folgende Bedingung erfüllt. Das Bauwerk sollte in der Lage sein, mindestens 5 vollen Verformungszyklen der Grenzverformung zu widerstehen:

-

A	Bemessung
B	Elastoplastisch

A	Monotone Belastung
B	5-ter Zyklus

2.3.5.3 Lokale Duktilität an den plastischen Gelenken

$$\mu_\phi = \Phi_u/\Phi_v \quad (2.2)$$

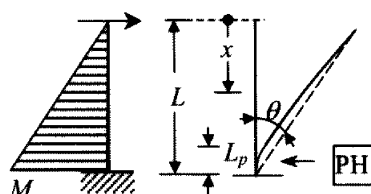
oder als Funktion der Sekanten-Rotationsduktilität an den Enden, an denen sich die plastischen Gelenke bilden, in Abhängigkeit ihrer plastischen Rotationsfähigkeit, $\theta_{p,u} = \theta_u - \theta_y$, ausgedrückt werden:

$$\mu_\theta = \theta_u / \theta_y = 1 + (\theta_u - \theta_y) / \theta_y = 1 + \theta_{p,u} / \theta_y \quad (2.3)$$

Die Sekantendrehung wird, wie in Bild 2.4 zu sehen, über die Länge L zwischen dem Endquerschnitt des plastischen Gelenks und dem Nullpunkt des Momentes gemessen.

ANMERKUNG 1 Für Betonbauteile wird die Beziehung zwischen θ_p , Φ_u , Φ_y , L und L_p durch Gleichung (E16b) in **E.3.2** des informativen Anhangs **E** beschrieben.

ANMERKUNG 2 Für Betonbauteile kann die Länge der plastischen Gelenke L_p im nationalen Anhang als eine Funktion der Geometrie und anderer Eigenschaften des Bauteils festgelegt sein. Die vorgeschlagene Gleichung ist in Anhang **E** angegeben.



Legende

PH Plastisches Gelenk

Bild 2.4 — Sekantendrehung $\theta = \frac{1}{L} \int_0^L \Phi x dx$

(2) In den obigen Ausdrücken sollten die Grenzverformungen den Definitionen in **2.3.5.2(3)** entsprechen.

ANMERKUNG Die Beziehung zwischen der Krümmungsduktilität eines plastischen Gelenks und der globalen Verschiebungsduktilität wird für einfache Fälle in **Anhang B** gegeben. Diese Beziehung ist nicht für den Nachweis der Duktilität vorgesehen.

2.3.5.4 Nachweis der Duktilität

(1)P Die Erfüllung der speziellen Regeln, nach **Abschnitt 6**, stellt die Verfügbarkeit von angemessener lokaler und globaler Duktilität sicher.

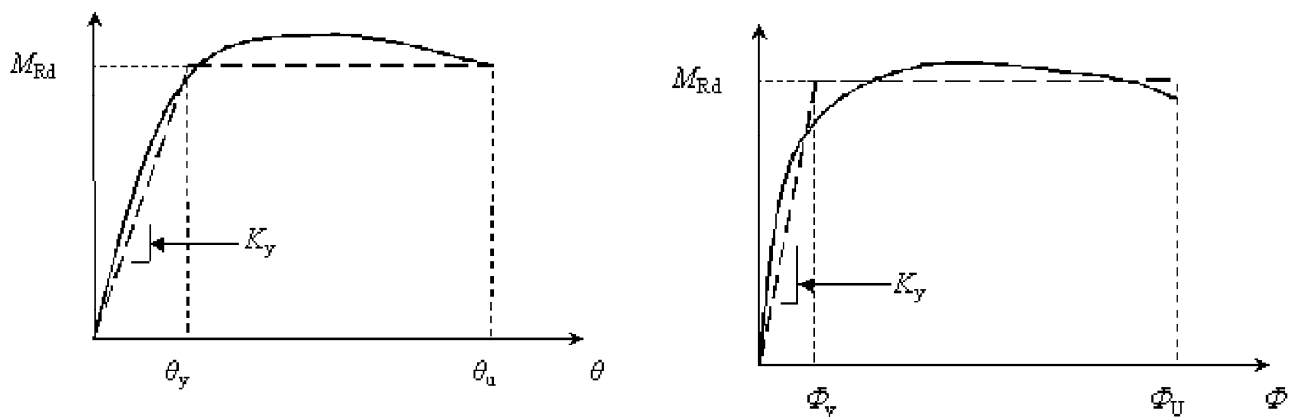
(2)P Werden nicht-lineare statische oder dynamische Berechnungen durchgeführt, muss die Forderung an den Sekantendrehwinkel mit der vorhandenen (angebotenen) Rotationskapazität der plastischen Gelenke (siehe **4.2.4.4**) verglichen werden.

(3) Für Brücken mit beschränkt duktilem Verhalten sollten die Bestimmungen aus **6.5** angewendet werden.

2.3.6 Anschlüsse — Kontrolle von Verschiebungen — Bauliche Durchbildung

2.3.6.1 Effektive Steifigkeit — Auslegungs-Erdbebenverschiebung

(1)P Wenn äquivalente lineare Berechnungsmethoden angewendet werden, muss die Steifigkeit jedes Bauteils entsprechend seiner Sekantensteifigkeit bei der für die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung ermittelte maximale Spannung gewählt werden. Für Bauteile, die plastische Gelenke enthalten, entspricht dies der Sekantensteifigkeit an der theoretischen Streckgrenze (siehe Bild 2.5).



Links: Moment-Verdrehungs-Beziehung eines plastischen Gelenkes für Baustahl;
Rechts: Moment-Krümmungs-Beziehung eines Stahlbetonquerschnitts.

Bild 2.5 — Moment — Verformungsbeziehungen an plastischen Gelenken

(2) Für Stahlbetonbauteile in Brücken, die für duktiles Verhalten bemessen werden, und für den Fall, dass kein genaueres Verfahren verwendet wird, darf die in einer linearen Berechnung (statisch oder dynamisch) für die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung verwendete effektive Biegesteifigkeit wie folgt bestimmt werden.

- Für Brückenpfeiler aus Stahlbeton wird der Wert auf der Grundlage der Sekantensteifigkeit an der theoretischen Streckgrenze berechnet.
- Für Fahrbahnen aus Spannbeton oder Stahlbeton wird die Steifigkeit der ungerissenen Brutto-Betonquerschnitte benutzt.

ANMERKUNG **Anhang C** gibt Hinweise für die Abschätzung der effektiven Steifigkeit von Stahlbetonbauteilen.

(3) Für Brücken, die für beschränkt duktilen Verhalten ausgelegt sind, können entweder die Regeln aus (2) angewendet werden oder die Biegesteifigkeit des ungerissenen Brutto-Betonquerschnitts für das gesamte Bauwerk angesetzt werden.

(4) Sowohl für Brücken mit duktilem als auch mit beschränkt duktilem Verhalten sollte der starke Abfall der Torsionssteifigkeit des Betonüberbaus im Verhältnis zur Torsionssteifigkeit des ungerissenen Überbaus berücksichtigt werden. Wenn keine genauere Berechnung durchgeführt wird, können die folgenden Anteile der Torsionssteifigkeit des ungerissenen Bruttoquerschnitts verwendet werden:

- bei offenen Querschnitten oder Platten darf die Torsionssteifigkeit vernachlässigt werden;
- 50 % der Steifigkeit des ungerissenen Brutto-Querschnitts bei vorgespannten Kastenquerschnitten;
- 30 % der Steifigkeit des ungerissenen Brutto-Querschnitts bei Stahlbeton-Kastenquerschnitten.

(5) Sowohl für duktile als auch für beschränkt duktile Brücken sollten die Verformungen aus den Berechnungen nach (2) und (3) mit dem Verhältnis aus (a), der in der Berechnung benutzten Biegesteifigkeit des Bauteils, zu (b), dem Wert der Biegesteifigkeit entsprechend dem aus der Berechnung resultierenden Spannungsniveau, multipliziert werden.

ANMERKUNG Es ist bekannt, dass im Fall einer äquivalenten linearen Berechnung (siehe 4.1.6(1)P) die Überschätzung der effektiven Steifigkeit zu Ergebnissen führt, die hinsichtlich der seismischen Zustandsgrößen auf der sicheren Seite liegen. In einem solchen Fall brauchen nach der Berechnung lediglich die Verformungen auf der Basis der Biegesteifigkeit entsprechend der ermittelten Größe der Momente korrigiert werden. Demgegenüber sollte die Berechnung mit einem besseren Näherungswert für die effektive Steifigkeit wiederholt werden, falls die ursprünglich angenommene effektive Steifigkeit deutlich geringer ist als diejenige die den Spannungen aus der Berechnung entspricht.

(6)P Falls eine lineare seismische Berechnung auf der Grundlage des Entwurfsspektrums nach EN 1998-1:2004, **3.2.2.5** durchgeführt wird, muss die Bemessungs-Erdbebenverschiebung, d_E , aus den aus dieser Berechnung ermittelten Verschiebungen, d_{Ee} , wie folgt berechnet werden:

$$d_E = \pm \eta \mu_d d_{Ee} \quad (2.4)$$

mit

η Korrekturfaktor der Dämpfung nach EN 1998-1:2004, **3.2.2.2(3)**, mit den in **4.1.3(1)** festgelegten Dämpfungswerten ξ ermittelt.

(7) Wenn die Verformungen d_{Ee} aus einer linearen elastischen Berechnung auf der Grundlage des elastischen Spektrums nach EN 1998-1:2004, **3.2.2.2** ($q = 1,0$) berechnet wurden, muss die Bemessungs-erdbebenverschiebung, d_E , gleich d_{Ee} gesetzt werden.

(8)P Die Verschiebungsduktilität muss wie folgt angenommen werden:

— wenn die Grundswingungsdauer T in der betrachteten horizontalen Richtung $T \geq T_0 = 1,25T_C$, mit T_C als Eckperiode nach EN 1998-1:2004, **3.2.2.2**, ist, dann gilt

$$\mu_d = q \quad (2.5)$$

— für $T < T_0$ gilt

$$\mu_d = (q - 1) \frac{T_0}{T} + 1 \leq 5q - 4 \quad (2.6)$$

wobei q der bei der Berechnung des Werts d_{Ee} angenommene Verhaltensbeiwert ist.

ANMERKUNG Gleichung (2.6) sieht einen langsamen Übergang zwischen der Regel der „gleichen Verschiebung“, anwendbar für $T \geq T_0$, und dem Bereich kurzer Perioden (unüblich für Brücken) vor, bei dem die Annahme eines kleinen q -Wertes angebracht ist. Für sehr kleine Perioden ($T < 0,033$ s) sollte $q = 1$ (siehe auch **4.1.6(9)**) und somit $\mu_d = 1$ angenommen werden.

(9)P Wenn nicht-lineare Zeitverlaufsrechnungen durchgeführt werden, müssen die Verformungskurven der plastisch werdenden Bauteile ihrem tatsächlichen nicht-linearen Verhalten entsprechen, und zwar sowohl bezüglich der Belastungs- und Entlastungsäste der Hystereseschleife als auch bezüglich möglicher Verminderungs-(Degradations-)effekte (siehe **4.2.4.4**).

2.3.6.2 Anschlüsse

(1)P Anschlüsse zwischen stützenden und gestützten Bauteilen müssen so bemessen sein, dass die Standsicherheit sichergestellt ist und ein Herunterfallen von den Lagern unter extremen Erdbebenverformungen verhindert wird.

(2) Wenn in diesem Teil nicht anders festgelegt, sollten Lager, Verbindungen und Ankervorrichtungen zur Sicherstellung der Standsicherheit unter Verwendung der Zustandsgrößen aus der Kapazitätsbemessung (siehe **5.3**, **6.6.2.1**, **6.6.3.1** und **6.6.3.2**) bemessen werden.

(3) Bei neuen Brücken sollten an beweglichen Anschlüssen angemessene Überlappungslängen zwischen stützenden und gestützten Bauteilen vorgesehen werden, um das Herunterfallen von den Lagern (siehe **6.6.4**) zu vermeiden.

(4) Bei der Ertüchtigung bestehender Brücken können als Alternative zum Anordnen einer Überlappungslänge energiedissipierende Verbindungen zwischen stützenden und gestützten Bauteilen vorgesehen werden (siehe **6.6.1(3)P** und **6.6.3.1(1)**).

2.3.6.3 Begrenzung von Verschiebungen — bauliche Durchbildung

(1)P Neben der Sicherstellung der benötigten globalen Duktilität, muss die bauliche Durchbildung der tragenden und nicht tragenden Bauteile der Brücke und ihrer Komponenten für die Aufnahme der Verformungen in der Erdbeben-Bemessungssituation sorgen.

(2)P Zum Schutz von kritischen oder wichtigen tragenden Bauteilen müssen Fugen vorgesehen werden. Solche Fugen müssen den resultierenden Bemessungswert der Verschiebung in der Erdbeben-Bemessungssituation, d_{Ed} , aufnehmen, und deren lichte Breite wird wie folgt berechnet:

$$d_{Ed} = d_E + d_G + \psi_2 d_T \quad (2.7)$$

wobei die folgenden Verschiebungen mit dem jeweils ungünstigen Vorzeichen kombiniert werden müssen:

d_E ist die Auslegungs-Erdbebenverschiebung entsprechend **2.3.6.1**;

d_G ist die Langzeitverschiebung aufgrund der ständigen und der quasi-ständigen Einwirkungen (z. B. nachträgliches Vorspannen, Schwinden und Kriechen des Betonüberbaus);

d_T ist die Verschiebung aufgrund der Temperaturbewegungen;

ψ_2 ist der Kombinationsbeiwert für die quasi-ständigen Werte der thermischen Einwirkung entsprechend EN 1990:2002, Tabellen A2.1, A2.2 oder A2.3.

Falls sie maßgebend sind, müssen Effekte nach Theorie 2. Ordnung zur Berechnung des Gesamt-Bemessungswerts der Verschiebung in der Erdbeben-Bemessungssituation berücksichtigt werden.

(3) Die relative Bemessungs-Erdbebenverschiebung, d_E , zwischen zwei unabhängigen Abschnitten einer Brücke kann als Wurzel der Summe der Quadrate der für jeden Abschnitt nach **2.3.6.1** berechneten Bemessungs-Erdbebenverschiebungswerte bestimmt werden.

(4)P Große Stoßkräfte, ausgelöst durch unvorhersehbare Stöße zwischen wichtigen Bauteilen, müssen mittels duktiler/federnder Bauteile oder durch spezielle energieabsorbierende Vorrichtungen (Puffer) unterbunden werden. Solche Bauteile müssen mindestens einen Schlupf aufweisen, der gleich dem gesamten Bemessungswert der Verschiebung, d_{Ed} , in der Erdbeben-Bemessungssituation ist.

(5) Die bauliche Durchbildung von nicht tragenden Bauteilen (z. B. Bewegungsfugen des Überbaus und an Widerlagermauern), deren Beschädigung aufgrund der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung zu erwarten ist, sollte für die anzunehmende Art des Schadens vorsorgen und die ständige Möglichkeit zur Instandsetzung vorsehen. Die lichten Fugenbreiten sollten angemessene Anteile der Bemessungs-Erdbebenverschiebung und der Temperaturbewegungen, entsprechend p_E und p_T , unter Beachtung aller langzeitlicher Kriech- und Schwindeffekte, aufnehmen, so dass Schäden unter häufigen Erdbeben verhindert werden. Zweckmäßige Werte für diese Anteile können basierend auf einer Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zur Verhinderung der Schäden ausgewählt werden.

ANMERKUNG 1 Der zur Verwendung in einem Land zugewiesene Wert für p_E und p_T kann in Abwesenheit einer expliziten Optimierung in dem Nationalen Anhang festgelegt sein. Die folgenden Werte werden empfohlen: $p_E = 0,4$ (für die Bemessungs-Erdbebenverschiebung); $p_T = 0,5$ (für die Temperaturbewegungen).

ANMERKUNG 2 An Fugen von Eisenbahnbrücken muss unter Umständen eine Relativverschiebung in Querrichtung entweder ganz vermieden oder auf geeignete Werte zur Verhinderung von Entgleisungen begrenzt werden.

2.3.7 Vereinfachte Kriterien

- (1) Für Fälle niedriger Seismizität können vereinfachte Entwurfskriterien eingeführt werden.

ANMERKUNG 1 Die Festlegung der Brückenkategorien, des Bodentyps und der Erdbebenzone, für welche die Anforderungen für niedrige Seismizität gelten, können im Nationalen Anhang des jeweiligen Landes enthalten sein. Es wird empfohlen, dass die Fälle von niedriger Seismizität (und dementsprechend mittlerer bis hoher Seismizität), wie in der Anmerkung zur EN 1998-1:2004, **3.2.1(4)** empfohlen, definiert werden sollten.

ANMERKUNG 2 In Fällen niedriger Seismizität können für die Erdbebenbemessung die Einteilung der Brücken und die vereinfachten Kriterien mit Bezug auf einzelne Brückenklassen in dem nationalen Anhang festgelegt sein. Es wird empfohlen, dass sich diese vereinfachten Kriterien auf beschränkt duktilen/im Wesentlichen linear elastisches seismisches Verhalten der Brücke, für die keine speziellen Anforderungen an die Duktilität notwendig sind, beziehen.

2.4 Konzeptioneller Entwurf

- (1) Während der Planungsphase der Brücke ist die Berücksichtigung der Folgen der Erdbebeneinwirkung, auch in Fällen von niedriger oder mittlerer Seismizität wichtig.

- (2) In Fällen niedriger Seismizität sollte über die Art des vorgesehenen seismischen Verhaltens der Brücke (siehe **2.3.2**) entschieden werden. Wenn ein beschränkt duktiler (oder ein im Wesentlichen linear elastischer) Verhalten gewählt wird, können vereinfachte Kriterien nach **2.3.7** angewendet werden.

- (3) In Fällen von mittlerer bis hoher Seismizität, ist die Wahl von duktilem Verhalten generell angebracht. Es sollte entschieden werden, ob die Umsetzung durch die planmäßige Bildung von zuverlässigen, plastischen Mechanismen oder durch die Benutzung von Vorrichtungen zur seismischen Isolierung und zur Dissipation von Energie erfolgen soll. Wenn duktiler Verhalten vorgesehen ist, sollten **(4)** bis **(8)** beachtet werden.

- (4) Die Anzahl der stützenden Bauteile (Pfeiler und Widerlager), die zum Widerstand gegen seismische Kräfte in Längs- und Querrichtung beitragen, sollte festgelegt werden. Im Allgemeinen verhalten sich Brücken mit durchlaufenden Überbau unter seismischer Beanspruchung günstiger als solche mit vielen Bewegungsfugen. Das optimale nicht-lineare seismische Verhalten ist erreicht, wenn sich die plastischen Gelenke in möglichst vielen Pfeilern fast gleichzeitig bilden. Dennoch kann die Anzahl der Pfeiler, die der Erdbebeneinwirkung widerstehen, kleiner sein als die Gesamtanzahl der Pfeiler, wenn in der Längsrichtung gleitende oder flexible Verbindungen zwischen dem Überbau und einigen Pfeilern angeordnet werden, um die Spannungen aus Zwangsverformungen des Oberbaus, resultierend aus thermischen Einwirkungen, Schwinden und anderen nicht seismischen Einwirkungen, zu reduzieren.

- (5) Es sollte ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Festigkeits- und den Beweglichkeitsanforderungen an die horizontalen Auflager bestehen. Hohe Beweglichkeit reduziert die Größe der durch die Bemessungs-Erdbebeneinwirkung entstehenden Horizontalkräfte, erhöht aber die Verschiebungen an den Anschlussstellen und den beweglichen Lagern, und kann so zu großen Effekten nach Theorie 2. Ordnung führen.

- (6) Im Fall von Brücken mit durchlaufenden Überbauten sowie mit einer Quersteifigkeit der Widerlager und der angrenzenden Pfeiler, die im Verhältnis zu derjenigen der übrigen Pfeilern sehr hoch ist (wie zum Beispiel in tief eingeschnittenen Tälern mit steilen Abhängen), ist es möglicherweise günstiger, auf den kurzen Pfeilern oder den Widerlagern in Querrichtung Gleit- oder Elastomerlager anzuordnen, um eine ungünstige Verteilung der transversalen Erdbebeneinwirkung zwischen den Pfeilern und den Widerlagern (wie beispielhaft in Bild 2.6 dargestellt) zu verhindern.

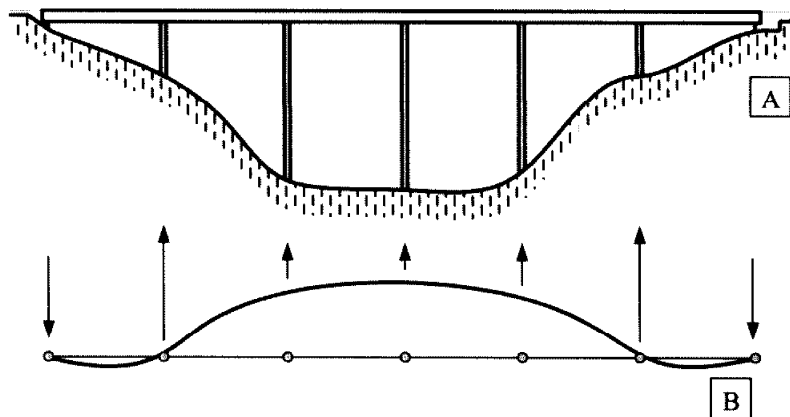
- (7) Die Lage der Energie abbauenden Elemente sollte so gewählt werden, dass die Zugänglichkeit für Inspektionen und Reparaturen sicher gestellt ist. Solche Stellen sollten in den zugehörigen Planungsunterlagen deutlich vermerkt werden.

- (8) Die Lage der Bereiche mit möglichen oder erwarteten Schäden durch Erdbeben sollten zusätzlich zu den in **(7)** beschriebenen Bereichen kenntlich gemacht und der Schwierigkeitsgrad zur Durchführung von Reparaturen möglichst klein gehalten werden.

(9) Bei außergewöhnlich langen Brücken oder bei Brücken, die ungleichmäßige Bodenformationen überspannen, sollte über die Anzahl und die Lage von Zwischenfugen entschieden werden.

(10) Für Brücken, die möglicherweise aktive tektonische Verwerfungen überspannen, sollte die zu erwartende Unstetigkeit der Bodenverschiebung abgeschätzt und entweder durch angemessene Flexibilität des Bauwerks oder durch die Anordnung von geeigneten Bewegungsfugen aufgenommen werden.

(11) Das Verflüssigungspotenzial des Baugrundes sollte nach den einschlägigen Festlegungen von EN 1998-5:2004 ermittelt werden.



Legende

- A Aufriss
B Grundriss

Bild 2.6 — Ungünstige Verteilung der transversalen Erdbebeneinwirkung

3 Erdbebeneinwirkung

3.1 Definition der Erdbebeneinwirkung

3.1.1 Allgemeines

(1)P Die Komplexität des zur Beschreibung der Erdbebeneinwirkung gewählten Modells muss der zu beschreibenden maßgebenden Erdbebenbewegung und der Bedeutung des Bauwerks sowie der Detaillierungsstufe des Modells für die rechnerische Brückenuntersuchung entsprechen.

(2)P In diesem Teil wird nur die durch den Boden auf das Tragwerk übertragene Erschütterung für die Quantifizierung der Erdbebeneinwirkung berücksichtigt. Jedoch können Erdbeben bleibende Verschiebungen in Böden, die durch Grundbruch oder Verwerfungen entstehen, hervorrufen. Diese Verschiebungen können zu aufgezwungenen Verformungen führen, mit schwerwiegenden Folgen für die Brücken. Diese Art von Gefährdung muss durch genauere Untersuchungen erfasst werden. Die Folgen sollten durch geeignete Maßnahmen, wie die Wahl eines passenden statischen Systems, minimiert werden. Tsunami-Effekte werden in dieser Norm nicht behandelt.

3.1.2 Aufbringung der Bodenbewegungskomponenten

1(P) Im Allgemeinen brauchen nur die drei Verschiebungskomponenten der Erdbebeneinwirkung bei der Bemessung von Brücken berücksichtigt zu werden. Wenn das Antwortspektrenverfahren angewendet wird, ist es möglich, die Brücke getrennt für die Verschiebungskomponenten der Erdbebeneinwirkung in Längs- und Vertikrichtung zu berechnen. In diesem Fall wird die Erdbebeneinwirkung durch drei Einwirkungen mit jeweils einer Komponente für jede Richtung abgebildet, die nach 3.2 quantifiziert sind. Die resultierenden Zustandsgrößen müssen nach 4.2.1.4 kombiniert werden.

2(P) Wenn eine nicht-lineare Zeitverlaufsrechnung durchgeführt wird, muss die Brücke unter der gleichzeitigen Einwirkung aller unterschiedlichen Komponenten berechnet werden.

(3) Die Erdbebeneinwirkung wird an der Grenzschicht zwischen dem Bauwerk und dem Boden angesetzt. Falls Federn zur Erfassung der Bodensteifigkeit verwendet werden, entweder bei Flachgründungen oder bei Tiefgründungen, wie Pfählen, Schächten (Senkkästen) usw. (siehe EN 1998-5:2004), wird die Bewegung am bodenseitigen Ende der Federn angesetzt.

3.2 Quantifizierung der Komponenten

3.2.1 Allgemeines

(1)P Jede Komponente der Erdbebenbewegung muss in Form eines Antwortspektrums oder einer Zeitverlaufsdarstellung (in untereinander konsistenter Form) bestimmt werden, wie in EN 1998-1:2004, Abschnitt 3 dargelegt, wo auch die Grundbegriffe zu finden sind.

3.2.2 Standortabhängiges elastisches Antwortspektrum

3.2.2.1 Horizontale Komponente

(1)P Die horizontale Komponente muss in Abhängigkeit vom Bodentyp am Fundament der Brückenlager nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.2 angenommen werden. Wenn mehr als ein Bodentyp an den Auflagern ansteht ist 3.3 anzuwenden.

3.2.2.2 Vertikale Komponente

(1)P Wenn die vertikale Komponente der seismischen Bewegung berücksichtigt werden muss (siehe 4.1.7), dann muss das standortabhängige Antwortspektrum dieser Komponente nach EN 1998-1:2004, 3.2.2.3 angenommen werden.

3.2.2.3 Nahbereichs-Effekte

(1)P Standortspezifische Spektren, welche Nahbereichs-Effekte berücksichtigen, müssen verwendet werden, wenn der Standort im 10-km-Umkreis horizontaler Entfernung zu einer bekannten aktiven seismotektonischen Verwerfung liegt, die ein Ereignis mit einer Momentenmagnitude größer als 6,5 hervorrufen könnte.

ANMERKUNG Sofern der nationale Anhang nichts anderes festgelegt, wird für die Zwecke dieser Anforderung empfohlen, eine seismotektonische Verwerfung als aktiv anzunehmen, wenn dort eine durchschnittliche historische Verschiebungsrates von mindestens 1 mm/Jahr anzutreffen ist und es topographische Anzeichen seismischer Aktivität im Holozän (vergangene 11 000 Jahre) gibt.

3.2.3 Zeitbereichsdarstellung

(1)P Wenn eine nicht-lineare Zeitverlaufsrechnung durchgeführt wird, müssen mindestens drei Paare horizontaler Bodenbewegungszeitverläufe für die Komponenten benutzt werden. Die Datensätze sollten aus aufgezeichneten Ereignissen ausgewählt werden, deren Magnituden, Herdentfernungen und Mechanismen in Übereinstimmung mit denen der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung sind.

(2) Falls die geforderte Anzahl von geeigneten aufgezeichneten Datensätzen nicht verfügbar ist, können geeignete modifizierte Aufzeichnungen oder simulierte Beschleunigungszeitverläufe die fehlenden gemessenen Bewegungen ersetzen.

(3)P Die Übereinstimmung mit den einschlägigen, mit 5 % gedämpften Antwortspektren der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung, muss durch Skalierung der Bewegungsamplituden wie folgt erreicht werden.

- a) Für jedes aus zwei Zeitverläufen horizontaler Bewegungen bestehende Erdbeben muss das SRSS-Spektrum durch Bildung der Quadratwurzel der Summe der Quadrate der mit 5 % gedämpften Spektren beider Komponenten berechnet werden.
- b) Die Zusammenfassung des Spektrums aller Erdbeben (Ensemble-Spektrum) muss durch Mittelwertbildung aus den SRSS-Spektren der einzelnen Erdbeben aus dem vorherigen Schritt gebildet werden.
- c) Das Ensemble-Spektrum muss derart skaliert werden, dass es nicht kleiner ist als das 1,3fache des mit 5 % gedämpften elastischen Antwortspektrums der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung im Periodenbereich zwischen $0,2T_1$ und $1,5T_1$ mit T_1 als Periode der Grundeigenform des Bauwerks im Fall einer duktilen Brücke, oder im Fall einer Brücke mit Erdbebenisolierung als effektive Periode (T_{eff}) des Isolationssystems (siehe 7.2).
- d) Der im vorherigen Schritt abgeleitete Skalierungsfaktor muss auf alle einzelnen Komponenten der Erdbebenbewegung angewendet werden.

(4) Falls das SRSS-Spektrum der Komponenten eines aufgezeichneten Beschleunigungszeitverlaufs Beschleunigungen ergibt, deren Verhältnis zu den entsprechenden Werten des elastischen Antwortspektrums der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung große Abweichungen im Periodenbereich nach (3)P c aufweist, kann der aufgezeichnete Beschleunigungszeitverlauf verändert werden, so dass das SRSS-Spektrum der modifizierten Komponenten eine bessere Übereinstimmung mit dem elastischen Antwortspektrum der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung zeigt.

(5)P Die Komponenten jedes Paares von Zeitverläufen müssen gleichzeitig wirkend aufgebracht werden.

(6) Wenn drei Komponenten gemessener Bodenbeschleunigungsverläufe für eine nicht-lineare Zeitbereichsuntersuchung verwendet werden, ist es möglich, eine Skalierung der horizontalen Komponenten in Übereinstimmung mit (3)P vorzunehmen, unabhängig von der Skalierung der vertikalen Komponenten. Letztere muss derart durchgeführt werden, dass der Mittelwert der relevanten Ensemble-Spektren um nicht mehr als 10 % niedriger liegt als das mit 5 % gedämpfte elastische Antwortspektrum der vertikalen Bemessungs-Erdbebeneinwirkung im Periodenbereich zwischen $0,2T_v$ und $1,5T_v$. Hierbei ist T_v die Periode der niedrigsten Eigenform, deren Antwort auf die vertikale Komponente größer ist als die Antwort auf die horizontale Komponente (z. B. ausgedrückt durch die anteilige Masse).

(7) Die Verwendung von Paaren von aufgezeichneten horizontalen Bodenbewegungs-Datensätzen in Kombination mit vertikalen Aufzeichnungen von davon verschiedenen Erdbebenbewegungen, die mit den Anforderungen nach (1)P weiter oben im Einklang sind, ist ebenfalls zulässig. Die unabhängige Skalierung der Paare der horizontalen Aufzeichnungen und der vertikalen Aufzeichnungen sollte nach (6) durchgeführt werden.

(8) Eine Veränderung der aufgezeichneten Vertikalkomponenten nach (6) und (7) ist unter Anwendung des unter (4) angegebenen Verfahrens zulässig.

3.2.4 Standortabhängiges Bemessungsspektrum für lineare Berechnungen

(1)P Sowohl duktile als auch eingeschränkt duktile Strukturen müssen mit Hilfe linearer Berechnungen unter Verwendung eines reduzierten Antwortspektrums, genannt Bemessungsspektrum, wie in EN 1998-1:2004, 3.2.2.5 angegeben, bemessen werden.

3.3 Räumliche Veränderlichkeit der Erdbebeneinwirkung

(1)P Für Brückenquerschnitte mit einem durchgehenden Überbau muss die räumliche Veränderlichkeit berücksichtigt werden, wenn eine oder beide der folgenden Bedingungen zutreffen.

- Die Bodeneigenschaften entlang der Brücke schwanken derart, dass mehr als ein Bodentyp (wie in EN 1998-1:2004, 3.1.1 angegeben) an den Auflagern des Brückenüberbaus anzutreffen ist.
- Die Bodeneigenschaften entlang der Brücke sind ungefähr einheitlich, aber die Länge des durchgehenden Überbaus überschreitet einen angemessenen Grenzwert, L_{lim} .

ANMERKUNG Der in einem Land L_{lim} zugewiesene Wert kann in seinem nationalen Anhang festgelegt sein. Der empfohlene Wert ist: $L_{lim} = L_g/1,5$ wobei die Länge L_g unter (6) nachstehend beschrieben ist.

(2)P Das die räumliche Veränderlichkeit beschreibende Modell sollte, wenn auch nur vereinfacht, den mit ihrer Fortpflanzung zusammenhängenden Charakter der Erdbebenwellen, sowie auch den fortschreitenden Verlust an Korrelation zwischen den Bewegungen an verschiedenen Orten, hervorgerufen durch die zufällige Inhomogenität des Bodens, die eine komplexe Reflektion und Refraktion der Wellen hervorruft, berücksichtigen. Das Modell sollte dazu, auch wenn nur in vereinfachter Form, den zusätzlichen Anstieg des Korrelationsverlusts, der durch die Unterschiede der mechanischen Eigenschaften des Bodens entlang der Brücke hervorgerufen wird, berücksichtigen, wodurch auch der Frequenzgehalt von einem Lager zum anderen verändert wird.

ANMERKUNG Modelle für die räumliche Veränderlichkeit der Erdbebenbewegungen und geeignete Berechnungsmethoden werden im informativen Anhang D aufgezeigt.

(3) Solange keine genauere Untersuchung durchgeführt wird, kann die in den Absätzen (4) bis (7) angegebene vereinfachte Methode verwendet werden.

(4) Die Trägheitsantwort sollte durch eine der in Abschnitt 4 (siehe 4.2.1, 4.2.3 und 4.2.4) angegebenen Methoden unter Verwendung einer einzigen Erdbebeneinwirkung als Eingang für das Gesamtbauwerk, die dem schlechtesten Bodentyp unter den Brückenlagern entspricht, berücksichtigt werden (z. B. ein einziges Antwortspektrum oder zugehörige Beschleunigungszeitverläufe als Musterfunktionen).

(5) Die räumliche Veränderlichkeit der Erdbebeneinwirkung kann durch pseudo-statische Zustandsgrößen infolge von geeigneten Sätzen von Verschiebungsgrößen, welche an den Fundamenten der Lager des Brückenüberbaus aufgebracht werden, abgeschätzt werden. Diese Verschiebungsansätze sollten wahrscheinliche Konfigurationen der räumlichen Veränderlichkeit der seismischen Freifeldbewegung widerspiegeln und so ausgesucht werden, dass sie Größtwerte der untersuchten Zustandsgrößen liefern.

(6) Die Anforderungen nach (5) werden als erfüllt angesehen, wenn jede der zwei folgenden horizontalen Verschiebungsansätze getrennt für jede der untersuchten Horizontalrichtungen auf die entsprechenden unterstützenden Fundamente oder auf das bodenseitige Ende der entsprechenden Feder, die die Bodensteifigkeit abbildet, aufgebracht wird. Die Zustandsgrößen aus beiden Sätzen müssen nicht überlagert werden.

a) Satz A

Satz A besteht aus relativen Verschiebungen:

$$d_{ri} = \varepsilon_r L_i \leq d_g \sqrt{2}$$

$$\text{mit } \varepsilon_r = \frac{d_g \sqrt{2}}{L_g}$$

gleichzeitig mit dem gleichen Vorzeichen (+ oder-) auf alle Lager der Brücke (1 bis n) in der betrachteten horizontalen Richtung aufgebracht (siehe Bild 3.1).

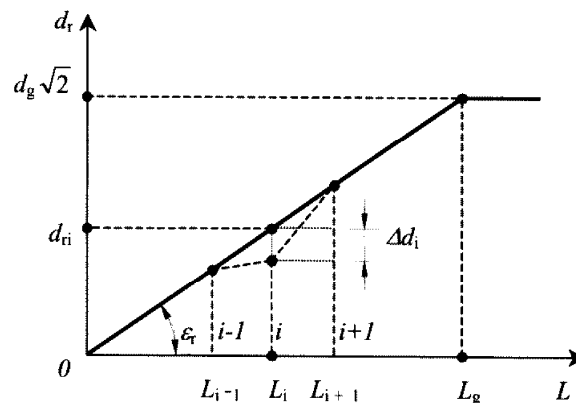


Bild 3.1 — Verschiebungs-Satz A

mit:

d_g Bemessungsbodenverschiebung, die in Übereinstimmung mit EN 1998-1:2004, 3.2.2.4 zur Baugrundklasse des Lagers i gehört;

L_i Entfernung (auf die horizontale Ebene projiziert) des Lagers i von einem Referenzlager $i = 0$, welches der Einfachheit halber mit einem der Endauflager gleichgesetzt werden darf;

L_g Entfernung ab welcher die Bodenbewegungen als vollkommen unkorreliert angesehen werden dürfen.

ANMERKUNG 1 Der in einem Land L_g zugewiesene Wert kann in seinem Nationalen Anhang festgelegt sein. Der empfohlene Wert ist in Tabelle 3.1N in Abhängigkeit vom Bodentyp angegeben:

Tabelle 3.1N — Entfernung, ab der die Bodenbewegungen als unkorreliert angesehen werden können

Baugrundklasse	A	B	C	D	E
L_g (m)	600	500	400	300	500

b) Satz B

Satz B berücksichtigt den Einfluss von an benachbarten Pfeilern in entgegengesetzter Richtung auftretenden Bodenverschiebungen. Dies wird berücksichtigt, indem Verschiebungen Δd_i eines Zwischenlagers i (> 1) relativ zu seinen benachbarten Auflagern $i-1$ und $i+1$, die festgehalten werden, angenommen werden (siehe Bild 3.1).

$$\Delta d_i = \pm \beta_r \varepsilon_r L_{\alpha, i}$$

mit:

$L_{\alpha, i}$ Mittelwert der Entfernungen $L_{i-1, i}$ und $L_{i, i+1}$ des Zwischenlagers i zu seinen benachbarten Auflagern $i-1$ und $i+1$. Für die Endauflager (0 und n) ist $L_{\alpha, 0} = L_{01}$ und $L_{\alpha, n} = L_{n-1, n}$;

β_r Beiwert zur Berücksichtigung der Größen der in entgegengesetzter Richtung an benachbarten Auflagern auftretenden Bodenverschiebungen.

ANMERKUNG 2 Der in einem Land β_r zugewiesene Wert kann in seinem Nationalen Anhang festgelegt sein. Der empfohlene Wert ist:

$\beta_r = 0,5$ wenn alle drei Auflager die gleiche Baugrundklasse haben

$\beta_r = 1,0$ wenn die Baugrundklasse an einem Auflager sich von derjenigen der anderen beiden unterscheidet.

ε_r Wie für Satz A definiert. Falls ein Bodentypwechsel zwischen zwei Auflagern auftritt, sollte der maximale Wert von ε_r benutzt werden.

Satz B besteht aus der folgenden Konfiguration von aufgezungenen absoluten Verschiebungen mit unterschiedlichem Vorzeichen bei benachbarten Auflagern i und $i+1$, für $i = 0$ bis $n-1$ (siehe Bild 3.2).

$$d_i = \pm \Delta d_i / 2$$

$$d_{i+1} = \pm \Delta d_{i+1} / 2$$

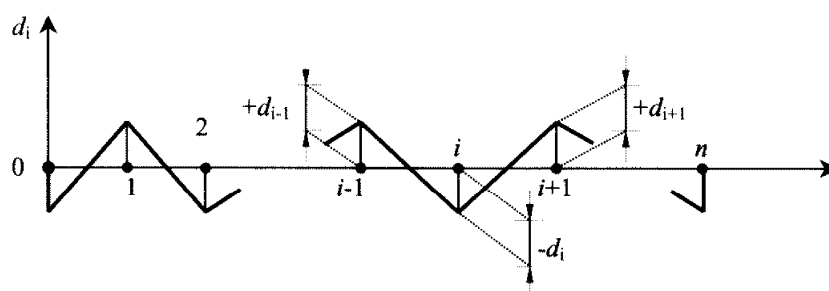


Bild 3.2 — Verschiebungs-Satz B

(7)P In jeder horizontalen Richtung müssen die ungünstigsten Zustandsgrößen aus der pseudo-statischen Untersuchung von (5) und (6) mit den entsprechenden Zustandsgrößen aus der Trägheitsantwort aus (4) durch Anwendung der SSRS-Regel (Quadratwurzel der Summe der Quadrate) kombiniert werden. Das Ergebnis dieser Kombination liefert die berechneten Zustandsgrößen in der betrachteten Richtung. Für die Kombination der Zustandsgrößen der verschiedenen Komponenten der Erdbebeneinwirkung sind die Regeln aus 4.2.1.4 anzuwenden.

(8) Wenn eine Zeitverlaufsrechnung durchgeführt wird, sollten die an jedem Auflager aufgebrachtten Erdbewegungen die räumliche Veränderlichkeit der Erdbebeneinwirkung mit ausreichender Zuverlässigkeit widerspiegeln.

ANMERKUNG Eine Anleitung zur Generierung von Erdbeben-Musterfunktionen, welche die wahrscheinliche räumliche Veränderlichkeit enthält, ist in D.2 des informativen Anhangs D gegeben.

4 Berechnungsverfahren

4.1 Modellierung

4.1.1 Dynamische Freiheitsgrade

(1)P Das Modell der Brücke und die Wahl der dynamischen Freiheitsgrade muss die Steifigkeits- und Massenverteilung so abbilden, dass alle wesentlichen Verformungsformen und Trägheitskräfte unter der Bemessungs-Erdbebeneinwirkung aktiviert werden.

(2) In einigen Fällen genügt es, zwei getrennte Modelle bei der Berechnung zu verwenden, das eine, um die Antwort in der Längs-, und das andere, um die Antwort in der Querrichtung zu modellieren. Die Fälle, in denen es nötig ist, die vertikalen Bestandteile der seismischen Einwirkung zu berücksichtigen, sind in 4.1.7 definiert.

4.1.2 Massen

(1)P Die Mittelwerte der ständigen Massen und die quasi-ständigen Werte der Massen, die zu variablen Einwirkungen gehören, müssen berücksichtigt werden.

(2) Verteilte Massen können in Abhängigkeit von den gewählten Freiheitsgraden an den Knoten zusammengefasst werden.

(3)P Für Bemessungszwecke müssen die Werte der ständigen Einwirkungen so groß wie ihre charakteristischen Werte gewählt werden.

(4) P Die quasi-ständigen Werte der veränderlichen Einwirkungen müssen zu $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ angenommen werden, wobei $Q_{k,1}$ den charakteristischen Wert der Verkehrslast darstellt. Nach EN 1991-2:2003 müssen für Brücken mit starkem Verkehr $\psi_{2,1}$ -Werte auf die gleichförmige Last von Modell 1 (LM 1) angewandt werden.

ANMERKUNG Die Werte von $\psi_{2,1}$ dürfen im Nationalen Anhang zur Verwendung im jeweiligen Land festgelegt werden.

Bei Brücken mit normalem Verkehr und für Fußgängerbrücken wird im Allgemeinen und in Übereinstimmung mit EN 1990:2002, **Anhang A2** der Wert $\psi_{2,1} = 0$ empfohlen.

Bei Brücken mit schwerem Verkehr und für das UDL-System des Lastmodells 1 (LM1) wird empfohlen:

Für Straßenbrücken $\psi_{2,1} = 0,2$

Für Eisenbahnbrücken $\psi_{2,1} = 0,3$

Als Straßenbrücken mit schwerem Verkehr dürfen üblicherweise Brücken für Autobahnen und für Straßen von nationaler Bedeutung angesehen werden. Eisenbahnbrücken mit schwerem Verkehr sind üblicherweise Brücken für Inter-City- und Schnellzug-Strecken.

Bei der Verwendung von $Q_{k,1}$ sollten die Anpassungsfaktoren α_Q und α_q in Übereinstimmung mit EN 1991-2:2003 benutzt werden.

(5) Wenn die Brückenpfeiler im Wasser stehen und wenn keine genauere Abschätzung der hydrodynamischen Wechselwirkung vorliegt, kann dieser Effekt abgeschätzt werden, indem eine zusätzliche, 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 F** steht ein Verfahren zur Berechnung der zusätzlichen mitgeführten Wassermasse in horizontaler Richtung für im Wasser stehende Pfeiler.

4.1.3 Bauwerksdämpfung und Bauteilsteiifigkeit

(1) Wenn eine Antwortspektrumsberechnung verwendet wird, können folgende Werte für den äquivalenten viskosen Dämpfungsgrad ξ als Funktion des Werkstoffs des Bauteils, in dem der größere Teil der Verformungsenergie während der seismischen Antwort dissipiert wird, angenommen werden. Üblicherweise wird dies in den Pfeilern geschehen.

Geschweißter Stahl	0,02
Genietet/geschraubter Stahl	0,04
Stahlbeton	0,05
Spannbeton	0,02

ANMERKUNG Wenn das Bauwerk aus verschiedenen Komponenten i mit verschiedenen viskosen Dämpfungsgraden besteht, kann die effektive viskose Dämpfung des Bauwerks ξ_{eff} wie folgt angenommen werden:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{\sum \xi_i E_{di}}{\sum E_{di}}$$

wobei E_{di} die Verformungsenergie darstellt, die durch die seismische Einwirkung hervorgerufen wird. Effektive Dämpfungsgrade können zweckmäßigerweise getrennt für jede Eigenform auf der Grundlage des entsprechenden Werts von E_{di} bestimmt werden.

(2) Bauteilsteifigkeiten können in Übereinstimmung mit **2.3.6.1.** bestimmt werden.

(3) Bei Betonüberbauten, die aus vorgefertigten Betonbalken und Ortbetonplatten in bestehen, sollten Anschlussplatten (siehe **2.3.2.2(4)**) in das Modell für die seismischen 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 verwendet werden.

(4) Für Effekte nach Theorie 2. Ordnung gelten **2.4 (5)** und **5.4 (1)**. Maßgebliche Effekte nach Theorie 2. Ordnung können bei Brücken mit schlanken Pfeilern und bei besonderen Brücken wie Bogen- und Schrägseilbrücken auftreten.

4.1.4 Modellierung des Bodens

(1)P Für die seismische Berechnung des Gesamtsystems müssen die tragenden Bauteile, die die Erdbebeneinwirkung vom Boden in den Überbau übertragen, im Allgemeinen als im Boden eingespannt betrachtet werden (siehe **3.1.2(3)**). Die Boden-Bauwerksinteraktion kann nach EN 1998-5:2004 berücksichtigt werden, wenn geeignete Scheinwiderstände oder entsprechend gewählte Bodenfedern verwendet werden.

(2) Die Boden-Bauwerksinteraktion sollte immer bei Pfeilern berücksichtigt werden, wenn für eine horizontale Einheitslast in einer vorgegebenen Richtung am oberen Ende des Pfeilers der Beitrag der Nachgiebigkeit des Bodens zu der gesamten Verformung am oberen Ende des Pfeilers mehr als 20 % beträgt.

(3) Die Auswirkungen der Boden-Bauwerksinteraktion bei Pfählen oder Senkkästen (caissons) müssen nach EN 1998-5:2004, **5.4.2** bestimmt werden, wobei die Vorschriften nach **6.4.2** berücksichtigt werden müssen.

(4) In Fällen in denen es schwierig ist, die mechanischen Eigenschaften des Bodens zuverlässig abzuschätzen, sollte die Berechnung mit den vorgeschätzten höchsten bzw. niedrigsten wahrscheinlichen Werten durchgeführt werden. Hohe Annahmen für die Bodensteifigkeit sollten für die Berechnung der Schnittkräfte, niedrige Annahmen für die Berechnung der Verformungen angesetzt werden.

4.1.5 Torsionseffekte

(1)P Die Torsionsbewegungen der Brücke um eine vertikale Achse müssen nur bei schrägen Brücken (Winkel $\varphi > 20^\circ$) und bei Brücken mit einem Verhältnis $B/L > 2,0$ berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Solche Brücken tendieren dazu, sich um die vertikale Achse zu drehen, auch wenn der Massenmittelpunkt theoretisch mit dem Steifigkeitsmittelpunkt zusammenfällt (L ist die Gesamtlänge des durchgehenden Überbaus, B ist dessen Breite).