

DIN EN 1993-2



ICS 91.010.30; 91.080.13; 93.040

Einsprüche bis 2024-03-19
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1993-2:2010-12**Entwurf****Eurocode 3 –
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 2: Brücken;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-2:2024**

Eurocode 3 –
Design of steel structures –
Part 2: Bridges;
German and English version prEN 1993-2:2024

Eurocode 3 –
Calcul des structures en acier –
Partie 2: Ponts;
Version allemande et anglaise prEN 1993-2:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-01-19 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

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

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 256 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-2:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-08-23 AA „Stahlbrücken (SpA zu CEN/TC 250/SC 3/WG 13)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-2:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige technische und inhaltliche Überarbeitung.

Titel de: Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2:
Brücken

Titel en: Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 2: Bridges

Titel fr: Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 2: Ponts

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	7
Einleitung	8
0.1 Einleitung zu den Eurocodes	8
0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)	8
0.3 Einleitung zu EN 1993-2	10
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen	10
0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1993-2	11
1 Anwendungsbereich	12
1.1 Anwendungsbereich von EN 1993-2	12
1.2 Annahmen	12
2 Normative Verweisungen	12
3 Begriffe und Symbole	13
3.1 Begriffe	13
3.2 Formelzeichen	13
3.2.1 Allgemeines	13
3.2.2 Lateinische Großbuchstaben	13
3.2.3 Lateinische Kleinbuchstaben	15
3.2.4 Griechische Großbuchstaben	17
3.2.5 Griechische Kleinbuchstaben	18
4 Grundlagen der Tragwerksplanung	21
4.1 Allgemeine Regeln	21
4.1.1 Grundlegende Anforderungen	21
4.1.2 Tragwerkszuverlässigkeit	21
4.1.3 Robustheit	21
4.1.4 Geplante Nutzungsdauer von Brücken	21
4.1.5 Dauerhaftigkeit	21
4.2 Basisvariablen	22
4.2.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	22
4.2.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften	22
4.3 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	22
4.4 Teilsicherheitsbeiwerte für Ermüdungsnachweise	23
4.5 Versuchsgestützte Bemessung	24
5 Werkstoffe	24
5.1 Allgemeines	24
5.2 Baustahl	24
5.2.1 Werkstoffeigenschaften	24
5.2.2 Anforderungen an die Duktilität	24
5.2.3 Bruchzähigkeit	24
5.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung	25
5.2.5 Werte von anderen Werkstoffeigenschaften	25
5.3 Teile von Verbindungen	25
5.3.1 Verbindungsmittel	25
5.3.2 Schweißzusätze	25
5.4 Stahlseile und andere Zugglieder	26
5.5 Lager	26

5.6	Dämpfer und Sperrvorrichtungen	26
5.7	Sonstige Komponenten von Brücken.....	26
6	Dauerhaftigkeit	26
7	Tragwerksberechnung.....	27
7.1	Statische Systeme	27
7.1.1	Grundannahmen.....	27
7.1.2	Berechnungsmodelle für Anschlüsse.....	27
7.2	Untersuchung von Gesamttragwerken.....	28
7.2.1	Berücksichtigung der Einflüsse nach Theorie II. Ordnung	28
7.2.2	Art der Tragwerksberechnung in Abhängigkeit von der Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	28
7.3	Imperfektionen	28
7.3.1	Grundlagen	28
7.3.2	Schiefstellungen.....	28
7.3.3	Äquivalente Vorkrümmung für die Tragwerks- und Bauteilberechnung.....	28
7.3.4	Überlagerung von Anfangsschiefstellung und äquivalenter Vorkrümmung	29
7.3.5	Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme	29
7.3.6	Imperfektionen auf der Grundlage von Knickbiegelinien nach der Elastizitätstheorie.....	29
7.4	Berechnungsverfahren.....	29
7.4.1	Allgemeines	29
7.4.2	Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie.....	29
7.5	Klassifizierung von Querschnitten.....	29
8	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	29
8.1	Teilsicherheitsbeiwerte.....	29
8.2	Beanspruchbarkeit von Querschnitten.....	29
8.2.1	Allgemeines	29
8.2.2	Querschnittswerte	30
8.2.3	Zugbeanspruchung	30
8.2.4	Druckbeanspruchung	31
8.2.5	Biegebeanspruchung	31
8.2.6	Querkraftbeanspruchung.....	31
8.2.7	Torsion	31
8.2.8	Beanspruchung aus Biegung und Querkraft	32
8.2.9	Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft	32
8.2.10	Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft	32
8.2.11	Beanspruchung aus Biegung, Querkraft, Normalkraft und Querbela- stung (patch loading).....	32
8.3	Stabilitätsnachweise für Bauteile.....	33
8.3.1	Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck.....	33
8.3.2	Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse	33
8.3.3	Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile	33
8.3.4	Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile	33
8.3.5	Vereinfachtes Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile.....	33
8.3.6	Im Grundriss gekrümmte Hauptträger	36
8.4	Mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile	36
8.5	Plattenbeulen.....	37
9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	37
9.1	Allgemeines	37
9.2	Berechnungsmodelle	38
9.3	Spannungsbegrenzungen	39
9.4	Begrenzung des Stegatemens.....	39
9.5	Grenzen für Lichtraumprofile.....	40
9.6	Grenzen für das optische Erscheinungsbild	40
9.7	Anforderungen für Eisenbahnbrücken	41

9.8	Anforderungen für Straßenbrücken	41
9.8.1	Allgemeines	41
9.8.2	Durchbiegungsgrenzen zur Vermeidung übermäßiger Anregung aus Verkehr	41
9.8.3	Auswirkungen infolge Resonanz.....	41
9.9	Anforderungen an Fußgängerbrücken.....	41
9.10	Kriterien für die Auswirkung von Wind.....	42
9.11	Zugänglichkeit von Anschlussdetails und Oberflächen.....	42
9.12	Entwässerung.....	42
10	Ermüdung	42
10.1	Allgemeines	42
10.1.1	Anforderungen für Ermüdungsnachweis	42
10.1.2	Bemessung von Straßenbrücken für Ermüdung.....	43
10.1.3	Bemessung von Eisenbahnbrücken für Ermüdung.....	43
10.2	Ermüdungsbelastung	44
10.2.1	Allgemeines	44
10.2.2	Vereinfachtes Ermüdungslastmodell für Straßenbrücken	44
10.2.3	Vereinfachtes Ermüdungslastmodell für Eisenbahnbrücken	44
10.3	Spannungsschwingbreite für die Ermüdung.....	44
10.3.1	Allgemeines	44
10.3.2	Ermüdungsberechnung.....	45
10.4	Durchführung des Ermüdungsnachweises	47
10.4.1	Ermüdungsnachweis	47
10.4.2	Schadensäquivalenzbeiwerte λ für Straßenbrücken	48
10.4.3	Schadensäquivalenzbeiwerte λ für Eisenbahnbrücken	48
10.4.4	Kombination von Schädigungen aus lokalen und globalen Spannungsschwingbreiten.....	52
10.5	Ermüdungswiderstand	52
10.6	Schweißnahtnachbehandlung	53
11	Verbindungsmittel, Schweißnähte, Verbindungen und Anschlüsse.....	53
11.1	Verbindungen mit Schrauben, Nieten oder Bolzen.....	53
11.1.1	Allgemeines	53
11.1.2	Injektionsschrauben	53
11.1.3	Hybridverbindungen.....	54
11.1.4	Verbindungen mit Anschlusswinkeln für indirekten Anschluss	54
11.1.5	Schrauben in Löchern mit Gewinde.....	54
11.1.6	An einem Schenkel angeschlossene Winkel	54
11.1.7	Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel im Grenzzustand der Tragfähigkeit	54
11.2	Schweißverbindungen.....	54
11.2.1	Allgemeines	54
11.2.2	Unterbrochene Kehlnähte.....	54
11.2.3	Lochschweißungen	54
11.2.4	Hohlkehlnähte	54
11.2.5	Verteilung der Kräfte	55
11.2.6	Exzentrisch belastete einseitige Kehlnähte oder einseitige nicht durchgeschweißte Stumpfnähte	55
11.3	Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten	55
11.4	Hohlprofilanschlüsse	55
Anhang A (normativ)	Bemessung von Hängern für Stabbogenbrücken	56
A.1	Anwendung dieses Anhangs	56
A.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich.....	56
A.3	Bemessungsgrundsätze.....	57
A.3.1	Werkstoffe und Querschnitte von Zuggliedern	57
A.3.2	Empfehlungen für die Bemessung von Schweißverbindungen von Rundstahlhängern	57
A.3.3	Bemessungsempfehlungen für geschmiedete Hänger	60
A.3.4	Empfehlungen für die Bemessung von Flachstahlhängern.....	62

A.3.5	Empfehlungen für die Bemessung von Seilhängern	62
A.3.6	Maßnahmen zur Verringerung von Zwängungsbeanspruchungen aus dem Haupttragwerk.....	64
A.4	Bemessungsregeln für Rundstahlhänger	64
A.4.1	Anwendungsgrenzen.....	64
A.4.2	Wirbelerregte Querschwingungen	64
A.4.3	Regen-Wind-induzierte Schwingungen.....	66
A.4.4	Verkehrsinduzierte Spannungen	67
A.4.5	Nachweisphilosophien	67
A.5	Bemessung von Flachstahlhängern	69
A.5.1	Wirbelerregte Querschwingungen	69
A.5.2	Galloping.....	70
A.5.3	Verkehrsinduzierte Spannungen	72
A.5.4	Nachweisphilosophie.....	72
A.6	Bemessungsregeln für Seilhänger.....	72
Anhang B (normativ) Ergänzende Regeln für die Bemessung von im Grundriss gekrümmten Hauptträgern mit steifer Lagerung des Druckflansches.....		73
B.1	Anwendung dieses Anhangs.....	73
B.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	73
B.3	Biegebeanspruchbarkeit	73
B.4	Schubbeanspruchbarkeit	74
B.5	Interaktion zwischen Querkraft und Biegemoment.....	76
B.6	Bemessung der Lagerungen am Druckflansch	76
Anhang C (informativ) Empfehlungen für die bauliche Durchbildung von Stahlfahrbahnen.....		77
C.1	Anwendung dieses Anhangs.....	77
C.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	77
C.3	Straßenbrücken	77
C.3.1	Allgemeines	77
C.3.2	Deckblech.....	79
C.3.3	Fahrbahnlängssteifen	83
C.3.4	Querträger	88
C.4	Eisenbahnbrücken	90
C.4.1	Allgemeines	90
C.4.2	Blechdicke und Maße.....	90
C.4.3	Ausbildung der Durchdringung zwischen Längssteifen und Querträgern	91
C.4.4	Schweißnahtvorbereitung und Prüfungen	92
C.4.5	Berechnungen.....	93
C.4.6	Brennschnittflächen.....	94
C.5	Toleranzen für Halbzeuge und Fertigung.....	94
C.5.1	Halbzeugtoleranzen	94
C.5.2	Fertigungstoleranzen.....	95
C.5.3	Besondere Anforderungen für Schweißverbindungen	95
Anhang D (normativ) Geometrische Ersatzimperfektionen für Bogenbrücken.....		109
D.1	Anwendung dieses Anhangs.....	109
D.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	109
D.3	Festlegung der geometrischen Ersatzimperfektionen	109
Anhang E (normativ) Kombination der Wirkungen infolge lokaler Radlasten und globaler Verkehrslasten auf Straßenbrücken.....		111
E.1	Anwendung dieses Anhangs.....	111
E.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	111
E.3	Kombinationsregel für Beanspruchungen infolge globaler und lokaler Lasten.....	111
E.4	Kombinationsbeiwert.....	112

Anhang F (informativ) Schadensäquivalenzbeiwerte λ für den Ermüdungsnachweis für
 Fahrbahnkonstruktionen von Straßenbrücken..... 113

F.1 Anwendung dieses Anhangs 113

F.2 Satz 1 der Schadensäquivalenzbeiwerte λ 113

F.2.1 F2.1..... Anwendungs- und
 Gültigkeitsbereich 113

F.2.2 F2.2..... Vereinfachtes
 Ermüdungslastmodell..... 113

F.2.3 F2.3..... Schadensäquivalenzbeiwerte
 λ 113

F.3 Satz 2 von Schadensäquivalenzbeiwerten λ 117

F.3.1 F3.1..... Anwendungs- und
 Gültigkeitsbereich 117

F.3.2 Vereinfachtes Ermüdungslastmodell für Straßenbrücken 117

F.3.3 Schadensäquivalenzbeiwerte λ 117

Literaturhinweise..... 127

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-2:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument ersetzt EN 1993-2:2006.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*
- EN 1991, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992, *Eurocode 2 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- EN 1993, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994, *Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995, *Eurocode 5 — Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
- EN 1996, *Eurocode 6 — Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*
- Neue Teile sind derzeit in Erarbeitung, z. B. der Eurocode für die Bemessung von tragenden Konstruktionen aus Glas

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

ANMERKUNG Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)

EN 1993 gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten aus Stahl. Eurocode 3 entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*, enthalten sind.

EN 1993 behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und die Feuerwiderstandsfähigkeit von Tragwerken aus Stahl. Andere Anforderungen, wie z. B. bezüglich Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht berücksichtigt.

EN 1993 besteht aus mehreren Teilen:

- EN 1993-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

- EN 1993-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Brücken*;
- EN 1993-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*;
- EN 1993-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*;
- EN 1993-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände*;
- EN 1993-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen*;
- EN 1993-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Sandwich-Elemente*.

(4) EN 1993-1 existiert nicht als physisches Dokument, sondern besteht aus den folgenden 14 Einzelteilen, deren grundlegender Teil EN 1993-1-1 ist:

- EN 1993-1-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;
- EN 1993-1-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*;
- EN 1993-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Kaltgeformte Bauteile und Profiltafeln*;

ANMERKUNG Kaltgeformte Hohlquerschnitte nach EN 10219 werden in EN 1993-1-1 behandelt.

- EN 1993-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Tragwerke aus nichtrostenden Stählen*;
- EN 1993-1-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*;
- EN 1993-1-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*;
- EN 1993-1-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Plattenförmige Bauteile mit Querbelastrung*;
- EN 1993-1-8, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Anschlüsse*;
- EN 1993-1-9, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*;
- EN 1993-1-10, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*;
- EN 1993-1-11, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Zugglieder*;
- EN 1993-1-12, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S960*;
- EN 1993-1-13, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Träger mit großen Stegöffnungen*;
- EN 1993-1-14, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-14: Bemessung mithilfe von Finite-Element-Berechnung*.

Alle folgenden Teile von EN 1993-1-2 bis EN 1993-1-14 behandeln allgemeine Themen, die unabhängig von der Art des Tragwerks sind, wie die Tragwerksbemessung für den Brandfall, kaltgeformte Bauteile und Bleche, nichtrostende Stähle, plattenförmige Bauteile usw.

Alle folgenden Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7 behandeln Themen, die für eine bestimmte Tragwerksart maßgebend sind, wie Stahlbrücken; Türme, Maste und Schornsteine; Silos und Tankbauwerke; Pfähle und Spundwände; Kranbahnen usw. EN 1993-2 bis EN 1993-7 beziehen sich auf die allgemeinen Regeln nach EN 1993-1 und ergänzen, ändern oder ersetzen diese.

0.3 Einleitung zu EN 1993-2

EN 1993-2 ist der zweite Teil von EN 1993, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, und enthält Grundsätze und Anwendungsregeln für die Sicherheit, die Gebrauchstauglichkeit sowie die Dauerhaftigkeit von Tragwerken aus Stahl für Brücken.

EN 1993-2 enthält ergänzende Bemessungsregeln zu den allgemeinen Grundregeln nach EN 1993-1.

Die Anwendung von EN 1993-2 ist gemeinsam mit den Eurocodes EN 1990, EN 1991 (alle Teile) sowie dem jeweiligen Teil 2 von EN 1992 bis EN 1998, wenn in diesen auf Stahlbauten oder Stahlbauteile für Brücken Bezug genommen wird, vorgesehen.

Die in diesen Dokumenten bereits behandelten Aspekte werden nicht wiederholt.

Die Anwendung von EN 1993-2 ist gedacht für:

- Gremien zur Erstellung von bemessungsbezogenen Produkt-, Prüf- und Ausführungsnormen;
- Bauherren (z. B. zur Formulierung ihrer spezifischen Anforderungen);
- Tragwerksplaner und Bauausführende;
- zuständige Behörden.

Numerische Werte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Zuverlässigkeitsparameter werden als grundlegende Werte empfohlen, die ein annehmbares Zuverlässigkeitsniveau bieten. Ihre Wahl beruht auf der Voraussetzung, dass ein angemessenes Niveau der Ausführungsqualität und des Qualitätsmanagements vorliegt.

0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung, die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1993-2

Nationale Festlegungen sind in diesem Dokument zulässig, wo dies in Anmerkungen ausdrücklich angegeben ist. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl von Werten für national festgelegte Parameter (NDP, en: nationally determined parameters).

Die nationale Ausgabe von prEN 1993-2 kann durch einen Nationalen Anhang ergänzt werden, der alle nationalen Festlegungen enthält, die für die Bemessung und Konstruktion von Hochbauten und Ingenieurbauten im jeweiligen Land erforderlich sind.

Wird keine nationale Festlegung angegeben, so ist die in diesem Dokument angegebene Standardfestlegung anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung getroffen wird und keine Standardfestlegung in diesem Dokument angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

Nationale Festlegungen sind in prEN 1993-2 durch Anmerkungen zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.1.3(2)	4.3(2) – 2 Festlegungen	4.4(1)	4.4(2)
5.2.1(1) – 2 Festlegungen	5.2.3(2)	5.2.4(1)	5.3.1.2(1)
5.3.2(2)	5.4(1)	5.5(1)	5.6(1)
5.7(1)	5.7(3)	6(3)	6(7)
7.4.1(2)	8.2.2.3(1)	8.2.2.5(1)	8.3.5(6)
9.1(3)	9.3(1)	9.4(1)	10.1.1(1)
10.1.1(3)	10.1.2(2)	10.1.2(3)	10.1.3(3)
10.2.2(1)	10.2.3(1)	10.4.2(1)	10.4.3(2) – 2 Festlegungen
10.4.3(3)	10.5(1) – 2 Festlegungen	10.6(1)	11.1.2(1)
11.1.3(1)	11.1.5(1)	11.2.2(1)	11.2.3(1)
11.2.4(1)	11.2.6(1)	11.3(1)	11.4(1)
C.1(1)	C.3.1(2)	C.3.2.2(1)	C.3.2.2(2)
E.4(1)	F.1(2)		

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-2 zur Anwendung der folgenden informativen Anhängen gestattet :

Anhang C	Anhang F
----------	----------

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von EN 1993-2

(1) EN 1993-2 enthält Regeln für die Tragwerksbemessung von Stahlbrücken und Stahlbauteilen von Stahl-Beton-Verbundbrücken.

(2) EN 1993-2 ist anwendbar für die Bestimmung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Tragwerke von Stahlbrücken.

(3) Die Bemessung von Zuggliedern und zugehörigen Bauteilen wird durch EN 1993-1-11 abgeregelt. Für die Bemessung von Hängern bei Stabbogenbrücken gelten die zusätzlichen Festlegungen nach Anhang A.

(4) Ergänzende Anforderungen für die Erdbebenbemessung sind in EN 1998-2 angegeben.

1.2 Annahmen

(1) Sofern nicht spezifisch anders angegeben, gelten EN 1990, EN 1991 (alle Teile), EN 1998 (alle Teile) und EN 1993-1 (alle Teile).

(2) Die Bemessungsverfahren nach EN 1993-2 sind anwendbar, sofern:

- die Qualität der Ausführung den Festlegungen nach EN 1090-2 und EN 1090-4 entspricht; und
- die verwendeten Baustoffe und Bauprodukte den Festlegungen in den maßgebenden Teilen von EN 1993 oder den maßgebenden Baustoff- und Produktspezifikationen entsprechen.

2 Normative Verweisungen

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

ANMERKUNG In den Literaturhinweisen sind weitere zitierte Dokumente aufgelistet, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze), Erlaubnisse (d. h. durch „darf“-Sätze), Möglichkeiten (d. h. durch „kann“-Sätze) und in Anmerkungen in Bezug genommen werden.

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*

EN 1090-4, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 4: Technische Anforderungen an tragende, kaltgeformte Bauelemente aus Stahl und tragende, kaltgeformte Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen*

EN 1990:2023¹, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1998 (alle Teile), *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*

¹ Geändert durch EN 1990:2023/prA1:2024

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, EN 1993-1 (alle Teile) und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Stegatmen

durch zyklische Belastung in Blechebene hervorgerufene Verformung senkrecht zur Blechebene bei schlanken Beulfeldern

3.1.2

sekundäre Konstruktionselemente

Konstruktionselemente, die nicht zum eigentlichen Tragwerk der Brücke gehören, wie z. B. Schutzplanken, Geländer, Instandhaltungswege, Leitern oder Schleppplatten

3.2 Formelzeichen

3.2.1 Allgemeines

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Formelzeichen nach EN 1990, EN 1993-1 (alle Teile) und die folgenden Formelzeichen.

3.2.2 Lateinische Großbuchstaben

A	Querschnittsfläche
A_{eff}	wirksame Fläche
A_{wc}	Fläche der Druckzone des Steges
A_{1c}, A_{2c}	Querschnittsflächen eines Querträgers unter lokaler Lasteinwirkung aus Längssteifen
A_k, B_k	Parameter für die Berechnung des Faktors für kritisches Schubbeulen
$A_{\chi}, B_{\chi}, C_{\chi}$	Parameter für die Berechnung des Abminderungsbeiwertes für Schubbeulen
C_U	Höhe des Freischnitts oberhalb der Längssteifengrundfläche
C_d	Federsteifigkeit
C_L	Höhe des Freischnitts unterhalb der Längssteifengrundfläche
C_{zf}	Koeffizient für den Bemessungsbeulwiderstand gekrümmter Hauptträger
D	Hängerdurchmesser
D_0	Bezugswert des Hängerdurchmessers
E	Elastizitätsmodul
F_{Ed}	zusätzliche Querlast
$F_{b,\text{Rd}}$	Bemessungswert der Lochleibungsbeanspruchbarkeit für Nachweise in Grenzzuständen der Tragfähigkeit
$F_{v,\text{Ed,ser}}$	Schubkraft in einer Schraube unter der charakteristischen Lastkombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

F_i, F_{i+1}	durch die Längssteifen an Querschnitt i und Querschnitt i+1 aufgebrachte Lasten
F_1, F_2	Punktlasten
I	Trägheitsmoment (Flächenträgheitsmoment)
I_B	Trägheitsmoment (Flächenträgheitsmoment) der Längssteifen einschließlich Deckblech
L	Spannweite
L_{cr}	Knicklänge
L_E	Einbindelänge
L_F	lichte Höhe des Knotenblechs
L_i	Spannweite i des Feldes
L_R	Abstand zwischen den Mittelpunkten starrer seitlicher Auflager und dem Druckgurt
L_w	halbe Wellenlänge der Beulbeanspruchung
$L_{w,i}$	Wirklänge
L_1	modifizierte Spannweite eines Bogens
L_λ	maßgebende Länge von Einflusslinie oder -fläche
M_{cr}	Biegedrillknickmoment nach Elastizitätstheorie
$M_{c,Rd}$	Bemessungswert der Biegemomententragfähigkeit um eine Hauptachse eines Querschnitts
M_{Ed}	Bemessungswert des Biegemoments
$M_{rw,max}$	berechnetes Biegemoment infolge Regen-Wind-induzierter Schwingungen
$M_{w,max}$	berechnetes Biegemoment
M_1, M_2	Endmomente
N_E	Bezugswert der kritischen Normalkraft nach Elastizitätstheorie
N_{Ed}	Bemessungswert der Normalkraft
N_{cr}	kritische Normalkraft nach Elastizitätstheorie für den maßgebenden Knickfall bezogen auf die Bruttoquerschnittswerte
$N_{c,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit des Querschnitts bei gleichmäßiger Druckbeanspruchung
N_{Ed}	Bemessungswert der Normalkraft
N_i	Anzahl der Schwerlastfahrzeuge (Lkw) je Jahr auf dem Fahrstreifen i
N_{obs}	Gesamtanzahl der Schwerlastfahrzeuge (Lkw) je Jahr auf der Spur des Schwerlastverkehrs
N_0	Bezugswert der Lastwechselzahl
Q_{mi}	durchschnittliches Bruttogewicht der Schwerlastfahrzeuge (LKW) auf dem Fahrstreifen i
Q_i	Bruttogewicht des Schwerlastfahrzeugs (LKW) i
Q_0	Bezugsgewicht

R	Radius des Freischnitts
R_B	Radius des Trägers in der Ebene
R_{eH}	Streckgrenze nach der maßgebenden Produktnorm
R_m	Zugfestigkeit nach der maßgebenden Produktnorm
St	Strouhalzahl
$V_{b,Rd}$	Bemessungswert des Schubbeulwiderstands
$V_{bw,Rd}$	Bemessungswert des Schubbeulwiderstands unter Berücksichtigung des Stegbeitrags
V_{Ed}	Bemessungswert der Querkraft
W_{el}	elastisches Widerstandsmoment
$W_{el,com}$	Elastizitätsmodul entsprechend der Faser, bei der die Grenzdruckspannung erreicht wird
$W_{el,min}$	Elastizitätsmodul entsprechend der Faser mit der größten Spannung (Zug oder Druck)
Z_{Ed}	erforderlicher Bemessungswert des Z-Wertes aus Dehnungsbeanspruchung in Blechdickenrichtung

3.2.3 Lateinische Kleinbuchstaben

a_R	Abstand zwischen starren Längssteifen
a_σ	Verhältnis der Spannungsschwingbreiten
a	Größe der Schweißnaht
a_0, b_0, c_0	Stabilitätswerte für Galloping-Schwingungen bei Biegebeanspruchung
b_c	Breite des Druckgurtes
b	Blechbreite
b_{eff}	wirksame Breite
b_F	Breite auf Freischnittebene
b_p	Breite des nicht ausgesteiften Stegfeldes
b_{st}	Breite der Längssteife
b_u	Höchstwert der Blechbreite
b_w	Breite der Schweißnaht
b_{1c}, b_{2c}	Breite eines Querträgers unter lokaler Lasteinwirkung aus Längssteifen
c	Steifigkeitsparameter
c	Erregungskoeffizient
c_{lat}	Erregungsleistungskoeffizient
d	Blechdicke von Flachstahlhängern
d_c	Abstand zwischen benachbarten Querträgern
d_s	Abstand zwischen Federn

e	Abstand der Deckblechstützungen
e_{crossb}	Abstand zwischen Querträgern
e_E	Randabstand von Querträgern
e_{LS}	Abstand zwischen Längssteifen
e_Q, e_s	Exzentrizitäten in einem geschmiedeten Hänger
e_0	äquivalente geometrische Imperfektion
f	Eigenfrequenz
f_i	Eigenfrequenz des maßgebenden Schwingungsmodus
f_u	Zugfestigkeit
f_{ub}	Nennwert der Zugfestigkeit von Schrauben
f_y	Streckgrenze
f_{yb}	Nennwert der Streckgrenze von Schrauben
f_{yw}	Streckgrenze des Steges
f_0	Bezugsfrequenz
h_{crossb}	Höhe des Querträgers
h	Höhe der Längssteife
h_{stiff}	Höhe der Längssteife
h_w	Höhe des Steges
k	Anzahl der Spur des Schwerlastverkehrs
k_d	Faktor zur Berücksichtigung der andauernden Verringerung des Erregungsrisikos infolge Regen-Wind-induzierter Schwingungen
$k_{F,i}$	Faktor zur Berücksichtigung einer andauernden Verringerung des Erregungsgrades bei Erhöhung der Eigenfrequenzen
$k_{H,i}$	Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Frequenz
k_s	Modifikationsfaktor der Spannung
$k_{T,i}$	Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Turbulenz
$k_{V,i}$	Faktor zur Berücksichtigung der andauernden Verringerung der Erregung bei Windgeschwindigkeiten größer 20 m/s
k_α	Verstärkungsfaktor zur Berücksichtigung der Auswirkungen von Anfangsschiefstellung nach Theorie II. Ordnung
$k_{\tau,za}$	kritischer Schubbeulfaktor für den Steg eines gekrümmten Hauptträgers
m	Verstärkungsfaktor zur Anwendung auf den Bezugswert der kritischen Normalkraft nach Elastizitätstheorie
m_L	Masse je Längeneinheit
n	prozentualer Anteil des Verkehrs

n_i	Anzahl der Schwerlastfahrzeuge (LKW) mit Bruttogewicht Q_i auf der Spur des Schwerlastverkehrs
q	horizontale Last zur Berücksichtigung der Auswirkungen von wirbelerregten Querschwingungen
$q_{\max}$	Höchstwert der äquivalenten horizontalen Last
q_{red}	abgeminderter Wert der äquivalenten horizontalen Last zur Berücksichtigung der Auswirkungen von wirbelerregten Querschwingungen
q_0	Bezugswert der horizontalen Last
r	Radius
r_g	Wurzelspalt oder Wurzelversatz
r_u, r_1	Radius in einem Freischnitt
s	Bogenlänge
s	Spaltbreite
t	Dicke
t_D	Dicke des Deckblechs
$t_{f,cb}$	Gurtdicke des Querträgers
t_{stiff}	Dicke der Längssteife
t_{Ld}	geplante Nutzungsdauer der Brücke, in Jahren
t_w	Stegdicke
$t_{w,cb}$	Stegdicke eines Querträgers
$t_{w,st}$	Blechdicke der Längssteifen
v	Imperfektionen des geschmiedeten Hängerendes
$v_{cr,i}$	kritische Windgeschwindigkeit des maßgebenden Knickfalls
V_m	Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf halber Hängerhöhe
v_0	Bezugswert der kritischen Windgeschwindigkeit
z_a	Krümmungsparameter für Querkrafttragfähigkeit
z_f	Krümmungsparameter für die Biegemomententragfähigkeit

3.2.4 Griechische Großbuchstaben

Φ	dimensionsloser Faktor in Abhängigkeit von den Verhältnissen zwischen Querkräften und Biegemomenten
Φ_{LT}	Wert für die Bestimmung des Abminderungsbeiwertes für Biegedrillknicken
Φ_R	Durchmesser von Seilhängern
Φ_2	schadensäquivalenter Schwingbeiwert
$\Delta b_1, \Delta b_2$	Imperfektionen in geschmiedetem Hängerende

$\Delta\sigma$	Spannungsschwingbreite
$\Delta\sigma_c$	charakteristischer Bezugswert des Ermüdungswiderstands in Bezug auf die Normalspannung bei 2×10^6 Lastwechsel
$\Delta\sigma_{e,2}$	schadensäquivalente Schwingbreite in Bezug auf die Normalspannung bei 2×10^6 Lastwechsel
$\Delta\sigma_{fre}$	Nennspannungsschwingbreite infolge der ständigen Lastkombination
$\Delta\sigma_p, \Delta\sigma_{loc}, \Delta\sigma_{glo}$	Spannungsschwingbreiten infolge Last p
$\Delta\sigma_{rw}$	Spannungsschwingbreite infolge Regen-Wind-induzierter Schwingungen
$\Delta\sigma_{w,e,2}$	Spannungsschwingbreite an den ermüdungsrelevanten Stellen
$\Delta\sigma_1$	Spannungsschwingbreite im Querschnitt infolge Lastmodell 71 auf einem Gleis
$\Delta\sigma_{1+2}$	Spannungsschwingbreite im untersuchten Querschnitt infolge Lastmodell 71 auf zwei beliebigen Gleisen
$\Delta\tau_{e,2}$	schadensäquivalente Schwingbreite in Bezug auf die Schubspannung bei 2×10^6 Lastwechsel
$\Delta\tau_c$	charakteristischer Bezugswert des Ermüdungswiderstands in Bezug auf die Schubspannung bei 2×10^6 Lastwechsel
θ	Massenträgheitsmoment
Φ_{glo}	schadensäquivalenter Schwingbeiwert für globale Auswirkungen
Φ_{loc}	schadensäquivalenter Schwingbeiwert für lokale Auswirkungen
Φ_2	schadensäquivalenter Schwingbeiwert

3.2.5 Griechische Kleinbuchstaben

α	Winkel zwischen Gurt und Steg
α_{cr}	Faktor, mit dem die Bemessungslast erhöht werden müsste, um Gesamtstabilitätsversagen zu verursachen
α_m	Abminderungsbeiwert für die Anzahl der Stützen in einer Reihe
α_w	Seitenverhältnis eines Stegfeldes
δ	logarithmisches Dämpfungsdekrement
δ_{meas}	durch Messungen ermitteltes logarithmisches Dämpfungsdekrement
δ_T	logarithmisches Dämpfungsdekrement der Torsionseigenform
ε	Baustoffparameter in Abhängigkeit von der Streckgrenze
γ	Steifigkeitsverhältnis
γ_{Ff}	Teilsicherheitsbeiwert für die Auswirkung der Ermüdungseinwirkung
γ_{Mf}	Teilsicherheitsbeiwert für den Ermüdungswiderstand
$\gamma_{M,ser}$	Teilsicherheitsbeiwert für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit von Querschnitten

γ_{M1}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen, beurteilt mittels Bauteilnachweisen
γ_{M2}	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit von Querschnitten unter Zugbeanspruchung bis zum Bruch, für die Beanspruchbarkeit von Schrauben, Nieten, Bolzen, Schweißnähten sowie die Lochleibungsbeanspruchbarkeit von Blechen
γ_{M3}	Teilsicherheitsbeiwert für den Gleitwiderstand von Anschlüssen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Kategorie C)
$\gamma_{M3,ser}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Gleitwiderstand von Anschlüssen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
γ_{M4}	Teilsicherheitsbeiwert für Lochleibungsbeanspruchbarkeit einer Injektionsschraube
γ_{M5}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Anschlüssen in Hohlprofilfachwerksknoten
$\gamma_{M6,ser}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bolzen in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit
γ_{M7}	Teilsicherheitsbeiwert für die Vorspannung hochfester Schrauben
γ_c	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Beton
$\gamma_{sl,i}^*$	bezogene Steifigkeit eines längs ausgesteiften Stegfeldes
η_i	Wert der Einflusslinie in der Mitte des Streifens i für die Schnittgröße, welche die Spannungsschwingbreite in der Mitte des Fahrstreifens i erzeugt
λ_{glo}	Schadensäquivalenzbeiwert für globale Auswirkungen
λ_{loc}	Schadensäquivalenzbeiwert für lokale Auswirkungen
$\lambda, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$	Schadensäquivalenzbeiwerten
$\bar{\lambda}_{LT}$	bezogener Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken
$\bar{\lambda}_w$	bezogener Schlankheitsgrad für Schubbeulen des Steges
$\bar{\lambda}_{w0}$	Grenze des bezogenen Schlankheitsgrades für die Anfälligkeit gegenüber Schubbeulen des Steges
λ_{max}	größter λ -Wert unter Berücksichtigung der Dauerfestigkeit
λ_{max}^*	größter λ -Wert unter Berücksichtigung der Dauerfestigkeit
μ	Verhältnis von Querkraften
ρ	Dichte der Luft
$\rho_{c,x}$	Abminderungsbeiwert
$\sigma_{cr,p}$	kritische Längsspannung eines Stegfeldes oder Teilfeldes
σ_{Ed}	Bemessungswert einer Normalspannung
$\sigma_{Ed,ser}$	Normalspannung in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit
$\sigma_{p,max}$	größte Normalspannung für die Berechnung des Bezugswertes der Spannungsschwingbreite
$\sigma_{p,min}$	kleinste Normalspannung für die Berechnung des Bezugswertes der Spannungsschwingbreite
$\tau_{Ed,ser}$	Schubspannung in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

σ_G	Spannung infolge Normalkraft auf den Hängern unter ständigen Einwirkungen
$\sigma_{glob,Ed}$	Bemessungswert der Spannung in der Längssteife infolge von Verkehrslasten auf der Brücke bei einem oder mehreren Schwerlastfahrzeugen
σ_{limit}	Grenzspannung des schwächsten Teils eines druckbeanspruchten Querschnitts
$\sigma_{loc,Ed}$	Bemessungswert der Spannung in einer Längssteife infolge der lokalen Radlast eines einzelnen Schwerlastfahrzeugs
$\sigma_{net,Rd}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit auf Freischnittebene
$\sigma_{p,max}$	Höchstwert der Spannung
$\sigma_{p,min}$	Mindestwert der Spannung
σ_Q	Spannung infolge Normalkraft und Biegemoment des Hängers resultierend aus häufigen Verkehrslasten
σ_{Rd}	Bemessungswert der Zugfestigkeit eines Hängers
σ_{rw}	größte Spannungsamplitude aus Regen-Wind-induzierten Schwingungen
$\sigma_{x,Ed}$	Bemessungswert der Längsspannung
$\sigma_{x,Ed,ser}$	Längsspannung in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit
σ_1, σ_2	Längsspannungen
σ_{1b}, σ_{2b}	Spannungen infolge Biegebeanspruchung
σ_{1c}, σ_{2c}	Druckspannungen infolge lokaler Lasteinwirkung aus Längssteifen
τ_{cr}	Schubspannung nach Elastizitätstheorie
τ_{Rd}	Bemessungswert der Schubfestigkeit auf Freischnittebene
$\tau_{Ed,ser}$	Schubspannung in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit
$\phi_A, \phi_B, \phi_R, \phi_H$	Durchmesser von Hängerbauteilen
ϕ_s, ϕ_w, ϕ_0	Imperfektionswinkel geschmiedeter Hängerenden
χ_w	Abminderungsbeiwert für Schubbeulen
ψ	Kombinationsbeiwert

(2) Weitere Formelzeichen werden bei ihrem ersten Erscheinen im Text definiert.

4 Grundlagen der Tragwerksplanung

4.1 Allgemeine Regeln

4.1.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Die Tragwerksplanung von Stahlbrücken und Stahlbauteilen von Verbundbrücken muss den allgemeinen Regeln nach EN 1990, EN 1991 (alle Teile) und EN 1998 (alle Teile) sowie den spezifischen Festlegungen für die Bemessung von Stahlbauten nach EN 1993-1 (alle Teile) entsprechen.

(2) Stahlbrücken und Stahlbauteile von Verbundbrücken, die nach diesem Dokument bemessen werden, müssen in Übereinstimmung mit EN 1090-2 und EN 1090-4 mit Baustoffen und Bauprodukten ausgeführt werden, die den Festlegungen in den maßgebenden Teilen von EN 1993 oder den einschlägigen Baustoff- und Bauproduktspezifikationen entsprechen.

ANMERKUNG Zusätzliche Hinweise zu orthotropen Stahlfahrbahnen sind in Anhang C angegeben.

4.1.2 Tragwerkszuverlässigkeit

(1) Es gelten die Regeln nach EN 1993-1-1.

(2) Die Wahl der Ausführungsklassen darf durch die zuständige Behörde festgelegt oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

4.1.3 Robustheit

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 4.1.3.

(2) Für die Robustheit sollte bei der Bemessung der Brücke sichergestellt werden, dass bei Beschädigung eines Bauteils durch außergewöhnliche Einwirkungen das verbleibende Tragwerk zumindest die außergewöhnliche Lastkombination aufnehmen kann.

ANMERKUNG 1 EN 1990 enthält zusätzliche Angaben zu außergewöhnlichen Bemessungssituationen und Robustheitskriterien.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Bauteile definieren, die einer außergewöhnlichen Bemessungssituation unterliegen und auch Details für die Nachweise angeben. Beispiele für diese Bauteile sind Hänger, Zugglieder, Lager.

4.1.4 Geplante Nutzungsdauer von Brücken

(1) Die geplante Nutzungsdauer von Brücken sollte nach EN 1990:2023, Tabelle A.2.2, angesetzt werden.

(2) Die geforderte geplante Nutzungsdauer sollte durch Ermüdungsbemessung, siehe Abschnitt 10, und/oder entsprechende bauliche Durchbildung, siehe Anhang C, sowie durch Gebrauchstauglichkeitsnachweise, siehe Abschnitt 9, erreicht werden.

(3) Für Bauteile, die nicht für die gesamte geplante Nutzungsdauer der Brücke bemessen werden können, sollten 6(5) und 6(6) beachtet werden.

4.1.5 Dauerhaftigkeit

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 4.1.5.

(2) Zu Dauerhaftigkeit siehe Abschnitt 6.

4.2 Basisvariablen

4.2.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 4.3.1.

(2) Die Einwirkungen für die Bemessung von Brücken sollten EN 1991 (alle Teile) entnommen werden. Für die Kombination von Einwirkungen und die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen siehe EN 1990:2023, A.2.

(3) Für die Bestimmung der Kombinationen von Beanspruchungen aus lokaler und globaler Belastung der Stahlfahrbahnen von Straßenbrücken ist Anhang E anzuwenden.

(4) Für Einwirkungen, die nicht in EN 1991 (alle Teile) definiert sind, dürfen zusätzliche Regeln durch die zuständige Behörde festgelegt oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

ANMERKUNG Zu Einwirkungen auf Lager siehe EN 1990.

4.2.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften

(1) Siehe Abschnitt 5 und EN 1993-1-1.

4.3 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 4.4.

(2) Die in Tabelle 4.1 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} sollten auf die charakteristischen Werte der Beanspruchbarkeit in Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angewendet werden.

Tabelle 4.1 — Teilsicherheitsbeiwerte

a) Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Querschnitten:	
— Beanspruchbarkeit von Querschnitten unter ausgeprägtem Fließen einschließlich lokalem Beulen	γ_{M0}
— Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen, bei Anwendung von Bauteilnachweisen	γ_{M1}
— Beanspruchbarkeit von Querschnitten bis zum Bruch unter Zugbeanspruchung	γ_{M2}
b) Beanspruchbarkeit von Anschlüssen	
— Beanspruchbarkeit von Schrauben	γ_{M2}
— Beanspruchbarkeit von Nieten	γ_{M2}
— Beanspruchbarkeit von Bolzen	γ_{M2}
— Beanspruchbarkeit von Schweißnähten	γ_{M2}
— Beanspruchbarkeit von Blechen auf Lochleibung	γ_{M2}
— Gleitwiderstand	
— im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Kategorie C)	γ_{M3}
— im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M3,ser}$

— Lochleibungsbeanspruchbarkeit von Injektionsschrauben	γ_{M4}
— Beanspruchbarkeit von Knotenanschlüssen bei Hohlprofilträgern	γ_{M5}
— Beanspruchbarkeit von Bolzen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M6,ser}$
— Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen für den Nachweis der Tragwerksintegrität (Verankerungswiderstand)	γ_{Mu}
— Beanspruchbarkeit von Zuggliedern	siehe prEN 1993-1-11:2024
— Beanspruchbarkeit von Beton	γ_c siehe EN 1992 (alle Teile)
c) Gebrauchstauglichkeit	
— Spannungsbegrenzung (siehe 9.3)	$\gamma_{M,ser}$

ANMERKUNG 1 Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Brücken bei nicht außergewöhnlichen Bemessungssituationen entsprechen Folgendem, sofern der Nationale Anhang keine abweichenden Werte enthält:

- $\gamma_{M0} = 1,00$;
- $\gamma_{M1} = 1,10$;
- $\gamma_{M2} = 1,25$;
- $\gamma_{M3} = 1,25$;
- $\gamma_{M3,ser} = 1,10$;
- $\gamma_{M4} = 1,10$;
- $\gamma_{M5} = 1,10$;
- $\gamma_{M6,ser} = 1,00$;
- $\gamma_{Mu} = 1,10$;
- $\gamma_{M,ser} = 1,00$.

ANMERKUNG 2 Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Brücken bei außergewöhnlichen Bemessungssituationen entsprechen Folgendem, sofern der Nationale Anhang keine abweichenden Werte enthält:

- $\gamma_{M0} = 1,00$;
- $\gamma_{M1} = 1,00$;
- $\gamma_{M2} = 1,15$.

Für alle anderen Teilsicherheitsbeiwerte entsprechen die Werte den Angaben nach ANMERKUNG 1, sofern der Nationale Anhang keine abweichenden Werte enthält.

4.4 Teilsicherheitsbeiwerte für Ermüdungsnachweise

(1) Der Teilsicherheitsbeiwert für Ermüdungslasten sollte als γ_{Ff} angesetzt werden.

ANMERKUNG Der Wert des Teilsicherheitsbeiwertes ist $\gamma_{Ff} = 1,0$ nach EN 1990:2023, A.2, sofern der Nationale Anhang keinen abweichenden Wert enthält.

(2) Der Teilsicherheitsbeiwert für Ermüdungswiderstand sollte als γ_{Mf} angesetzt werden.

ANMERKUNG Die Werte des Teilsicherheitsbeiwertes γ_{Mf} sind EN 1993-1-9 zu entnehmen, sofern der Nationale Anhang keine abweichenden Werte enthält.

4.5 Versuchsgestützte Bemessung

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 4.5.

(2) Versuche sollten genutzt werden, um die Bemessung einer Brücke unter Windbeanspruchungen nachzuweisen, wenn durch Berechnungen oder die Verwendung anerkannter Ergebnisse die Tragsicherheit während der Errichtung oder der geplanten Nutzungsdauer nicht ausreichend sichergestellt wird.

ANMERKUNG prEN 1993-1-4:2024, Anhang K, enthält Hinweise zur Ableitung von Bemessungsparametern aus Windkanalversuchen und numerischen Berechnungen.

5 Werkstoffe

5.1 Allgemeines

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 5.1.

5.2 Baustahl

5.2.1 Werkstoffeigenschaften

(1) Die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für Baustahl sollten wie folgt ermittelt werden:

- a) entweder durch direkte Verwendung der in der Produktnorm angegebenen Werte $f_y = R_{eH}$ und $f_u = R_m$ (als untere Grenze des gegebenen Bereichs);
- b) oder durch Verwendung der Werte nach EN 1993-1-1:2022, Tabelle 5.1, für Stahl entsprechend EN 10025 (alle Teile), EN 10210 (alle Teile), EN 10219 (alle Teile), und der Werte nach EN 1993-1-1:2022, Tabelle 5.2, für Stahl entsprechend EN 10149 (alle Teile) sowie unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit des Werkstoffs im Dickenbereich entsprechend der Produktnorm.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann die Festlegung von a) oder b) treffen unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf Teilsicherheitsbeiwerte (siehe Tabelle 4.1) und deren Kalibrierung entsprechend EN 1993-1-1:2022, Anhang E, und EN 1990.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Regeln für die Verwendung der Stähle nach EN 1993-1-1:2022, Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2, festlegen.

5.2.2 Anforderungen an die Duktilität

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 5.2.2.

5.2.3 Bruchzähigkeit

(1) Der Werkstoff muss die erforderliche Zähigkeit aufweisen, um Sprödbbruch während der vorgesehenen geplanten Nutzungsdauer des Tragwerks auszuschließen.

(2) Es gelten die Regeln nach EN 1993-1-10 für Bruchzähigkeit.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendung von EN 1993-1-10 auf Brücken festlegen und zusätzliche Anforderungen enthalten.

5.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung

(1) Stahl mit verbesserten Eigenschaften in Dickenrichtung nach EN 10164 sollte erforderlichenfalls verwendet werden, siehe EN 1993-1-10.

ANMERKUNG Wurden die Z_{Ed} -Werte nach EN 1993-1-10 bestimmt, sind die erforderlichen Güteklassen nach EN 10164 in Tabelle 5.2 angegeben, sofern der Nationale Anhang keine abweichenden Werte enthält.

Tabelle 5.2 (NDP) — Güteklassen nach EN 10164

Sollwert Z_{Ed}	Güteklasse
$Z_{Ed} \leq 10$	—
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z25
$Z_{Ed} > 30$	Z35

5.2.5 Werte von anderen Werkstoffeigenschaften

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 5.2.5.

5.3 Teile von Verbindungen

5.3.1 Verbindungsmittel

5.3.1.1 Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben

(1) Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben sollten den Regeln nach FprEN 1993-1-8:2023, 5.1, entsprechen.

(2) Schrauben der Güteklassen 4.8 und 5.8 sollten in Brücken nicht verwendet werden.

5.3.1.2 Niete

(1) Niete sollten den Regeln nach FprEN 1993-1-8:2023, 5.2, entsprechen.

ANMERKUNG Die Werkstoffeigenschaften, Maße und Toleranzen von Nieten aus Stahl können im Nationalen Anhang angegeben sein.

5.3.1.3 Ankerschrauben

(1) Ankerschrauben sollten den Regeln nach FprEN 1993-1-8:2023, 5.3, entsprechen.

5.3.2 Schweißzusätze

(1) Alle Schweißzusätze sollten den Regeln nach FprEN 1993-1-8:2023, 6.2, entsprechen.

(2) Der Schweißzusatzwerkstoff sollte entsprechend den Regeln in EN 1993-1-8 gewählt werden.

ANMERKUNG Anwendungsgrenzen für niederfesten (undermatching) Schweißzusatzwerkstoff können im Nationalen Anhang festgelegt sein.

5.4 Stahlseile und andere Zugglieder

(1) Die Bemessung von Stahlseilen und anderen Zuggliedern sollte EN 1993-1-11 entsprechen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die für verschiedene Brückenarten geeigneten Seiltypen festlegen.

(2) Die zusätzlichen Festlegungen nach Anhang A sind für bestimmte Arten von Hängern in Stabbogenbrücken anzuwenden.

5.5 Lager

(1) Lager sollten EN 1337 (alle Teile) entsprechen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Anforderungen für den Einbau und die Nutzung der für Brücken verwendbaren Lager enthalten.

(2) Die Bemessung von Lagern sollte EN 1990:2023, Anhang G, entsprechen.

5.6 Dämpfer und Sperrvorrichtungen

(1) Dämpfer und Sperrvorrichtungen sollten EN 15129 und den maßgebenden technischen Spezifikationen entsprechen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Anforderungen für den Einbau und die Nutzung der für Brücken verwendbaren Dämpfer und Sperrvorrichtungen enthalten.

5.7 Sonstige Komponenten von Brücken

(1) Fahrbahnübergänge, Schutzplanken, Geländer und sonstige Brückenausrüstungen sollten den maßgebenden technischen Spezifikationen entsprechen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Anforderungen für den Einbau und die Nutzung der für Brücken verwendbaren Fahrbahnübergänge, Schutzplanken, Geländer und sonstigen Brückenausrüstungen enthalten.

(2) Die Bemessung von Fahrbahnübergängen sollte EN 1990:2023, A.2.10.4, entsprechen.

(3) Das System des Fahrbahnbelags der Brücke, die verwendeten Produkte und das Verarbeitungsverfahren sollten den maßgebenden technischen Spezifikationen entsprechen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Anforderungen für das System des Fahrbahnbelags, die verwendeten Produkte und das Verarbeitungsverfahren für Brücken enthalten.

6 Dauerhaftigkeit

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, Abschnitt 6.

(2) Den Auswirkungen der Korrosion oder Ermüdung von Bauteilen und Werkstoffen sollte durch geeignete bauliche Durchbildung Rechnung getragen werden. Die Auswirkungen der Ermüdung sollten nach Abschnitt 10, EN 1993-1-9 und EN 1993-1-10 berücksichtigt werden.

(3) Bauteile oder Teile davon, die nicht inspiziert werden können, sollten möglichst vermieden werden. Sofern sie unvermeidbar sind, sollten angemessene Vorkehrungen gegen Korrosion vorgesehen werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Anforderungen bezüglich Korrosionsschutzes, Maßnahmen zur Sicherstellung der Luftdichtheit von Hohlkastenträgern oder Festlegungen zu Dickenzuschlägen bei unzugänglichen Oberflächen enthalten.

(4) Dauerhafte Verbindungen in Tragwerksteilen der Brücke sollten als vorgespannte Schraubverbindungen der Kategorie B oder C ausgeführt werden. Alternativ dürfen Passschrauben, Niete oder Schweißverbindungen zur Verhinderung von Schlupf verwendet werden.

ANMERKUNG Injektionsschrauben können ebenfalls verwendet werden, sofern nach 11.1.2 zulässig.

(5) Für Bauteile, wie z. B. Zugglieder, Lager und Fahrbahnübergänge, die nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit für das Erreichen der geplanten Nutzungsdauer der Brücke bemessen werden können, gelten die Regeln nach EN 1990:2023, A.2.3(2) und (3).

(6) Tragwerksteile einer Brücke, an die Schutzplanken oder Geländer angeschlossen werden, sollten nach EN 1990:2023, A.2.6.8(3), bemessen werden.

(7) Die geplante Nutzungsdauer der Brücke und ihrer Bauteile nach 4.1.4 sollte wie folgt erreicht werden:

- Ermüdungsbemessung von Konstruktionsdetails entsprechend (2), (3) und EN 1993-1-9 sowie mit Gebrauchstauglichkeitsnachweisen nach Abschnitt 9;
- angemessene bauliche Durchbildung (z. B. orthotrope Fahrbahnen);
- Werkstoffwahl entsprechend Abschnitt 5;
- Fertigung nach EN 1090-2 und EN 1090-4.

ANMERKUNG Empfehlungen für die bauliche Durchbildung von orthotropen Stahlfahrbahnen sind Anhang C zu entnehmen. Alternativ können orthotrope Stahlfahrbahnen nach CEN/TS 1993-1-901² bemessen werden. Der Nationale Anhang kann zusätzliche Angaben zur Verwendung dieser beiden Möglichkeiten enthalten.

7 Tragwerksberechnung

7.1 Statische Systeme

7.1.1 Grundannahmen

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.1.1.

(2) Für die Berechnung von Seiltragwerken gilt EN 1993-1-11.

7.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.1.2.

(2) Bei Brücken sollte mit der Wahl der Art des Anschlusses und seiner Modellierung sichergestellt werden, dass die erforderliche Lebensdauer erreicht wird.

ANMERKUNG Die in EN 1993-1-9 angegebenen Kerbfälle sind für biegesteife Anschlüsse zwischen Brückenbauteilen mit Ausnahme von Lagern, Augenstab-Verbindungen und Stahlseilen geeignet.

2 In Erarbeitung.

7.2 Untersuchung von Gesamttragwerken

7.2.1 Berücksichtigung der Einflüsse nach Theorie II. Ordnung

(1) EN 1993-1-1:2022, 7.2.1, gilt unter der Annahme, dass die Regeln für verschiebbliche Systeme auch für das Gesamttragwerk gelten.

7.2.2 Art der Tragwerksberechnung in Abhängigkeit von der Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.2.2.

Wird das Verhalten einer Brücke oder ihrer Bauteile durch die erste Knickbiegeline bzw. Eigenform bestimmt, darf auf Grundlage einer Gesamttragwerksberechnung nach Elastizitätstheorie das Biegemoment nach Theorie II. Ordnung M_{II} infolge der aufgetragenen Normalkraft berechnet werden, indem die Imperfektionen und sonstigen Verformungen nach Theorie I. Ordnung um den Faktor k_α nach Gleichung (7.1) erhöht werden:

$$k_\alpha = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \text{ vorausgesetzt, dass: } 3 \leq \alpha_{cr} < 10 \quad (7.1)$$

Dabei ist

α_{cr} der Faktor, um den die Bemessungslast erhöht werden müsste, um die ideale Verzweigungslast im Gesamttragwerk zu erreichen.

(3) Für $\alpha_{cr} < 3$ sollte eine genauere Berechnung nach Theorie II. Ordnung erfolgen.

(4) Für $\alpha_{cr} \geq 10$ dürfen die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung vernachlässigt werden, siehe EN 1993-1-1.

7.3 Imperfektionen

7.3.1 Grundlagen

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.3.1.

7.3.2 Schiefstellungen

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.3.2.

ANMERKUNG Für Stützen ist α_m anwendbar, wenn die Beiträge verschiedener Stützen sich zu einer gemeinsamen Wirkung überlagern (z. B. bei Stützen, die mit dem Überbau einen Rahmen bilden).

(2) Für Bogenbrücken sind die Regeln nach Anhang D anzuwenden.

7.3.3 Äquivalente Vorkrümmung für die Tragwerks- und Bauteilberechnung

7.3.3.1 Biegeknicken

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.3.3.1.

7.3.3.2 Biegedrillknicken

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.3.3.2.

7.3.4 Überlagerung von Anfangsschiefstellung und äquivalenter Vorkrümmung

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.3.4.

7.3.5 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.3.5.

7.3.6 Imperfektionen auf der Grundlage von Knickbiegelinien nach der Elastizitätstheorie

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.3.6.

7.4 Berechnungsverfahren

7.4.1 Allgemeines

(1) Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie sollte zur Bestimmung der Schnittgrößen für alle ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen angewendet werden.

(2) Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie entsprechend EN 1993-1-1:2022, 7.4.3, darf für außergewöhnliche Bemessungssituationen angewendet werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Anwendungsgrenzen für die Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie enthalten.

(3) Bei Berechnung mittels Finite-Elemente-Modell (FEM) sollte EN 1993-1-14 angewendet werden.

7.4.2 Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.4.2.

(2) Wenn alle Querschnitte der Querschnittsklasse 1 zuzuordnen sind und die Beanspruchbarkeit von Bauteilen nicht durch Biegeknicken oder Biegedrillknicken verringert wird, dürfen die Auswirkungen von Temperaturunterschieden, Schwinden und Setzungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit vernachlässigt werden.

7.5 Klassifizierung von Querschnitten

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 7.5.

8 Grenzzustände der Tragfähigkeit

8.1 Teilsicherheitsbeiwerte

(1) Die Teilsicherheitsbeiwerte der Beanspruchbarkeit sollten 4.3 entnommen werden.

8.2 Beanspruchbarkeit von Querschnitten

8.2.1 Allgemeines

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.1.

8.2.2 Querschnittswerte

8.2.2.1 Bruttoquerschnitt

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.2.1.

8.2.2.2 Nettofläche

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.2.2.

8.2.2.3 Einfluss der Schubverzerrung

(1) Es gelten EN 1993-1-1:2022, 8.2.2.3, und EN 1993-1-5.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Anwendungsgrenzen für die Berücksichtigung der Schubverzerrung durch die mittragenden Breiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit enthalten.

8.2.2.4 Wirksame Eigenschaften von Querschnitten mit Stegen der Klasse 3 und Gurten der Klasse 1 oder 2

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.2.4.

8.2.2.5 Wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4

(1) Die Auswirkungen von lokalem Plattenbeulen sollten anhand eines der beiden folgenden Verfahren nach EN 1993-1-5 berücksichtigt werden:

- a) wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4 nach EN 1993-1-5;
- b) Begrenzung der Spannungen am Bruttoquerschnitt nach FprEN 1993-1-5:2023, Abschnitt 12.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die anzuwendenden Verfahren festlegen. Bei Anwendung von Verfahren b) kann der Nationale Anhang weitere Hinweise enthalten.

(2) Bei kreisförmigen Hohlprofilen der Klasse 4 sollten die Auswirkungen lokalen Beulens nach einem der beiden folgenden Verfahren berücksichtigt werden:

- a) wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4 nach EN 1993-1-1;
- b) Begrenzung der Spannungen am Bruttoquerschnitt nach EN 1993-1-6.

8.2.2.6 Querschnittswerte für die charakteristische Beanspruchbarkeit

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.2.6.

8.2.3 Zugbeanspruchung

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.3.

(2) Für die Bemessung von Zuggliedern aus Stahl, einschließlich Stäben, Seilen und Litzenbündeln, gilt EN 1993-1-11.

(3) Für bestimmte Arten von Hängern in Stabbogenbrücken sollten zusätzliche Regeln nach Anhang A angewendet werden.

8.2.4 Druckbeanspruchung

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.4.

(2) Alternativ darf der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für Querschnitte der Klasse 4 unter Verwendung von Gleichung (8.1) berechnet werden:

$$N_{c,Rd} = \frac{A\sigma_{limit}}{\gamma_{M1}} \quad (8.1)$$

Dabei ist

$\sigma_{limit} = \rho_{c,x} f_y$ der Grenzwert der Spannung des schwächsten Teils eines druckbeanspruchten Querschnitts;

$\rho_{c,x}$ der Abminderungsbeiwert nach FprEN 1993-1-5:2023, 12.4.

8.2.5 Biegebeanspruchung

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.5.

(2) Alternativ darf der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für Querschnitte der Klasse 4 unter Verwendung von Gleichung (8.2) berechnet werden:

$$M_{c,Rd} = \text{Min} \left(\frac{W_{el,com} \sigma_{limit}}{\gamma_{M1}}; \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \right) \quad (8.2)$$

Dabei ist

$\sigma_{limit} = \rho_{c,x} f_y$ der Grenzwert der Druckspannung des schwächsten Teils des Querschnitts;

$\rho_{c,x}$ der Abminderungsbeiwert nach FprEN 1993-1-5:2023, 12.4;

$W_{el,com}$ das elastische Widerstandsmoment entsprechend der Faser, bei der die Grenzdrukspannung erreicht wird;

$W_{el,min}$ das elastische Widerstandsmoment entsprechend der Faser mit der größten Spannung (Zug oder Druck).

8.2.6 Querkraftbeanspruchung

(1) Es gelten EN 1993-1-1:2022, 8.2.6, und EN 1993-1-5.

8.2.7 Torsion

8.2.7.1 Allgemeines

(1) Bei torsionsbeanspruchten Bauteilen sollten Auswirkungen sowohl infolge Torsion als auch infolge Querschnittsverformungen berücksichtigt werden.

(2) Ein geeignetes elastisches Modell (z. B. ein Trägerrostmodell, ein Schalenmodell, ein Balkenmodell höherer Ordnung oder ein elastisch gelagertes Balkenmodell), das den Bauteilquerschnitt und die Steifigkeit sowie die Lage der vorhandenen Querrahmen oder Queraussteifungen berücksichtigt, sollte verwendet werden, um die gemeinsame Wirkung von Biegung, Torsion und Querschnittsverformung zu ermitteln.

(3) Auswirkungen infolge Querschnittsverformung in Hohlkastenbauteilen dürfen vernachlässigt werden, wenn die Längsspannungen an jedem Querschnitt, die durch die Querschnittsverformung unter der maßgebenden exzentrischen Einwirkungskombination im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) entstehen, entweder nicht mehr als 10 % der Längsspannungen aus dem Biegemoment in Bauteillängsrichtung oder nicht mehr als $0,05 f_{yd}$ betragen, wobei infolge der gleichen Kombination von Einwirkungen und am gleichen Querschnitt der größere Wert gilt.

(4) Querrahmen oder Queraussteifungen sollten unter Berücksichtigung der Auswirkungen infolge Torsion und Querschnittsverformung bemessen werden.

8.2.7.2 Torsion mit vernachlässigbaren Auswirkungen infolge Querschnittsverformung

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.7.

8.2.8 Beanspruchung aus Biegung und Querkraft

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.8.

8.2.9 Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft

8.2.9.1 Querschnitte der Klassen 1 und 2

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.9.1.

8.2.9.2 Querschnitte der Klasse 3

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.9.2.

8.2.9.3 Querschnitte der Klasse 4

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.9.3.

(2) Bei Anwendung des Verfahrens mit den Grenzspannungen nach 8.2.4(2) oder 8.2.5(2) sollte das Kriterium nach Gleichung (8.3) erfüllt sein:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{\sigma_{limit}}{\gamma_{M1}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8.3)$$

wobei σ_{limit} nach 8.2.4 oder 8.2.5 ermittelt werden sollte.

8.2.10 Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.2.10.

8.2.11 Beanspruchung aus Biegung, Querkraft, Normalkraft und Querbelastrung (patch loading)

(1) Die Interaktion zwischen Biegung, Querkraft, Normalkraft und Querbelastrung (patch loading) darf anhand eines der beiden folgenden Verfahren ermittelt werden:

a) Interaktionsverfahren nach 8.2.8 bis 8.2.10.

ANMERKUNG Zu Auswirkungen von Plattenbeulen siehe FprEN 1993-1-5:2023, Abschnitt 6 bis Abschnitt 9.

b) Interaktion der Spannungen unter Verwendung des in 8.2.1 angegebenen Fließkriteriums.

ANMERKUNG Zu Auswirkungen von Plattenbeulen siehe FprEN 1993-1-5:2023, Abschnitt 12.

8.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile

8.3.1 Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck

8.3.1.1 Biegeknicken

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.3.1.1.

8.3.1.2 Bezogener Schlankheitsgrad von druckbeanspruchten Bauteilen

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.3.1.2.

8.3.1.3 Abminderungsfaktor für Biegeknicken

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.3.1.3.

8.3.1.4 Abminderungsfaktoren für Drillknicken und Biegedrillknicken unter Normalkraft

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.3.1.4.

8.3.1.5 Verwendung von Querschnittswerten der Querschnittsklasse 3 mit Grenzspannungen

(1) Als Alternative zur Verwendung von Querschnittswerten der Klasse 4 dürfen Querschnittswerte der Klasse 3 in Verbindung mit der Begrenzung der Spannungen nach FprEN 1993-1-5:2023, Abschnitt 12, verwendet werden.

8.3.2 Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.3.2.

8.3.3 Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.3.3.

(2) Als Alternative zu Gleichung (8.88) und Gleichung (8.89) nach EN 1993-1-1:2022, 8.3.3, darf das vereinfachte Verfahren nach CEN/TR 1993-1-101 angewendet werden.

8.3.4 Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.3.4.

8.3.5 Vereinfachtes Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile

(1) Für druckbeanspruchte Fachwerkgurte und Flansche darf das seitliche Ausknicken an einem Ersatzstab nachgewiesen werden, der durch die Druckkraft N_{Ed} beansprucht wird und durch kontinuierliche oder diskrete elastische Federn gelagert ist.

ANMERKUNG 1 Hinweise zur Bestimmung der Steifigkeit der federnden Lagerungen durch U-förmige Querrahmen sind in CEN/TR 1993-1-103³ angegeben.

3 In Erarbeitung.

ANMERKUNG 2 Wenn Fachwerkgurte und/oder Flansche durch U-förmige Querrahmen gehalten werden, sind die Bauteile der U-förmigen Querrahmen Kräften ausgesetzt, die durch die Lagerung sowie die Interaktion zwischen dem U-förmigen Querrahmen und den Flanschen oder Gurten entstehen.

ANMERKUNG 3 Dieses Verfahren kann nicht die Beanspruchbarkeit von sich gegenseitig aussteifenden Trägern nachweisen, bei denen eine Form des Gesamtknickens von zwei oder mehr Trägern auftreten kann, wie z. B. die gemeinsame Drehung von gekoppelten Trägern in fehlender Aussteifung in der Ebene oder Deckblech oder Betonplatte. In diesen Fällen wird das Biegedrillknickmoment nach Elastizitätstheorie und die Schlankheit für Biegedrillknicken anhand einer Eigenwertberechnung nach Elastizitätstheorie oder der Fachliteratur ermittelt.

(2) Die Knickbiegeline und die ideale Verzweigungslast N_{cr} dürfen durch eine Eigenwertberechnung nach Elastizitätstheorie bestimmt werden. Werden kontinuierliche Federn verwendet, um die Lagerungen, die im Grunde diskret sind, abzubilden, sollte die Knicklänge, die zur Berechnung des Biegeknickens nach Elastizitätstheorie verwendet wird, nicht kleiner sein als der Abstand der Lagerungen.

(3) Der Nachweis von Biegedrillknicken darf nach 8.3.2 unter Verwendung von Gleichung (8.4) geführt werden:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad (8.4)$$

Dabei ist

A_{eff} die wirksame Querschnittsfläche des Gurtes;

N_{cr} die anhand des Bruttoquerschnitts des Gurtes bestimmte ideale Verzweigungslast.

(4) Bei Druckgurten oder Untergurten von Durchlaufträgern zwischen starren Auflagern dürfen die Auswirkungen von Anfangsimperfektionen und der Theorie II. Ordnung auf die stützende federnde Lagerung durch eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung berücksichtigt werden, indem eine zusätzliche Querlast F_{Ed} auf die Verbindung zwischen Gurt und Feder nach Gleichung (8.5) aufgebracht wird:

$$F_{Ed} = \begin{cases} \frac{N_{Ed}}{100} & \text{wenn } L_{cr} \leq 1,2 d_s \\ \frac{N_{Ed}}{N_{cr} - N_{Ed}} \times \frac{C_d L_w}{500} & \text{wenn } L_{cr} > 1,2 d_s \end{cases} \quad (8.5)$$

Dabei ist

$$L_{cr} = \pi \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$$

L_w die halbe Wellenlänge der Knickbiegeline, die bestimmt wird, indem L_R/L_w als nächste ganze Zahl kleiner als L_R/L_{cr} , mindestens jedoch mit 1 angesetzt wird;

L_R die Spannweite zwischen den starren Auflagern, z. B. von starren Querrahmen;

d_s der Abstand zwischen den Federn;

C_d die Federsteifigkeit, siehe (1), ANMERKUNG 1.

(5) Ist der Bemessungswert der Druckkraft N_{Ed} über die Gurtlänge konstant, darf die kritische Normallast N_{cr} unter Verwendung von Gleichung (8.6) berechnet werden:

$$N_{cr} = mN_E \quad (8.6)$$

Dabei ist

$$N_E = \pi^2 \frac{EI}{L_R^2}$$

$$m = \frac{2}{\pi^2} \sqrt{\gamma} \text{ mindestens jedoch } 1,0$$

$$\gamma = \frac{c_s L_R^4}{EI}$$

$$c_s = \frac{C_d}{d_s}$$

Eine seitliche Lagerung eines druckbeanspruchten Gurtes darf als starr angenommen werden, wenn deren Steifigkeit C_d die Bedingung nach Gleichung (8.7) erfüllt:

$$C_d > \frac{4N_E}{L_R} \quad (8.7)$$

wobei N_E die ideale Verzweigungslast ist, die unter Annahme von gelenkigen Enden bestimmt wird. Sind keine starren seitlichen Lagerungen an Trägerenden zur Definition der Länge L_R vorhanden, sollte entweder der Schlankheitsgrad nach (2) bestimmt werden oder der Wert von m an die letzte halbe Wellenlänge der Knickbiegeline angepasst werden, um die Nachgiebigkeit der Lagerung am Ende entsprechend der Eigenwertberechnung nach Elastizitätstheorie zu berücksichtigen.

(6) Das in (1) bis (5) angegebene Verfahren darf auch auf die Gurte von Trägern unter Druck angewendet werden, wenn A_{eff} nach (3) durch Gleichung (8.8) ersetzt wird,

$$A_{eff} + \frac{A_{wc}}{3} \quad (8.8)$$

wobei A_{wc} die Fläche der Druckzone des Steges ist. Im Falle eines Querschnitts der Klasse 4 sollten die Flächen als die wirksamen Querschnittsflächen angesetzt werden.

Für Fälle, in denen die Druckkraft N_{Ed} nicht über die Länge des Gurtes konstant ist, wird der Ansatz nach (7) und (8) empfohlen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann weitere Hinweise oder einen abweichenden Ansatz für den Fall enthalten, dass die Druckkraft N_{Ed} über die Gurtlänge nicht konstant ist.

(7) Für den Untergurt eines Durchlaufträgers mit starren seitlichen Lagerungen im Abstand L_R (siehe Bild 8.1) darf m in Gleichung (8.6) als der kleinste der nach Gleichung (8.9) und Gleichung (8.10) ermittelten Werte angesetzt werden:

$$m = 1 + 0,44(1 + \mu)\Phi^{1,5} + (3 + 2\Phi)\gamma/(350 - 50\mu) \quad (8.9)$$

$$m = 1 + 0,44(1 + \mu)\Phi^{1,5} + (0,195 + (0,05 + \mu/100)\Phi)\gamma^{0,5} \quad (8.10)$$

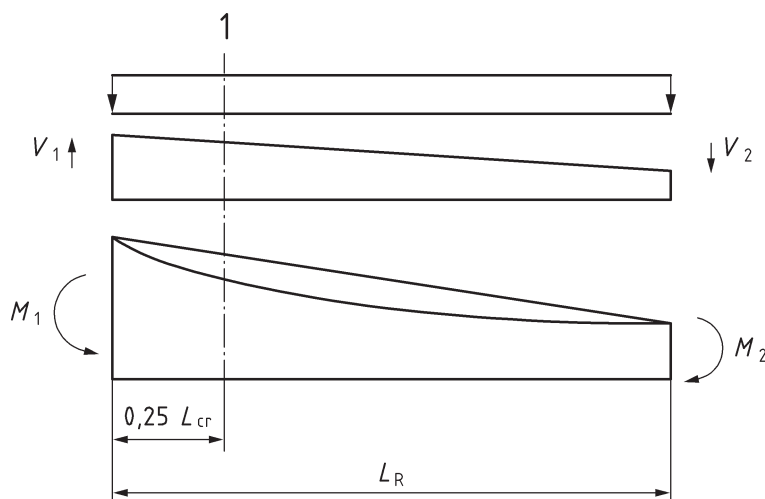
Dabei ist

$$\mu = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{siehe Bild 8.1}$$

$$\phi = \frac{2 \left(1 - \frac{M_2}{M_1}\right)}{1 + \mu} \quad \text{für } M_2 > 0$$

Wenn das Biegemoment das Vorzeichen wechselt, dürfen Gleichung (8.9) und Gleichung (8.10) als konservative Schätzung verwendet werden, indem $M_2 = 0$ eingesetzt wird.

(8) Der Nachweis der Beanspruchbarkeit bei Biegedrillknicken nach 8.3.2 darf in einem Abstand von $0,25 L_{cr}$ zum Auflager mit dem größten Biegemoment entsprechend der Darstellung nach Bild 8.1 geführt werden, sofern die Beanspruchbarkeit des Querschnitts auch in dem Bereich mit dem größten Biegemoment überprüft wird, wobei gilt $L_{cr} = L_R / \sqrt{m}$.



Legende

1 Bemessungsbereich

Bild 8.1 — Trägerabschnitt zwischen starren seitlichen Lagerungen mit parabelförmig veränderlichem Biegemoment

8.3.6 Im Grundriss gekrümmte Hauptträger

(1) Die Auswirkungen von Krümmungen im Grundriss sollten bei der Beanspruchbarkeit von Hauptträgern berücksichtigt werden.

(2) Sofern nicht ein genauerer Ansatz angewendet wird, der das nichtlineare Verhalten direkt berücksichtigt, sind die Regeln nach Anhang B anzuwenden.

8.4 Mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 8.4.

8.5 Plattenbeulen

(1) Für das Plattenbeulen in einem geschweißten Träger sollten die Regeln nach EN 1993-1-5 angewendet werden.

(2) Der Beulnachweis von Bauteilen im Grenzzustand der Tragsicherheit sollte unter Anwendung entweder von a) oder b) wie folgt geführt werden:

- a) Längsspannungen, Schubspannungen und Querlasten sollten nach FprEN 1993-1-5:2023, Abschnitt 4, Abschnitt 5 und Abschnitt 6, nachgewiesen werden. Zusätzlich sollten auch die Interaktionskriterien nach FprEN 1993-1-5:2023, Abschnitt 9, erfüllt werden.
- b) Methode der reduzierten Spannungen auf der Grundlage von Spannungsbegrenzungen infolge von Plattenbeulen, nach FprEN 1993-1-5:2023, Abschnitt 12.

ANMERKUNG Siehe auch 8.2.2.5.

(3) Der Stabilitätsnachweis für druckbeanspruchte Stegsteifen oder ausgesteifte Deckbleche unter zusätzlicher Beanspruchung durch Biegemomente aus Lasten quer zur Ebene des ausgesteiften Bleches darf nach 8.3.3 geführt werden. Beim für den Nachweis verwendeten wirksamen Querschnitt von ausgesteiften Deckblechen sollte lokales Plattenbeulen nach EN 1993-1-5 berücksichtigt werden, und der Abminderungsbeiwert für Biegeknicken aus der Ebene nach EN 1993-1-1:2022, 8.3.1.3, sollte entsprechend FprEN 1993-1-5:2023, 6.5.3(5), modifiziert werden.

ANMERKUNG Dieses Verfahren beruht als konservative Vereinfachung auf der Annahme, dass es sich beim Gesamtfeldbeulen um knickstabähnliches Verhalten handelt.

9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

9.1 Allgemeines

(1) Es gilt EN 1993-1-1:2022, 9.1.

(2) Folgende Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit sollten erfüllt werden:

- a) Beschränkung auf elastisches Verhalten, um Folgendes zu begrenzen:
 - übermäßige plastische Fließerscheinungen, siehe 9.3(1);
 - Abweichungen von der Sollform durch bleibende Durchbiegungen, siehe 9.3(1);
 - übermäßige Verformungen, siehe 9.3(4).
- b) Begrenzung von Durchbiegungen und Krümmungen, um Folgendes zu vermeiden:
 - Einengung des Lichtraumprofils, siehe 9.5 oder 9.6;
 - unzulässige Änderungen der Gleisgeometrie und übermäßige Schienenspannungen, siehe 9.7;
 - unerwünschte dynamische Stöße infolge Verkehrslasten (Kombination der Begrenzungen von Durchbiegung und Eigenfrequenz), siehe 9.7 und 9.8;
 - Rissbildung im Fahrbahnbelag, siehe 9.8;
 - Beschädigung der Entwässerungseinrichtungen, siehe 9.12.

- c) Begrenzung der Eigenfrequenzen, um:
- Schwingungen infolge Verkehrs oder Wind auszuschließen, die für auf der Brücke befindliche Fußgänger oder Fahrzeuginsassen nicht annehmbar sind, siehe 9.8 und 9.9;
 - Ermüdungsschäden infolge Resonanz zu begrenzen, siehe 9.7, 9.8 und 9.9;
 - übermäßige Geräuschemission zu begrenzen, siehe 9.8 und 9.9;
 - Destabilisierung des Schotters und unzulässige Verringerung von Rad/Schiene-Kontaktkräften bei Schienenfahrzeugen zu verhindern, siehe 9.7.
- d) Beschränkung der Schlankheit von ebenen Blechen, siehe 9.4, um Folgendes zu begrenzen:
- übermäßige Wellenbildung (Schweißverzug) der Bleche;
 - Stegatmen;
 - Steifigkeitsverlust infolge Plattenbeulen und daraus resultierender erhöhter Durchbiegung, siehe EN 1993-1-5.
- e) verbesserte Dauerhaftigkeit durch geeignete bauliche Durchbildung zur Verringerung von Korrosion und übermäßigem Verschleiß, siehe 9.11.
- f) Erleichterung von Instandhaltung und Instandsetzung, siehe 9.11, um Folgendes sicherzustellen:
- Zugänglichkeit von tragenden Bauteilen für Instandhaltung, Prüfung und die Erneuerung von Korrosionsschutz und Fahrbelag;
 - Austausch von Lagern, Ankern, Seilen, Fahrbelägen bei geringstmöglicher Störung der Tragwerksnutzung.

(3) In den meisten Situationen sollten Aspekte der Gebrauchstauglichkeit im Entwurfskonzept der Brücke oder durch geeignete bauliche Durchbildung berücksichtigt werden. In geeigneten Fällen dürfen Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit jedoch auch durch numerische Beurteilung nachgewiesen werden, z. B. bei der Berechnung von Durchbiegungen oder Eigenfrequenzen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Hinweise zu Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit für bestimmte Arten von Brücken enthalten.

9.2 Berechnungsmodelle

(1) Spannungen in Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sollten mittels linear-elastischer Berechnung unter Verwendung der entsprechenden Querschnittswerte, siehe EN 1993-1-5, bestimmt werden.

(2) Bei der Tragwerksmodellierung sollte die ungleichmäßige Verteilung von Lasten und Steifigkeit infolge veränderlicher Blechdicken, Aussteifungen usw. berücksichtigt werden.

(3) Durchbiegungen sollten mittels linear-elastischer Berechnung unter Verwendung der entsprechenden Querschnittswerte, siehe EN 1993-1-5, bestimmt werden.

(4) Für Berechnungsmodelle mit der Methode der finiten Elemente sollte EN 1993-1-14 angewendet werden.

9.3 Spannungsbegrenzungen

(1) Die Nennspannungen $\sigma_{Ed,ser}$ und $\tau_{Ed,ser}$, die aus den charakteristischen Lastkombinationen resultieren und unter angemessener Berücksichtigung von Auswirkungen der Schubverzerrung in Gurten sowie von Sekundärauswirkungen infolge Durchbiegungen (z. B. sekundäre Biegemomente in Fachwerkträgern) berechnet werden, sollten entsprechend den Kriterien nach Gleichung (9.1), Gleichung (9.2) und Gleichung (9.3) begrenzt werden:

$$\sigma_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \quad (9.1)$$

$$\tau_{Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M,ser}} \quad (9.2)$$

$$\sqrt{\sigma_{Ed,ser}^2 + 3 \tau_{Ed,ser}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} \quad (9.3)$$

Gegebenenfalls sollten die vorstehenden Nachweise auch Spannungen σ_z aus Querlasten einschließen, siehe EN 1993-1-5.

ANMERKUNG 1 $\gamma_{M,ser} \gamma_{M,ser} = 1,00$, sofern der Nationale Anhang keinen abweichenden Wert enthält.

ANMERKUNG 2 Bei der Gesamttragwerksberechnung können die Auswirkungen von Plattenbeulen auf die Steifigkeit entsprechend den Festlegungen nach FprEN 1993-1-5:2023, 4.3(9), vernachlässigt werden.

(2) Die Nennspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{fre}$ infolge der häufigen Lastkombination sollte auf $1,5 f_y/\gamma_{M,ser}$ begrenzt werden.

ANMERKUNG Dieser Nachweis dient der Vermeidung von Kurzzeitermüdung (en: low cycle fatigue), siehe EN 1993-1-9.

(3) Bei nicht vorgespannten schubbeanspruchten Schraubverbindungen sollte die Schubkraft in der Schraube $F_{v,Ed,ser}$ infolge der charakteristischen Lastkombination entsprechend der Bedingung nach Gleichung (9.4) begrenzt werden:

$$F_{v,Ed,ser} \leq 0,7 F_{b,Rd} \quad (9.4)$$

wobei $F_{b,Rd}$ der Bemessungswert der Lochleibungsbeanspruchbarkeit für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist.

(4) Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von gleitfesten vorgespannten Schraubverbindungen der Kategorie B (gleitfest im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, siehe EN 1993-1-8) sollte unter Verwendung der charakteristischen Lastkombination erfolgen.

9.4 Begrenzung des Stegatmens

(1) Die Schlankheit von Stegblechen sollte begrenzt werden, um übermäßiges Stegatmen zu vermeiden, das zu Ermüdung an oder neben den Steg/Gurt-Verbindungen führen könnte.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Fälle festlegen, in denen Nachweise bezüglich Stegatmen nicht erforderlich sind.

(2) Stegatmen darf bei unausgesteiften Blechen vernachlässigt werden, sofern die Bedingungen nach Gleichung (9.5) oder Gleichung (9.6) erfüllt werden:

$$b_p/t \leq 30 + 4,0 L \leq 300 \quad \text{für Straßenbrücken} \quad (9.5)$$

$$b_p/t \leq 55 + 3,3 L \leq 250 \quad \text{für Eisenbahnbrücken} \quad (9.6)$$

Dabei ist

b_p die Stegblechbreite;

t die Stegblechdicke;

L die Spannweite, in Meter, mindestens jedoch 20 m.

(3) Stegatmen darf bei längs ausgesteiften Stegblechen vernachlässigt werden, deren relative Steifigkeit $\gamma_{sl,i}^*$ nach FprEN 1993-1-5:2023, 6.5.1(5), mehr als 25 beträgt, sofern die Bedingungen nach Gleichung (9.5) oder Gleichung (9.6) für jedes Einzelbeulfeld erfüllt werden, wobei b als Breite des Einzelbeulfeldes angenommen wird.

(4) Wenn die Festlegungen nach (2) oder (3) nicht erfüllt werden, sollte der Nachweis bezüglich Stegatmen unter Verwendung des Kriteriums nach Gleichung (9.7) geführt werden:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{\sigma_{cr,p}}\right)^2 + \left(\frac{1,1\tau_{Ed,ser}}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq 1,1 \quad (9.7)$$

Dabei sind

$\sigma_{x,Ed,ser}$, $\tau_{Ed,ser}$ die Spannungen der häufigen Lastkombination. Sind die Spannungen veränderlich über die Beulfeldlänge a , sollte FprEN 1993-1-5:2023, 6.7(4), berücksichtigt werden. Die Spannung $\sigma_{x,Ed,ser}$ sollte als die Spannung am gedrückten Rand des untersuchten Beulfeldes oder Einzelbeulfeldes angesetzt werden. Bei vollständig durch Zug beanspruchten Beulfeldern oder Einzelbeulfeldern darf $\sigma_{x,Ed,ser}/\sigma_{cr,p}$ gleich null angesetzt werden;

$\sigma_{cr,p}$ und τ_{cr} die kritischen Beulspannungen des Beulfeldes oder Einzelbeulfeldes nach EN 1993-1-5. Gegebenenfalls sollte bei $\sigma_{cr,p}$ das knickstabähnliche Verhalten des Beulfeldes berücksichtigt werden.

(5) Für Stege mit Längssteifen, die nicht 9.4(3) entsprechen, sollte entweder 9.4(4) auf jedes Einzelbeulfeld und auf das ausgesteifte Gesamtbeulfeld oder 9.4(2) auf das Gesamtbeulfeld angewendet werden, wobei die Längssteifen vernachlässigt werden.

9.5 Grenzen für Lichtraumprofile

(1) Es gilt EN 1990:2023, A.2.8.1(4).

9.6 Grenzen für das optische Erscheinungsbild

(1) Für ein zufriedenstellendes Erscheinungsbild der Brücke sollten projektspezifisch Überhöhungen in Betracht gezogen werden.

(2) Bei der Berechnung der Überhöhung sollten die Auswirkungen von Schubverformungen und Schlupf in Nieten- oder Schraubenverbindungen berücksichtigt werden.

(3) Bei Verbindungen mit Nieten und Passschrauben sollte ein Schlupf von 0,2 mm angenommen werden. Bei vorgespannten Schrauben braucht Schlupf nicht berücksichtigt zu werden.

9.7 Anforderungen für Eisenbahnbrücken

(1) Spezifische Kriterien für Durchbiegung und Schwingungen von Eisenbahnbrücken sollten EN 1990:2023, A2, entnommen werden.

(2) Anforderungen zur Begrenzung von Lärmemission dürfen durch die zuständige Behörde festgelegt oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

9.8 Anforderungen für Straßenbrücken

9.8.1 Allgemeines

(1) Es gilt EN 1990:2023, A.2.8.2(1).

9.8.2 Durchbiegungsgrenzen zur Vermeidung übermäßiger Anregung aus Verkehr

(1) Bei der Auslegung der Fahrbahnplatte sollte sichergestellt werden, dass deren Durchbiegung über die gesamte Länge gleichförmig ist und keine abrupten Querschnittsänderungen auftreten, die zu Stoßbelastungen führen können. Abrupte Neigungsänderungen der Fahrbahnoberfläche und Höhenversätze an Fahrbahnübergängen sollten ausgeschlossen werden.

(2) EN 1990:2023, A.2.10.4.6, gilt für Anschlussbauteile von Fahrbahnübergängen.

(3) Bei unregelmäßiger Lagerung der Fahrbahnplatte (z. B. durch zusätzliche Verbände an Zwischenpfeilern) sollte der Fahrbahnbereich, der sich an diese zusätzlichen Stützungen anschließt, unter Verwendung des vergrößerten Stoßbeiwertes nach EN 1991-2 für den Bereich an Fahrbahnübergängen bemessen werden.

9.8.3 Auswirkungen infolge Resonanz

(1) Effekte aus Resonanz sollten, sofern maßgebend, berücksichtigt werden. Liegen die Eigenfrequenzen von leichten aussteifenden Bauteilen, Schrägseilen oder vergleichbaren Bauteilen nahe an der Erregerfrequenz der Verkehrslasten durch regelmäßige Fahrzeugüberfahrten über Fahrbahnfugen, sollte entweder eine Erhöhung der Steifigkeit oder eine künstliche Dämpfung dieser Bauteile (d. h. durch Schwingungsdämpfer) in Betracht gezogen werden.

ANMERKUNG Hinweise zu Bauteilen für die Stützung von Fahrbahnübergängen sind in EN 1990:2023, A2, angegeben.

9.9 Anforderungen an Fußgängerbrücken

(1) Bei Fußgänger- und Radwegbrücken, bei denen übermäßige Schwingungen den Nutzungskomfort einschränken könnten, sollten Maßnahmen ergriffen werden, um diese Schwingungen entweder durch Auslegung der Brücke auf entsprechende Eigenfrequenz oder durch geeignete Dämpfungsmaßnahmen zu minimieren.

ANMERKUNG Siehe EN 1990:2023, A.2, unter Berücksichtigung der Komfortkategorie nach Anhang H.

9.10 Kriterien für die Auswirkung von Wind

(1) Wirbelerregte Schwingungen schlanker Bauteile sollten minimiert werden, um ermüdungsrelevante Spannungsschwingbreiten zu verhindern.

ANMERKUNG 1 EN 1991-1-4 enthält Hinweise zur Bestimmung von Ermüdungslasten aus Wirbelerregung.

ANMERKUNG 2 Zu Hängern in Stabbogenbrücken siehe Anhang A.

9.11 Zugänglichkeit von Anschlussdetails und Oberflächen

(1) Stahlkonstruktionen sollten so geplant und ausgeführt werden, dass das Korrosionsrisiko minimiert wird sowie Inspektion und Instandhaltung ermöglicht werden, siehe EN ISO 12944-3.

(2) Alle Teile sollten möglichst so gestaltet sein, dass sie für Prüfungen, Reinigung und Beschichtungsarbeiten zugänglich sind. Ist dieser Zugang nicht möglich, sollten alle unzugänglichen Teile entweder luftdicht gegen Korrosion abgeschlossen sein (z. B. der Innenraum von Hohlkästen oder Hohlprofilen) oder aus Stahlsorten mit verbesserter Beständigkeit gegenüber atmosphärischer Korrosion hergestellt werden. Wenn Korrosion durch Umgebungseinflüsse oder begrenzte Zugänglichkeit während der Nutzungsdauer der Brücke auftreten kann, sollte dies bei der Dimensionierung der Bauteile angemessen berücksichtigt werden, siehe Abschnitt 6.

9.12 Entwässerung

(1) Bei der Anordnung der Entwässerungen sollten die Fahrbahnneigung sowie die Lage, der Durchmesser und das Gefälle der Rohrleitungen berücksichtigt werden.

(2) Bei Entwässerungsrohren innerhalb von Brücken mit Hohlkastenträgern sollten Vorkehrungen getroffen werden, um Wasseransammlung darin bei Leckagen oder Rohrbrüchen zu vermeiden.

(3) Bei ein- oder zweigleisigen Eisenbahnbrücken bis zu einer Länge von 40 m mit Schotterbett darf der Überbau als selbstentwässernd angenommen werden, so dass in der Fahrbahn keine weiteren Entwässerungseinrichtungen vorgesehen werden brauchen, sofern nicht anders durch die zuständige Behörde festgelegt oder sofern keine anderen Festlegungen für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien getroffen wurden

10 Ermüdung

10.1 Allgemeines

10.1.1 Anforderungen für Ermüdungsnachweis

(1) Der Ermüdungsnachweis sollte für alle kritischen Querschnitte nach EN 1993-1-9 geführt werden.

ANMERKUNG 1 EN 1993-1-9 enthält zwei Bemessungsphilosophien, die schwingbruchsichere Konstruktionsweise (safe life) und die schadentolerante Konstruktionsweise (damage tolerance). Der Nationale Anhang kann die Wahl zwischen diesen beiden Bemessungsphilosophien für den Nachweis der Bemessungssituation mit Ermüdung angeben.

ANMERKUNG 2 Für orthotrope Fahrbahnplatten sind die folgenden Bauteile kritisch:

- a) bei Fahrbahnplatten mit Längssteifen und Querträgern
 - Deckblech
 - Längssteifen
 - Querträger
 - Verbindungen von Längssteife mit Querträger

- b) bei Fahrbahnplatten ausschließlich mit Quersteifen
- Deckblech
 - Quersteifen

ANMERKUNG 3 Zum Ermüdungsnachweis von Zuggliedern siehe EN 1993-1-11.

(2) Bauelemente oder deren Teile, die nicht geprüft werden können, sollten entsprechend der schwingbruchsicheren Konstruktionsweise (safe life) nach EN 1993-1-9 nachgewiesen werden.

(3) Ein Ermüdungsnachweis ist nicht erforderlich für Fußgängerbrücken, Kanalbrücken oder andere Brücken, die überwiegend statisch beansprucht werden, sofern diese Brücken oder deren Bauteile nicht durch Wind oder Fußgänger angeregt werden, sowie für Bauteile von Eisenbahn- oder Straßenbrücken, die weder Einwirkungen ausgesetzt sind, die voraussichtlich Ermüdung hervorrufen, noch durch Windlasten angeregt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann weitere Bauteile festlegen, für die kein Ermüdungsnachweis erforderlich ist.

10.1.2 Bemessung von Straßenbrücken für Ermüdung

(1) Ermüdungsnachweise sollten für alle Bauteile geführt werden, es sei denn, die konstruktive Durchbildung entspricht den Standardanforderungen für dauerhafte Tragwerke, die durch Versuche ermittelt wurden.

(2) Für den Ermüdungsnachweis von orthotropen Stahlfahrbahnen darf CEN/TS 1993-1-901—² angewendet werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendung von CEN/TS 1993-1-901—² festlegen.

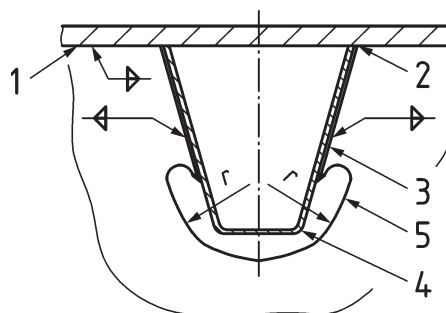
(3) Als Alternative zur Durchführung eines Ermüdungsnachweises darf Anhang C für orthotrope Stahlfahrbahnen angewendet werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendung von Anhang C festlegen.

10.1.3 Bemessung von Eisenbahnbrücken für Ermüdung

(1) Ermüdungsnachweise sollten für alle ermüdungsanfälligen Bauteile geführt werden.

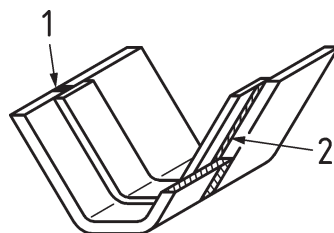
(2) Zu Nachweisen für ermüdungskritische Bereiche siehe Bild 10.1 und Bild 10.2 sowie Tabelle 10.8.



Legende

- 1 an der Verbindung zwischen Querträger und Fahrbahnplatte
- 2 an der Verbindung zwischen Längssteife und Fahrbahnplatte
- 3 an der Verbindung zwischen Querträger und Längssteife
- 4 im Stoßbereich
- 5 am Ausschnitt

Bild 10.1 — Ermüdungskritische Bereiche, siehe auch Tabelle 10.8



Legende

- 1 Stumpfnah
- 2 durchgehende Heftnaht entlang der gesamten Länge der metallischen Schweißbadsicherung

Bild 10.2 — Fensterstoß für Längssteifen mit metallischer Schweißbadsicherung

(3) Für die konstruktive Durchbildung von Stahlfahrbahnen darf Anhang C hinzugezogen werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendung von Anhang C festlegen.

10.2 Ermüdungsbelastung

10.2.1 Allgemeines

(1) Die Ermüdungsbelastung aus Verkehr sollte nach EN 1991-2 bestimmt werden.

(2) Die Ermüdungsbelastung schlanker Bauteile infolge Winderregung sollte nach EN 1991-1-4 ermittelt werden.

ANMERKUNG Zu Hängern von Stabbogenbrücken siehe Anhang A.

10.2.2 Vereinfachtes Ermüdungslastmodell für Straßenbrücken

(1) Für den Ermüdungsnachweis von Straßenbrücken sollte das Ermüdungslastmodell 3 (Einzelfahrzeug) in Verbindung mit den Verkehrsdaten für den Brückenstandort nach EN 1991-2 verwendet werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendbarkeit von Ermüdungslastmodell 3 enthalten und alternative Ermüdungslastmodelle und die Anwendung des Verfahrens zur Ermittlung von Spannungsschwingbreitenkollektiven nach prEN 1993-1-9:2023, Anhang A, festlegen.

10.2.3 Vereinfachtes Ermüdungslastmodell für Eisenbahnbrücken

(1) Für den Ermüdungsnachweis von Eisenbahnbrücken sollten die charakteristischen Werte für Lastmodell 71 ohne den Lastklassifizierungsfaktor (α -Faktor) nach EN 1991-2 angewendet werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendbarkeit von Lastmodell 71 angeben sowie alternative Ermüdungslastmodelle und die Anwendung des Verfahrens zur Ermittlung von Spannungsschwingbreitenkollektiven nach prEN 1993-1-9:2023, Anhang A, festlegen.

10.3 Spannungsschwingbreite für die Ermüdung

10.3.1 Allgemeines

(1) Sofern kein genaueres Verfahren auf Grundlage von Spannungskollektiven angewendet wird, darf das folgende Verfahren unter Verwendung der vereinfachten Ermüdungsbelastung nach 10.2.2 oder 10.2.3 zur Bestimmung des Bemessungswertes der Spannungsschwingbreite angewendet werden.

(2) Die maximale Spannung $\sigma_{p,max}$ und die minimale Spannung $\sigma_{p,min}$ sollten durch Auswertung von Einflussflächen bestimmt werden.

(3) Der Bezugswert der Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_p$ zur Ermittlung der Schädigungswirkungen des Spannungsschwingbreitenkollektivs sollte nach Gleichung (10.1) berechnet werden:

$$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,\max} - \sigma_{p,\min}| \quad (10.1)$$

(4) Die Schädigungswirkungen des Spannungsschwingbreitenkollektivs dürfen durch die schadensäquivalente Spannungsschwingbreite bezogen auf 2×10^6 Lastwechsel nach Gleichung (10.2) ausgedrückt werden.

$$\Delta\sigma_{e,2} = \lambda \Phi_2 \Delta\sigma_p \quad (10.2)$$

Dabei ist

λ der Schadensäquivalenzbeiwert nach 10.4;

Φ_2 der schadensäquivalente Schwingbeiwert.

(5) Bei Eisenbahnbrücken sollte der Wert für Φ_2 EN 1991-2 entnommen werden. Bei Straßenbrücken darf der Wert von Φ_2 gleich 1,0 angesetzt werden, da er bereits im Ermüdungslastmodell enthalten ist.

10.3.2 Ermüdungsberechnung

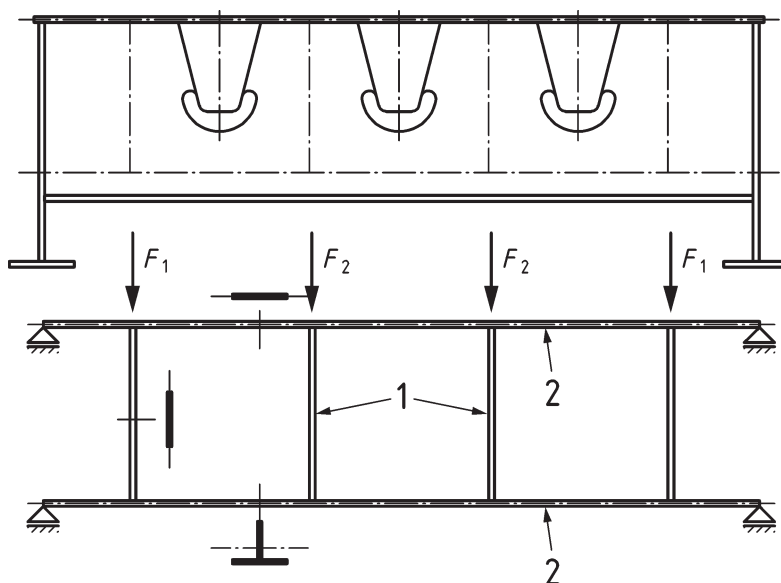
10.3.2.1 Längssteifen

(1) Längssteifen sollten unter Verwendung eines statischen Modells für das Gesamttragwerk oder zur Vereinfachung als Durchlaufträger mit elastischer Lagerung berechnet werden.

10.3.2.2 Querträger

(1) Bei der Berechnung von Querträgern sollte der Einfluss der Stegausschnitte berücksichtigt werden.

(2) Bei nach dem Nennspannungskonzept bemessenen Querträgern mit Ausschnitten entsprechend Bild 10.3 dürfen die Beanspruchungen mittels Vierendeel-Modell ermittelt werden, wobei das Deckblech und ein Teil des Querträgers unterhalb der Ausschnitte die Flansche und die Bereiche zwischen den Ausschnitten die Pfosten sind.



1 Pfofen
2 Flanch für den Obergurt, sowie Flanch und Teil des Steges für den Untergurt

Bild 10.3 — Vierendeel-Modell für einen Querträger

(3) Bei der Berechnung des statischen Modells eines Querträgers sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- die Verbindungen des Querträgers mit den Quersteifen der Hauptträgerstege sollten einen durchgehenden Querrahmen bilden;
- die Beiträge der Vierendeel-Träger-Bauteile aufgrund von Biegemomenten, Normal- und Querkraften zur Gesamtverformung;
- der Einfluss des Schubflusses zwischen Deckblech und Querträgersteg auf die Längsnormalspannungen und Schubspannungen im kritischen Querschnitt nach Bild 10.4;
- die Auswirkungen von Lasten von den Längssteifen in den Steg;
- die Schubspannungen aus horizontaler und vertikaler Querkraft im kritischen Querschnitt nach Bild 10.4. Informationen sind C.2.5.3 zu entnehmen.

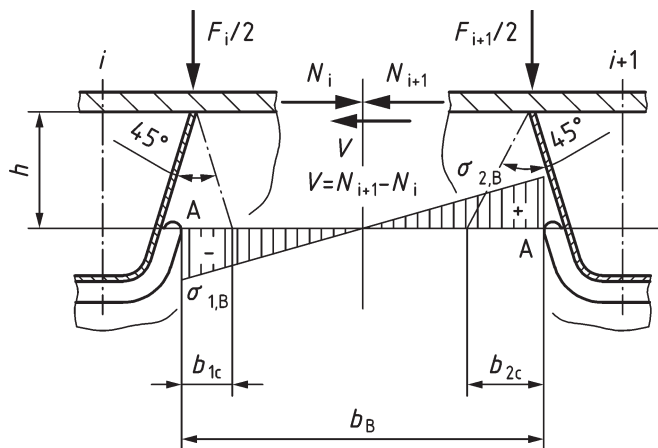


Bild 10.4 — Spannungsverteilung am Ausschnitt

(4) Die Längsnormalspannungen im kritischen Querschnitt nach Bild 10.4 dürfen unter Verwendung von Gleichung (10.3) und Gleichung (10.4) bestimmt werden:

$$\sigma_1 = \sigma_{1b} + \sigma_{1c} \quad (10.3)$$

$$\sigma_2 = \sigma_{2b} + \sigma_{2c} \quad (10.4)$$

Dabei ist/sind

$$-\sigma_{1b} = +\sigma_{2b} = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \quad \text{die Spannungen infolge Biegung;} \quad (10.5)$$

$$\sigma_{1c} = -\frac{F_i}{2A_{1c}} \text{ und } \sigma_{2c} = -\frac{F_{i+1}}{2A_{2c}} \quad \text{die Druckspannungen infolge lokaler Lasteinleitung aus Längssteifen;} \quad (10.6)$$

$$W_{el} = \frac{1}{6} t_{w,cb} b_B^2$$

$$A_{1c} = b_{1c} t_{w,cb}$$

$$A_{2c} = b_{2c} t_{w,cb}$$

$$V_{Ed} = N_{i+1} - N_i \quad \text{der Bemessungswert der horizontalen Querkraft;}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} h \quad \text{der Bemessungswert des Biegemoments im kritischen Querschnitt;}$$

$$F_i, F_{i+1} \quad \text{die eingeleiteten Lasten aus den Längssteifen;}$$

$$t_{w,cb} \quad \text{die Blechdicke des Querträgersteges.}$$

(5) Sind keine Ausschnitte vorgesehen, dürfen die Spannungen am kritischen Querschnitt bestimmt werden unter Berücksichtigung eines I-Querschnitts für den Untergurt, der sich zusammensetzt aus dem unteren Flansch des Querträgers, der Höhe des Querträgersteges unterhalb der Längssteife und einem Teil der Längssteife selbst als Flansch mit einer wirksamen Breite $b_{eff} = 5t_{w,st}$, wobei $t_{w,st}$ die Blechdicke der Längssteifen ist.

10.4 Durchführung des Ermüdungsnachweises

10.4.1 Ermüdungsnachweis

(1) Der Ermüdungsnachweis sollte unter Verwendung der Kriterien nach Gleichung (10.7) und Gleichung (10.8) geführt werden:

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{e,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (10.7)$$

und

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{e,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (10.8)$$

Dabei ist

- $\Delta\sigma_{e,2}$ die schadensäquivalente Normalspannungsschwingbreite in Bezug auf 2×10^6 Lastwechsel;
- $\Delta\sigma_c$ der charakteristische Bezugswert des Ermüdungswiderstands hinsichtlich Normalspannung bei 2×10^6 Lastwechsel;
- $\Delta\tau_{e,2}$ die schadensäquivalente Schubspannungsschwingbreite in Bezug auf 2×10^6 Lastwechsel;
- $\Delta\tau_c$ der charakteristische Bezugswert des Ermüdungswiderstands hinsichtlich Schubspannung bei 2×10^6 Lastwechsel;
- γ_{Ff} der Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungseinwirkung, siehe 4.4(1);
- γ_{Mf} der Teilsicherheitsbeiwert für den Ermüdungswiderstand, siehe 4.4(2).

ANMERKUNG Zum mehrachsigen Ermüdungsnachweis siehe EN 1993-1-9.

10.4.2 Schadensäquivalenzbeiwerte λ für Straßenbrücken

(1) Der Schadensäquivalenzbeiwert λ für Straßenbrücken mit bis zu 200 m Spannweite sollte nach Gleichung (10.9) ermittelt werden:

$$\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4 \quad \text{aber} \quad \lambda \leq \lambda_{\max} \quad (10.9)$$

Dabei ist

- λ_1 der Beiwert für die Schädigungswirkung aus Verkehr und abhängig von der Länge der kritischen Einflusslinie oder -bereichs;
- λ_2 der Beiwert für das Verkehrsaufkommen;
- λ_3 der Beiwert für die geplante Nutzungsdauer der Brücke;
- λ_4 der Beiwert für den Verkehr auf anderen Fahrstreifen;
- $\lambda_{\max}$ der maximale λ -Wert unter Berücksichtigung der Dauerfestigkeit.

ANMERKUNG Die Werte λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 und $\lambda_{\max}$ werden nach Anhang F bestimmt, sofern der Nationale Anhang keine anderen Verfahren angibt.

10.4.3 Schadensäquivalenzbeiwerte λ für Eisenbahnbrücken

(1) Der Schadensäquivalenzbeiwert λ für Eisenbahnbrücken mit bis zu 100 m Spannweite sollte unter Verwendung von Gleichung (10.10) bestimmt werden.

$$\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4 \quad \text{aber} \quad \lambda \leq \lambda_{\max} \quad (10.10)$$

Dabei ist

- λ_1 der Beiwert für die Schädigungswirkung aus Verkehr und abhängig von der Länge der Einflusslinie;
- λ_2 der Beiwert für das Verkehrsaufkommen;
- λ_3 der Beiwert für die geplante Nutzungsdauer der Brücke;
- λ_4 der Beiwert für die Beanspruchung eines Bauteils durch mehr als ein Gleis;
- $\lambda_{\max}$ der maximale λ -Wert unter Berücksichtigung der Dauerfestigkeit, siehe (8).