

DIN EN 1994-2



ICS 91.010.30; 91.080.13; 91.080.40; 93.040

Einsprüche bis 2024-04-02
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1994-2:2010-12**Entwurf**

**Eurocode 4 –
Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und
Beton –
Teil 2: Brücken;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1994-2:2024**

Eurocode 4 –
Design of composite steel and concrete structures –
Part 2: Bridges;
German and English version prEN 1994-2:2024

Eurocode 4 –
Calcul des structures mixtes acier-béton –
Partie 2: Ponts;
Version allemande et anglaise prEN 1994-2:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-02-02 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 87 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1994-2:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-08-99 AA „Verbundbau (SpA zu CEN/TC 250/SC 4)“ 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 1994-2:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das Dokument wurde vollständig überarbeitet.

<i>Titel de:</i>	Eurocode 4 – Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Teil 2: Brücken
<i>Titel en:</i>	Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures – Part 2: Bridges
<i>Titel fr:</i>	Eurocode 4 – Calcul des structures mixtes acier-béton – Partie 2: Ponts

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
0 Einleitung	6
0.1 Einleitung zu den Eurocodes	6
0.2 Einleitung zu EN 1994 (alle Teile)	6
0.3 Einleitung zu EN 1994-2	7
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen	7
0.5 Nationaler Anhang zu EN 1994-2	7
1 Anwendungsbereich	9
1.1 Anwendungsbereich von EN 1994-2	9
1.2 Voraussetzungen	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe und Symbole	10
3.1 Begriffe	10
3.2 Symbole und Abkürzungen	10
4 Grundlagen der Tragwerksplanung	13
4.1 Allgemeine Regeln	13
4.2 Grundsätze der Bemessung nach Grenzzuständen	13
4.3 Basisvariablen	13
4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	13
4.4.1 Bemessungswerte	13
4.4.2 Kombination von Einwirkungen	14
5 Baustoffe	14
5.1 Beton	14
5.2 Betonstahl	14
5.3 Baustahl	14
5.4 Verbindungs- und Verbundmittel	14
5.5 Spannstahl	14
5.6 Zugglieder aus Stahl	14
6 Dauerhaftigkeit	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Korrosionsschutz an der Grenzfläche zwischen Stahl und Beton	14
7 Statische Berechnung	15
7.1 Statisches System für die Berechnung	15
7.1.1 Statisches System und grundlegende Annahmen	15
7.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse	15
7.1.3 Boden-Bauwerks-Interaktion	15
7.2 Tragfähigkeit	15
7.3 Imperfektionen	15
7.4 Berechnung von Schnittgrößen	15
7.4.1 Verfahren der Gesamttragwerksberechnung	15
7.4.2 Linear-elastische Berechnung	15
7.4.3 Nichtlineare Gesamttragwerksberechnung	19
7.4.4 Kombination von Beanspruchungen aus Haupttragwerkswirkung und aus lokalen Wirkungen	20
7.5 Klassifizierung von Querschnitten	20
7.5.1 Allgemeines	20
7.5.2 Klassifizierung von Verbundprofilen ohne Kammerbeton	20

7.5.3	Klassifizierung von teilweise einbetonierten Trägerquerschnitten.....	20
8	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	21
8.1	Träger.....	21
8.1.1	Allgemeines.....	21
8.1.2	Mittragende Gurtbreite für den Querschnittsnachweis.....	21
8.2	Querschnittstragfähigkeiten von Trägern.....	21
8.2.1	Biegemomententragfähigkeit.....	21
8.2.2	Tragfähigkeit bei vertikaler Schubbeanspruchung.....	22
8.3	Tragwerke mit teilweise einbetonierten Stahlträgern.....	22
8.3.1	Anwendungsbereich.....	22
8.3.2	Allgemeines.....	24
8.3.3	Biegemomente.....	24
8.3.4	Vertikale Schubbeanspruchung.....	25
8.3.5	Tragfähigkeit und Stabilität der Stahlträger während der Bauausführung.....	25
8.4	Biegedrillknicken von Verbundträgern.....	25
8.4.1	Allgemeines.....	25
8.4.2	Biegedrillknicknachweis für Durchlaufverbundträger mit konstanten Querschnitten der Klassen 1, 2 und 3.....	25
8.4.3	Allgemeine Verfahren für das Knicken von Bauteilen und Tragwerken.....	25
8.5	Stege mit Querbelastung.....	26
8.6	Verdübelung.....	26
8.6.1	Grundlagen der Tragwerksplanung.....	26
8.6.2	Allgemeines Verfahren mit nichtlinearer Berechnung.....	26
8.6.3	Längsschubkraft in Trägern.....	27
8.6.4	Sonstige Träger, deren Querschnittstragfähigkeit nach der Plastizitätstheorie ermittelt wird.....	27
8.6.5	Träger, deren Querschnittstragfähigkeit nach der Elastizitätstheorie ermittelt wird.....	27
8.6.6	Träger, bei denen die Querschnittstragfähigkeit nichtelastisch ermittelt wird.....	27
8.6.7	Lokale Auswirkungen konzentrierter Längsschubkraft.....	27
8.6.8	Kopfbolzendübel in Vollbetonplatten und Kammerbeton.....	27
8.6.9	Bemessungstragfähigkeit von Kopfbolzen zur Verwendung mit Profilblechen aus Stahl.....	27
8.6.10	Konstruktive Durchbildung der Verdübelung und Einfluss der Bauausführung.....	28
8.6.11	Längsschubbeanspruchung in Betonplatten.....	28
8.7	Ermüdung.....	29
8.7.1	Allgemeines.....	29
8.7.2	Teilsicherheitsbeiwerte für den Ermüdungsnachweis.....	29
8.7.3	Ermüdungsfestigkeit.....	29
8.7.4	Schnittkräfte und Ermüdungsbelastungen.....	30
8.7.5	Spannungen.....	31
8.7.6	Spannungsschwingbreiten.....	32
8.7.7	Ermüdungsnachweis auf der Grundlage von Nennspannungsschwingbreiten.....	34
8.8	Verbundstützen und druckbeanspruchte Verbundbauteile.....	36
8.9	Zugbeanspruchte Verbundbauteile.....	36
9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	37
9.1	Allgemeines.....	37
9.2	Spannungen.....	37
9.2.1	Allgemeines.....	37
9.2.2	Spannungsbegrenzung.....	37
9.2.3	Stegblechatmen.....	37
9.2.4	Längsschubkraft in Trägern.....	38
9.3	Verformungen.....	38
9.3.1	Durchbiegungen.....	38
9.3.2	Schwingungen.....	38
9.4	Rissbildung im Beton.....	38

9.4.1	Allgemeines	38
9.4.2	Mindestbewehrung	39
9.4.3	Begrenzung der Rissbildung infolge direkter Belastung	39
9.5	Tragwerke mit teilweise einbetonierten Stahlträgern	39
9.5.1	Allgemeines	39
9.5.2	Rissbildung im Beton	39
9.5.3	Mindestbewehrung	39
9.5.4	Begrenzung der Rissbildung infolge direkter Belastung	39
10	Vorgefertigte Betonplatten	40
10.1	Allgemeines	40
10.2	Einwirkungen	40
10.3	Bemessung, Berechnung und konstruktive Durchbildung der Platte von Brücken	40
10.4	Grenzfläche zwischen Stahlträger und Betonplatte	40
10.4.1	Mörtelbett und Toleranzen	40
10.4.2	Korrosion	40
10.4.3	Verdübelung und Querbewehrung	40
11	Verbundplatten	41
11.1	Allgemeines	41
11.2	Bemessung für Beanspruchungen aus lokalen Wirkungen	41
11.3	Bemessung für Beanspruchungen aus Haupttragwerkswirkungen	42
11.4	Bemessung von Schubdübeln	42
	Literaturhinweise	45

Bilder

Bild 8.1	— Typischer Querschnitt eines Tragwerks mit teilweise einbetonierten Stahlträgern	23
Bild 8.2	— Spannungsverteilung bei M_{Rd} für den Querschnitt eines Tragwerks mit teilweise einbetonierten Stahlträgern der Klasse 1 oder Klasse 2	25
Bild 8.3	— Biegemomente aus Rahmeneinwirkungen	26
Bild 8.4	— Ermüdungsfestigkeitskurve für Kopfbolzendübel in Vollbetonplatten	30
Bild 8.5	— Bestimmung der Spannungen $\sigma_{s,max,f}$ und $\sigma_{s,min,f}$ in gerissenen Bereichen	32
Bild 8.6	— Werte von $\lambda_{v,1}$ als Funktion der Stützweite L bei normalem und hohem Verkehrsaufkommen für das Lastmodell 71 nach EN 1991-2	34
Bild 10.4	— Mindestens erforderlicher lichter Abstand zwischen Verbunddübel und Fertigteil	41
Bild 11.1	— Definition der Bezeichnungen von Gleichung (11.1)	43

Tabellen

Tabelle 7.1	— Höchstwerte von c/t für Stahlgurte von teilweise einbetonierten Stahlträgern	20
Tabelle 11.1	— Obere Grenzwerte für die Abstände von Schubdübeln in einer Verbundplatte unter Druckbeanspruchung	44

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1994-2:2024) 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 und die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1994-2:2005 ersetzen.

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.

Im Folgenden sind die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe aufgeführt:

- dieses Dokument wiederholt nicht die Regeln, die bereits in EN 1994-1-1 enthalten sind. Stattdessen wird auf EN 1994-1-1 verwiesen;
- neue Regeln für Schubdübel unter Zuglasten und unter kombinierten Zug- und Querlasten im Ermüdungsfall wurden hinzugefügt.

0 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 und Konstruktion von Tragwerken 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 1994 (alle Teile)

EN 1994 gilt für die Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken und Verbundbauteilen aus Stahl und Beton für Hoch- und Ingenieurbauten. Sie entspricht den Regeln für die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken, deren Bemessungs- und Nachweisgrundlagen in EN 1990 angegeben sind.

EN 1994 behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärme- oder Schallschutz, werden nicht behandelt.

EN 1994 ist in mehrere Teile gegliedert:

EN 1994-1-1, *Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau*

EN 1994-1-2, Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 1-2: Allgemeine Regeln Tragwerksbemessung für den Brandfall

EN 1994-2, Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 2: Brücken

0.3 Einleitung zu EN 1994-2

EN 1994-2 bezieht sich auf die Regeln für die Sicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton, wie sie in EN 1994-1-1 beschrieben sind, und enthält spezifische Bestimmungen für die Bemessung und Konstruktion von Verbundbrücken und Verbundbauteilen von Brücken aus Stahl und Beton. Sie basiert auf dem Konzept der Grenzzustände, das zusammen mit einem Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten angewendet wird.

Die Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Zuverlässigkeitsparameter sind als Grundwerte angegeben, die ein annehmbares Zuverlässigkeitsniveau bieten. Bei ihrer Festlegung wurde vorausgesetzt, dass ein angemessenes Niveau der Ausführungsqualität und Qualitätsprüfung vorhanden ist.

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 EN 1994-2

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm 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 EN 1994-2 kann durch einen Nationalen Anhang ergänzt werden, der alle nationalen Festlegungen enthält, die für die Bemessung und Konstruktion von Brücken 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 dieser Norm 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 EN 1994-2 durch Anmerkungen zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.4.1.2(1)	4.4.1.2(2)	7.4.4(2)	8.2.2(2)
8.6.1(1)	8.7.1(3)	8.7.7.2(1)	8.7.7.2(3)
9.4.1(4)			

Nationale Festlegungen sind in EN 1994-2 zur Anwendung der folgenden informativen Anhängen gestattet:

Keine.

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 1994-2

In Ergänzung zu den allgemeinen Regeln von EN 1994-1-1 enthält EN 1994-2 Regeln für die Bemessung und Konstruktion von Verbundbrücken oder von Verbundbauteilen von Brücken aus Stahl und Beton.

1.2 Voraussetzungen

(1) Die in EN 1990 angegebenen Voraussetzungen gelten für dieses Dokument.

(2) Zusätzlich zu den allgemeinen Voraussetzungen von EN 1990 gelten für dieses Dokument die Voraussetzungen von Abschnitt 1.2 in EN 1992-1-1, EN 1993-1-1 und EN 1994-1-1.

(3) EN 1994-2 ist dafür vorgesehen, zusammen mit EN 1990, EN 1991 (alle Teile), EN 1992 (alle Teile), EN 1993 (alle Teile), EN 1994-1-1, EN 1997 (alle Teile), EN 1998 (alle Teile), wenn Verbundtragwerke aus Stahl und Beton in erdbebengefährdeten Gebieten errichtet werden, EN 1090-1, EN 1090-2 und EN 13670 angewendet zu werden.

2 Normative Verweisungen

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

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

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

EN 1991-1-6, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen — Einwirkungen während der Bauausführung*

EN 1991-2:2023, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken*

EN 1992 (alle Teile), *Eurocode 2 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*

EN 1992-1-1:2023, *Eurocode 2 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke*

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

EN 1993-1-1:2022, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

prEN 1993-1-11:2024, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Zugglieder*

prEN 1993-2:2024, *Eurocode 3 — Bemessung und konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Brücken*

1 Wie von EN 1990:2023/prA1:2024 betroffen.

prEN 1994-1-1:2024, Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, EN 1992-1-1, EN 1993-1-1, EN 1994-1-1 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Tragwerk mit teilweise einbetonierten Stahlträgern

Brückentragwerk, das aus einer Stahlbetonplatte und teilweise einbetonierten warmgewalzten oder geschweißten Stahlträgern besteht, deren Untergurte auf der Ebene der Plattenunterseite liegen

3.1.2

Verbundplatte

Verbundbauteil, das aus einem Blech besteht, das mit einer Betonplatte verbunden ist, und bei dem sowohl die Länge als auch die Breite viel größer sind als die Dicke der Verbundplatte

3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in EN 1990, EN 1992-1-1, EN 1993-1-1, EN 1993-2 und EN 1994-1-1 angegebenen Symbole.

Lateinische Großbuchstaben

$A_{c,eff}$	wirksame Fläche des Betons
$A_{s,min}$	oberhalb der Stahlträger erforderliche Mindestbewehrung je teilweise einbetoniertem Stahlträger
$(EA_s)_{eff}$	wirksame Längssteifigkeit des gerissenen zugbeanspruchten Betonbauteils
F_d	Komponente der Bemessungskraft eines Spannglieds mit oder ohne Verbund in Richtung des Stahlträgers, die nach dem Wirksamwerden der Verdübelung aufgebracht wird
I_{eff}	wirksames Flächenmoment II. Grades bei teilweise einbetonierten Stahlträgern
L_{A-B}	Länge des nichtelastischen Bereiches zwischen den Punkten A und B, die $M_{el,Rd}$ und $M_{Ed,max}$ entsprechen
L_v	Länge der Verdübelung
$M_{Ed,max}$	Gesamtbemessungswert des auf das Stahl- und das Verbundbauteil einwirkenden Biegemomentes
$M_{Ed,max,f}$	maximales Biegemoment bzw. maximale Schnittkraft infolge der Ermüdungsbelastung
$M_{Ed,min,f}$	minimales Biegemoment bzw. minimale Schnittkraft infolge der Ermüdungsbelastung
$M_{s,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit der Bewehrung
N_{cd}	Bemessungswert der Druckkraft in der Betonplatte entsprechend $M_{Ed,max}$
$N_{Ed,serv}$	einwirkende Normalkraft auf ein zugbeanspruchtes Betonbauteil im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$N_{Ed,ult}$	einwirkende Normalkraft auf ein zugbeanspruchtes Betonbauteil im Grenzzustand der Tragfähigkeit
$N_{pl,a}$	Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit des Baustahlquerschnittes

N_R	Anzahl von Spannungsspielen
$N_{s,el}$	Zugkraft in der gerissenen Betonplatte entsprechend $M_{el,Rd}$ unter Berücksichtigung der Einflüsse aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen
P_{Ed}	auf einen Dübel im Abstand x vom nächsten Steg einwirkende Längskraft
V_L	Längsschubkraft, die entlang der Grenzfläche zwischen Stahl und Beton wirkt
$V_{L,Ed}$	Längsschubkraft, die über die Länge L_{A-B} im nichtelastischen Bereich wirkt

Lateinische Kleinbuchstaben

a_w	Überstand des Stahlflansches über dem Trägersteg
c_{st}	Betondeckung über den Stahlträgern von Tragwerken mit teilweise einbetonierten Stahlträgern
d_{eff}	wirksame Dicke des Betons
e_d	entweder $2e_h$ oder $2e_v$
e_h	Horizontalabstand zwischen dem Lasteinleitungspunkt der Kraft F_d und dem jeweiligen Stahlsteg bei Aufbringen von F_d auf die Betonplatte
e_v	Vertikalabstand zwischen dem Lasteinleitungspunkt der Kraft F_d und der Ebene der betrachteten Verdübelung bei Aufbringen von F_d auf das Stahlelement
f_{pd}	Grenzspannung der Spannglieder nach EN 1992-1-1:2023, 3.2.2
f_{pk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze von Spanngliedern
n_{0G}	Elastizitätsmodulverhältnis von Baustahl zu Beton (Schubmoduln) bei Kurzzeitbelastung
n_{tot}	es sollte auf 11.4 verwiesen werden
n_{LG}	Elastizitätsmodulverhältnis von Baustahl zu Beton (Schubmoduln) bei Langzeitbelastung
n_w	es sollte auf 11.4 verwiesen werden
$k_{M,s}$	Kalibrierfaktor für die Gültigkeit der Miner-Regel im Fall von Kopfbolzen
s_f	lichter Abstand zwischen den Obergurten der Stahlträger von Tragwerken mit teilweise einbetonierten Stahlträgern
s_w	Abstand zwischen den Stegen von Stahlträgern von Tragwerken mit teilweise einbetonierten Stahlträgern
$V_{L,Ed}$	Bemessungswert der Längsschubkraft je Längeneinheit in der Grenzfläche zwischen Stahl und Beton
$V_{L,Ed,max}$	Höchstwert des Bemessungswertes der Längsschubkraft je Längeneinheit in der Grenzfläche zwischen Stahl und Beton
x	Abstand eines Schubdübels vom nächstgelegenen Steg
z_s	Kragarm der Bewehrung

Griechische Großbuchstaben

$\Delta\sigma$	Spannungsschwingbreite
$\Delta\sigma_c$	Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit bei 2 Millionen Spannungsspielen
$\Delta\sigma_{c,ten}$	Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit bei 2 Millionen Spannungsspielen für zugbeanspruchte Kopfbolzen
$\Delta\sigma_E$	schadensäquivalente Spannungsschwingbreite mit konstanter Amplitude
$\Delta\sigma_{E,glob}$	schadensäquivalente Spannungsschwingbreite mit konstanter Amplitude infolge von Haupttragwerksbeanspruchungen
$\Delta\sigma_{E,loc}$	schadensäquivalente Spannungsschwingbreite mit konstanter Amplitude infolge von lokalen Beanspruchungen
$\Delta\sigma_{E,2}$	schadensäquivalente Spannungsschwingbreite mit konstanter Amplitude bezogen auf 2 Millionen Spannungsspiele
$\Delta\sigma_{E,2,ten}$	schadensäquivalenter Zugspannungsbereich mit konstanter Amplitude bezogen auf 2 Millionen Spannungsspiele
$\Delta\sigma_s$	Erhöhung der Spannung in der Stahlbewehrung infolge der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen
$\Delta\sigma_{s,equ}$	schadensäquivalente Spannungsschwingbreite
$\Delta\sigma_{ten}$	Nennspannungsschwingbreite infolge Zugkraft
$\Delta\tau$	Schubspannungsschwingbreite bei Ermüdungsbelastung
$\Delta\tau_c$	Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit bei 2 Millionen Spannungsspielen
$\Delta\tau_E$	schadensäquivalente Spannungsschwingbreite mit konstanter Amplitude
$\Delta\tau_{E,2}$	schadensäquivalente Schubspannungsschwingbreite mit konstanter Amplitude bezogen auf 2 Millionen Spannungsspiele
$\Delta\tau_R$	Ermüdungsfestigkeit für Schubspannungen

Griechische Kleinbuchstaben

$\eta_{lw,fc}$	Beiwert in Bezug auf f_c in Leichtbeton
η_{st}	Ausnutzungsgrad für den Ermüdungsnachweis von Kopfbolzen mit Schub- und Zugkraftbeanspruchung
λ, λ_v	Schadensäquivalenzbeiwerte
$\lambda_{v,1}$	Beiwert zur Bestimmung des Schadensäquivalenzbeiwertes λ_v für schubbeanspruchte Kopfbolzen
$\lambda_{glob}, \lambda_{loc}$	Schadensäquivalenzbeiwerte für Beanspruchungen aus Haupttragwerkswirkung bzw. lokalen Wirkungen
$\sigma_{max,f}$	maximale Spannung infolge Ermüdungsbelastung
$\sigma_{min,f}$	minimale Spannung infolge Ermüdungsbelastung
$\sigma_{s,max,f}$	Spannung in der Bewehrung infolge des Biegemomentes $M_{Ed,max,f}$
$\sigma_{s,min,f}$	Spannung in der Bewehrung infolge des Biegemomentes $M_{Ed,min,f}$
σ_{cp}	Normalspannung im Beton

$\sigma_{cp,0}$	empfohlener Wert für Normalspannung im Beton ($-1,85 \text{ N/mm}^2$)
φ_s	Durchmesser der Längsbewehrung
φ	dynamischer Erhöhungsfaktor
ψ_N	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung ungleichmäßig verteilter Zugkräfte von Kopfbolzen

4 Grundlagen der Tragwerksplanung

4.1 Allgemeine Regeln

(1) Die Bemessung und Konstruktion von Verbundbrücken aus Stahl und Beton muss in Übereinstimmung mit den allgemeinen Regeln von EN 1990, EN 1991-2 und prEN 1994-1-1:2024, 4.1.1, erfolgen, sofern nichts anderes angegeben ist.

(2) Die in EN 1994-1-1 angegebenen Regel, die speziell für Hochbauten gelten, dürfen nicht angewendet werden.

4.2 Grundsätze der Bemessung nach Grenzzuständen

(1) Es müssen die Grundsätze der Bemessung nach Grenzzuständen von EN 1990 und EN 1994-1-1 angewendet werden.

4.3 Basisvariablen

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

4.4.1 Bemessungswerte

4.4.1.1 Bemessungswerte für Einwirkungen

(1) Der Teilsicherheitsbeiwert für die Vorspannung, die durch andere Verfahren als durch die üblichen Spannglieder erzeugt wird, wie z. B. Vorspannung durch aufgezwungene Verformungen an den Stützen, Vorspannung durch Zugkomponenten usw., muss der Festlegung von prEN 1993-1-11:2024, 4.4 und Tabelle 4.1 entsprechen.

4.4.1.2 Bemessungswerte für Baustoff- oder Produkteigenschaften

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 4.4.1.2, müssen für Baustahl, Profilbleche und Stahlverbindungsmitel die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M nach EN 1993-2 angewendet werden. Sofern nicht anders angegeben, muss der Teilsicherheitsbeiwert für Baustahl mit γ_{M0} angesetzt werden.

(2) Für den Ermüdungsnachweis von Kopfbolzen müssen die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} und $\gamma_{Mf,s}$ nach EN 1993-2 angewendet werden.

ANMERKUNG Der Wert für $\gamma_{Mf,s}$ beträgt 1,25, sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist.

4.4.1.3 Bemessungswerte für geometrische Größen

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

4.4.1.4 Bemessungswerte für Beanspruchbarkeiten

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

4.4.2 Kombination von Einwirkungen

(1) Die Kombinationen von Einwirkungen nach EN 1990 müssen angewendet werden.

5 Baustoffe

5.1 Beton

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

5.2 Betonstahl

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

5.3 Baustahl

(1) Die Eigenschaften von Baustahl sollten aus EN 1993-2 übernommen werden.

(2) Die Nenn-Streckgrenze muss niedriger sein als 460 N/mm².

5.4 Verbindungs- und Verbundmittel

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

5.5 Spannstahl

(1) Der Spannstahl und die Spannglieder müssen EN 1992-1-1:2023, 5.3 und 5.4, entsprechen.

5.6 Zugglieder aus Stahl

(1) Die Zugglieder aus Stahl müssen EN 1993-1-11 entsprechen.

6 Dauerhaftigkeit

6.1 Allgemeines

(1) Die in EN 1990, EN 1992 (alle Teile) und EN 1993 (alle Teile) angegebenen Bestimmungen bezüglich der Dauerhaftigkeit müssen befolgt werden.

(2) Die konstruktive Durchbildung der Verdübelung sollte nach 8.6.10 erfolgen.

6.2 Korrosionsschutz an der Grenzfläche zwischen Stahl und Beton

(1) Der Korrosionsschutz des Stahlelements sollte über die Grenzfläche zwischen Stahl und Beton hinaus, mindestens 50 mm von jeder Kante, ausgeführt sein.

ANMERKUNG Für zusätzliche Regeln für Brücken aus Fertigteilplatten siehe Abschnitt 10.

7 Statische Berechnung

7.1 Statisches System für die Berechnung

7.1.1 Statisches System und grundlegende Annahmen

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

7.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 7.1.2, sollten keine verformbaren Verbundanschlüsse verwendet werden.

7.1.3 Boden-Bauwerks-Interaktion

(1) Einflüsse aus Setzungen dürfen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit, außer Ermüdung, für Verbundbauteile vernachlässigt werden, wenn alle Querschnitte der Klasse 1 oder Klasse 2 entsprechen und die Biegetragfähigkeit nicht durch Biegedrillknicken verringert wird.

(2) Einflüsse aus Setzungen sollten dann berücksichtigt werden, wenn eine genaue Bestimmung der Spannung erforderlich ist, sofern die Tragwerksverschiebungen nicht klein sind oder das Tragwerk nicht duktil ist.

7.2 Tragfähigkeit

(1) prEN 1994-1-1:2024, 7.2.2(1), darf nicht angewendet werden.

7.3 Imperfektionen

(1) prEN 1994-1-1:2024, 7.3.2, darf nicht angewendet werden.

(2) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 7.3, sollten geometrische Ersatzimperfektionen mit Werten verwendet werden, die die möglichen Einflüsse von Systemimperfektionen und auch von Bauteilimperfektionen darstellen, sofern diese Einflüsse in den Tragfähigkeitsgleichungen enthalten sind.

(3) Die Imperfektionen und Bemessungswerte der Querkkräfte für stabilisierende Querrahmen sollten in Übereinstimmung mit prEN 1993-2:2024, 7.3 und, sofern zutreffend, Anhang D, berechnet werden.

(4) Imperfektionen in druckbeanspruchten Stahlbauteilen sollten in Übereinstimmung mit prEN 1993-2:2024, 7.3, berücksichtigt werden.

7.4 Berechnung von Schnittgrößen

7.4.1 Verfahren der Gesamttragwerksberechnung

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 7.4.1, dürfen für vorübergehende Bemessungssituationen während der Montage die Gesamttragwerksberechnung ohne Berücksichtigung der Rissbildung sowie die Verteilung der mittragenden Breiten nach prEN 1994-1-1:2024, 7.4.1.2, zugrunde gelegt werden.

7.4.2 Linear-elastische Berechnung

7.4.2.1 Allgemeines

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

7.4.2.2 Kriechen und Schwinden

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 7.4.2.2, sollte die St. Venantsche Torsionssteifigkeit von Kastenträgern für einen verformten Querschnitt berechnet werden, bei dem die Dicke der Betonplatte um das Elastizitätsmodulverhältnis von Baustahl zu Beton $n_{0G} = G_a/G_c$ abgemindert wird. Dabei sind G_a und G_c die Schubmoduln von Baustahl und Beton.

(2) Die Einflüsse durch Kriechen sollten in Übereinstimmung mit prEN 1994-1-1:2024, 7.4.2.2(2), mit dem Elastizitätsmodulverhältnis von Baustahl zu Beton $n_{LG} = n_{0G} (1 + \psi_L \varphi_t)$ berücksichtigt werden.

7.4.2.3 Einflüsse aus der Rissbildung des Betons

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 7.4.2.3, sofern keine genauere Berechnung erfolgt, darf bei Tragwerken mit mehreren Haupt- und Querträgern, bei denen die Querträger in Verbundbauweise keinen Zugkräften ausgesetzt sind, angenommen werden, dass die Querträger über ihren gesamten Querschnitt ungerissen sind.

(2) Die Torsionssteifigkeit von Kastenträgern sollte mit einem verformten Querschnitt ermittelt werden. In Bereichen, in denen die Betonplatte aufgrund von Biegung als gerissen angenommen wird, darf die Berechnung unter Berücksichtigung einer Plattendicke, die auf die Hälfte ihres Wertes reduziert wurde, durchgeführt werden, sofern der Einfluss der Rissbildung nicht genauer betrachtet wird.

(3) In den Grenzzuständen der Tragfähigkeit sollte der Einfluss aus der Rissbildung auf die Längsschubkräfte an der Grenzfläche zwischen dem Stahl- und dem Betonquerschnitt nach 8.6.3 berücksichtigt werden.

(4) In den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sollten die Längsschubkräfte an der Grenzfläche zwischen dem Stahl- und dem Betonquerschnitt mithilfe ungerissener Querschnitte oder gerissener Querschnitte berechnet werden.

(5) Wenn die Einflüsse aus der Rissbildung berücksichtigt werden, sollten die Einflüsse aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen sowie die Einflüsse aus Überfestigkeiten bei der Betonzugfestigkeit beachtet werden.

7.4.2.4 Phasen und Abfolge der Bauausführung

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

(2) Die Abführung der Hydratationswärme von Beton führt zu Grenzbelastungen in den Verbundtragwerken während der Bauausführungsphasen, die während der Bemessung und Konstruktion des Tragwerks und der Auflager sowie während der Bemessung von Konstruktionshilfen im Fall von ungünstigen Einflüssen berücksichtigt werden dürfen.

7.4.2.5 Temperatureinwirkungen

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 7.4.2.5, darf bei der Gesamttragwerksberechnung und zur Bestimmung von Spannungen für Verbundtragwerke vereinfachend für Baustahl ein Wärmeausdehnungskoeffizient von 10×10^{-6} je °C angesetzt werden.

(2) Für die Berechnung von Längenänderungen der Brücke sollte für alle Baustoffe des Tragwerks ein Wärmeausdehnungskoeffizient von 10×10^{-6} je °C angenommen werden.

7.4.2.6 Vorspannung mithilfe von kontrollierten eingepprägten Verformungen

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

7.4.2.7 Vorspannung mithilfe von Spanngliedern

(1) Die Schnittgrößen infolge von Vorspannmaßnahmen mit Spanngliedern im Verbund sollten in Übereinstimmung mit EN 1992-1-1:2023, 7.6.1 und 7.6.5, ermittelt werden, wobei die Einflüsse aus dem Kriechen und Schwinden von Beton sowie aus der Rissbildung im Beton, soweit maßgebend, zu berücksichtigen sind.

(2) Bei der Gesamttragwerksberechnung sollten die Kräfte in Spanngliedern ohne Verbund wie äußere Kräfte behandelt werden.

(3) Bei der Bestimmung von Kräften in Spanngliedern, die dauerhaft ohne Verbund sind, sollten Verformungen des gesamten Tragwerks berücksichtigt werden.

7.4.2.8 Zugbeanspruchte Verbundbauteile

7.4.2.8.1 Allgemeines

(1) In diesem Abschnitt sind zugbeanspruchte Betonbauteile entweder:

- a) einzelne Stahlbetonbauteile, die zusammen mit einem zugbeanspruchten Bauteil aus Baustahl wirken, wobei die Verdübelung nur an den Bauteilenden vorhanden sind, was eine globale Zugkraft im zugbeanspruchten Betonbauteil ergibt; oder
- b) der Stahlbetonquerschnitt eines Verbundbauteils mit Verdübelung über die Bauteillänge (ein zugbeanspruchtes Verbundbauteil) unter Längszugbeanspruchung.

ANMERKUNG Typische Beispiele sind Stabbogenbrücken und Fachwerkbrücken, bei denen Beton- oder Verbundbauteile im Hauptverbundtragwerk als Zugglieder wirken.

7.4.2.8.2 Schnittgrößen in einem zugbeanspruchten Betonbauteil: vereinfachter Ansatz

(1) Die Einflüsse aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen dürfen vernachlässigt werden, wenn bei der Gesamttragwerksberechnung die Schnittgrößen der zugbeanspruchten Betonbauteile ohne Berücksichtigung der Rissbildung bestimmt werden und die Schnittgrößen in den Tragwerksteilen aus Baustahl mit Berücksichtigung der Rissbildung bestimmt werden.

(2) In diesem Fall sollte die freie Schwinddehnungen des ungerissenen Bauteils für die Ermittlung der sekundären Beanspruchungen infolge Schwindens verwendet werden.

(3) Wenn die Vereinfachung von (1) und (2) nicht angewendet wird, sollte der in 7.4.2.8.3 angegebene allgemeine Ansatz angewendet werden.

7.4.2.8.3 Schnittgrößen in einem zugbeanspruchten Betonbauteil: allgemeiner Ansatz

(1) Bei der Bestimmung der Schnittgrößen in einem zugbeanspruchten Bauteil müssen das nichtlineare Verhalten infolge Rissbildung im Beton sowie die Einflüsse aus der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen bei der Gesamttragwerksberechnung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit und in Bemessungssituationen mit Ermüdungseinwirkungen berücksichtigt werden.

(2) Die Einflüsse aus der Überfestigkeit des Betons unter Zugbeanspruchung müssen berücksichtigt werden.

(3) Bei der Berechnung der Schnittgrößen eines gerissenen zugbeanspruchten Bauteils aus Beton sollten die Einflüsse aus dem Schwinden des Betons zwischen den Rissen berücksichtigt werden. Die Einflüsse aus dem autogenen Schwinden (Schrumpfen) dürfen vernachlässigt werden.

(4) Die Schnittgrößen in einzelnen zugbeanspruchten Stahlbetonbauteilen mit Verdübelung nur an den Bauteilenden dürfen wie folgt bestimmt werden:

- Bestimmung der Schnittkräfte des Stahltragwerks unter Ansatz der effektiven Längssteifigkeit $(EA_s)_{\text{eff}}$ des gerissenen zugbeanspruchten Betonbauteils nach Gleichung (7.1).

$$(EA_s)_{\text{eff}} = \frac{E_s A_s}{1 - 0,35/(1 + n_0 \rho_s)} \quad (7.1)$$

Dabei ist

n_0 das Elastizitätsmodulverhältnis von Baustahl zu Beton bei Kurzzeitbelastung nach prEN 1994-1-1:2024, 7.4.2.2(2);

A_s die Längsbewehrung des zugbeanspruchten Betonbauteils innerhalb der mittragenden Bereiche;

ρ_s der Bewehrungsgrad $\rho_s = A_s/A_c$, bestimmt mithilfe der wirksamen Betonquerschnittsfläche A_c .

- die auf das zugbeanspruchte Betonbauteil einwirkenden Normalkräfte $N_{\text{Ed, serv}}$ im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und $N_{\text{Ed, ult}}$ im Grenzzustand der Tragfähigkeit ergeben sich zu:

$$N_{\text{Ed, serv}} = 1,15 \cdot A_c \cdot f_{\text{ct, eff}} \cdot (1 + n_0 \cdot \rho_s) \quad (7.2)$$

$$N_{\text{Ed, ult}} = 1,45 \cdot A_c \cdot f_{\text{ct, eff}} \cdot (1 + n_0 \cdot \rho_s) \quad (7.3)$$

Dabei ist

$f_{\text{ct, eff}}$ die wirksame Betonzugfestigkeit.

(5) Wenn nicht durch genauere Verfahren nachgewiesen, darf die wirksame Zugfestigkeit mit $f_{\text{ct, eff}} = 0,7 f_{\text{ctm}}$ angenommen werden, wobei das zugbeanspruchte Betonbauteil gleichzeitig die Funktion einer Fahrbahnplatte hat und kombinierten globalen und lokalen Wirkungen ausgesetzt ist.

ANMERKUNG Einzelne zugbeanspruchte Stahlbetonbauteile sind häufig in Stabbogenbrücken zu finden.

(6) Für zugbeanspruchte Verbundbauteile unter Normalkräften und Biegemomenten sollten die Querschnitseigenschaften des gerissenen Querschnitts und die Normalkraft des Stahlbetonquerschnitts des Verbundbauteils mithilfe der wirksamen Längssteifigkeit der Bewehrung nach Gleichung (7.1) bestimmt werden.

(7) Wenn die Normalkräfte im Stahlbetonquerschnitt des Bauteils die durch Gleichung (7.2) und Gleichung (7.3) gegebenen Werte nicht überschreiten, sollten diese Werte für die Bemessung und Konstruktion eingesetzt werden.

(8) Spannungen in der Bewehrung sollten mit diesen Kräften ermittelt werden, wobei jedoch die tatsächliche Querschnittsfläche A_s der Bewehrung zu berücksichtigen ist.

7.4.2.9 Tragwerke mit teilweise einbetonierten Stahlträgern

(1) Wenn die konstruktive Durchbildung nach 8.3 erfolgt, dürfen die Einflüsse aus dem Schlupf zwischen den Beton- und Stahlträgern sowie Einflüsse aus Schubverzerrung bei Längsbiegung vernachlässigt werden.

(2) Der Beitrag von Schalungselementen, die von den Stahlträgern getragen werden, und Teil der dauerhaften Konstruktion werden, sollte vernachlässigt werden.

(3) Wenn die Verteilung der nach dem Aushärten des Betons aufgetragenen Lasten in der Richtung quer zur Spannweite der einbetonierten Träger nicht gleichmäßig ist, sollte die Berechnung die Querverteilung der Kräfte aufgrund der Differenz zwischen der Verformung benachbarter einbetonierter Träger und der Biegesteifigkeit quer zum einbetonierten Träger berücksichtigen, es sei denn, es wird nachgewiesen, dass eine vereinfachte Berechnung, die ein starres Verhalten in Querrichtung annimmt, eine ausreichende Genauigkeit ergibt.

(4) Die in (3) beschriebenen Einflüsse dürfen berücksichtigt werden, indem eins der folgenden Berechnungsverfahren angewendet wird:

- Berechnung als anisotropes Plattentragwerk, wobei die Steifigkeiten der Stahlträger verschmiert angesetzt werden;
- Betrachtung des Betons als nicht durchgängig, um ein ebenes Gitter mit biege- und torsionssteifen Elementen zu erhalten, wobei die Torsionssteifigkeit des Stahlprofils vernachlässigt werden darf. Für die Bestimmung der Schnittkräfte in Querrichtung darf die Biege- und Torsionssteifigkeit der Betonbauteile in Querrichtung mit 50 % der Steifigkeit des ungerissenen Querschnitts angenommen werden; oder
- allgemeine Berechnungsverfahren nach 7.4.3.

(5) Der Nennwert der Querkontraktionszahl des Betons darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit null und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit mit 0,2 angenommen werden.

(6) Die Schnittgrößen sollten auf der Grundlage der Elastizitätstheorie bestimmt werden, wobei Umlagerungen von Schnittgrößen durch Rissbildung im Beton nicht berücksichtigt werden.

(7) Negative Biegemomente von durchlaufenden teilweise einbetonierten Trägern mit Klasse-1-Querschnitten an Innenstützen dürfen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit, mit Ausnahme der Ermüdung, um bis zu 15 % umverlagert werden, um das nichtelastische Baustoffverhalten zu berücksichtigen.

(8) Der Einfluss aus dem Kriechen des Betons auf die Verformungen darf nach 7.4.2.2 berücksichtigt werden. Einflüsse aus dem Schwinden des Betons dürfen vernachlässigt werden.

(9) Für die Bestimmung von Durchbiegungen und Überhöhungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sowie für die dynamische Berechnung darf die wirksame Biegesteifigkeit von Tragwerken mit teilweise einbetonierten Stahlträgern nach Gleichung (7.4) bestimmt werden:

$$E_a I_{\text{eff}} = 0,5 \cdot (E_a I_1 + E_a I_2) \quad (7.4)$$

Dabei sind

I_1 und I_2 die Werte für das Flächenmoment II. Grades des ungerissenen und des gerissenen Verbundquerschnitts bei positiver Biegemomentenbeanspruchung nach prEN 1994-1-1:2024, 3.2.1.

(10) Das Flächenmoment II. Grades I_2 sollte sich aus dem wirksamen Baustahlquerschnitt, der Bewehrung und aus dem druckbeanspruchten Beton ergeben.

(11) Die druckbeanspruchte Betonfläche darf anhand der plastischen Spannungsverteilung bestimmt werden.

(12) Die Einflüsse von Temperaturunterschieden und Temperaturgradienten dürfen vernachlässigt werden, außer bei der Bestimmung der Durchbiegungen von Eisenbahnbrücken ohne Schotterbett oder von Eisenbahnbrücken mit fester Fahrbahn ohne Schotter.

7.4.3 Nichtlineare Gesamttragwerksberechnung

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

7.4.4 Kombination von Beanspruchungen aus Haupttragwerkswirkung und aus lokalen Wirkungen

(1) Die Interaktion zwischen horizontalen Schubspannungen und Querbiegung im Betongurt eines Verbundprofils sollte nach EN 1992-1-1 behandelt werden.

(2) Beanspruchungen aus Haupttragwerkswirkung und aus lokalen Wirkungen sollten unter Berücksichtigung eines Kombinationsbeiwertes ergänzt werden.

ANMERKUNG Der Kombinationsbeiwert beträgt 1,0, sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist.

7.5 Klassifizierung von Querschnitten

7.5.1 Allgemeines

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen allgemeinen Regeln angewendet werden.

7.5.2 Klassifizierung von Verbundprofilen ohne Kammerbeton

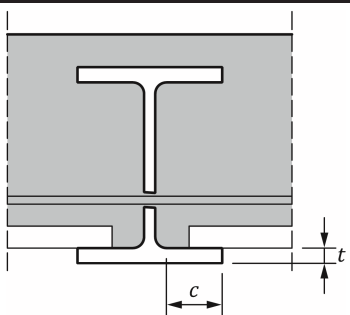
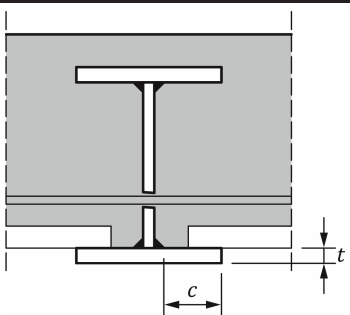
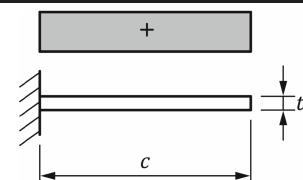
(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

7.5.3 Klassifizierung von teilweise einbetonierten Trägerquerschnitten

(1) Einseitig gestützte Gurte von Verbundträgern sollten nach Tabelle 7.1 eingestuft werden.

(2) Ein einbetonierter Steg der Klasse 3 darf durch einen wirksamen Steg desselben Querschnitts in Klasse 2 dargestellt werden.

Tabelle 7.1 — Höchstwerte von c/t für Stahlgurte von teilweise einbetonierten Stahlträgern

Walzprofil		Geschweißtes Profil	
			
			Spannungsverteilung (Druck positiv)
Quer- schnitts klasse	Stahlprofil	Grenzwert max (c/t)	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ mit f_y in N/mm ²
1	gewalzt oder geschweißt	$c/t \leq 9\varepsilon$	
2		$c/t \leq 14\varepsilon$	
3		$c/t \leq 20\varepsilon$	

8 Grenzzustände der Tragfähigkeit

8.1 Träger

8.1.1 Allgemeines

(1) prEN 1994-1-1:2024, 8.1.1(2), darf nicht angewendet werden.

8.1.2 Mittragende Gurtbreite für den Querschnittsnachweis

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

8.2 Querschnittstragfähigkeiten von Trägern

8.2.1 Biegemomententragfähigkeit

8.2.1.1 Allgemeines

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

8.2.1.2 Plastische Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ eines Verbundquerschnitts

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

8.2.1.3 Ergänzende Regeln für Träger

(1) prEN 1994-1-1:2024, 8.2.1.3, darf nicht angewendet werden.

(2) Wird ein Verbundträger zweiachsiger Biegung, kombinierter Biegung und Torsion oder einer Kombination von Beanspruchungen aus Haupttragwerkswirkung und aus lokalen Wirkungen ausgesetzt, sollte prEN 1993-1-1:2023, 8.2.1(5), angewendet werden.

(3) Wird die elastische Gesamttragwerksberechnung für einen Durchlaufträger angewendet, sollte M_{Ed} den 0,9-fachen Wert von $M_{pl,Rd}$ an jedem Querschnitt der Klasse 1 oder der Klasse 2 bei positiver Biegung bei druckbeanspruchter Betonplatte nicht überschreiten, wobei:

- alternativ soll der Querschnitt bei negativer Biegung an oder nahe den benachbarten Stützen der Klasse 3 oder der Klasse 4 entspricht; und
- das Stützweitenverhältnis neben dieser Stütze (kürzere/längere) kleiner als 0,6 ist.

(4) Alternativ dazu sollte eine Gesamttragwerksberechnung zur Berücksichtigung des nichtelastischen Verhaltens angewendet werden.

8.2.1.4 Elastische Biegemomententragfähigkeit

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 8.2.1.4, muss für die Berechnung der elastischen Biegemomententragfähigkeit auf Grundlage des wirksamen Querschnitts die Grenzspannung in den Spanngliedern mit $0,8f_{pk}$ unter der charakteristischen Lastkombination nach EN 1992-1-1:2023, Tabelle 9.1, angesetzt werden, wenn das Erscheinungsbild des Tragwerks von Bedeutung ist.

(2) Die Spannung aufgrund der anfänglichen Vordehnung von Spanngliedern muss nach EN 1992-1-1:2023, Table 7.1, aufgebracht werden.

8.2.1.5 Nichtlineare Tragfähigkeit auf der Grundlage von Spannungs-Dehnungs-Beziehungen

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

8.2.1.6 Nichtlineare Biegemomententragfähigkeit

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 8.2.1.6, sollten die Spannungen in Spannstahl aus den Bemessungskurven von EN 1992-1-1:2023, 5.3.3, hergeleitet werden, wenn die Biegemomententragfähigkeit eines Verbundquerschnittes nach der nicht-elastischen Theorie ermittelt wird.

(2) Der Bemessungswert der anfänglichen Vordehnung in den Spanngliedern sollte für den Spannungsnachweis in den Spanngliedern angewendet werden.

8.2.2 Tragfähigkeit bei vertikaler Schubbeanspruchung

(1) Zusätzlich zu prEN 1994-1-1:2024, 8.2.2, sollte der Beitrag durch den Beton vernachlässigt werden, wenn nur der Stahlquerschnitt mit der Stütze verbunden ist und keine Querträger oder Scheiben an den Stützen vorhanden sind.

(2) Für die vertikale Schubbeanspruchung eines Betongurtes eines Verbundbauteils muss EN 1992-1-1:2023, 8.2.2, angewendet werden, sofern keine erweiterten Verfahren zum Einsatz kommen.

ANMERKUNG Fortgeschrittenere Methoden für vertikale Scherung in einem Betonflansch unter Zug können im Nationalen Anhang angegeben werden.

(3) Werden die Lasteinwirkungen eines Tragwerks mithilfe eines Finite-Elemente-Modells ermittelt und ist die Platte mithilfe von Scheibenelementen dargestellt, sollte beachtet werden, dass die resultierende Schubkraft, die auf den Steg im Stahlquerschnitt wirkt, unterschätzt werden kann.

8.3 Tragwerke mit teilweise einbetonierten Stahlträgern

8.3.1 Anwendungsbereich

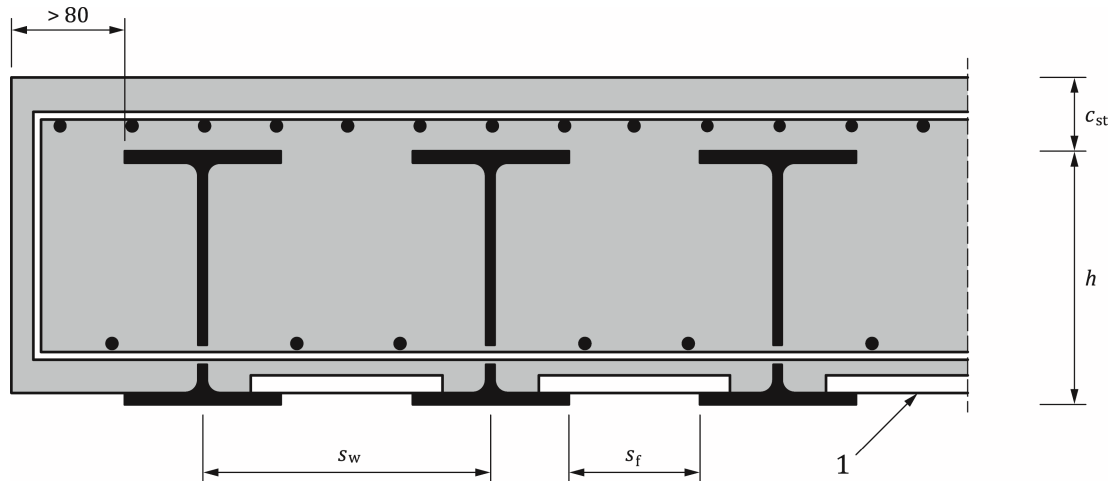
(1) 8.3.1 bis 8.3.5 gelten für Tragwerke nach 3.1.1. Für vollständig einbetonierte Stahlträger werden keine Anwendungsregeln angegeben.

ANMERKUNG 1 Ein typischer Querschnitt eines Tragwerks mit teilweise einbetonierten Stahlträgern mit nichttragenden Schalungselementen ist in Bild 8.1 dargestellt.

ANMERKUNG 2 Stahlträger können gewalzte Profile oder geschweißte Profile mit konstanten Querschnitten besitzen.

ANMERKUNG 3 Die Spannweiten können aus Einfeldträgern oder Mehrfeldträgern bestehen. Die Stützen können als Vierkantstützen oder schiefwinklig ausgeführt sein.

(2) Bei geschweißten Profilen sollte sowohl die Gurtbreite als auch die Steghöhe innerhalb der für gewalzte H- oder I-Profile zulässigen Bereiche liegen.



Legende

1 nichttragende Schalungselemente

Bild 8.1 — Typischer Querschnitt eines Tragwerks mit teilweise einbetonierten Stahlträgern

(3) Die Anforderungen von 8.3.1 gelten für Tragwerke mit teilweise einbetonierten Stahlträgern, für die Folgendes zutrifft:

- die Stahlträger sind im Grundriss nicht gekrümmt;
- der Schräglaufwinkel θ sollte nicht größer sein als 30° (der Wert $\theta = 0$ entspricht einem Tragwerk ohne Schiefstellung);
- der Nennwert der Stahlträgerhöhe h entspricht: $210 \text{ mm} \leq h \leq 1\,100 \text{ mm}$;
- der Achsabstand der Stege der Stahlträger s_w sollte den kleinen Wert von $h/3 + 600 \text{ mm}$ and 750 mm nicht überschreiten, wobei h der Nennwert der Stahlträgerhöhe in mm ist;
- die Betondeckung c_{st} oberhalb der Stahlträger erfüllt die folgenden Bedingungen:

$$c_{st} \geq 70 \text{ mm}, \quad c_{st} \leq 150 \text{ mm}, \quad c_{st} \leq h/3, \quad c_{st} \leq x_{pl} - t_f$$

Dabei ist

x_{pl} der Abstand zwischen der plastischen Nulllinie bei positiver Biegung und der Randfaser der Betondruckzone;

t_f die Dicke des Stahlgurtes;

- die seitliche Betondeckung eines einbetonierten Stahlgurtes ist größer als 80 mm ;
- der lichte Abstand s_f zwischen den Obergurten der Stahlträger ist größer als 150 mm , so dass Gießen und Verdichten von Beton möglich sind;
- die Unterseite des Untergurtes der Stahlträger ist nicht einbetoniert;
- eine untere Querbewehrung wird durch die Stege der Stahlträger geführt und wird hinter den Randstahlträgern und an jedem Ende jedes Stabs nach EN 1992-1-1:2023, 11.4, verankert, wobei anzunehmen ist, dass der Betonstahl bis zur Streckgrenze beansprucht ist;

- es wird Rippenstahl nach EN 1992-1-1:2023, 5.2.2 und C.4 verwendet; sein Durchmesser ist größer als 16 mm und sein Rippenabstand ist kleiner als 300 mm;
- es wird Normalbeton verwendet;
- die Oberfläche der Stahlträger sollte entzündert sein. die Unterseite, die Oberfläche und die Ränder des Untergurtes der Stahlträger sollten einen Korrosionsschutz besitzen;
- bei Straßen- und Eisenbahnbrücken sollten in den Stegen der Stahlprofile gebohrte Löcher vorhanden sein.

(4) Zusätzliche Anforderungen zu 8.3.1 können für Tragwerke mit teilweise einbetonierten Stahlträgern notwendig sein, die nicht in den Anwendungsbereich von (3) fallen.

8.3.2 Allgemeines

(1) Tragwerke mit teilweise einbetonierten Stahlträgern nach diesem Abschnitt müssen hinsichtlich der Grenzzustände der Tragfähigkeit nach 8.3.2 bis 8.3.5 und hinsichtlich der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit nach Abschnitt 9 bemessen sein.

(2) Für Stahlträger mit geschraubten und/oder geschweißten Verbindungen sollte ein Ermüdungsnachweis erbracht werden.

(3) Verbundquerschnitte sollten nach 7.5.3 eingestuft werden.

(4) Eine mechanische Verdübelung darf vernachlässigt werden.

8.3.3 Biegemomente

(1) Der Bemessungswert der Biegemomententragfähigkeit von Verbundquerschnitten muss nach 8.2.1 bestimmt werden.

(2) Wenn die auf den Stahlquerschnitt einwirkende vertikale Querkraft $V_{a,Ed}$ den halben Wert der Querkrafttragfähigkeit nach 8.3.4 überschreitet, sollte der Einfluss der Querkraft auf die Momententragfähigkeit nach prEN 1994-1-1:2024, 8.2.2.5(2), berücksichtigt werden.

(3) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit von Stahlbetonquerschnitten gegenüber Querbiegemomenten sollte nach EN 1992-1-1 bestimmt werden.

(4) Für Einfeldträger mit doppelsymmetrischen Querschnitten der Klasse 1 oder Klasse 2 nach 7.5.3 darf der Bemessungswert des Widerstandes gegen positive Biegung auf der Grundlage einer plastischen Spannungsverteilung berechnet werden, unter Berücksichtigung des Abminderungsfaktors β nach prEN 1994-1-1:2024, Bild 8.3, der mit 0,95 angesetzt werden darf, sofern Folgendes ebenfalls erfüllt ist:

- $t_f \leq 80 \text{ mm}$;
- die Stahlprofile sind während der Bauausführungsphase ohne Eigenverbund und sie tragen das Eigengewicht des Tragwerks. Unter Einwirkung des Eigengewichts in der charakteristischen Lastkombination muss die maximale Biegespannung größer sein als:

$$\sigma_{a,cs} \geq 0,5 \cdot (f_y - 275 \text{ MPa})$$

Dabei ist

$\sigma_{a,cs}$ die maximale Spannung unter positiver Biegung in der Bauausführungsphase;

- der Beitrag der Bewehrung zur Tragfähigkeit unter positiver Biegung wird vernachlässigt.

8.3.4 Vertikale Schubbeanspruchung

(1) Der Widerstand des Verbundquerschnitts gegen vertikale Schubbeanspruchung sollte als der Widerstand $V_{pl,a,Rd}$ des Baustahlquerschnitts angesetzt werden, sofern nicht der Wert eines Beitrags durch den Stahlbetonteil nach EN 1992-1-1 festgelegt wurde.

(2) Wenn keine genauere Berechnung erfolgt, darf der Teil $V_{c,Ed}$ der gesamten vertikalen Schubbeanspruchung V_{Ed} , die auf den bewerten Stahlbetonquerschnitt einwirkt, als $V_{c,Ed} = V_{Ed} (M_{s,Rd}/M_{pl,Rd})$ angesetzt werden, mit $M_{s,Rd} = N_s \cdot z_s = A_s \cdot f_{sd} \cdot z_s$.

ANMERKUNG Der Hebelarm z_s ist in Bild 8.2 für ein Tragwerk mit teilweise einbetonierten Stahlträgern der Klasse 1 oder der Klasse 2 dargestellt.

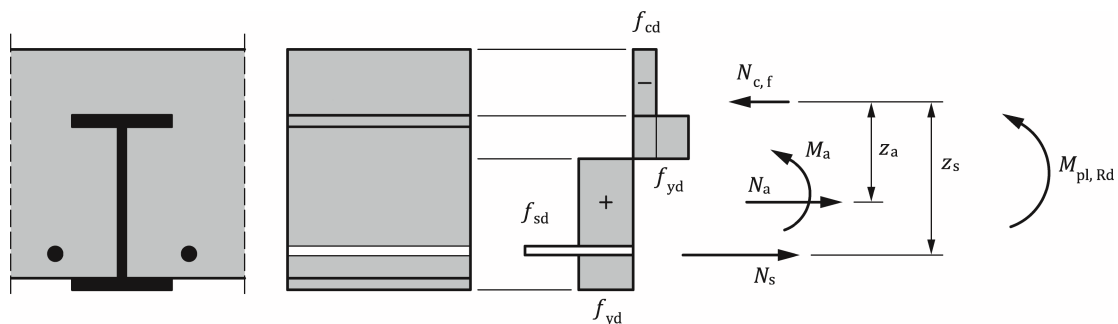


Bild 8.2 — Spannungsverteilung bei M_{Rd} für den Querschnitt eines Tragwerks mit teilweise einbetonierten Stahlträgern der Klasse 1 oder Klasse 2

(3) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit gegenüber vertikaler Schubbeanspruchung von Stahlbetonquerschnitten zwischen teilweise einbetonierten Stahlträgern sollte nach EN 1992-1-1 nachgewiesen werden.

8.3.5 Tragfähigkeit und Stabilität der Stahlträger während der Bauausführung

(1) Stahlträger sollten vor der Aushärtung des Betons nach EN 1993-1-1 und EN 1993-2 nachgewiesen werden.

8.4 Biegedrillknicken von Verbundträgern

8.4.1 Allgemeines

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

8.4.2 Biegedrillknicknachweis für Durchlaufverbundträger mit konstanten Querschnitten der Klassen 1, 2 und 3

(1) Es müssen die in EN 1994-1-1 angegebenen Regeln angewendet werden.

8.4.3 Allgemeine Verfahren für das Knicken von Bauteilen und Tragwerken

8.4.3.1 Allgemeines Verfahren

(1) Für Verbundbauteile, die nicht in den Anwendungsbereich von prEN 1994-1-1:2024, 8.4.2(1) oder 8.4.3, fallen und für Verbundtragwerke müssen die in EN 1993-1-1:2022, 8.3.4, angegebenen Regeln angewendet werden.

(2) Bei der Ermittlung von α_{ult} und α_{crit} sollten für Beton- und Verbundbauteile die jeweiligen Tragfähigkeiten und Steifigkeiten nach EN 1992-1-1 und EN 1994-1-1 angewendet werden.